

## Capítulo I

# Redes subterrâneas no mundo – história e números

Por Plácido Antonio Brunherotto e João José dos Santos Oliveira\*

A história das redes de distribuição subterrânea de energia elétrica se confunde com a própria história dos seus componentes. O primeiro grande desafio foi o de desenvolvimento de cabos isolados. A evolução dos materiais isolantes ao longo dos anos permitiu a evolução das redes aéreas para redes subterrâneas nos grandes centros urbanos do mundo.

Foi com o telégrafo em 1816 que teve início o emprego de cabos isolados enterrados. Já em 1879, Thomas Edison desenvolveu um sistema de iluminação incandescente para a cidade de Nova York e decidiu que o sistema subterrâneo seria necessário, empregando uma cobertura de juta untada em betume.

A borracha vulcanizada só veio a ser utilizada em distribuição de energia em 1880. Os primeiros cabos utilizados para distribuição subterrânea eram isolados com borracha não vulcanizada e cobertos com chumbo.

Em paralelo com a utilização de cabos isolados com borracha, estavam sendo testados os cabos isolados com papel. As primeiras notícias de cabo

em papel datam de 1872, no entanto, a propriedade higroscópica do papel era um condicionante à sua utilização.

Para contornar esse problema, começou-se a impregnação do papel com óleo quente, objetivando a retirada da umidade por evaporação e do ar pela expansão. O ano de 1895 marca praticamente o início da utilização dos cabos de energia isolados com papel impregnado em óleo.

Várias companhias iniciaram sua fabricação e o primeiro cabo de 13 kV isolado em papel impregnado foi fabricado pela National Conduit and Cable Co. em 1897, enquanto os desenvolvimentos aconteciam na Europa em paralelo com os Estados Unidos.

Já nos anos 1880, a comunidade nova-iorquina exigia a organização das redes de distribuição aérea. A cidade de Nova York, com grande desenvolvimento, estava tomada de postes com uma infinidade de estruturas elétricas e de telecomunicação.

Em 1884, a Câmara de representantes do Estado de Nova York promulgou uma lei estabelecendo a obrigatoriedade do enterramento de toda a fiação de telégrafos, telefonia e a energia elétrica.

Ameaçada pelos legisladores, a empresa na época decidiu iniciar o enterramento das redes de distribuição, aproveitando os espaços no meio viário ao lado dos trilhos dos bondes.

No Brasil, as redes subterrâneas iniciaram nos primeiros anos do século XX nas cidades com maior desenvolvimento, Rio de Janeiro e São Paulo, ambas com a concessão de distribuição de energia elétrica

ANO	ISOLAÇÃO	RESULTADO
1860	Borracha vulcanizada	Iluminação – Baixa tensão
1862	Juta e betume	Maior tensão – até 2 kV
1890	Papel em óleo	Maior tensão – até 10 kV
1914	Blindagem	Acima de 10 kV
1925	Óleo fluido	Acima de 69 kV
1947	Polietileno – PE	Menor espessura
1959	XLPE/EPR	Melhor isolação

pela Brazilian Traction, Light and Power, precursor da Light.

Em 1902, o início se deu em São Paulo com três câmaras num sistema radial operando em 2,2 kV. Posteriormente, em 1928, esse primeiro sistema foi transformado para 3,8 kV.

A necessidade de transporte de grandes blocos de potência indicava a necessidade de cabos subterrâneos operando também



**Figura 1 – Nova York. Ilustração da Consolidated Edison, Inc.**

em tensão de transmissão. Pesquisas utilizando a expansão e a contração do óleo impregnante, o óleo bastante fluido e recipiente para sua expansão térmica, viabiliza a construção de cabos para operação em 138 kV nos Estados Unidos e de cabos para 220 kV na Europa (cabos OF).

Em 1927, foi patenteado o cabo a gás e temos notícia do primeiro cabo em nitrogênio, com 200 psi de pressão interna, operando em Londres em 1932.

As práticas norte-americanas adotavam redes subterrâneas instaladas em dutos que interligavam caixas e poços, enquanto a prática europeia mostrava redes diretamente enterradas, sem utilização de dutos.

No caso norte-americano, devido à alta densidade de carga que normalmente caracterizava os locais em que as redes subterrâneas eram adotadas, eram projetadas com o secundário em malha, de tal forma que a falha em transformador, ou alimentador, não provocava interrupção no fornecimento de energia. No Brasil, essa solução foi chamada de sistema reticulado.

O primeiro sistema reticulado que se tem notícia data de 1907 em Memphis. No princípio, os transformadores eram ligados à rede por fusíveis, posteriormente foram utilizadas chaves manuais para isolar transformadores e alimentadores com defeito.

Outros desenvolvimentos foram acontecendo até que, em 1922, foi instalado, em Nova York, o sistema reticulado com o emprego dos “networks protectors”, ou protetores de rede, que isolavam automaticamente todos os transformadores do alimentador que apresentasse um defeito.

Assim surgiu o sistema considerado de maior confiabilidade, mas também o de maior custo por quilômetro instalado. Os protetores deveriam atuar automaticamente devido à inversão do fluxo de potência da malha e foram a grande razão da expansão desse sistema na primeira metade do século XX nos Estados Unidos.

São Paulo e Rio de Janeiro possuem a maior extensão de redes subterrâneas construídas com o sistema reticulado, o que acabou por influenciar o sistema de distribuição subterrânea adotado nas cidades de Brasília, Belo Horizonte e Curitiba. Pode-se dizer que até o começo do século XXI, é o sistema de distribuição subterrânea dominante no Brasil.

Outros sistemas também foram desenvolvidos, a partir do sistema radial, menos confiáveis, mas simples e econômicos.

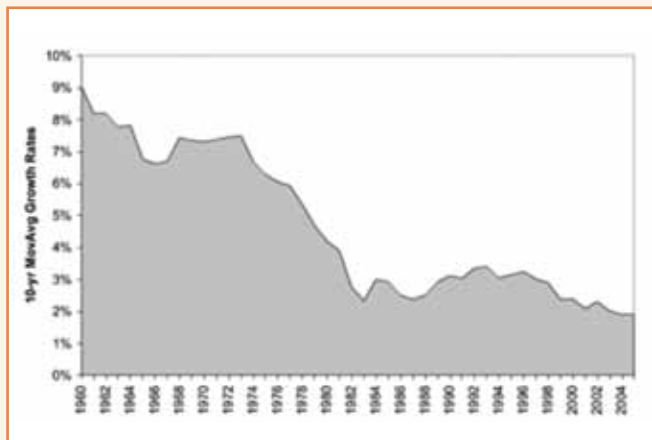
Em 1926, foi instalado na Filadélfia um sistema com primário em anel aberto, como uma evolução do sistema radial simples.

Devido a altas densidades de carga alimentadas e ao maior tempo de reparo dos eventuais defeitos, os sistemas subterrâneos normalmente são projetados com redundância.

Tanto nos sistemas reticulados como com primários seletivos e radiais com recurso, os alimentadores são projetados de tal forma que os remanescentes devem suportar a carga total em caso de falha em qualquer dos alimentadores.

De qualquer forma, a opção atual tanto da Europa quanto das cidades nos Estados Unidos é pelo emprego do sistema radial de soluções com maior ou menor contingência, em função dos custos associados e da importância das cargas atendidas.

O grande crescimento das redes subterrâneas ocorreu nas décadas de 1960 e 1970 nos Estados Unidos, com a expansão do sistema em condomínios residenciais (URD). As comunidades exigiam o sistema considerado visualmente melhor, o que deu origem à época dos chamados anos de “beautification”.



**Figura 2 – Rede subterrânea norte-americana – Instalação de sistemas em condomínios residenciais (URD) entre 1960 e 2004.**

A indústria, para acompanhar a demanda gerada, colaborou desenvolvendo um cabo, mais econômico, isolado em HMWPE, polietileno de alto peso molecular, com blindagem a fios e sem capa protetora.

Esse começo de grande demanda com o emprego de cabos isolados em polietileno, produzidos sem os controles de limpeza na produção, que foram reconhecidos como necessários somente nos anos seguintes, e sem capa protetora, resultou em grande ocorrência de falhas, ainda observadas nos dias de hoje. No entanto, esses cabos apresentaram vida média de 40 anos.

As grandes mudanças realizadas à época foram o emprego de cabos com isolamento sólido em HMPWE, neutro concêntrico, sem cobertura, diretamente enterrados e empregados em sistema radial monofásico.

Essas inovações, apesar dos problemas apresentados, resultaram em uma expansão do sistema subterrâneo, jamais vista. O custo estimado das instalações passou de ser de aproximadamente US\$ 2.000,00 por lote, para cerca de 20% desse valor à época.

Pode-se dizer que aquelas inovações proporcionaram um serviço de distribuição confiável, ao menor custo e venceram grandes desafios com a expansão das redes subterrâneas.

Rede subterrânea norte-americana – Instalação de sistemas em condomínios residenciais (URD) entre 1960 e 2004.

Na Europa, países como a Holanda, já na década de 1970, optaram por sistemas com cabos subterrâneos em função da segurança, da confiabilidade, da ocupação de espaços e da possibilidade de reutilização dos direitos de passagem.

A Europa, a partir do final da década de 1990, optou pela expansão da distribuição de energia elétrica exclusivamente com redes subterrâneas em praticamente todos os países.

Na Europa, a taxa de crescimento das redes subterrâneas ocorre a um valor anual da ordem de 2% a 3%. Enquanto que, nos Estados Unidos, a taxa de crescimento de investimentos no subterrâneo tem sido crescente nos últimos anos chegando a cerca de 27% do total de investimentos em 2008 do total de investimentos em todas as instalações de distribuição.

No Brasil, as redes subterrâneas não representam nem 1% do total das redes existentes. Somente quando avaliamos a região sudeste, há alguma participação significativa. Em São Paulo, a Eletropaulo apresenta cerca de 7% da rede existente, em extensão enterrada, enquanto no Rio de Janeiro a Light chega a 11% de redes subterrâneas em relação ao total existente.

No entanto, mais de 50 cidades no Brasil já possuem algum trecho de rua, praça ou local histórico, com rede subterrânea, além de uma grande parcela de condomínios residenciais e comerciais são implantados com o apelo das redes subterrâneas para valorização dos empreendimentos.

Os próximos capítulos desta série abordarão, entre outros aspectos, assuntos como ocupação, estética, tipos de sistemas empregados, novos empreendimentos, responsabilidades,

	REDES SUBTERRÂNEAS EM EXTENSÃO	
	Baixa tensão	Média tensão
Holanda*	100%	100%
Reino Unido*	81%	81%
Alemanha*	75%	60%
Dinamarca*	65%	59%
Bélgica*	44%	85%
Noruega*	38%	31%
Itália*	30%	35%
França*	27%	32%
Portugal*	19%	16%
Espanha*	17%	30%
Áustria*	15%	15%
Estados Unidos**		18%

\* Sycabel: Associação francesa de fabricantes de cabos, 2000.  
 \*\* Out of sight, out of mind, EEI: Edison Electrical Institute, 2009.

equipamentos utilizados, medição, smart grid, etc.

### Referências

- *Underground secondary AC networks. a brief history* By Robert J. Landman H&L Instruments, LLC IEEE PES, Senior Member - Presented at 2007 IEEE Conference on the History of Electric Power, Aug. 4, 2007.
- *Histórico de redes subterrâneas*, Plácido Antônio Brunheroto e José Carlos Galdioli, Oct. 2009.

- *Underground residential distribution systems. Historical review.* By William A. Thue, Consultant.
- *Undergrounding of electricity lines In Europe.* Commission of The European communities, 2003.
- *Out of sight out of mind revisited – An updated study on undergrounding of overhead power lines.* EEI Edson Electrical Institute, 2009.

\* Plácido Antonio Brunherotto é engenheiro eletricitista pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Trabalhou na Light Serviços de Eletricidade de São Paulo, na Themag Engenharia, na AES Eletropaulo, entre outras empresas. Atuou na elaboração de estudos, normas, especificações, padrões, projetos e implantação de redes de distribuição subterrânea.

João José dos Santos Oliveira é engenheiro eletricitista e mestre em engenharia elétrica pela Universidade de São Paulo. Atuou na AES Eletropaulo no período de 1978 a 2008 onde exerceu diversas atividades de engenharia da distribuição. Participa da organização do Fórum anual de Redes Subterrâneas de Energia Elétrica e do Cigré no projeto de Padrões de Redes Subterrâneas. Atualmente, é consultor em projetos de distribuição de energia elétrica para redes de distribuição subterrânea.

#### Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em [www.osestoreletrico.com.br](http://www.osestoreletrico.com.br)  
 Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail [redação@atitudeeditorial.com.br](mailto:redação@atitudeeditorial.com.br)