



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GSE/04

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO – VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO – GSE

Módulo Híbrido Compacto de Manobra Relocável de 145 kV: Nova Concepção de Equipamento para Uso Múltiplo em Construção, Manutenção e Emergência

Enéas Bittencourt Pinto (*)
CPFL

Pablo Issao Umetsu
ABB

Glauco Falcão
ABB

Douglas Thomaz Rodrigues
ABB

RESUMO

O presente trabalho apresenta o fruto do desenvolvimento conjunto das áreas de engenharia da CPFL Energia e da ABB Ltda., para conceber um equipamento que reunisse um mínimo de funcionalidades requeridas em subestações convencionais isoladas no ar, para vãos de entrada de linha de transmissão, conexão de transformadores de potência, conexão de bancos de capacitores e interligação de barras, que operam em tensão até 145 kV.

Adicionalmente, o equipamento foi concebido para ser transportado entre diferentes pontos do sistema elétrico, porque a ideia da CPFL era usá-lo como um vão temporário de manobra e proteção em obra de ampliação de subestação, onde seria instalado um segundo transformador de potência. Então, após o término da obra, o equipamento seria enviado a outra similar, ou aplicado em local diverso em tarefas de manutenção programada dos equipamentos convencionais desses vãos ou, ainda, em situações de emergência, quando ocorressem defeitos ou falhas em tais equipamentos.

PALAVRAS-CHAVE

Equipamentos Elétricos de Alta Tensão; Expansão do Sistema Elétrico; Manutenção; Soluções de Engenharia

1.0 - INTRODUÇÃO

As empresas concessionárias e permissionárias dos serviços públicos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica existem já há muitas décadas, e até superando um século, desde que se concebeu o uso geral da eletricidade para as várias atividades das sociedades humanas em todos os seus aspectos, ao redor do mundo.

Há muito se impôs a maximização da continuidade desses serviços, dado o enorme avanço científico e tecnológico em todas as áreas do conhecimento e sua aplicação, que permitiu e acompanhou o também grande crescimento populacional que, por sua vez, tem demandado a expansão dos sistemas elétricos, de modo permanente.

Porém, as soluções técnicas, em todas as áreas, dependem de que seus componentes físicos sejam constantemente supervisionados, controlados, mantidos e até substituídos, para que não ocorram interrupções inaceitáveis, ou que comprometam severamente o adequado funcionamento dessas várias atividades e tarefas executadas pela e para as sociedades.

Não são um desafio pequeno, então, os procedimentos, a capacitação de pessoal e o ferramental que as empresas de energia precisam lançar mão para manter os sistemas elétricos em operação adequada, mesmo quando se é preciso expandi-lo e nele interferir para solucionar falhas, defeitos e ocorrências que costumam surgir, dada a idade, o estado de conservação e as condições a que estão expostos, mormente a climática, a ambiental e a interação com a própria população humana.

(*) Rod. Eng. Miguel N. N. Burnier, km 2,5 n° 1755 – 2º andar – Bloco 3 – CEP 13.088-900 Campinas, SP – Brasil
Tel: (+55 19) 3756-8515 – Fax: (+55 19) 3756-8212 – Email: ebpinto@cpfl.com.br

As distribuidoras de energia são o elo entre as empresas que geram e transmitem quase toda a eletricidade e os consumidores que a utilizam. Todavia, em termos de abrangência física e geográfica, para poder levar a energia aos usuários espalhados por todo o território, as primeiras comumente possuem desafios bem exclusivos no sentido de possuírem uma infraestrutura que seja eficiente e com custo-benefício satisfatório. E nisto, equipes treinadas, tarefas padronizadas e ferramental disponível fazem muita diferença nos resultados.

O objeto deste artigo se insere nesta última premissa, uma vez que mostra a inovação que se pode conquistar, e aplicar, no aperfeiçoamento incessante das atividades, com ganhos de produtividade e agregação de valor à empresa. Nisto, é fundamental a parceria com o mercado que desenvolve, fabrica e comercializa seus novos produtos que igualmente visam essa agregação, inclusive dispondo-se às necessárias adaptações às especificidades do cliente.

2.0 - CONTEXTUALIZAÇÃO

A CPFL Energia é, hoje, uma das maiores empresas do Setor Elétrico no Brasil, destacando-se dentre suas atuações a distribuição de eletricidade. São, já, nove distribuidoras que atendem cerca de 14% do total nacional de consumidores, localizadas nas regiões Sudeste e Sul do país. O atendimento à demanda de energia nessas empresas passa por um sistema de subtransmissão que possui, em quase sua totalidade, linhas de transmissão e subestações que operam em três classes de tensão: 72,5 – 92,4 – 145 kV.

Como já apontado, são empresas constituídas há um bom tempo. E, não somente isto, muitas delas têm soluções construtivas variadas, em termos dos projetos civis, elétricos e eletromecânicos, em função de suas origens, como também da evolução da tecnologia que escolheram ou puderam acessar ao longo de sua vida, incluindo os sistemas de controle, proteção, medição e comunicação. Em comum, tais instalações são praticamente todas ao tempo, com subestações e linhas convencionais, isoladas no ar.

As subestações, em si, são compostas por vãos de alta tensão de entrada de linhas de transmissão, vãos entre barras (duplas ou principal mais transferência), de conexão de transformadores de potência e de conexão de bancos de capacitores, além de vãos de média tensão de saídas de alimentadores das redes primárias de distribuição (estas também majoritariamente aéreas). Tipicamente, a composição de equipamentos elétricos nesses vãos é muito semelhante, dada a similaridade das necessidades funcionais, em termos de aquisição dos valores dos parâmetros elétricos necessários à correta operação (que inclui a medição da energia) e, ante o surgimento de falhas, faltas e defeitos, à adequada manobra de modificação topológica de circuitos para contornar as dificuldades e manter, tanto quanto possível, a continuidade dos serviços, por meio da conexão, ou desconexão, de alternativas de fontes e transferências de cargas.

Em termos de alta tensão, normalmente até 145 kV, os vãos de entrada de linhas e de conexão de transformadores de potência são os mais comuns nas subestações convencionais aéreas de distribuição. Os principais equipamentos elétricos encontrados nestes locais são os para-raios, seccionadores, chaves de aterramento, disjuntores, transformadores de corrente (TC) e transformadores de potencial (TP). Em subestações mais antigas, ainda há disjuntores do tipo tanque morto que utilizam o óleo isolante mineral, ao passo que em instalações um pouco mais recentes a tendência foi o uso de disjuntores mais modernos e eficientes, do tipo tanque vivo, inicialmente de pequeno volume de óleo e até com ar comprimido, e depois com gás SF₆ (hexafluoreto de enxofre). Com disjuntores tipo tanque vivo, porém, há a necessidade do uso no vão de TC do tipo pedestal, dispensáveis no caso dos disjuntores tipo tanque morto (que possuem TC tipo bucha).

As evidentes vantagens do uso do SF₆ como meio isolante e de interrupção do arco elétrico nas altas tensões, quando comparados em termos de operação e manutenção às tecnologias precedentes, permitiu a volta dos disjuntores tipo tanque morto com esse gás, porque o uso de TC de bucha tem melhor confiabilidade e menor custo que os do tipo pedestal.

Mais ainda, o SF₆ permitiu o desenvolvimento das soluções compactas modulares para as subestações, quanto aos acima citados vãos de funcionalidades com os equipamentos enumerados, em arranjos blindados de uso abrigado e ao tempo. Embora de alto custo inicial, as subestações blindadas em gás conferem altíssima confiabilidade operativa com redução enorme de manutenção e do espaço utilizado para as instalações, em comparação às soluções convencionais isoladas no ar. E, ainda, diminuem muito o tempo de montagem no campo e liberação para energização, uma vez que vêm pré-ensaiadas e pré-comissionadas de fábrica.

Por fim, no movimento mais recente, com a experiência acumulada os principais fabricantes desenvolveram as soluções híbridas compactas, assim denominadas em função de mesclarem, num único equipamento, o uso de isolações convencionais no ar com partes blindadas em SF₆. Com isto, é possível conferir um razoável grau de compactação às instalações de uma subestação sem incorrer no alto custo das exclusivamente blindadas em gás. A CPFL não possui subestações blindadas em gás, mas já incorporou em alguns poucos casos a tecnologia dos módulos híbridos compactos de manobra, justamente onde a limitação do espaço disponível foi determinante para sua adoção.

2.1 MANUTENÇÃO NOS SISTEMAS ELÉTRICOS

Não é preciso aqui discorrer sobre a importância e os detalhes que envolvem a necessidade de manter operacional as instalações elétricas das subestações e linhas de transmissão que compõem os sistemas elétricos, desde que estes foram implantados e enormemente expandidos, passando pela grande evolução em termos dos materiais, técnicas de prospecção, ferramental e instrumentação, além das metodologias aplicadas e capacitação de pessoal.

Entrando diretamente no assunto, a CPFL já há um certo tempo buscava resolver o impacto em seus indicadores da limitação que representa efetuar as manutenções preventivas e corretivas em equipamentos de, principalmente, vãos de entrada de linhas de transmissão, muito numerosos, além dos de conexão dos transformadores. Os desligamentos são inevitáveis e a área de operação sempre reluta em sua liberação. Por vezes, os tempos despendidos nas tarefas são longos, em boa medida pela antiguidade e obsolescência de componentes e partes dos equipamentos do vão, com dificuldade de reposição, bem como para garantir a segurança no trabalho das equipes empregadas, com atividades executadas ao lado de setores mantidos energizados na subestação.

O emprego de subestações e transformadores móveis é tradicional na liberação dos vãos de transformação que substituem, mas não se pode contar com isto quando se trata de outros equipamentos, dada a priorização para os primeiros. Porém, a quantidade disponível dessas soluções frente às necessidades das distribuidoras sempre provocou uma “fila” de uso, sem contar que em muitos casos sua utilização é impeditiva, por questões de acesso e posicionamento seguro. Além disso, várias vezes há restrição operativa, como na capacidade disponível de atender os carregamentos prospectivos nas instalações. Por fim, não se pode esquecer também dos custos de licenças e liberações de tráfego exigidos.

2.2 EQUIPAMENTOS MÓVEIS, TRANSPORTÁVEIS E RELOCÁVEIS

Então, após prospectar o mercado, no início dos anos 2000 a CPFL conseguiu, com um custo-benefício satisfatório, um fabricante que desenvolvesse um equipamento para substituir, quando de manutenção, os disjuntores de vãos dos transformadores de potência até 138 kV, adotando novas premissas nesta aplicação. Dentre estas, corrente nominal máxima até 420 A (potências até 100 MVA), capacidade de interrupção simétrica máxima de 31,5 kA, não existência de religamento (somente uma manobra de abertura, com fechamento “rápido” por seccionador especial incorporado, após o fechamento prévio lento da unidade interruptora) e, sobretudo, ser um conjunto que pudesse ser montado e desmontado para transporte.

Tal solução foi muito bem sucedida e a CPFL a utiliza até hoje, tendo comprado mais uma unidade no presente ano. Entretanto, não é possível abrir mão dos religamentos, inclusive o inicial rápido, em disjuntores de linhas de transmissão, para não mencionar o imperativo de corrente nominal de ao menos 1250 A (capacidade de transporte ideal mínima de 300 MVA). Naquela mesma época, as tentativas de viabilizar um disjuntor móvel redundaram em custos proibitivos.

Com tal experiência, um novo conceito surgiu, como uma inovação para a CPFL. Até então, a ideia era a de que um equipamento concebido para substituir outro temporariamente, em situações típicas de manutenção ou emergência, após o que seria deslocado para outro local e para outro serviço similar, seria normalmente construído sobre a plataforma de um reboque, ou semirreboque rodoviário, para ser tracionado por cavalos mecânicos e transportado para as instalações da concessionária ao longo de sua área geográfica de serviço. Tal é o caso das subestações e transformadores móveis, de longe os mais importantes para utilização. Mas um equipamento que seja montável e desmontável a cada utilização pode dispensar a parte rodante, sendo transportado em caminhões que a concessionária já possui para outras tarefas, ou eventualmente alugados no mercado. Isto proporciona uma apreciável redução no custo de fabricação e, inclusive, de manutenção, dispensando, ainda, licenças para trafegar. Naturalmente, deverá haver recursos para içamento nas operações de embarque e desembarque, que normalmente já fazem parte do plantel da concessionária.

Então, com a expansão dos sistemas elétricos da CPFL, substanciada em planos de obras consolidados, sincronizados com as revisões tarifárias do órgão regulador, e, em certa medida, a pressão para a execução de um crescente programa de manutenções em equipamentos, em 2015 houve a oportunidade de orçar e buscar novamente uma solução para os vãos de entradas de linhas de transmissão, pensando-se, mais uma vez, num disjuntor móvel.

Porém, considerando que a evolução tecnológica tem permitido projetar e construir equipamentos elétricos crescentemente compactos, robustos e funcionais, além de associados em módulos blindados únicos com dimensões e pesos aliados à melhora na confiabilidade e disponibilidade de suas funções, ofertados por um mercado favorável, o conceito adotado foi o de um módulo híbrido compacto, com isolamento em gás SF₆, fixado a uma plataforma rígida que pudesse ser simultaneamente içada para um reboque, ou semirreboque rodoviário, e arrastada, quando no solo da subestação ou vão da linha, para a melhor posição entre pórticos e estruturas suportes dos equipamentos existentes, por dispor de uma superfície inferior lisa e confeccionada para tanto.

Então, a partir de uma especificação técnica da CPFL (documento GED nº 16665) com os requisitos acima, a ABB projetou o novo equipamento embasado em seu já bem sucedido módulo híbrido compacto de manobra tripolar do modelo *PASS M0*, tensão nominal 145 kV, corrente nominal 2500 A e contendo as funções de um disjuntor (inclusive ciclo de operações com religamento rápido, típico para linhas de transmissão), um seccionador com lâmina de aterramento integrada e transformadores de corrente do tipo bucha (para serviços de proteção e medição), com todo o conjunto atendendo às exigências da normalização técnica IEC 62271-205:2008 – *Compact switchgear assemblies for rated voltages above 52 kV* – e os requisitos da norma IEEE 693-2005 – *Recommended Practice for Seismic Design of Substations*.

E as modificações que a ABB teve que nele introduzir para atender as necessárias características levou a soluções diferentes para as dimensões máximas, notadamente a altura, e ao mesmo tempo garantindo a minimização do peso total para içamento e transporte, de modo a enquadrar-se na legislação de trânsito que permite o livre tráfego, sem limitações de horário, emissão de licenças especiais e rotas de transporte programadas, conforme a Resolução nº 210/2006 do Conselho Nacional de Trânsito. E, igualmente, para permitir de forma segura as ações de embarque e desembarque, a partir das plataformas dos reboques rodoviários e do solo, por meio de guindautos padronizados da CPFL para suas tarefas de obras e manutenções. Com isto, fica padronizada a relocabilidade do equipamento.

2.3 DETALHES GERAIS DO MÓDULO HÍBRIDO COMPACTO RELOCÁVEL

O diagrama unifilar especificado para o equipamento está mostrado na Figura 1. Nos vãos junto aos quais será instalado, o compartimento do disjuntor deverá ficar voltado para o lado da fonte de energia, em geral uma linha de transmissão. As funcionalidades que o módulo híbrido compacto embute permite que os equipamentos convencionais similares possam ser substituídos temporariamente, para manutenção, unitariamente ou todos de uma vez.

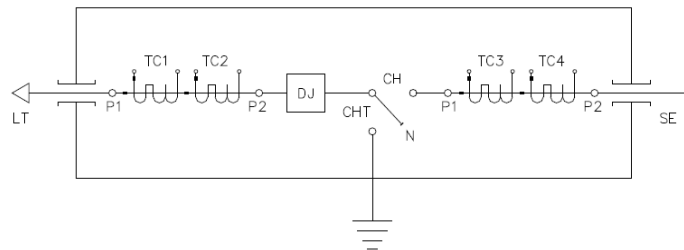


FIGURA 1 – Unifilar do Módulo Híbrido Compacto

Para orientar o fabricante, a CPFL anexou em sua especificação um desenho dimensional de semirreboque do mercado, como condição mínima na concepção do projeto, visando o embarque e transporte do módulo compacto relocável.

Assim, a ABB submeteu sua concepção à CPFL e a aprovação final do projeto está ilustrada no conjunto de desenhos nas Figuras 2 a 6 a seguir. Mais à frente, seguem as Figuras 7 a 17, com fotografias do que foi efetivamente fabricado e entregue, mostrando vários detalhes.

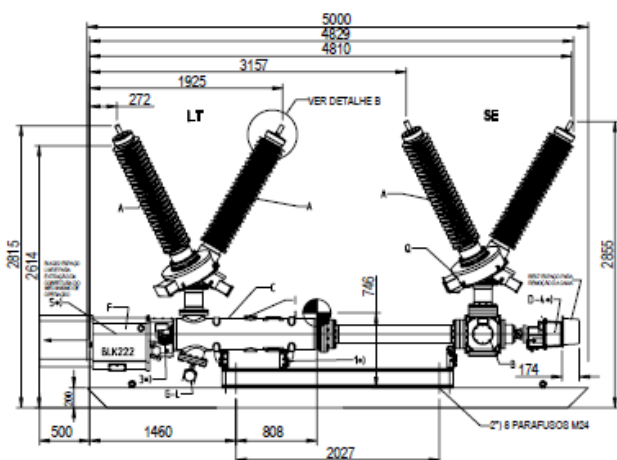


FIGURA 2 – Vista de Perfil

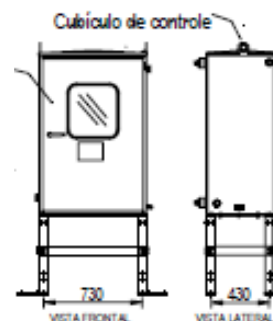


FIGURA 3 – Cubículo de Controle

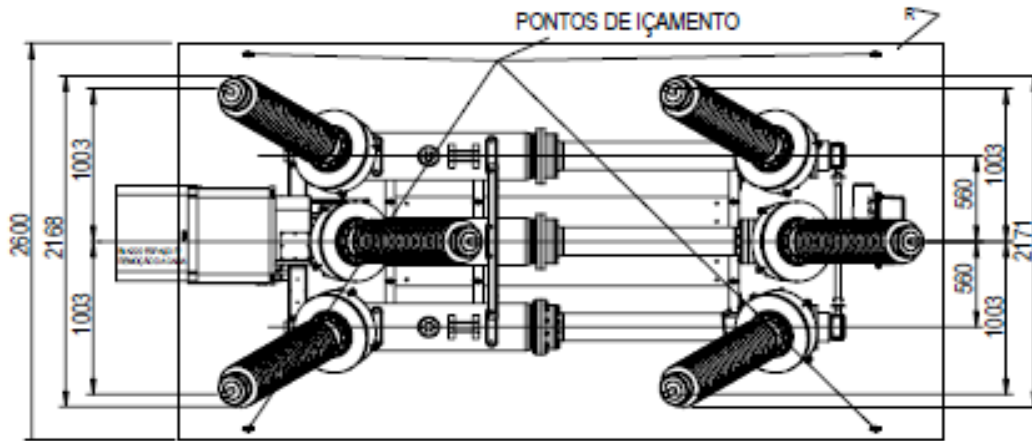


FIGURA 4 – Vista de Topo

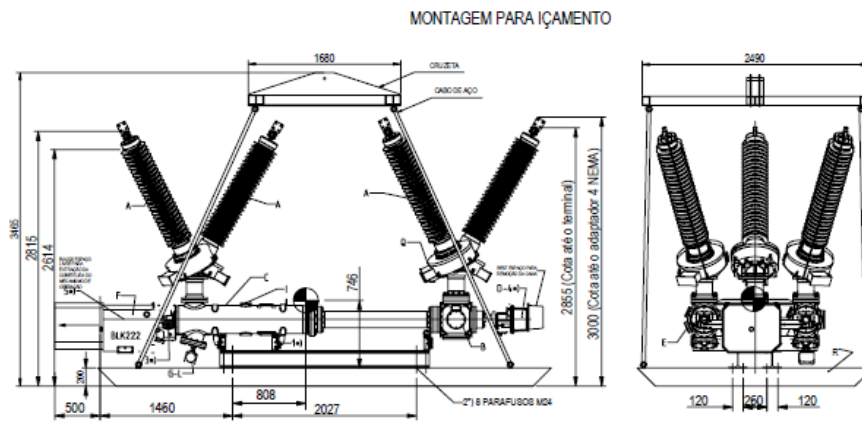


FIGURA 5

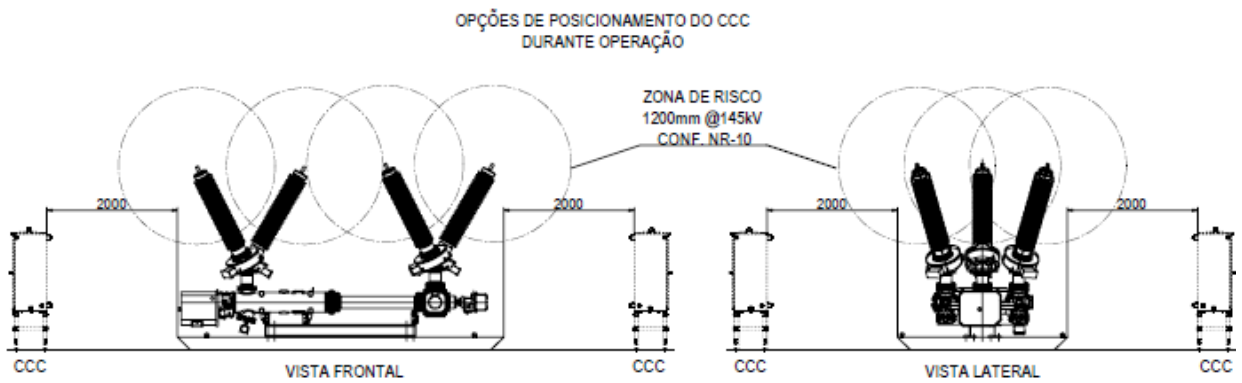


FIGURA 6



Fig. 7: Detalhe do içamento, mostrando a cruzeta dedicada e seus cabos, com o módulo compacto ainda no solo



Fig. 8: Detalhe do içamento, mostrando a cruzeta dedicada e seus cabos, com o módulo compacto sendo suspenso



Fig. 9: içamento do conjunto para embarque em caminhão comum



Fig. 10: Detalhe da fixação do cubículo à plataforma, para transporte

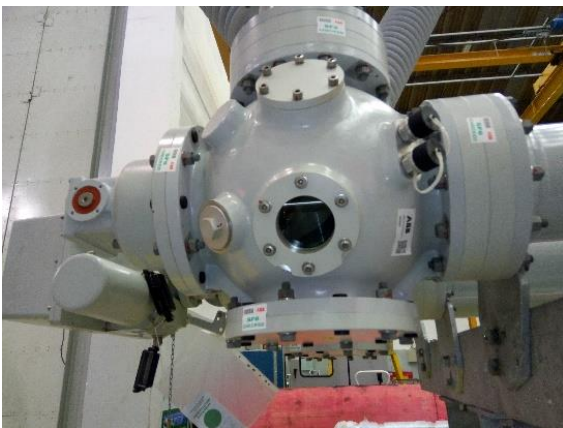


Fig. 11: Janela de visualização da posição física do seccionamento principal e de aterramento



Fig. 12: Acionamento do disjuntor, com detalhe da janela de indicação de carga da mola



Fig. 13: Indicador de posições do seccionamento principal e de aterramento



Fig. 14: Fixação dos cabos de controle na plataforma



Fig. 15: Cubículo central de controle (CCC)



Fig. 16: Vista inferior do cubículo de controle, com os terminais de fixação dos cabos



Figura 17 – Módulo híbrido compacto relocável de 145 kV montado para transporte. À direita, embaixo na foto, vê-se a cruzeta de içamento; mais ao fundo, no canto da plataforma à direita, vê-se o caixote de madeira contendo os cabos de içamento com o conjunto de anilhas de enganchamento; e fixados sobre a plataforma de arraste, enrolados em volta do equipamento, os cabos de controle.

2.4 CARACTERÍSTICAS NOMINAIS

São as seguintes as principais características do módulo híbrido compacto relocável:

Tensão nominal.....	145 kV	Corrente suportável 3s.....	40 kA
Tensão impulso atmosf.....	650 kV	Crista corrente suportável.....	104 kA
Isolação contatos abertos..	750 kV	Fator primeiro polo.....	1,5
Tensão frequência nom.....	275 kV	Sequência operação.....	O-0,3s-CO-15s-CO
Isolação contatos abertos..	315 kV	Capac. inter. fora sincron.....	10 kA
Frequência nominal.....	60 Hz	Capac. inter. linhas vazio.....	63 A
Corrente nominal.....	2500 A	Pressão nom. gás.....	0,60 MPa
Capacidade interrupção.....	40 kA	Pressão alarme.....	0,56 MPa
		Pressão bloqueio.....	0,54 MPa

O peso total do conjunto, considerando o módulo híbrido compacto e sua plataforma, ficou em 4056 kgf. O cubículo central de controle pesa 350 kgf. A cruzeta e os cabos de içamento pesam quase 405 kgf. A massa total de gás é cerca de 40 kg. Assim, o peso total de transporte é de praticamente 4810 kgf.

2.5 EXEMPLOS DE VÃOS CONVENCIONAIS EM SUBESTAÇÕES

As figuras 18 a 21 a seguir ilustram os tipos de vãos em subestações convencionais, isoladas no ar, onde se pode utilizar o módulo híbrido compacto relocável, para obras de ampliação de instalações, substituição de equipamentos obsoletos ou falhados e manutenção programada de equipamentos.



Fig. 18: Entradas de linhas de transmissão, com estruturas metálicas



Fig. 19: Entradas de linhas de transmissão, com estruturas em concreto



Fig. 20: Arranjo com barramentos rígidos

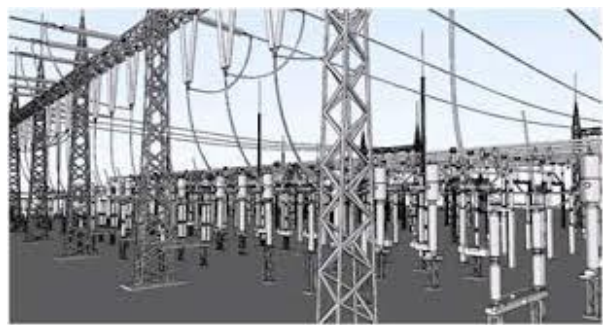


Fig. 21: Arranjo com barramentos flexíveis

3.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho visou apresentar uma síntese do desenvolvimento de uma “ferramenta” para utilização em atividades de campo em subestações de distribuição, e até em vãos ao longo de linhas de transmissão, voltadas às obras de implantação e ampliação, bem como serviços de manutenção (programada e de emergência), efetuadas tipicamente em equipamentos elétricos de alta tensão, até 145 kV.

A ferramenta, o módulo híbrido compacto de manobra relocável, foi concebida a partir da consolidação dos últimos desenvolvimentos tecnológicos dos fabricantes de equipamentos elétricos de alta tensão, visando confiabilidade, robustez, redução da necessidade de manutenção e redução do custo das instalações elétricas onde são aplicados, tanto na implantação como ao longo da vida útil. E também dos requisitos práticos do usuário, isto é, as empresas distribuidoras do setor elétrico.

É preciso dizer, também, que na CPFL o conceito aqui aplicado de relocabilidade, aliado ao da modularidade, já foi estendido para outros componentes de uma subestação de energia, sendo alguns deles já existentes, como as subestações móveis e os transformadores móveis, e outros igualmente de concepção e aquisição recente e simultânea à deste módulo híbrido relocável, isto é, religadores de média tensão relocáveis e reguladores de tensão móveis. Com isto, é possível até montar subestações provisórias, ainda que com algumas restrições.

Assim, com a contribuição dos fabricantes e fornecedores dos equipamentos, houve um salto significativo para as distribuidoras enfrentarem, a um custo-benefício aceitável, os desafios que têm em termos construtivos, operativos e de manutenção de seus sistemas elétricos, que possuem uma enorme variedade de soluções técnicas, oriundas de um legado que se mescla à incessante evolução tecnológica em busca da eficiência presente.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Norma Técnica IEC nº 62271-205/2008 (*Compact switchgear assemblies for rated voltages above 52 kV*).
- (2) Norma Técnica IEEE Std. 693-2005 – *Recommended Practice for Seismic Design of Substations*.
- (3) Especificação Técnica CPFL GED nº 16665, versão 1.0, de 06/11/2015.
- (4) Resolução CONTRAN nº 210/2006, de 13/11/2006.

DADOS BIOGRÁFICOS



Enéas Bittencourt Pinto

Nascido em 1957 em São Paulo – SP, possui graduação em Engenharia Elétrica pela UNICAMP (1981), pós-graduação em Administração da Qualidade e Produtividade pelo Instituto Salesiano Dom Bosco – UNISAL (1992) e especialização em Administração Avançada de Gestão de Energia pela FGV (1997). É engenheiro eletricitista da CPFL Energia desde 1982, no cargo atual de Especialista, com vasta experiência em especificação, aquisição e avaliação técnica relativas a equipamentos elétricos de alta tensão até 145 kV; levantamentos de dados, inspeções de campo, ensaios elétricos, acompanhamentos e suporte técnico em montagens, comissionamentos e manutenções em ambientes energizados (pátios de subestações e faixas de linhas de transmissão).

Pablo Issao Umetsu

Nascido em 1979, natural de São Paulo – SP, é Engenheiro Eletricista pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, pós-graduado em Administração Industrial pela Fundação Vanzolini, certificado PMP pelo Project Management Institute, exerce atualmente a função de Gerente de Projetos na divisão de Disjuntores e Módulos Híbridos de Alta Tensão na ABB (PGHV).

Glauco Falcão

Nascido em 1988, natural de Guarulhos – SP, graduado em Engenharia de Automação e Controle pela Faculdade Eniac de Guarulhos (2015), Tecnologia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2011) e Técnico em Automação Industrial pelo Centro Paula Souza (2006), é atualmente Engenheiro de Aplicação e Vendas para soluções híbridas e disjuntores tipo tanque morto de alta tensão na empresa ABB Ltda., exercendo a função de gerente local de produtos encapsulados em matéria metálica e transformadores híbridos para eletrificação.

Douglas Thomaz Rodrigues

Nascido em 1990, natural de São Paulo – SP, formado em Engenharia Elétrica em 2014, Guarulhos – SP. Atuando na área de projetos elétricos e eletromecânicos desde 2005 e na ABB desde 2008 na área de Engenharia de Produtos de Alta Tensão (PGHV). Atualmente no cargo de engenheiro de projetos, responsável por módulos híbridos e disjuntores de tanque vivo, de 72,5 a 550 kV.