

DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS A SEREM IMPLANTADAS COMO SOLUÇÃO EM SISTEMAS DE ATERRAMENTO

C.A.Cavalcante,
CPFL Piratininga

J.A.Cipoli E.D.B. Nogueira, L.P. Pasqua
Cipoli Engenharia

Resumo - Este trabalho apresenta os resultados obtidos na pesquisa sobre a situação do condutor neutro e aterramentos da CPFL Piratininga e o desenvolvimento de materiais e técnicas a serem utilizados na rede de distribuição. As etapas do projeto desenvolvidas pela equipe do Mackenzie foram:

- Diagnóstico da situação do condutor neutro e dos aterramentos do sistema de distribuição** - através de levantamentos da documentação técnica existente na CPFL Piratininga, pesquisas de campo, medições e experiências de outras empresas.
- Mapeamento da resistividade do solo e aterramentos típicos já existentes** - através da divisão da área geográfica da PIRATININGA em quadriculas e realização de medições de resistividade do solo e aterramentos já existentes.
- Experiência com vários tipos de aterramento e Materiais em vários locais da área de concessão** - envolvendo: hastes de diversos comprimentos; hastes emendadas; hastes profundas; hastes em linha; utilização do poste da rede e de consumidores como ponto de aterramento; aterramento para reguladores de tensão, religadores e capacitores; aterramento para traços urbanos e rurais; aterramento de pára-raios; tipos de conexões (aperto e exotérmica); tipo de condutores (o cobre é muito sujeito a roubo); tratamento químico do solos.
- Recomendação para atualização das normas quanto a projetos, construção e manutenção de sistemas de aterramento da distribuição** - através da consolidação dos estudos e pesquisas realizados nas etapas anteriores, atualizando os documentos técnicos da CPFL Piratininga referentes a aterramento.
- Implantação das metodologias de medição, projeto e construção de sistemas de aterramento da distribuição** -

Palavras Chave – aterramento, resistividade do solo, resistência de aterramento, condutor neutro.

I. INTRODUÇÃO

Este informe foi preparado a partir dos estudos e das pesquisas, sob a responsabilidade da Universidade Mackenzie, desenvolvidos no Projeto de P&D “Desenvolver ferramenta computacional de análise do impacto de falta de neutro em redes aéreas primárias de distribuição associadas a desenvolvimento de novas tecnologias a serem implantadas como solução em sistemas de aterramento”. Teve por objetivo pesquisar, por amostragem, dentro da área de concessão da CPFL-Piratininga, a situação do condutor neutro e dos aterramentos, dados da resistividade do solo existentes, bem como efetuar experiências com vários tipos de aterramento e condutores alternativos ao

neutro de alumínio sujeitos ao furto.

II. ETAPA 1 – DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DO CONDUTOR NEUTRO E DOS ATERRAMENTOS DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Para a pesquisa foi escolhido o alimentador CLI 1301 da SE Campo Limpo. Os resultados obtidos foram:

▪ Corrente do neutro

A medição da corrente de desequilíbrio das cargas monofásicas do sistema primário do alimentador pesquisado apresentou valores baixos não sendo encontrado em nenhum ponto tensões calculadas entre o neutro e terra superiores a 10 V.

▪ Aterramentos

Os aterramentos pesquisados foram encontrados em boas condições de funcionamento apresentando os seguintes valores:

EQUIPAMENTO	RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO (Ω)
RV 007	9,2
RV 009	14,8
RV 007	38,2
ET 05111	85,0
ET 00370	30,4
ET 004441	27
ET 004442	15
ET 004175	102
ET 006941	78,4
ET CENTRO DE TREINAMENTO	64,2
	89,2



▪ Furto do condutor neutro

Durante os trabalhos de pesquisa ao longo do alimentador, detectamos um trecho de rede de distribuição onde ocorreu o furto do condutor neutro, entre a ET001773 e a chave 215CH002514, com extensão aproximada de 800 metros

Em levantamento efetuado, contendo 68 ocorrências em 12 meses desde 04/03/03 a 01/03/04 resultou em 47.986 metros de furto do condutor neutro (e de outros tipos em menor incidência) na área de concessão da CPFL Piratininga

▪ Fornecimento do neutro aos consumidores

Nas estações transformadoras pesquisadas foi constatado que, em sua grande maioria, não é fornecido o neutro da rede aos

consumidores. Esta situação, não atende as recomendações da NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão em seu item 4.2.2.2.4 e não auxilia a abertura dos equipamentos de proteção do consumidor ou do transformador em energizações acidentais. Quando ocorre uma falha na instalação interna do consumidor, a corrente de curto circuito para a terra, em muitos casos poderá não sensibilizar a proteção. Como a corrente é dada por $I_{cc} = V / [1 / Z_{eq,neutro} + 1 / R_{at} + R_{trafo}]$ (desprezando a resistência de contato e a impedância equivalente do sistema até o ponto da ocorrência) ela terá provavelmente uma intensidade inferior à de operação da proteção do consumidor, bem como a do transformador de distribuição uma vez que, $[R_{at} + R_{trafo}]$ geralmente tem valores de dezenas ou centenas de ohms.

Esta situação acarreta a elevação do potencial do local por tempo indeterminado. Falhas que não são interrompidas rapidamente pela abertura de um dispositivo de proteção, aumentam a probabilidade de um acidente. Falhas que persistem por vários minutos ou horas são as maiores responsáveis por acidentes fatais



Medições da tensão de Passo e de Toque

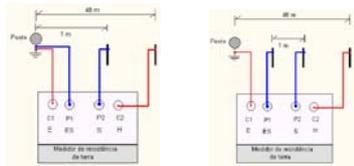
Com o objetivo de se verificar a consequência da ausência do condutor neutro nas estruturas aterradas da rede, foram realizadas medições. Para realizar as medições da resistência que determinam a tensão de toque foi utilizado o terrômetro de 4 terminais adotando-se os seguintes procedimentos após desconectar o sistema de aterramento do neutro da rede:

Toque

- a - Conectar o terminal "C1" e "P1" na descida do aterramento no poste;
- b - Conectar o terminal "C2" na haste cravada na terra, distante a 48 m do poste;
- c - Conecte o terminal "P2" na haste de potencial cravada a 1 metro do poste;
- d - Tirar a leitura do aparelho. Esta é a resistência efetiva R_t , entre o ponto de teste e o poste.

Passo

- a - Conectar o terminal "C1" à descida do aterramento, no poste;
- b - Conectar o terminal "C2" na haste cravada na terra, distante a 48 m do poste;
- c - Conectar firmemente os terminais "P1" e "P2" às hastes de teste, cravadas no solo, distanciadas de 1 metro;
- d - Medir a resistência efetiva entre a Primeira e a Segunda haste. Anotar a resistência indicada. Esta é a resistência efetiva R_{p1-2} ;
- e - Conectar agora firmemente os terminais "P1" e "P2" às hastes de teste, cravadas no solo, distanciadas de 1 metro;
- f - Medir a resistência efetiva entre a Segunda e a Terceira haste. A resistência medida agora é entre os pontos B e C, R_{p2-3} .



Estas medições foram realizadas em 5 equipamentos da rede, nos três reguladores de tensão, na ET-5111 e na ET-6941. A tensão de toque e de passo nas estruturas são calculadas pelas equações: $V_{toque} = I_{cc} \times R_t$ e $V_{passo} = I_{cc} \times R_p$.

A tensão máxima admissível de toque e de passo são calculadas pelas equações: $V_{toque} = (116 + 0,174 \times ps) / (\sqrt{t})$ e $V_{passo} = (116 + 0,696 \times ps) / (\sqrt{t})$

Onde:

- I_{cc} – corrente de curto circuito que circula pelo aterramento;
- R_t – Resistência medida a 1 m do poste conforme metodologia descrita.
- R_p – Resistência medida entre hastes distanciadas a 1 m do poste e entre hastes, conforme metodologia descrita.
- ps – resistividade superficial do solo
- t – tempo de atuação da proteção (que deve estar entre 0,03 e 3 segundos).

Para a simulação da tensão de Passo e de Toque nas estruturas, foram consideradas duas situações:

- Situação 1: energização acidental da estrutura considerando a perda do condutor neutro;

EQUIP.	R_{AT} (Ω)	ICC (A)	R_{TOQUE} (Ω)	V_{TOQUE} (V)	V_{TOQUE} MÁXIMA (V) ANSI – IEEEE 80-96		RESULTADO
					0,03 s	3 s	
RV007	9,2	823	4,72	3884	795,8	79,6	Tensão de toque superior ao máximo tolerável
RV009	14,8	525	5,94	3118			
RV015	38,2	207	18,0	3726			

EQUIP.	R_{AT} (Ω)	ICC (A)	R_{PASSO} (Ω)	V_{PASSO} (V)	V_{PASSO} MÁXIMA (V) ANSI – IEEEE 80-96		RESULTADO
					0,03 s	3 s	
RV007	9,2	823	$R_{p12} = 1,7$ $R_{p23} = 2,24$	1399 1843	1174	117,4	Tensão de passo superior ao máximo tolerável
RV009	14,8	525	$R_{p12} = 2,11$ $R_{p23} = 2,16$	1107 1134			
RV015	38,2	207	$R_{p12} = 4,2$ $R_{p23} = 3,7$	869 765			

Nota: O tempo de atuação do dispositivo de proteção deve ser tão rápido que nos leva a concluir também que as tensões de passo obtidas do RV 07 e RV 09 são superiores aos máximos toleráveis.

- Situação 2: energização acidental da estrutura considerando a existência do condutor neutro.

EQUIP	R_{AT} (Ω)	ICC _{NEUTRO} (A)	ICC _{AT} (A)	R_{TOQUE} (Ω)	V_{TOQUE} (V)	V_{TOQUE} MÁXIMA (V) ANSI – IEEEE 80-96		RESULTADO (*)
						0,03 s	3 s	
RV007	9,2	3127	68	4,72	321	795,8	79,6	Dentro dos limites desde que $t \leq 0,184$ s
RV009	14,8	3147,5	42,5	5,94	253			Dentro dos limites desde que $t \leq 0,297$ s
RV015	38,2	3184	16	18,0	288			Dentro dos limites desde que $t \leq 0,23$ s

EQ	R _{AT} (Ω)	ICC _N EUTRO (A)	ICC _{AT} (A)	R _{PASSO} (Ω)	V _{PASSO} (V)	V _{PASSO MÁXIMA} (V) ANSI – IEEE 80-96		RESULTADO (*)
						0,03 s	3 s	
RV 007	9,2	3127	68	R _{p12} = 1,7 R _{p23} = 2,24	115,6 152,3	1174	117,4	t ₁₂ dentro dos limites t ₂₃ dentro dos limites p/ t ₂₃ ≤ 1,78 s
RV 009	14,8	3147,5	42,5	R _{p12} = 2,11 R _{p23} = 2,16	89,7 91,8			DENTRO DOS LIMITES
RV 015	38,2	3184	16	R _{p12} = 4,2 R _{p23} = 3,7	67,2 59,2			

Os resultados obtidos para os demais equipamentos são semelhantes aos obtidos nas estruturas dos reguladores de tensão.

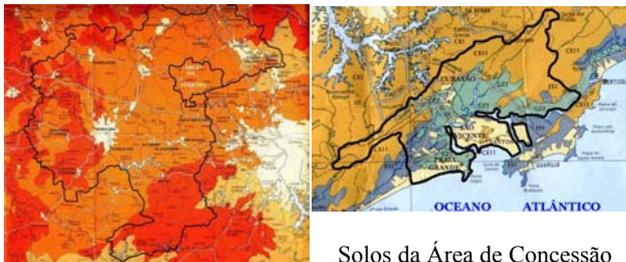
Portanto na existência do neutro da rede de distribuição não deve ocorrer no local das medições, tensões maiores que as suportáveis pelo corpo humano. A existência do condutor neutro interligado ao sistema de aterramento é fundamental para a redução dos potenciais de toque e de passo nas estruturas aterradas da rede de distribuição.

III . ETAPA 2 – MAPEAMENTO DA RESISTIVIDADE DO SOLO E ATERRAMENTOS TÍPICOS JÁ EXISTENTES

TIPOS DE SOLOS DA ÁREA DE CONCESSÃO

Para o início do desenvolvimento desta etapa, mapeamento da resistividade do solo, foi efetuado uma pesquisa sobre as características dos solos existentes na área de concessão da CPFL PIRATININGA.

O material atualizado existente sobre o assunto é descrito no Boletim Científico nº 45 intitulado SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO: *Descrição das Classes Registradas no Mapa Pedológico* – de autoria de João Bertoldo de Oliveira, publicado pelo INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (SP) em Junho de 1999.



Solos da Área de Concessão

Por se tratar de área extensa a identificação dos solos foi efetuada por conjuntos de municípios que constituem a área de concessão para futuras associações com as medições de resistividade.

MEDIÇÕES DA RESISTIVIDADE DO SOLO

Foram realizadas medições de resistividade do solo ao longo do alimentador CLI 1301 e em outros pontos da área de concessão, que foram associadas aos aterramentos existentes nos locais de medição. Os resultados dos cálculos das estratificações do solo indicam:

- A resistividade média da camada superficial do solo é de 213 Ωm.
- A espessura média da primeira camada do solo é de 1,5m.
- A resistividade média da segunda camada do solo é de 750 Ωm.
- A espessura média da segunda camada do solo é de 2,4m

FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Os cálculos de estratificação do solo e das resistências de aterramento foram executados com o auxílio de ferramenta computacional, que foi adquirido com a finalidade de se avaliar os resultados. Para tanto todas as medições de resistividade do solo e resistência de aterramento medidas no local, foram associadas aos sistemas de aterramento existentes. A partir destes dados utilizou-se da ferramenta computacional para os cálculos da estratificação do solo e das resistências de aterramento, com os seguintes resultados:

LOCAL	SISTEMA	VALOR MEDIDO (Ω) (1)	VALOR CALCULADO (Ω) (2)	(1) / (2) (%)
Campo de provas em Jundiá	Haste de 1,5 m cravada	164,2	175,9	+ 6,65
	Haste de 3m cravada	83,7	88,3	+ 5,21
	Haste de 6m cravada	8,9	3,2 (*) 8,6 (*)	- 178,12 - 3,48
Reguladores de tensão	RV007	9,2		
	RV009	14,8		
	RV015	38,2		
ET 005111	4 hastes alinhadas	82,3	65,2 (**)	- 27,6
ET 006941	1 haste	78,4	76,4	- 2,61
ET 004441	4 hastes alinhadas	27,0	29,1	+ 7,12
ET 004442	4 hastes alinhadas	15,0	12,9	- 16,27
Centro de Treinamento Americana	2 hastes alinhadas	64,2	63,5	- 1,1
	2 hastes alinhadas	89,2	81,7	- 9,18
	Haste de 3m cravada	49,6	46,3	- 7,12
	Poste de 9m-200	44,9	41,4	- 8,54
	Poste de 11m-200	36,9	39,9	+ 7,51

(*) – A medição da resistividade do solo não pôde ser realizada para a distância entre hastes de 32 m.

(**) – Há indicações de que no local o sistema de aterramento foi realizado com apenas duas hastes.

Pode ser observado que as aproximações entre valores medidos e valores calculados indicam a possibilidade da utilização desta ferramenta computacional para as estratificações do solo bem como dos cálculos da resistência de aterramento.

IV . ETAPA 3 – EXPERIÊNCIA COM VÁRIOS TIPOS DE ATERRAMENTO E MATERIAIS EM VÁRIOS LOCAIS DA ÁREA DE CONCESSÃO

HASTES DE ATERRAMENTO

Para a experiência com vários tipos de aterramento e materiais, foi montado um campo de provas de aterramento no terreno localizado em frente ao almoxarifado da CPFL PIRATININGA em Jundiá, com a instalação dos seguintes aterramentos: *haste de 6m cravada*; *haste de 3m cravada*; *haste de 1,5 m cravada*; *haste de 1,5 m tratada com 60 kg do produto bentonita misturada com terra com bentonita na proporção de 50%*; *haste*

de 2,4m tratada com 90 kg do produto bentonita, também na proporção de 50% de terra e 50% de bentonita; haste de 3m tratada com 120 kg de bentonita na mesma proporção das anteriores. Após a construção procedeu-se ao acompanhamento da variação das resistências com o seguinte resultado:

TIPO DE HASTE / DIAS	MEDIÇÃO (Ω)							
	1	7	90 normal	263 úmido	371 normal	894 úmido	1013 úmido	1142 seco
6 m cravada	9,2	9,2	8,9	8,9	9,98	12,05	10,97	11,99
2,4 m tratada	54,7	48,9	29,5	20,7	28,1	31,0	27,8	53,3
3 m tratada	45,4	43,3	23,1	16,3	22,4	24,2	23,4	38,5
1,5 m cravada	160,1	164,2	106,4	78,3	107,7	89,0	86,9	119,0
1,5 m tratada	48,5	46,8	27,6	22,1	32,9	38,7	39,7	62,1
3 m cravada	80,8	83,7	62,0	42,2	58,4	58,9	55,2	76,3
interligada	-	5,67	2,2(*)	2,7(*)	-	-	5,67	-

Efeito da bentonita – haste de 1,5m

O gráfico compara o valor de resistência de aterramento da haste tratada e da haste cravada de 1,5 m ao longo do tempo, a partir do 45^o dia, período considerado suficiente para que o contato das hastes e o solo e/ou mistura de terra com a bentonita estivessem consolidados. Podemos observar a considerável redução da resistência de aterramento, quando a haste está imersa na mistura de terra com a bentonita e que após 1142 dias após a instalação a bentonita continua agindo na redução da resistência de aterramento.



Efeito da bentonita – haste de 3,0 m

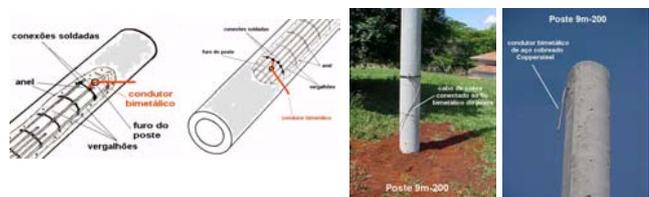
Nas hastes de 3,0 m o efeito da bentonita na redução da resistência de aterramento também foi considerável. Após 1142 dias de instalação, continua agindo. Os resultados obtidos indicam que há uma expectativa de longa duração da ação da bentonita.



A UTILIZAÇÃO DAS FERRAGENS DO POSTE DE CONCRETO COMO CONDUTOR DE DESCIDA DO ATERRAMENTO

As normas NBR 5410 e NBR 5419 prevêm a utilização da estrutura das fundações dos edifícios como eletrodo de aterramento. Esta técnica vem sendo utilizada cada vez com maior intensidade, no Brasil e em outros países, com amplo

sucesso. Foi desenvolvido um projeto, utilizando esta técnica, para a utilização das ferragens do poste de concreto como condutor de descida do aterramento da rede de distribuição, com o objetivo de avaliar se este aproveitamento das ferragens pode ser considerado tecnicamente viável. Foi desenvolvido de forma que basicamente não houvesse diferença construtiva em relação a um poste de concreto normal, a não ser a existência de solda em dois dos anéis (que dão forma tubular ao poste) aos vergalhões que compõe o poste. Os anéis soldados situam-se junto ao furo existente próximo ao topo (utilizado para a introdução do condutor de descida de aterramento) e junto ao outro furo próximo à base do poste (o que permite a saída deste condutor para o sistema de aterramento). Aos anéis soldados aos vergalhões também foram soldados os condutores bimetalicos de aço cobreado 6 AWG de 0,3 m comprimento para possibilitar a interligação no topo, do condutor a ser aterrado da rede de distribuição e na base, a interligação com as hastes do sistema de aterramento da estrutura.



- Ensaios realizados

Resistência de aterramento comparada com uma haste de aterramento de 3m instalada no local.

DATA	CONDIÇÃO DO SOLO	RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO (Ω)		
		Poste de 11m	Poste de 9m	Haste de 3m
22/12/03	Muito úmido	36,9	44,9	
04/03/04		34	44,6	49,6
26/04/04	normal	47,5	49,6	56,5
24/06/04	úmido	45	51	55,9

Elevação da temperatura das ferragens pela circulação de corrente

Nos ensaios adotou-se os seguintes procedimentos:
 Conexão dos terminais do gerador de corrente aos condutores bimetalicos existentes nos postes;
 Exposição das ferragens no topo dos postes com a retirada do concreto no topo do poste, junto ao local onde o anel, condutor bimetalico e vergalhões foram soldados;
 Medida da temperatura destas ferragens antes da aplicação da corrente elétrica;
 Aplicação da corrente por tempo determinado, controlado por cronômetro manual;
 Medida da maior temperatura atingida pela ferragem após a aplicação da corrente elétrica;
 Aguardar a estabilização da temperatura das ferragens para início de novo ensaio.

Poste 9m-200

CORRENTE APLICADA (A)	DURAÇÃO (SEG)	TEMP. INICIAL ($^{\circ}$ C)	TEMP. FINAL ($^{\circ}$ C)	$\Delta\theta$ ($^{\circ}$ C)
153	7	33,7	33,7	0
214	7	34,3	34,6	0,3
292	3	34,7	35,5	0,8
355	2	34,9	35,7	0,8
444	2	34,9	35,8	0,9
473	2	35,7	36,6	0,9
44	300	35,4	35,4	0

Poste 11m-200

CORRENTE APLICADA (A)	DURAÇÃO (SEG)	TEMP. INICIAL (°C)	TEMP. FINAL (°C)	ΔΘ (°C)
165	7	32,3	32,5	0,3
250	7	32,3	33,3	1,0
389	2	31,7	32,4(*)	0,7
474	2	31,8	33,2	1,4
44	300	31,5	32,2	0,7

(*) – Temperatura medida sob chuva fina

Tensão transferida à superfície externa do poste em energizações acidentais

Com o objetivo de se verificar a tensão transferida à superfície externa dos postes de concreto durante a ocorrência de curto circuito, foram realizados ensaios de energização dos postes de concreto protótipos e de um poste de concreto convencional, aterrado conforme o padrão. Os procedimentos adotados para a realização dos ensaios foram:

- Conexão de uma fase da rede secundária (127 V) aos condutores bimetalicos soldados aos vergalhões no topo dos postes protótipos e no condutor de descida do aterramento do poste de concreto convencional;
- Instalação de uma cinta metálica nos postes a 1,5 m de altura para medição da tensão transferida do condutor de aterramento à superfície externa dos postes;
- Medição da tensão entre a cinta instalada e um terra de referência.

Os ensaios foram realizados em duas condições: - na condição úmida, conseguida molhando-se intensamente os postes antes da realização dos ensaios e na condição normal efetuando os ensaios e medições nas condições em que se encontravam os postes.

Ensaio na condição úmida

POSTE	TENSÃO DA REDE (V)	TENSÃO CINTA AO TERRA DE REFERÊNCIA (V)
9m-200 - protótipo	123	113
11m-200 - protótipo	123	113
Poste normal	122	99

Ensaio na condição normal

POSTE	TENSÃO DA REDE (V)	TENSÃO CINTA AO TERRA DE REFERÊNCIA (V)
9m-200 - protótipo	123	117
11m-200 - protótipo	125	119
Poste normal	125	85

▪ PESQUISA ALTERNATIVA AO CONDUTOR NEUTRO

Em função da alta incidência de furto dos condutores neutro na CPFL-Piratininga, a equipe técnica do Mackenzie pesquisou junto ao fabricante de condutores bimetalicos COPPERSTEEL BIMETÁLICOS LTDA. a possibilidade do desenvolvimento de condutores alternativos que pudessem ser empregados como condutor neutro na rede de distribuição.

Em breve síntese do processo produtivo dos condutores bimetalicos fomos informados que o aço utilizado na fabricação é do tipo carbono ABNT (SAE-1010 / SAE-1035) e que o

vergalhão de aço cobre ou aço alumínio é obtido pelo processo de caldeamento a alta temperatura na linha CLAD LINE, onde, após criterioso processo de limpeza, os dois metais se soldam de maneira que se torna impossível sua posterior separação. Observa-se na interface da soldagem que ocorre uma fusão molecular entre o núcleo de aço e camada de cobre ou alumínio. Não existe processo mecânico, térmico ou químico que promova a separação dos materiais, e, esta característica faz com que os sucateiros e receptadores abominem este tipo de material, pois, a introdução deste material nos processos de refusão provoca a contaminação total dos banhos. Para a análise de utilização deste tipo de condutor em substituição ao condutor neutro de cobre ou de alumínio da rede de distribuição foram executados dois projetos sendo um no Centro de Treinamento da CPFL, para avaliação inicial e o outro em uma rede de distribuição em Itu. O condutor bimetalico de aço aluminizado fornecido pela Coppersteel utilizado em ambos os projetos possui as seguintes características:

- diâmetro - 13,96 mm;
- carga de ruptura - 18.100 lbs. (8.210 kg);
- resistência ôhmica a 20° C - 0,725 ohms / km.
- Formação - 7x5;
- Peso - 793 kg / km;
- Diâmetro do fio de aço - 4,62 mm;
- Área do aço - 92,66 mm²;
- Área do alumínio - 25,98 mm².



A construção foi executada com o ferramental, procedimentos e materiais normalmente utilizados pela CPFL Piratininga. O condutor foi pré-esticado com a tração de 183 daN, igual à tensão de projeto utilizada para o condutor 4/0 de alumínio, durante um tempo de 15 minutos. Após este período verificamos a tensão acusada pelo dinamômetro não se alterou, indicando que não houve acomodação nos tentos do condutor bimetalico. Foram efetuados amarrações e encabeçamentos da rede, utilizando as alças pré-formadas para o cabo 4/0 de alumínio sem alma de aço. Não ocorreram problemas na sua utilização.



Os condutores foram tensionados com 165 kg (161,8 daN) e apresentaram uma flecha aproximada de 0,5 m; A equipe do Mackenzie orientou os responsáveis pela obra que aplicassem uma tensão conforme indicação da tabela de flechas e tensões para condutores de aço aluminizado 7x5 vão básico de 40 metros, após os estudos de suportabilidade mecânica das estruturas de encabeçamento e ângulos lá existentes;

Para inibir novas tentativas de furto do condutor neutro, foram confeccionadas 10 placas alertando sobre a inexistência de valor comercial do cabo. Estas placas foram amarradas ao condutor ao longo da rede construída. Durante a construção, excetuando-se a questão da maleabilidade do cabo, os eletricitistas não encontraram dificuldades no manuseio do condutor.

V. ETAPA 4 – RECOMENDAÇÃO PARA ATUALIZAÇÃO DAS NORMAS QUANTO A PROJETOS, CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO

Quanto ao condutor neutro

Tensão neutro-terra da rede de distribuição: Sendo o condutor neutro comum ao sistema primário e secundário, a tensão neutro-terra não deve ultrapassar 10 V de forma a evitar os riscos de choque elétrico nas instalações elétricas de baixa tensão. Quando a tensão neutro-terra ultrapassar 10 V, as seguintes providências podem ser tomadas - melhoria dos aterramentos da rede de distribuição; aumento dos pontos de aterramento da rede de distribuição; aumento da bitola do condutor neutro; Balanceamento da distribuição das cargas monofásicas da rede primária; converter a rede monofásica ligada entre uma fase e o neutro para rede monofásica ligada entre fases; converter a rede monofásica em rede trifásica;

Fornecimento do condutor neutro aos consumidores: O fornecimento do neutro aos consumidores deve ocorrer de forma sistemática de forma a atender as recomendações da NBR 5410 e tendo em vista que a proteção do transformador e do consumidor não operam em energizações acidentais da caixa de medidor de energia.

Ausência do neutro multiterrado e suas conseqüências: Durante a energização acidental da estrutura da rede primária, na inexistência do condutor neutro na rede urbana, causado pelo furto do condutor, os valores de tensão de toque e de passo nas estruturas investigadas não estão dentro dos limites toleráveis pelo corpo humano.

A utilização de condutores bimetalicos de aço-aluminizado: Em função da alta incidência de furto dos condutores neutro na CPFL-Piratiniga, a utilização de condutores bimetalicos de aço aluminizado é uma alternativa a ser empregada. As experiências mostraram ser possível a sua instalação, utilizando os materiais normalmente utilizados na construção e manutenção de redes de alumínio CA.

Quanto ao aterramento

Melhoria dos aterramentos: A técnica capaz de melhorar a resistência de terra deve atuar basicamente modificando a resistividade do solo em torno dos eletrodos, alterando as condições dos eletrodos ou ainda a combinação das duas simultaneamente. As mais comuns são: - aumentar o número de eletrodos em paralelo; aumentar a profundidade cravada dos eletrodos; aumento da área de seção reta do eletrodo e o tratamento químico do solo.

Utilização de condutores bimetalicos de aço cobreado: Os condutores bimetalicos de aço cobreado são alternativas viáveis para serem utilizados nas descidas de aterramento e como condutores de interligação entre os eletrodos em substituição aos condutores de cobre, principalmente nos locais onde ocorrem os furtos destes condutores.

Postes de concreto que utilizam as ferragens como condutor de descida do aterramento: Os resultados dos ensaios nos postes protótipos indicam a possibilidade da sua utilização como aterramento da rede de distribuição.

Quanto a resistividade do solo

Medição: O solo é o meio no qual ficarão imersos os eletrodos de aterramento e os respectivos cabos de interligação. Desta

forma é necessário o conhecimento das suas propriedades elétricas que serão determinantes para o dimensionamento do sistema de aterramento desejado. Sendo a preocupação principal a condução de corrente pelo solo, o valor da resistência e os respectivos potenciais desenvolvidos durante a circulação desta corrente, a propriedade relevante para os aterramentos elétricos é a sua resistividade que indicará a melhor alternativa para a definição do sistema de aterramento. Portanto as medições da resistividade do solo devem ser efetuadas antes da execução dos sistemas de aterramento para permitir a definição da configuração e da profundidade dos eletrodos, bem como dos cálculos da distribuição dos potenciais de toque e de passo na estrutura a ser aterrada.

Estratificação: Quando se projeta um sistema de aterramento há necessidade de se empregar um valor de resistividade que represente a situação do solo que o eletrodo e condutores abrangerão para o escoamento das correntes de defeito, de desequilíbrio ou provenientes de surtos atmosféricos. Os solos, na sua maioria não são homogêneos mas, são formados de diversas camadas de resistividade e espessuras diferentes. Conhecendo-se o valor da resistividade de cada camada, as espessuras correspondentes, as dimensões dos eletrodos de aterramento e cabos de interligação e a configuração básica que se deseja, pode-se calcular o valor da resistência e os potenciais de toque e de passo, podendo assegurar um bom desempenho ao sistema de aterramento que se deseja implantar. A determinação dos valores da resistividade do solo é de importância fundamental na elaboração de um projeto de aterramento.

Utilização de ferramenta computacional: Deve-se dispor de ferramenta computacional que execute rapidamente e de forma confiável a estratificação do solo, a modelagem do sistema de aterramento com diversos tipos de hastes, condutores e combinações destas, o cálculo da resistência de aterramento e o cálculo das tensões de toque e de passo que surgem no sistema de aterramento devido à circulação da corrente de curto circuito.

VI. ETAPA 5 – IMPLANTAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE MEDIÇÃO, PROJETO E CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO

A disseminação do conhecimento foi realizada através de jornadas técnicas durante o desenvolvimento da pesquisa dentre as quais destacamos:

- Simpósio Nacional de Tecnologia de Condutores Bimetalicos
- Work Shop realizados nas instalações da CPFL e da Coppersteel
- Treinamento em construção de redes utilizando condutores bimetalicos em Americana e Itu
- Treinamento na confecção de emendas com tensão em condutores bimetalicos
- Realização de ensaios de tração em conexões e encabeçamentos com condutores bimetalicos

VII. BIOGRAFIAS

- J. A. Cipoli - engenheiro eletricitista EPUSP/69, atualmente é professor e pesquisador da Universidade Mackenzie.
E. D. B. Nogueira – engenheiro eletricitista UNESP-BAURU/79, atualmente é pesquisador da Universidade Mackenzie.
C.A. Cavalcante – técnico especialista, lotado no Departamento de Engenharia da CPFL.
L.P. Pasqua – técnico especialista, atualmente é pesquisador da Universidade Mackenzie.