



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Utilização de Cabos de Alumínio Isolados em Redes de Distribuição Subterrânea.

Charles Rodrigues	Anderson Gonçalves Villela	Erminio César Belvedere
AES Eletropaulo	AES Eletropaulo	AES Eletropaulo
charles.rodrigues@aes.com	anderson.villela@aes.com	erminio.belvedere@aes.com

Palavras chave:

Alumínio
Cabos isolados
Cobre
Rede Subterrânea

RESUMO

Implantação de novo padrão de rede de distribuição subterrânea, utilizando cabos isolados com condutor de alumínio nas redes primárias e secundárias (média e baixa tensão), substituindo a rede subterrânea de cobre. O objetivo é a redução significativa no custo de cabos, viabilizando a implantação de novas redes subterrâneas como também a sua manutenção.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo mostrar que o emprego de cabos isolados com condutores de alumínio, em substituição aos cabos de cobre isolados em redes de distribuição subterrânea, reduz significativamente os investimentos, sem, no entanto implicar em problemas técnicos que inviabilizem a sua utilização.

2. DESENVOLVIMENTO

A utilização de cabos isolados com condutores de alumínio vem sendo muito utilizada em sistemas subterrâneos (circuitos primários e secundários) devido ao seu menor custo em relação ao cobre, pela maior estabilidade no preço no mercado e também pelo fato da produção por ser totalmente nacional.

Algumas concessionárias nacionais padronizaram a instalação de cabos alumínio na implantação de redes subterrâneas, acreditando na sua qualidade e confiabilidade.

Para efeito de padronização dos cabos de Alumínio isolados estão sendo considerados, sempre que possíveis seções que também permitam racionalizar o número de acessórios, isto é, minimizar a padronização de novos acessórios.

As novas seções dos cabos de alumínio de baixa e média tensão foram redimensionadas, para serem instalados diretamente enterrados ou em dutos, utilizando o critério da “seção econômica” que visa obter o melhor retorno sobre o investimento, ou seja, considerando além dos custos de aquisição e instalação, também os custos operacionais.

3. ABRANGÊNCIA

Aplicação em todos os projetos de rede subterrânea atendidos pelo Sistema Reticulado, Híbrido, Seletivo e Radial com recurso em áreas urbanas e loteamentos particulares. Esta nova padronização deve ser utilizada por todos os funcionários que trabalham com projetos, orçamentos, execução e manutenção de rede subterrânea na Eletropaulo.

Os materiais e equipamentos abordados neste trabalho devem ser utilizados em redes de distribuição subterrâneas Híbridas, Sistema Reticulados, Seletivas e Radiais com recurso:

Primária radial com recursos para loteamentos residenciais na classe de tensão 8,7/15 KV;

Redes atendidas pelo sistema reticulado, híbrido e seletivo na classe de tensão 15/25 KV e 25/34, 5 KV.

Ligação de câmaras transformadoras, transformadores em pedestal e entradas primárias em centros urbanos de grande densidade de carga ou loteamentos.

4. GENERALIDADES

Os materiais normalmente utilizados como condutores elétricos de cabos isolados é o cobre e o alumínio.

As características básicas destes materiais estão apresentadas abaixo onde se observa:

A resistência elétrica do alumínio é cerca de 164 % da correspondente do cobre;

A massa específica do cobre é cerca de 329 % da correspondente do alumínio;

Para uma determinada resistência elétrica:

A seção do condutor de alumínio é cerca de 64% superior a correspondente do cobre;

O diâmetro do condutor de alumínio é 28% superior ao correspondente de cobre;

O peso do condutor de cobre é cerca de 100% superior ao correspondente de alumínio.

Em termos práticos, as seções normalmente normalizadas de condutores de alumínio são uma ou duas vezes superiores às seções do cobre. Onde podemos observar na tabela 1.

Tabela 1 - Características físicas de cobre e alumínio

Características físicas	Unid.	Cobre recozido	Alumínio ¾ duro
Grau de pureza	%	> 99,9	> 99,5
Resistividade elétrica a 20 °C	$\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$	17,241 E-3	28,264 E-3
Coeficiente de variação da resistência com temperatura a 20 /C	°C	3,93 E-3	4,03 E-3
Massa específica		8,89	2,70
Coeficiente de dilatação linear a 20°C	°C	17 E-6	23 E-6
Tensão de ruptura	Mpa	230 a 250	120 a 150
Alongamento à ruptura	%	20 a 40	1 a 4
Temperatura de fusão	° C	1080	660

5. CORROSÃO

O alumínio é mais susceptível à corrosão do que o cobre, quando da passagem da corrente elétrica em contato com a água, por isso, na instalação do cabo, ele não poderá sofrer avarias na isolação, e para todas as conexões e terminações será necessário garantir a estanqueidade.

Problemas de corrosões têm sido observados principalmente em circuitos secundários visto que eventuais danificações da isolação podem implicar em pequenas correntes de defeitos não detectadas pelos dispositivos de proteção.

Em locais úmidos, estas implicam em constantes corrosões que podem implicar no seccionamento total do condutor ou serem interrompidas pelos dispositivos de proteção quando houver um aumento substancial da danificação do cabo.

6. EXPERIÊNCIA COM CABOS ISOLADOS DE ALUMÍNIO NA ELETROPAULO E OUTRAS CONCESSIONÁRIAS

No início da década de 80, condutores de alumínio foram instalados em redes primárias operando em 13,2 kV (circuitos que alimentam o Centro Empresarial de São Paulo – Lubeca) e 21 kV (circuitos primários do reticulado Bandeirantes).

No início foram detectados diversos defeitos nas emendas dos circuitos Lubeca em decorrência de projetos / instalações inadequadas.

Após a reconstituição de todas as emendas, os circuitos que alimentam o Lubeca passaram a operar com desempenho semelhante ao observado nos circuitos com condutores de cobre.

Nos circuitos com condutores de alumínio, operando em 21 kV, foram observados diversos defeitos em acessórios desconectáveis, mas não há indícios de que este cabo apresente desempenho inferior ao observado em cabos com condutores de cobre operando em condições semelhantes.

Sistemas subterrâneos (circuitos primários e secundários) foram padronizados na implantação de redes de algumas concessionárias nacionais, correspondendo uma prática consagrada.

7. RELAÇÃO DE CUSTO DO COBRE E ALUMÍNIO

Os preços do cobre normalmente são superiores aos correspondentes de alumínio e tem sofrido maior instabilidade com relação ao custo conforme pode ser verificado no histórico mostrado na tabela 2.

Tabela 2 - Evolução dos preços do cobre

EVOLUÇÃO DOS PREÇOS DO COBRE (1992 - 2005)							
PREÇO MÉDIO ANUAL (US\$/TONELADA)				PREÇO MÉDIO MENSAL (US\$/TONELADA)			
1992	2230,17	1999	1572,86	fev/04	2759,53	set/04	2894,86
1993	1913,33	2000	1813,48	mar/04	3008,72	out/04	3012,24
1994	2307,42	2001	1578,29	abr/04	2948,73	nov/04	3122,80
1995	2935,61	2002	1559,48	mai/04	2733,50	dez/04	3145,45
1996	2294,86	2003	1779,15	jun/04	2686,70	jan/05	3170,00
1997	2276,77	2004	2865,89	jul/04	2808,43	fev/05	3253,70
1998	1650,13	*2005	3266,18	ago/04	2846,10	mar/05	3374,84

(*) Cotação até 22 de março, fonte: Sindicel/ABC

Esta variação na relação de custos entre condutores de cobre e de alumínio é decorrente das condições atuais de mercado (aquisição de grandes quantidades de cobre pela China) e a sua manutenção ou não é de difícil previsão.

A utilização de cabo com seção equivalente de alumínio, em substituição ao de cobre, implica em utilização de materiais adicionais para isolamento e cobertura em decorrência do maior diâmetro dos mesmos.

Apesar da utilização de quantidade maior de materiais de isolamento e cobertura os cabos com alumínio normalmente implicam em menores custos totais, que resultaram na utilização dos mesmos por diversas concessionárias que introduziram sistemas subterrâneos a partir da década de 60.

8. UTILIZAÇÃO DOS CONDUTORES DE ALUMÍNIO ISOLADOS.

Foram considerados como premissas fundamentais, conforme utilização, padronização dos condutores de alumínio com capacidade de correntes equivalentes aos condutores de cobre atuais ou a utilização de seções iguais para manter utilização dos acessórios atuais, conforme descrição abaixo:

Cabo 35mm² 0,6 / 1 kV Al (ramal de ligação) – seção máxima admissível nas conexões dos medidores padronizados.

Cabo 35mm² 8,7 / 15 kV Al (ligação de câmaras e pequenos empreendimentos subterrâneos)
A capacidade de corrente para deste cabo normalmente é superior às cargas das instalações correspondentes.

Cabo 70mm² 8,7 /15 kV Al (ramais da rede primaria) A corrente admissível é praticamente igual a dos acessórios desconectáveis onde os mesmos são conectados.

Nota: Esta pratica para cabos de 70mm² alumínio de media tensão já era considerada em sistemas de 21 kV (reticulados bandeirantes).

Não foram considerados a substituição pelo alumínio para alguns cabos de cobre de grandes sessões, conforme abaixo.

Cabo 240mm² 0,6 / 1 kV – Não foi substituído pela seção equivalente (400mm² al) visto que esta prevista uma reavaliação dos padrões atuais nas saídas dos transformadores (barramentos) onde a seção equivalente de alumínio implica em custos adicionais dos acessórios.

Cabo 400mm² 0,6 / 1 kV – Não foi substituído pela seção equivalente (700 al) devido à pequena utilização (saídas de transformadores de 2000 kVA) e também em custos adicionais dos acessórios que deveriam ser feitos para essa aplicação específica.

Cabo 500mm² 8,7 / 15 kV - Não foi substituído pela seção equivalente (1000 al) devido que os mesmos podem implicar em dificuldades na instalação em banco de dutos existentes.

9. CARACTERÍSTICAS DOS CABOS.

Os cabos de alumínio padronizados consideram:

Media Tensão: São triplexados com isolamento em EPR ou XLPE e cobertura de pvc.

Baixa Tensão: Podem ser singelos ou armados com isolamento em XLPE. Os cabos singelos podem ou não ter cobertura de pvc, sendo que esta sendo considerado os cabos sem cobertura que é o fornecimento usual pelos fabricantes.

Os parâmetros dos cabos assim como as correntes foram calculados considerando os bancos de duto padronizados.

10. CABOS PADRONIZADOS

Os cabos padronizados atualmente pela ELETROPAULO, para utilização em redes de distribuição subterrânea de média e baixa tensão, estão indicados na tabela 3 abaixo.



Tabela 3 – Cabos Padronizados para rede subterrânea na Eletropaulo.

DESCRIÇÃO	Classe de Tensão							
	0,6 / 1kV		8,7 / 15kV		15 / 25kV		20 / 35 kV	
	Código de Material	Cabos	Código de Material	Cabos	Código de Material	Cabos	Código de Material	Cabos
CABOS DE ALUMÍNIO	325.016-7	1x16 mm	325.010-9	3x1x35 mm	323.522-2	3x1x70 mm	323.521-4	3x1x70 mm
	325.015-9	1x35 mm	325.011-7	3x1x70 mm	323.850-5	3x1x400 mm	323.851-3	3x1x400 mm
	325.014-1	1x95 mm	325.012-5	3x1x400 mm				
	325.013-3	1x185 mm						
	323.840-8	4x16 mm Armado						
	323.831-9	4x35 mm Armado						
	323.830-1	4x95 mm Armado						
	323.285-0	4x185 mm Armado						
CABOS DE COBRE	323.477-1	1X240 mm	323.897-9	3x1x500 mm	323.420-0	3x1x300 mm		
	323.478-9	1x400 mm						
	323.479-7	1x630 mm						

11. CORRENTES ADMISSÍVEIS.

Consideramos a comparação e compatibilização das correntes econômicas com padrões atuais de atendimento, sendo que, considerações sobre as mesmas estão apresentadas abaixo, onde também podemos observar na tabela 4.

Cabo 16 mm², Al – Cabo padronizado em substituição ao cabo de 10 mm², Cu.

Ligação fase-neutro: 6 KVA

Ligação fase-fase-neutro: 10 kVA

Ligação trifásica com neutro: 20 kVA

Cabo 35 mm², Al – Cabo a ser utilizado em substituição ao cabo 35 mm², Cu cujas seções não são equivalentes. Neste caso considerou-se o limite de atendimento em medição direta que é 100 A (36 / 38 kVA). Este valor é ligeiramente inferior ao valor econômico (107 A), mas evita a utilização destes cabos com medição indireta.

Cabo 95 mm², Al – Seção padronizada nova visto que não há equivalente de cobre no padrão atual. Como as cargas alimentadas por estes cabos podem apresentar fator de carga superior a 0,3 considerou-se conveniente utilizar um valor ligeiramente inferior a corrente econômica (196 A). Para tanto a carga do consumidor não deve ser superior a 65 / 68 kVA, que corresponde a uma corrente de 180 A.

Cabo 185 mm², Al – Cabo a ser utilizado em substituição ao cabo 120 mm², Cu cujas seções são equivalentes.

Considerou-se conveniente manter o os padrões atuais de atendimento considerando carga de até 277 A que corresponde a 100 / 105 kVA.

Tabela 4 - Definição do tipo de aplicação dos Cabos Secundários em Alumínio em função da carga

DEFINIÇÃO DOS CABOS - CONDUTOR DE ALUMÍNIO									
SISTEMA RETICULADO									
Cabo Al, XLPE, 0,6/1 kV		16mm ²	35mm ²	95mm ²	95 mm ²	185mm ² 1 - Circuito	185mm ² 2 - Circuitos	185mm ² 3 - Circuitos	185mm ² 4 - Circuitos
Carga prevista	Amperes	$I_p \leq 55$	$55 < I_p \leq 100$	$100 < I_p \leq 140^*$	$140 < I_p \leq 180$	$180 < I_p \leq 277$	$277 < I_p \leq 527$	$527 < I_p \leq 750$	$750 < I_p \leq 980$
	kVA	$S_b \leq 10$ $S_t \leq 20$	$20 < S_t \leq 36$	$36 < S_t \leq 51$	$51 < S_t \leq 65$	$65 < S_t \leq 100$	$100 < S_t \leq 190$	$190 < S_t \leq 270$	$270 < S_t \leq 353$
Número de Fases		2F	3F	3F	3F	3F	3F	3F	3F
Tipo de ligação		DCP	DCP	DCP	DCP	DB	DB	DB	DB
Carga máxima do circuito	Amperes	63	100	160	200	290	555	763	1000
	kVA	13 22	36	57	72	105	200	275	360
Fusíveis NH máximo por circuito		63 A	100 A	160 A	200 A	315 A	315 A	315 A	315 A
SISTEMA RADIAL									
Cabo Al, XLPE, 0,6/1 kV		16mm ²	35mm ²	95mm ²	95 mm ²	185mm ² 1 - Circuito	185mm ² 2 - Circuitos	185mm ² 3 - Circuitos	185mm ² 4 - Circuitos
Carga prevista	Amperes	$I_p \leq 55$	$55 < I_p \leq 100$	$100 < I_p \leq 140^*$	$140 < I_p \leq 180$	$180 < I_p \leq 277$	$277 < I_p \leq 527$	$527 < I_p \leq 750$	$750 < I_p \leq 980$
	kVA	$S_b \leq 10$ $S_t \leq 20$	$20 < S_t \leq 38$	$38 < S_t \leq 53$	$53 < S_t \leq 68$	$68 < S_t \leq 105$	$105 < S_t \leq 200$	$200 < S_t \leq 285$	$285 < S_t \leq 372$
Número de Fases		2F	3F	3F	3F	3F	3F	3F	3F
Tipo de ligação		DCP	DCP	DCP	DCP	DB	DB	DB	DB
Carga máxima do circuito	Amperes	63	100	160	200	290	555	763	1000
	kVA	13 23	38	60	76	110	210	290	380
Fusíveis NH máximo por circuito		63 A	100 A	160 A	200 A	315 A	315 A	315 A	315 A

Notas:

Caso a soma das correntes existente mais prevista no projeto (SATR) supere 140 A o consumidor deve ser ligado direto ao transformador (Bus / QDP);

Ic: Corrente calculada correspondente ao novo SATR;

Im: Corrente medida do circuito secundário;

Ip: demanda prevista do circuito secundário;

DCP: Derivação do Cabo Passeio;

DB: Derivação do Bus;

2F: Ligação com 2 fases + neutro;

3F: Ligação com 3 fases + neutro;

$K = 2I_c / (I_m + 2I_c)$;

$IP = I_m + K \times I_c$ (Fator de Diversidade);

Sb: Potência aparente bifásica prevista - Radial ($S_b = 220 \times I_c / 1000$);

Sb: Potência aparente bifásica prevista - Reticulado ($S_b = 208 \times I_c / 1000$);

St: Potência aparente trifásica prevista - Radial ($St = 3 \times 220 \times I_c / 1000$);

St: Potência aparente trifásica prevista - Reticulado ($St = 3 \times 208 \times I_c / 1000$)

12. RELAÇÃO DE CUSTOS DOS CABOS.

Na tabela 5 abaixo é demonstrado a relação de custos entre as seções equivalentes dos cabos isolados de cobre e alumínio padronizados.

Estão sendo considerados os cabos isolados de alumínio de seção equivalentes de acordo com os critérios adotados de correntes econômicas para essa padronização.

Tabela 5 – Relação de custos entre os cabos isolados de cobre e alumínio (seções equivalentes).

Cabos					
Tensão	Cobre	Preço	Alumínio	Preço	Diferença
0,6 / 1 kV	1x10mm ²	R\$ 2,61	1x16mm ²	R\$ 0,98	-62,45%
	1x35mm ²	R\$ 9,62	1x35mm ²	R\$ 1,67	-82,64%
	**	R\$ -	1x95mm ²	R\$ 4,14	0,00%
	1x120mm ²	R\$ 22,26	1x185mm ²	R\$ 7,34	-67,03%
	4x10mm ²	R\$ 14,53	4x16mm ²	R\$ 7,52	-48,25%
	4x35mm ²	R\$ 53,57	4x35mm ²	R\$ 17,06	-68,15%
	**	R\$ -	4x95mm ²	R\$ 27,92	0,00%
	4x120mm ²	R\$ 122,28	4x185mm ²	R\$ 60,92	-50,18%
8,7 / 15kV	3x1x35mm ²	R\$ 62,55	3x1x35mm ²	R\$ 48,95	-21,74%
	3x1x70mm ²	R\$ 99,44	3x1x70mm ²	R\$ 71,15	-28,45%
	3x1x240mm ²	R\$ 255,88	3x1x400mm ²	R\$ 186,43	-27,14%
15 / 25 kV	3x1x70mm ²	R\$ 125,72	3x1x70mm ²	R\$ 55,25	-56,05%
	3x1x240mm ²	R\$ 188,79	3x1x400mm ²	R\$ 137,50	-27,17%
20/ 35 kV	3x1x70mm ²	R\$ 130,32	3x1x70mm ²	R\$ 94,29	-27,65%
	3x1x240mm ²	R\$ 295,28	3x1x400mm ²	R\$ 137,68	-53,37%
Relação de custos entre os cabos de cobre e alumínio padronizados.					
** Cabo 95mm ² nova bitola implantada nessa padronização					
Relação de preços com base nos últimos 12 meses					

13. CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES.

Eventuais consumidores ou trechos de circuitos secundários em operação com correntes superiores as econômicas, mas inferiores às admissíveis, não deverão ser substituídos em decorrência exclusivamente deste fato. Entretanto eventuais alterações na rede (atendimento de novas cargas, relocação ou reconfiguração da rede, etc.), deverão ser projetadas e construídas levando em consideração carga limitada pela corrente econômica.

Os ramais de ligação com correntes superiores à econômica, mas inferiores as admissíveis, deverão ser substituídos caso exista pedido de acréscimo de carga ou reformas do imóvel. Mudanças de dispositivos de proteção poderão ser aceitas caso a causa exclusiva seja corrente de cargas superiores à econômica, mas inferiores as admissíveis.

Sempre se deve verificar antes da conexão do cabo ao conector de alumínio, se existe a presença da pasta inibidora (pasta anti-oxido), caso esteja sem a pasta o conector deve ser substituído ou deve-se aplicar a pasta.

Todos os cabos de alumínio e cobre de Média e Baixa Tensão devem ser tamponados, conforme os capuzes especificados.

14. RECOMENDAÇÃO.

Em condutor de alumínio encordado, a limpeza só é possível na coroa externa. Os fios das coroas internas também estão revestidos pela película e, portanto isolados entre si, o que impede uma perfeita distribuição da corrente em toda a seção do condutor.

A limpeza deve ser feita com escova de aço e posterior aplicação de um inibidor cuja finalidade é a de retardar a formação de uma nova película de óxido.

Por este motivo, a técnica de conexão de condutores de alumínio exige uma forte compressão, de maneira a romper o filme de óxido em todas as coroas e estabelecer uma equalização da corrente entre todos os fios da corda.

Do exposto, nota-se que, nas conexões de condutores a compressão de condutores de alumínio, limpeza e estanqueidade devem ser cuidadosamente executados, tendo em vista a sensibilidade do mesmo em relação ao cobre.

15. CONCLUSÃO.

Concluimos que utilizando cabos isolados com condutores de alumínio, em substituição aos condutores de cobre, implica em reduções de investimentos, sem, no entanto implicar em aspectos técnicos que inviabilizem a sua utilização.

Com esse novo padrão de cabos de alumínio, reduziremos consideravelmente o custo de implantação de rede subterrânea onde podemos melhorar a qualidade, a confiabilidade e segurança de nossas redes.

16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Teixeira Jr., Mário Daniel da Rocha – FICAP: “Cabos de energia” – 1a Edição – Rio de Janeiro, 2001;

Solidal: “Condutores elétricos” – Guia Técnico – 6 a Edição – Portugal – 1999;

SIEMENS: “Manual de engenharia elétrica – Tradutor: Wanderley Mauro Dib – 2 a Edição – São Paulo – 1984”;

Armstrong J., Nuckles K., Reece D., Spruell S., Ware N. - Southwire Company: “Theory, design, and testing of a new corrosion resistant, self-sealing 600 V underground cable” – Carrollton, GA;

IEC-287-3-2- Part 3: “Sections on operating condition” – Section 2: “Economic optimization of power cable size”;

IEC- 60287;

Moreno, Hilton: “Dimensionamento econômico de condutores elétricos” - São Paulo – PROCOPRE – 2001;

ELETROPAULO – EST. 2.007: Características básicas dos cabos de potência isolados padronizados pela EST. 2.009: Metrificação dos cabos com isolação com isolação extrudada de média tensão;

ELETROPAULO – EST. 2.011: Cabos de saídas da ETT/ETD Miguel Realle;

ELETROPAULO – EST-2.016: Nova bitola para alimentadores aéreos e subterrâneos – 1a Edição – São Paulo –1999;

ELETROPAULO – NT-8.006 – “Capacidade de correntes de cabos isolados em baixa tensão - 1a Edição – São Paulo –1994”;

ELETROPAULO – NT-8.008 – “Cabos extrudados 4x1x70 mm² e 4x70 mm², Cu, XLPE, 0,6/1 kV – Padronização - 1a Edição – São Paulo –1994;

NBR-11301: Cálculo da capacidade de condução de corrente de cabos isolados em regime permanente (fator de carga: 100%);

ELETROPAULO – PD 4.020 - Redes de Distribuição Subterrânea BT;

ELETROPAULO – PD 4.021 - Redes de Distribuição Subterrânea MT;

ELETROPAULO – PD 4.022 - Construção Civil – Rede Subterrânea;

ELETROPAULO –PD-8.002- Materiais Padronizados Para Rede de Distribuição Subterrânea;

ELETROPAULO – ND 1.001 – Prescrições para Implantação e Conversão de Redes de Distribuição Subterrânea;

ELETROPAULO – NT 9.014 – Diretrizes básicas para Implantação e Conversão de Redes de Distribuição Subterrânea;

ELETROPAULO – ID 8091 – Utilização de cabos de alumínio isolados em rede de distribuição subterrânea.

ELETROPAULO – NTE-105: Cabos de Potência Com Isolação Extrudada de Polietileno Reticulado (XLPE) ou de Borracha Etileno-Propileno (EPR) Para Tensões de 1 a 35 kV - Especificação Técnica;

ELETROPAULO – NTE-106: Cabos de Potência com Isolação Extrudada de Polietileno Reticulado (XLPE) Para Tensões de 0,6/1,0 kV, sem Cobertura - Especificação Técnica;

NBR-11301: Cálculo da Capacidade de Corrente de Cabos Isolados em Regime Permanente (fator de carga: 100 %);

ELETROPAULO – LIG BT – Livro de Instruções Gerais – Baixa Tensão;

ELETROPAULO – LIG MT – Livro de Instruções Gerais – Media Tensão;

ELETROPAULO – ID – 6014 Procedimentos para Incorporação de Rede Subterrânea – Empreendimentos Particulares