



06 a 10 de Outubro de 2008
Olinda - PE

Metodologia e Ferramental para Substituição em Linha Viva de Transformadores de Distribuição

Mário Seixas Cabussú	Dailton Pedreira Cerqueira	Cleuber Sobreira S. Chaves
COELBA	COELBA	COELBA
mcabussu@coelba.com.br	dcerqueira@coelba.com.br	cchaves@coelba.com.br
Marcelo Antonio Ravaglio	Edemir Luiz Kowalski	José Arinos Teixeira Júnior
LACTEC	LACTEC	LACTEC
marcelo@lactec.org.br	edemir@lactec.org.br	arinos@lactec.org.br

PALAVRAS CHAVE:

Linha Viva,
Manutenção,
Rede de distribuição,
Remanejamento de transformadores.

DADOS DA EMPRESA:

Nome: COELBA
Endereço: Granjas Rurais Pres. Vargas, s/n
Telefone/fax: (71) 3390-6165
E-mail: mcabussu@coelba.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados do Projeto de P&D “Desenvolvimento de Metodologia e Ferramental para Manutenções em Linha Energizada em Redes de Distribuição”, realizado para a COELBA e LACTEC, nos ciclos 2005 e 2006 da ANEEL, no tocante à metodologia desenvolvida para a substituição de transformadores de média tensão, sem causar desligamentos aos consumidores alimentados em baixa tensão. Por fim, enumera as vantagens da adoção desta nova tecnologia na manutenção das redes de distribuição, permitindo a redução dos custos, melhoria dos índices de desempenho, otimização do emprego de equipes de linha viva e, especialmente, maior satisfação dos consumidores.

1. INTRODUÇÃO

Em busca de melhores índices de DEC/FEC e uma maior satisfação do consumidor, a COELBA tem investido na pesquisa de novas tecnologias e metodologias de trabalho em sua rede de distribuição utilizando-se de técnicas de linha viva. Muitas técnicas ainda não existem ou apresentam dificuldades devido a complexidade das tarefas ou falta de ferramental adequado e seguro para a realização destas atividades. Este artigo apresentará uma metodologia desenvolvida para a realização da atividade de substituição de transformadores de distribuição, de modo a garantir a segurança de eletricitistas e consumidores. Também, apresenta a proposta para um novo padrão para a instalação das buchas de baixa tensão na parte inferior do tanque dos transformadores de distribuição, visando possibilitar a realização de tarefas de manutenção na rede secundária, sem o emprego de equipes de linha viva.

2. PROCEDIMENTO PROPOSTO

Na substituição de transformadores de distribuição, sem o desligamento da rede de distribuição, optou-se em utilizar um transformador auxiliar, ligado em paralelo ao equipamento em remanejamento, para prover a alimentação da rede de baixa tensão, durante a manutenção em linha viva.

O transformador auxiliar deverá possuir potência nominal igual ou superior a do transformador de distribuição em remanejamento, impedância de curto circuito da mesma ordem de grandeza e comutador de derivações para permitir o ajuste da mesma relação de tensões. Além disso, ele deve ser instalado em um cubículo blindado, similar à unidade móvel da COELBA, mostrada na Figura 1.

O conjunto deve possuir chaves com elos fusíveis adequados para a proteção primária e um disjuntor de baixa tensão, com características apropriadas, para a proteção secundária.



FIGURA 1 – UNIDADE MÓVEL E TRANSFORMADOR EM SUBSTITUIÇÃO

O procedimento proposto para a substituição de transformadores de distribuição, em linha viva, inclui as seguintes atividades:

- a) Isola-se toda a área onde será realizado o serviço, incluindo o poste onde o transformador a ser substituído está instalado e um poste adjacente, a ser utilizado para a alimentação do transformador auxiliar pertencente à unidade móvel.
- b) Posiciona-se a unidade móvel ao lado do poste adjacente escolhido e providencia-se a instalação de um ponto de aterramento.
- c) Eleva-se o poste articulado da unidade móvel, respeitando a distância de segurança a ramais de alimentação de consumidores e ramais telefônicos.
- d) Certifica-se que as chaves-fusíveis da unidade móvel e o disjuntor de baixa tensão encontram-se abertos.
- e) No poste adjacente, um eletricista de baixa tensão deverá isolar com coberturas rígidas ou flexíveis as fases onde serão realizadas as conexões em paralelo da baixa tensão do transformador auxiliar.
- f) Ligam-se as fases correspondentes da rede de baixa tensão aos terminais do disjuntor de baixa tensão (aberto), com condutores isolados de comprimento apropriado, observando-se a correta identificação das fases.
- g) Efetua-se a ligação das fases correspondentes da rede de média tensão aos terminais das chaves-fusíveis, empregando-se uma equipe de linha viva e adotando-se os procedimentos convencionais de segurança.

- h) Fecham-se as três chaves fusíveis da unidade móvel, energizando a alta tensão do transformador auxiliar.
- i) Medem-se as diferenças de tensão entre os terminais de mesma fase no disjuntor de baixa tensão, na posição aberta e compara-se:
 - i. Se as tensões medidas nos três pólos do disjuntor não forem da mesma ordem de grandeza, deve haver inversão de fases na ligação dos terminais secundários do transformador auxiliar à rede de baixa tensão, o que deverá ser corrigido antes de prosseguir o procedimento.
 - ii. Se as tensões medidas forem da mesma ordem de grandeza, porém superiores a aproximadamente 5 V, será necessário alterar a derivação (*tap*) do transformador auxiliar, exigindo sua prévia desenergização. Quando as tensões medidas no lado do transformador auxiliar forem inferiores àquelas medidas no lado da rede de baixa tensão, deve-se reduzir a derivação atual, a fim de elevar a tensão nos terminais secundários, ou aumentar a derivação atual, em caso contrário.
 - iii. Se as tensões medidas nos três pólos do disjuntor forem inferiores a aproximadamente 5 V, aciona-se a manopla de operação do disjuntor, fechando-o e estabelecendo a ligação em paralelo do transformador auxiliar com o transformador de distribuição em substituição.
- j) Abrem-se as chaves-fusíveis do transformador de distribuição em substituição, por equipe de linha viva.
- k) Desfazem-se as conexões entre os terminais secundários do transformador de distribuição em substituição e a rede de baixa tensão, ora alimentada pelo transformador auxiliar, isolando-as adequadamente.
- l) Retira-se o transformador de distribuição antigo e instala-se o novo, por equipe de linha viva, adotando-se todos os critérios de segurança exigidos para esta tarefa.
- m) Restabelecem-se as ligações entre os terminais de baixa tensão do novo transformador de distribuição com os condutores da rede de baixa tensão, observando-se a seqüência de fases. Deve-se lembrar que, ao ligar os terminais secundários do transformador à rede de baixa tensão, os terminais de alta tensão serão energizados.
- n) Fecham-se as três chaves fusíveis que alimentam o novo transformador de distribuição, novamente estabelecendo ligação em paralelo com o transformador auxiliar.
- o) Abre-se o disjuntor de baixa tensão e as três chaves fusíveis que alimentam o transformador auxiliar.
- p) Desfazem-se as interligações entre a unidade móvel e as redes de média e de baixa tensão.
- q) Recolhe-se todo o material utilizado e o armazena em compartimento apropriado na unidade móvel.

A validação da metodologia proposta para a substituição de transformadores de distribuição, sem causar desligamento dos consumidores de baixa tensão, foi realizada na rede de distribuição da COELBA, no bairro de Calabetão, em Salvador. Na oportunidade, foi efetuada a substituição de um transformador de distribuição de classe 15 kV, 75 kVA, alimentado em 11,4 kV, contando com a participação de uma equipe de linha viva da COELBA e outra equipe de eletricitistas de baixa tensão de empreiteira.

A Tabela 1 resume os valores de tensão e corrente medidos durante a realização da tarefa, mostrando as condições iniciais de carregamento do transformador de distribuição a ser substituído, assim como as tensões medidas entre os pólos do disjuntor de baixa tensão, em estado aberto. Como as tensões medidas nos três pólos do disjuntor (as três fases) apresentaram valores quase nulos, antes do fechamento do disjuntor de baixa tensão, pôde-se certificar a não inversão de fases entre os dois circuitos secundários ou a necessidade de alteração da derivação do transformador auxiliar, permitindo assim o estabelecimento da ligação em paralelo dos dois transformadores.

Após o fechamento do disjuntor de baixa tensão, pode-se observar na Tabela 1 que a maior parte da carga da rede secundária passa a ser alimentada pelo transformador auxiliar, em função de sua maior potência. Neste caso, ainda que os valores reais da impedância de curto-circuito dos dois transformadores não sejam conhecidos, pode-se supor que eles sejam da mesma ordem de grandeza, pois a carga alimentada pelos transformadores é aproximadamente proporcional a relação entre a potência nominal de cada equipamento e a potência total do banco de transformadores.

TABELA 1 – GRANDEZAS ELÉTRICAS MEDIDAS DURANTE A SUBSTITUIÇÃO DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO

Condição	Transformador	Carga (kVA)	Correntes Medidas (A)				Tensões nos Transformadores (V)			Tensões no Disjuntor (V)			Erro de Relação (%)
			X1	X2	X3	X0	X1-X2	X2-X3	X3-X1	X1 ₁ -X1 ₂	X2 ₁ -X2 ₂	X3 ₁ -X3 ₂	
Condições Iniciais (Disjuntor Aberto)	75 kVA	18,4	61	36	45	21	226	223	225	0	0	0	-2,5
	600 kVA	-	-	-	-	-	230	232	229				
Paralelo Estabelecido (Disjuntor Fechado)	75 kVA	2,0	8	4	4	-2	229	228	232	0	0	0	0,0
	600 kVA	17,3	54	32	46	19	229	228	232				
Aberta Fase C - 75 kVA (Disjuntor Fechado)	75 kVA	3,4	-3	5	19	4	227	227	217	0	0	0	-0,9
	600 kVA	16,7	65	31	31	13	229	232	216				
Aberta 3 Fases- 75 kVA (Disjuntor Aberto)	75 kVA	-	-	-	-	-	227	227	227	-	-	-	-1,1
	600 kVA	19,9	63	35	54	13	229	231	228				

OBS.: Valores em vermelho são estimados

Durante o desligamento da alta tensão do transformador em substituição, na abertura da primeira chave fusível, realizou-se medição das grandezas elétricas no secundário dos dois transformadores. Apesar de ser uma condição transitória e que provoca desequilíbrio acentuado nas tensões e correntes desenvolvidas na rede de baixa tensão, não se observou situação de risco na operação realizada.

A partir dos resultados obtidos e observações realizadas no ensaio de campo, conclui-se que o procedimento proposto para a substituição de transformadores de distribuição em linha viva é seguro, de execução relativamente simples e não requer investimentos significativos para sua realização.

3. NOVO PADRÃO PARA O POSICIONAMENTO DAS BUCHAS DE BAIXA TENSÃO

Entre as várias tarefas no serviço de manutenção em redes de distribuição, a tarefa que é executada em postes com transformadores é aquela que necessita de maior cuidado e muitas vezes exige seu desligamento para a realização do serviço, uma vez que o electricista necessita invadir a região contaminada pelo circuito de alta tensão. Neste caso, a distância entre a base das buchas de alta tensão e as buchas da baixa tensão é menor que a distância mínima de segurança necessária para a execução da atividade, sem a necessidade de instalação de barreira isolante, conforme pode ser visto na Figura 2.



FIGURA 2 - DISTÂNCIA ENTRE AS BUCHAS DE ALTA E BAIXA TENSÃO INFERIOR À DISTÂNCIA MÍNIMA DE SEGURANÇA

Ao realizar a manutenção nos terminais de baixa tensão de transformadores de distribuição, a distância entre as buchas de alta e baixa tensão é, em média, de apenas 40 cm. Estudos desenvolvidos pelo LACTEC, baseados em normas da IEC e IEEE, sobre distância mínima de segurança em redes de distribuição de 13,8 kV determinam que a distância mínima de aproximação é 60 cm, levando-se em consideração as componentes elétrica e ergonômica. Assim sendo, para a realização de serviços na rede de baixa tensão, sem seu desligamento, deve-se obrigatoriamente inserir entre a rede primária e rede secundária uma barreira mecânica que impeça a aproximação do eletricitista para distâncias inferiores à recomendada.

O uso de barreiras isolantes é uma solução bastante utilizada em manutenções de máquinas e equipamentos energizados e também em serviços realizados em subestações, porém sua aplicação no serviço em redes de baixa tensão exigiria a presença de equipes de linha viva para a colocação das barreiras isolantes, encarecendo significativamente o serviço e indisponibilizando as equipes de linha viva para a realização de atividades mais importantes.

Pela necessidade de realizar o maior número de atividades possíveis na rede de baixa tensão, em linha viva, incluindo a substituição de condutores e do próprio transformador de distribuição, sem causar desligamentos nos consumidores e empregando apenas equipes de eletricitistas de baixa tensão, propôs-se alterar a posição convencional das buchas de baixa tensão dos transformadores, posicionando-as mais próximas da base do tanque.

Com a colaboração da Romagnole, fabricante conceituado de transformadores de distribuição, concluiu-se sobre a possibilidade de alterar o posicionamento convencional das buchas de baixa tensão, instalando-as na parte inferior do tanque. Esta solução resolveu parcialmente os problemas levantados pelas equipes de eletricitistas, pois o reposicionamento das buchas para a parte inferior do tanque do transformador permite a realização de serviços de manutenção na rede de baixa tensão, sem que a área contaminada pela alta tensão seja invadida.

As Figuras 3 e 4 mostram detalhes do protótipo fabricado. Trata-se de um transformador trifásico, com tensão nominal 13.800 - 220/127 V e potência nominal de 45 kVA, atendendo o padrão COELBA.

Para evitar vazamento do óleo isolante, com conseqüente perda de estanqueidade do novo transformador de distribuição, empregou-se buchas de baixa tensão confeccionadas em poliéster, importadas dos Estados Unidos, porém acredita-se que buchas convencionais de porcelana também poderiam ser usadas, com cuidados extras na sua vedação com o tanque.

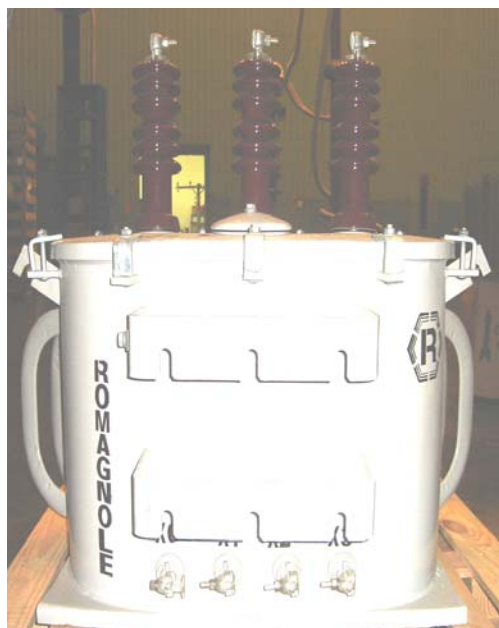


FIGURA 3 - TRANSFORMADORA COM AS BUCHAS DE BAIXA TENSÃO REPOSICIONADAS



FIGURA 4 - DETALHE INTERNO DAS CONEXÕES ENTRE OS TERMINAIS DO ENROLAMENTO DE BAIXA TENSÃO

Ensaio de tipo e rotina no transformador de distribuição com padrão modificado, realizados no Laboratório de Alta Tensão do LACTEC, indicaram resultados satisfatórios, não ocorrendo perda de estanqueidade em decorrência do reposicionamento proposto para as buchas de baixa tensão. Atualmente este transformador encontra-se na rede de distribuição da COELBA na cidade de Salvador.

A avaliação do protótipo construído em laboratório indicou que a nova configuração apresenta potencial elevado para ser adotada como padrão para a rede de distribuição da COELBA. Seu emprego torna possível a realização de manutenções na rede de baixa tensão, sem o desligamento da alimentação do transformador de distribuição, facilitando a execução da tarefa e dispensando a intervenção de equipes de linha viva para a instalação de barreiras isolantes entre os ramais primário e secundário.

4. CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida para a substituição de transformadores de distribuição, em linha viva, são totalmente viáveis, seguras, de baixo custo e não requerem o desligamento dos consumidores atendidos em alta e baixa tensão. Para tanto, foi criado um conjunto inédito de procedimentos para a realização desta tarefa em linha viva.

Em face à necessidade atual de realizar o maior número possível de intervenções nas redes de distribuição sem causar o desligamento de consumidores, propõe-se alterar a posição convencional das buchas de baixa tensão dos transformadores de distribuição, posicionando-as próximas à base do tanque. Deste modo, facilita-se o acesso dos eletricitistas aos terminais secundários dos transformadores, respeitando a distância mínima de segurança exigida para a realização de serviços com a rede de baixa tensão energizada.

Por fim, pode-se afirmar que as técnicas de linha viva desenvolvidas deverão permitir a otimização da rotina de manutenção de redes de distribuição na COELBA, com conseqüente redução de custos, melhoria dos índices de desempenho, alocação eficiente das equipes de linha viva e, especialmente, maior satisfação dos consumidores.

5. BIBLIOGRAFIA

COPEL / LACTEC. “Distâncias mínimas de Segurança”. Relatório LACTEC 188/2005, Curitiba, Paraná.

IEC 61472. “Live working – Minimum approach distances for a.c. systems in the voltage range 72,5 kV to 800 kV – A method of calculation”, Second Edition, September 2004.

IEEE “Guide for Maintenance Methods on Energized Power Lines”. IEEE Std 516-1995 (Revision of IEEE Std 516-1987).

IEEE “Recommendations for Safety in Live Line Maintenance”, IEEE PAS, v.87, n.2, Feb.1968.

NBR 11855 “Plataforma isolante para trabalho em redes energizadas de distribuição”, ABNT.

NBR 11856 “Ferramentas e acessórios para trabalhos em redes energizadas de distribuição”, ABNT.

NBR 5244 “Determinação da resistência relativa de isolantes sólidos à ruptura causada por descargas superficiais.”, ABNT.

NBR 5440 “Transformadores para Redes Aéreas de Distribuição - Características Elétricas e Mecânicas - Padronização”, ABNT, 1999.

Ravaglio, M.A., Kowalski, E.L et alli “Nova Configuração de Transformador de Distribuição”, III Congreso Internacional sobre Trabajos con Tensión y Seguridad en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (III CITTES), CIER, San Luis, Argentina, Abril de 2007.

Ravaglio, M.A., Kowalski, E.L et alli “Substituição de Cabos Aéreos em Redes de Média Tensão Energizada”, III Congreso Internacional sobre Trabajos con Tensión y Seguridad en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (III CITTES), CIER, San Luis, Argentina, Abril de 2007.