

Capítulo IX

Técnicas para reformar equipamentos de subestações e adiar investimentos

Por Sergio 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 seguinte, discutimos as especificações técnicas de disjuntores, seccionadores, painéis e para-raios feitas por concessionárias de energia. Na sexta edição, o tema tratado estava relacionado às distâncias de segurança de subestações e dos sistemas de proteção contra incêndios em subestações. Na edição anterior, foram apresentados os novos conceitos utilizados no TR IEC 62271-307 (painéis de média tensão). Este nono capítulo tratará de técnicas para reformar equipamentos de subestações e adiar investimentos.

INTRODUÇÃO

Após muitos anos de estagnação econômica e alta inflação, o Brasil começava a passar por um período de crescimento e parecia ter, finalmente, encontrado um bom caminho em direção a um bom nível de crescimento social e econômico. A maior parte dos avanços conquistados, às custas dos altos impostos pagos pela sociedade, foi perdida nestes últimos dez anos. Nosso baixo nível de educação, ainda não tratado com seriedade, é um terreno fértil para o crescimento da corrupção, da incompetência e das propagandas enganosas. Embora políticos mintam, dizendo que as dificuldades passarão rápido, serão necessários pelo menos uns oito anos para consertar os estragos.

É neste contexto de redução de faturamento das empresas e desemprego crescente que surgem oportunidades para utilizar técnicas de reformar equipamentos existentes para o aumento de sua capacidade, permitindo adiar investimentos em equipamentos novos. É mais ou menos como reformar o carro antigo ao invés de comprar um carro novo. Não é o que se desejava, mas é o possível no momento e melhor do que ficar sem carro.

Muitos equipamentos elétricos em operação há dez, vinte anos podem ser utilizados por mais tempo, e às vezes de maneira

mais eficiente, fazendo-se melhoramentos relativamente simples. O motivo é que antes destes anos difíceis de agora era comum comprar equipamentos com folga. Às vezes era por uma visão de que o sistema ia crescer ou simplesmente por conta de uma especificação exagerada. À medida que o consumo de energia e as redes elétricas crescem, rapidamente os níveis de correntes nominais e de curto-circuito crescem também e, assim, partes da instalação podem ficar insuficientes. Trocar um painel antigo em uma instalação industrial com centenas de cabos de controle é uma tarefa difícil. O problema maior nem sempre é o valor do investimento no equipamento novo e sim o grande trabalho e tempo de produção perdido necessário para a troca.

Nestes casos sob análise, a ideia é focar em reformas mais simples e que não impliquem um tempo longo de execução e parada. Para demonstrar estas técnicas utilizaremos projetos de painéis e barramentos de subestações. A proposta é apenas mostrar, por cálculos e simulações, porque funcionam ações como:

- Criar ou aumentar a área de ventilação para usar correntes mais elevadas mantendo ou reduzindo as elevações de temperatura de antes;
- Pintar ou revestir barramentos para melhorar a capacidade de dissipação de calor;

- Melhorar os contatos elétricos para diminuir a geração indesejável de calor e aumentar a vida útil;
- Fazer o direcionamento do fluxo de ar para pontos mais quentes, reduzindo elevações de temperatura;
- Modificar materiais de algumas partes para reduzir efeitos de aquecimentos por induções magnéticas;
- Modificar parâmetros de projeto para reduzir campos magnéticos, elétricos e forças eletrodinâmicas de curto-circuito e poder aumentar os níveis de curto-circuito suportáveis;
- Modificar parâmetros de projeto para melhorar ou aumentar a capacidade de suportar arcos internos.

Estas técnicas quase não exigem investimentos, mas é necessário ter criatividade e bons conhecimentos de cálculos de engenharia. No setor elétrico, as fabricantes e as concessionárias brasileiras pararam, desde o início dos anos 2000, de treinar adequadamente

suas equipes e esta é uma barreira. O nível de conhecimentos de engenharia caiu a níveis muito menores do que havia nas décadas de 1980 e 1990. Os tempos das obras fáceis está acabando e apenas as empresas que conseguirem ter alguma capacidade de fazer uma boa engenharia conseguirão sobreviver no mercado.

Os aspectos de projeto que se devem considerar na reforma de um equipamento existente são os de elevações de temperatura, de esforços eletrodinâmicos, de arcos internos e distâncias dielétricas. Todos eles têm a ver com as geometrias e materiais utilizados. Para entender melhor, vale a pena reler o capítulo oitavo desta série, que tratou dos novos conceitos do Relatório Técnico IEC 62271-307, que tem publicação prevista para 2016.

No que diz respeito às elevações de temperatura, como explicado nos capítulos segundo e terceiro desta série, o parâmetro de referência são os limites de elevação de partes condutoras e isolantes que não podem ser ultrapassados. Passando-se dos

limites especificados nas normas técnicas, o equipamento envelhece prematuramente. Por exemplo, o limite de elevação de temperatura permitido para uma conexão com revestimento prateado em um barramento de cobre é de 75 K. Para uma conexão de cobre nu, sem revestimento, este limite é de 50 K.

Em qualquer um dos dois casos, se utilizarmos no barramento uma sobrecarga permanente tal que a elevação de temperatura seja apenas 6,5 graus acima destes limites, haverá uma perda de vida útil da ordem de 2/3. Se extrapolarmos este conceito para a vida útil, isto significa adquirir dois a três equipamentos, ao invés de um, naquele período. Para entender os detalhes, leia as páginas 101 a 116 do livro que pode ser baixado livremente em http://www.cognitor.com.br/Book_SE_SW_2013_POR.pdf.

Cabe explicar os quatro modelos mostrados nas Figuras 1 a 4. O primeiro modelo (Figura 1) corresponde a um painel de baixa tensão muito usado no Brasil e composto de barramento e um disjuntor de entrada. Os

valores nominais típicos de tensão nominal, corrente nominal e corrente suportável de curta duração, no Brasil, para este tipo, são de 380 V – 3.200 A e 65 kA. Nesta análise, serão consideradas correntes nominais na faixa de 2.000 A a 3.000 A, dependendo de ter ou não ventilação. Este tipo de projeto em geral tem barramentos muito próximos, o que significa esforços eletrodinâmicos elevados durante curtos-circuitos. O mercado tem pedido cada vez mais que este tipo de equipamento tenha a capacidade de suportar arcos internos.

O segundo modelo (Figura 2) corresponde a um painel de média tensão também de uso comum no Brasil. É composto de três compartimentos (cabos, disjuntor e barras). Os valores nominais típicos de tensão nominal, corrente nominal e corrente suportável de curta duração, no Brasil, para este tipo, são de 15 kV – 1.250 A e 40 kA. A classificação de arco interno é, na maior parte das vezes, requerida e é frequente ser um painel totalmente fechado sem aberturas de ventilação.

O terceiro modelo (Figura 3) corresponde a um duto trifásico de geradores que, em geral, tem a capa externa de alumínio. Os condutores internos em geral são tubulares e podem ser de alumínio ou cobre. O quarto modelo (Figura 4) é uma subestação de 145 kV convencional formada por condutores tubulares de alumínio.

As dimensões e materiais utilizados podem ser vistas do lado direito de cada figura. Vamos demonstrar as possibilidades de ganhos simplesmente alterando alguns parâmetros de projeto mostrados nestas figuras.

CRIAR OU AUMENTAR A ÁREA DE VENTILAÇÃO PARA ALCANÇAR AS MESMAS ELEVAÇÕES DE TEMPERATURA, PORÉM UTILIZANDO-SE CORRENTES MAIS ELEVADAS.

Esta é uma alteração de projetado mais simples de implementar com uma parada do equipamento de dois a três dias. É mais simples porque não implica desmontar partes internas como barramentos e fiações de controle. Para este exemplo, vamos utilizar o painel de baixa tensão da Figura 1.

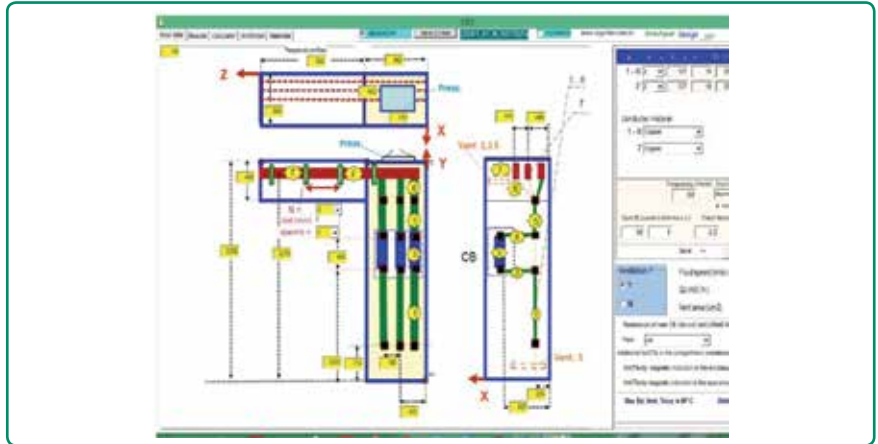


Figura 1 - Painel baixa tensão – 480 V – 2.000 A – 50 kA.



Figura 2 – Painel média tensão 15 kV – 31,5 kA.

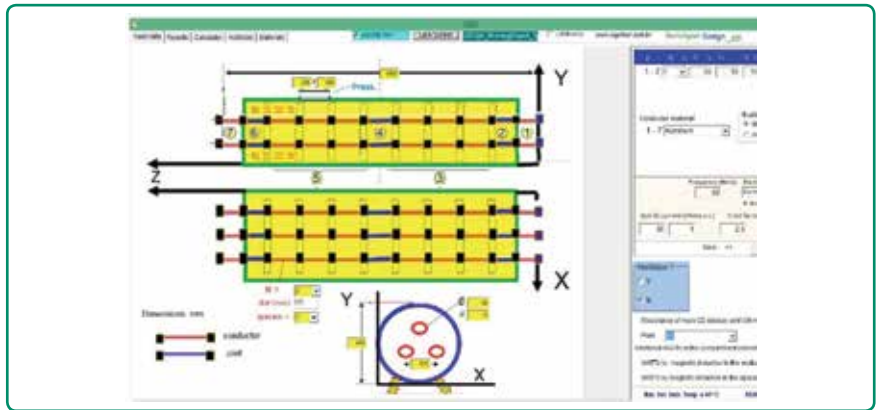


Figura 3 – Barramento de geradores isolado a ar.



Figura 4 – Subestação 145 kV.

Trata-se de um painel com barras de cobre 2x127x10 sem aberturas de ventilação e sem revestimento das barras por meio de pintura ou de material termoplástico. Tem uma corrente nominal de 2.000 A e, para esta corrente, no ensaio de elevação de temperatura, apresenta uma elevação de temperatura no ponto crítico de 72 K. Está, portanto, ligeiramente abaixo do limite para passar no teste (conexão prateada 75 K). Esta conexão está próxima do disjuntor principal daquela coluna. O disjuntor, que é a principal fonte de calor, tem 20 $\mu\Omega$ de resistência por fase, vista dos terminais. Além deste disjuntor, há mais 780 W de dissipação de potência em outros componentes internos.

Imagine que, mantendo todos os componentes internos, simplesmente abrissemos na parte superior e na parte inferior da coluna uma abertura de ventilação da ordem de 17X10 cm (área = 170 cm²). Nesta abertura, colocaríamos apenas uma veneziana simples que permitisse que a área livre de entrada de ar fosse pouco reduzida. Não colocaríamos filtros de ar complicados que bloqueassem a maior parte da passagem de ar e eliminassem os ganhos obtidos com o trabalho de implantar a abertura. Não se trata de um painel novo em que todas as questões associadas ao grau IP precisassem ser atendidas.

Os resultados obtidos estão na Tabela 1. Note que, para obter o mesmo desempenho quanto à elevação de temperatura, poderia se utilizar uma corrente 30% maior (2.600 A) simplesmente pela existência da abertura, sem ventilação forçada. Se incluíssemos, além da abertura, também um exaustor de 180 m³/h poderíamos passar uma corrente 47% maior (2.950 A) mantida a mesma elevação de temperatura. Em outras palavras, se fosse um painel bem conservado estaríamos colocando-o em uma situação muito mais confortável, no que diz respeito a temperaturas de trabalho, do que anteriormente.

Demonstrar isto por meio de ensaios de laboratório seria oneroso, mas com

TABELA 1 – GANHO PELO SIMPLES ACRÉSCIMO DE UMA ÁREA DE VENTILAÇÃO LIVRE COM E SEM VENTILAÇÃO FORÇADA (PARÂMETRO = ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA PERMITIDA DE 75 K NA CONEXÃO - VER FIGURA 5)

Tipo de construção, correntes e ganhos	Painel original sem abertura de ventilação	Painel modificado onde foi feita abertura de ventilação de 168 cm ² Sem ventilação forçada	Painel modificado onde foi feita abertura de ventilação de 168 cm ² Com exaustor de 180 m ³ /h
Corrente utilizada	2.000 A	2.600 A	2.950 A
Ganho		(+ 30 %)	(+ 47 %)
Elevação de temperatura na conexão	72 K	72 K	73 K

TABELA 2 – GANHO POR PINTURA OU REVESTIMENTO DAS BARRAS (PARÂMETRO = ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA)

Tipo de construção, correntes e ganhos	Painel original sem abertura de ventilação	Painel modificado em que as barras foram pintadas e sem abertura de ventilação	Painel modificado com abertura de ventilação de 168 cm ² mais exaustor de 180 m ³ /h e pintura de barras
Corrente utilizada	2.000 A	2.200 A	3.100 A
Ganho		(+ 10 %)	(+ 55 %)
Elevação de temperatura na conexão	72 K	72 K	73 K

simulações de ensaios benfeitas, pode-se estudar, para cada caso específico, a solução mais promissora.

PINTURA OU REVESTIMENTO DE BARRAS PARA MELHORAR A CAPACIDADE DE DISSIPAÇÃO DE CALOR

Esta não é uma alteração simples de fazer, pois implicaria em desmontagem dos barramentos e, portanto, parar o equipamento bem mais que os três dias mencionados na seção anterior. Porém, pode ser interessante em algumas situações de barramentos de baixa e média tensão. Na tabela 2, são mostrados os impactos para a mesma situação da Figura 1. Para a pintura de barras, o ganho é de 20% na

corrente. Se somássemos este benefício ao da ventilação, pode-se chegar a valores de aumento de corrente muito significativos.

MELHORIA DOS CONTATOS ELÉTRICOS PARA DIMINUIR A GERAÇÃO DE CALOR E AUMENTAR A VIDA ÚTIL

Os contatos elétricos do dispositivo de manobra, no caso de disjuntores ou chaves e a dissipação de potência, no caso de fusíveis, são o fator de maior impacto nas temperaturas internas de trabalho. Dependendo da situação, pode ser uma alteração de projeto simples ou complexa no que diz respeito ao tempo de parada para sua implantação. Trocar um disjuntor do tipo extraível para tipo fixo pode significar uma grande redução na potência dissipada.

Trocar a marca do disjuntor pode também ter um impacto positivo, mas deve-se ter muito cuidado nos aspectos de interrupção. Um disjuntor aprovado em um certo tipo de painel pode ter desempenho ruim em um outro tipo de painel porque as geometrias e distâncias são diferentes.

A Figura 2 mostra um painel de média tensão sem aberturas de ventilação. Na Tabela 3, estão mostradas as correntes que poderiam ser aplicadas para obter uma mesma elevação de temperatura, caso o disjuntor tivesse originalmente $54 \mu\Omega$ de resistência por fase, vista dos terminais, e fosse trocado por outro com $40 \mu\Omega$ de resistência por fase.

DIRECIONAMENTO DE FLUXO DE AR PARA PONTOS MAIS QUENTES, REDUZINDO ELEVAÇÕES DE TEMPERATURA

Direcionar o fluxo de ar para certas conexões, assim como a colocação de

TABELA 3 – GANHO DE CORRENTE POR TROCA DO TIPO DE DISJUNTOR (EXTRAÍVEL POR FIXO – FIGURA 6)

<i>Tipo de construção, correntes e ganhos</i>	<i>Painel original com disjuntor de $54 \mu\Omega$ de resistência por fase</i>	<i>Painel modificado com disjuntor de $40 \mu\Omega$ de resistência por fase</i>
Corrente utilizada	1.250 A	1.400 A
Ganho		(+ 12 %)
Elevação de temperatura na conexão	72 K	73 K

dissipadores de calor locais nas conexões aos disjuntores, chaves ou fusíveis, podem trazer ganhos consideráveis de desempenho. Devido ao espaço necessário para explicações não serão detalhados aqui.

MODIFICAÇÃO DE MATERIAIS PARA REDUZIR EFEITOS DE INDUÇÃO MAGNÉTICA

Em painéis e barramentos com correntes superiores a algo da ordem de 3.000 A, deve-se ter atenção aos

materiais que são usados nas chapas do invólucro e nos espaçadores metálicos dos barramentos. Se são usados materiais magnéticos como o aço-carbono ao invés de não magnéticos, como o alumínio e certos tipos de aços inoxidáveis, os efeitos de aquecimento por indução podem ser muito acentuados.

No exemplo da Figura 3, está um barramento de geradores, trifásico e isolado a ar. Em geral, estes barramentos conduzem correntes elevadas. A título de mostrar os efeitos de forma didático apresentamos na Tabela 4 os valores de

TABELA 4 – USOS DE MATERIAIS MAGNÉTICOS OU NÃO MAGNÉTICOS EM INVÓLUCROS E ESPAÇADORES (FIGURA 7)

Tipo de construção, correntes e ganhos	Painel com invólucro em aço carbono e corrente trifásica	Painel com invólucro em alumínio e corrente trifásica
Corrente trifásica utilizada	1.000 A	1.000 A
Elevação de temperatura na conexão	72 K	38 K
Elevação de temperatura no ar interno	31K	16 K
Dissipação de potência no invólucro por indução magnética	306 W	9,5 W

elevações de temperaturas que seria obtido se o invólucro fosse feito de alumínio ou se fosse feito de aço carbono. No caso do invólucro de aço-carbono, os efeitos da indução magnética são muito maiores e isto aquece o invólucro e, por consequência, o ar interno. É por este mesmo motivo que espaçadores compostos de materiais isolantes e metálicos usados em barramentos de painéis de baixa tensão devem ser motivo de atenção especial. Como estão muito próximos das barras, são submetidos a campos magnéticos muito elevados. Se não for utilizado material não magnético, acima de certa corrente, surgirão correntes parasitas que provocaram grande aquecimento do ar interno ao painel.

MODIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO PARA REDUZIR CAMPOS MAGNÉTICOS E FORÇAS ELETRODINÂMICAS DE CURTO-CIRCUITO E AUMENTAR OS NÍVEIS DE CURTO SUPORTÁVEIS

Os campos elétricos e magnéticos causam impactos importantes em aspectos de projeto como as forças eletrodinâmicas que atuam em barramentos e seus suportes, assim como nas distâncias dielétricas e dimensões gerais de equipamentos e de subestações inteiras.

No exemplo da Figura 4, há um exemplo de arranjo de subestação. Vários ganhos em valores de campos elétricos e magnéticos podem ser obtidos com mudanças de posicionamentos e distâncias dielétricas. Na Figura 7, está mostrado o mapeamento do campo magnético na subestação.

MELHORIA OU AUMENTO DA CAPACIDADE DE SUPORTAR ARCOS INTERNOS

Este tema foi detalhado no quinto capítulo deste fascículo, sob o título “Arcos internos em equipamentos de subestações, com ênfase na recente brochura Cigré 602 -

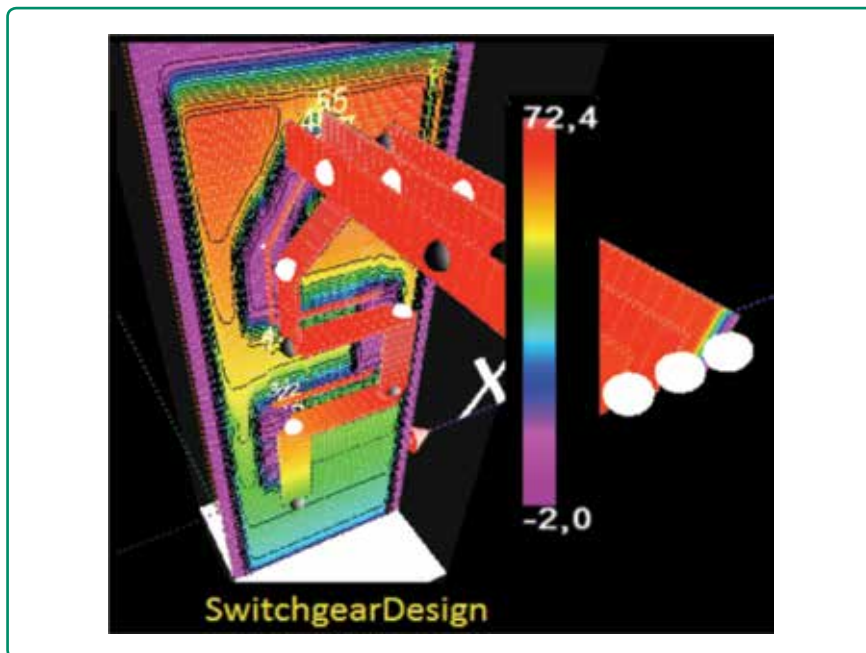


Figura 5 – Painel baixa tensão – 480 V – 2.000 A – 50 kA.

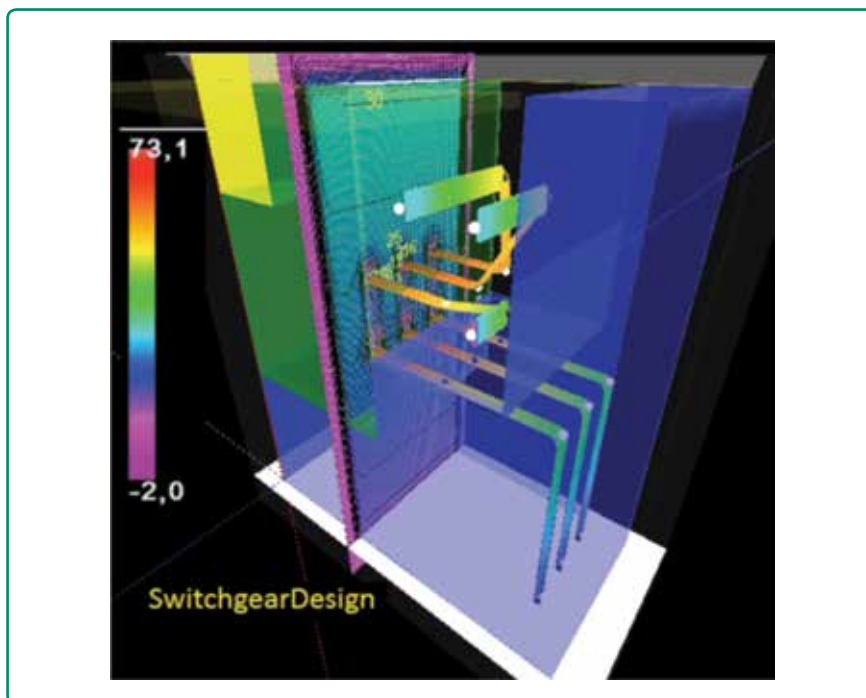


Figura 6 – Painel de média tensão 15 kV – 31,5 kA.

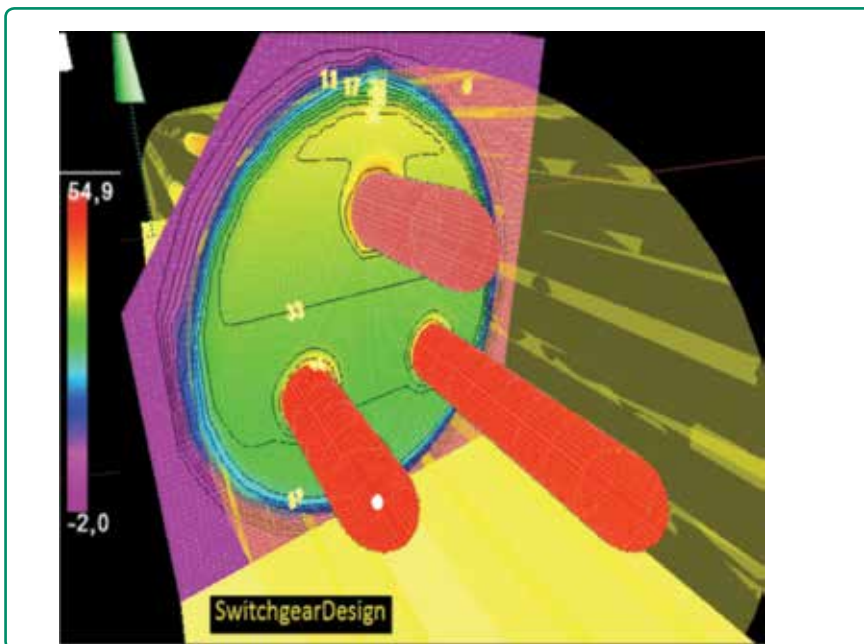


Figura 7 – Barramento de geradores isolados a ar.

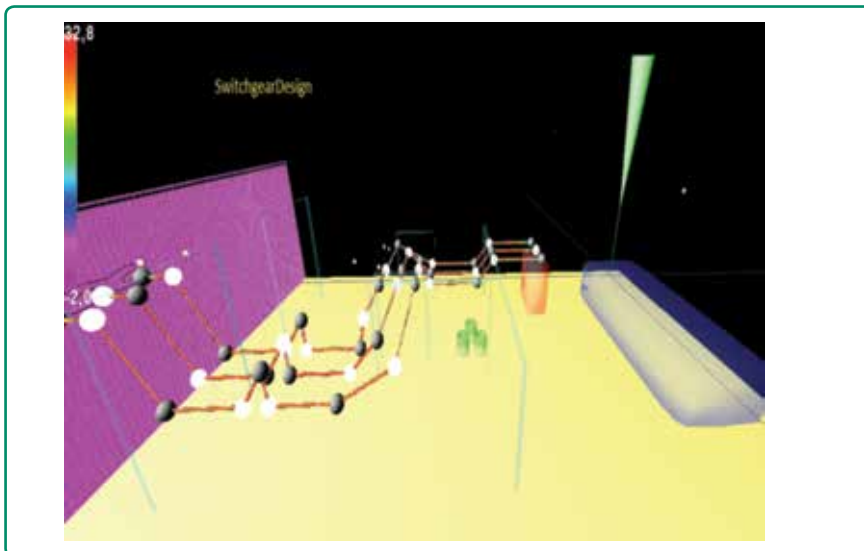


Figura 8 – Subestação 145 kV – Campo magnético, campo elétrico e temperaturas (SE, sala de controle, reatores, transformadores).

Ferramentas para a simulação dos efeitos de arco interno na transmissão e distribuição”. Este documento foi publicado pelo Cigré internacional em dezembro de 2014. O autor deste fascículo foi um dos coautores da brochura que mostra os aspectos relevantes a considerar nas modificações de projetos de equipamentos existentes ou novos. Em geral, estas modificações são de implementação relativamente simples e rápidas de fazer.

COMENTÁRIOS FINAIS

Nestes tempos de vacas magras é

interessante poder oferecer soluções para a reforma de equipamentos de subestações. Isto interessa a quem quer adiar novos investimentos. Este é um mercado atrativo, em especial, para os pequenos fabricantes que têm muito mais dificuldade em se manter no mercado.

É melhor projetar equipamentos já utilizando as vantagens oriundas destas técnicas. Hoje existem facilidades de cálculos e simulações importantes que são pouco conhecidas por fabricantes de equipamentos que não investem no treinamento de suas equipes. No Brasil de

hoje, não investir em capacitação porque não há tempo de tirar o empregado da fábrica é a regra, com poucas exceções na indústria.

Com as fábricas pouco ocupadas, há tempo para reavaliar erros de estratégia e capacitar as equipes técnicas para tentar chegar mais próximos dos países asiáticos e outros concorrentes diretos nossos. Eles já nos passaram à frente há muito tempo exatamente por investir em capacitação e soluções criativas. Atuo em treinamento de equipes de engenharia e a triste realidade é que a cada dez treinamentos que aplico no exterior, inclusive em outros países da América do Sul, apenas um é aplicado no Brasil porque aqui raras empresas pedem.

Nos últimos anos, o Brasil andou para trás na fila dos emergentes. Podemos reverter isto e, para entender o estágio onde paramos, vale a pena ler o conto de Hans Cristian Andersen: “O rei está nu”, em https://pt.wikipedia.org/wiki/A_roupa_nova_do_imperador.

Outro ponto a considerar no momento atual é buscar e identificar as chamadas “novas tecnologias” em uso no mercado internacional. Nova tecnologia é um conceito que varia de país para país e, pelo menos, nas áreas de média e baixa tensões, ainda estamos presos ao passado. Em algum dos próximos capítulos desta série, abordaremos algumas destas oportunidades tecnológicas.

**Sergio Feitoza Costa é engenheiro eletrícista, 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