



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

A viabilidade da Implantação de Rede de Distribuição Secundária Compacta na CELG - Um estudo de caso

Cacilda de Jesus Ribeiro, Hélio Júnio Gomes Euler Bueno dos Santos Lourenço Matias	Cláudio Henrique Bezerra Azevedo André Pereira Marques
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás	CELG Distribuição
cacilda@eeec.ufg.br hejugo@gmail.com ebs@eeec.ufg.br lmatias@eeec.ufg.br	claudio.hb@celg.com.br andre.pm@celg.com.br

Palavras-chave

Redes compactas

Redes de distribuição secundária

Custo de implantação

Resumo

As redes compactas apresentam bons resultados para a solução do convívio harmonioso entre os cabos de energia elétrica e a arborização de vias públicas, contribuindo para evitar acidentes provocados por contatos acidentais de objetos lançados ou que possam vir a tocar a rede por algum motivo. Sendo assim, este estudo contribui com a apresentação de um estudo de caso relativo ao investimento financeiro de implantação no sistema elétrico de distribuição da concessionária de energia CELG Distribuição S.A., observando-se que, o Estado de Goiás possui atualmente, uma carência de fabricantes de componentes poliméricos necessários para esse tipo de rede. E o objetivo deste artigo é verificar os custos de implantação de uma rede de distribuição secundária, convencional ou compacta, e também o custo da alteração de rede convencional para compacta, por meio da elaboração de três projetos distintos para um mesmo circuito de distribuição secundária. No primeiro projeto, considerou-se a rede como convencional, no segundo, como compacta e, no terceiro, apresenta-se a mudança da rede de convencional para compacta. Diante dos resultados, concluiu-se que nestes projetos o custo de implantação da rede compacta é de aproximadamente quatorze por cento maior do que o custo da convencional, viabilizando assim a sua instalação em função das vantagens para o sistema elétrico de energia da CELG.

1. Introdução

Estudos sobre linhas de transmissão compactas (com tensões iguais ou superiores a 69 kV) são amplamente realizados em diversos países, como Brasil, Estados Unidos, Itália, Rússia, China, etc¹. Entretanto, no caso das redes secundárias compactas, destaca-se a situação brasileira, porque nela

predomina a instalação de sistemas aéreos de distribuição de energia elétrica com redes providas de condutores nus. A rede compacta com condutores revestidos não só tem um aspecto visual melhor do que as redes com condutores nus, como também beneficia as regiões com arborização intensa, onde o toque dos cabos em árvores pode causar interrupção de suprimento temporária.

Avaliar os custos de implantação de uma rede de distribuição numa dada região é de extrema importância para uma concessionária de energia elétrica, uma vez que, detalhando esses custos, torna-se mais fácil definir as estratégias para obtenção de melhores índices de continuidade de fornecimento de energia elétrica, e até mesmo definir em qual tipo de rede de distribuição investir: convencional ou compacta.

O fornecimento de energia elétrica deve obedecer a dois conceitos básicos, normalmente denominados de qualidade do produto e qualidade de serviço. A primeira, que é caracterizada basicamente pela forma de onda de tensão dos componentes de um sistema trifásico, contempla principalmente os seguintes fenômenos: variações de frequência, variações de tensão de longa duração, variações de tensão de curta duração, distorções harmônicas de tensão e de corrente, desequilíbrios de tensão e de corrente, e flutuações de tensão. Enquanto que, a qualidade do serviço, basicamente entendida como a continuidade do fornecimento, é fruto de intervenções no sistema elétrico, as quais são necessárias para repararem falhas no sistema (manutenção corretiva) e para realizar atividades de manutenção programada (manutenção preventiva).

A aplicação da rede aérea compacta na distribuição de energia elétrica se destaca em regiões arborizadas ou em locais que exigem maior segurança e confiabilidade². Em geral, são indicadas nas seguintes situações:

- Locais com frequência elevada de desligamentos provocados por interferência da arborização com a rede, e por descargas atmosféricas;
- Locais com frequentes ocorrências de objetos lançados à rede, por vandalismo;
- Estruturas com congestionamento de alimentadores;
- Subestações aéreas com congestionamento de saídas de alimentadores e
- Alimentador expresso atendendo a consumidores especiais.

Outras vantagens oferecidas pelas redes compactas são a redução do espaço físico ocupado e a melhor estética da rede³. E esse padrão construtivo, além de reduzir sensivelmente a necessidade da poda de árvores e as interrupções provocadas por contatos acidentais de objetos com os condutores, contribui também para o combate à prática do furto de energia e até mesmo de condutores⁴.

A Figura 1 ilustra um caso com a arborização intensa, com o qual a concessionária de energia (CELG D) depara no setor de manutenção.



Figura 1: *Árvore de grande porte: (a) rede convencional; e (b) detalhe da rede secundária.*

Por outro lado, o uso nas redes compactas de alguns materiais diferentes daqueles que são utilizados nas redes aéreas convencionais, como cabos cobertos com material isolante, espaçadores especiais, suportes específicos, entre outros, acabam por acarretar um custo mais elevado de construção quando comparados àqueles que são verificados usualmente nas redes convencionais⁵.

Ressalta-se também, que a utilização de redes de distribuição secundárias compactas proporciona benefícios em relação aos serviços de manutenção, e do ponto de vista operacional, exige-se mão de obra mais qualificada, pois, as características construtivas dessas redes tornam a detecção de defeitos mais difícil.

2. Implantação de uma Rede de Distribuição Secundária.

2.1 Rede de distribuição secundária.

Os custos de implantação de uma rede de distribuição secundária, convencional e compacta, e também o custo da mudança de uma rede convencional para uma compacta são apresentados a seguir.

Para a obtenção desses custos, foram elaborados três projetos distintos para um mesmo circuito de distribuição secundário. No primeiro projeto, considerou-se a rede como sendo convencional, no segundo, como compacta e, no terceiro, a mudança de uma rede convencional para uma compacta.

Cabe observar que, os dois primeiros projetos mencionados são casos clássicos de ampliação do sistema de distribuição, ou seja, a partir da planta baixa de certa área, elaborou-se o projeto elétrico da rede de distribuição necessária para alimentar novos consumidores.

O projeto de mudança de rede convencional para compacta é um caso típico de melhoria de circuito. Geralmente, elabora-se esse projeto visando melhorar o desempenho de um circuito já existente, tratando-se dos indicadores de continuidade da energia fornecida.

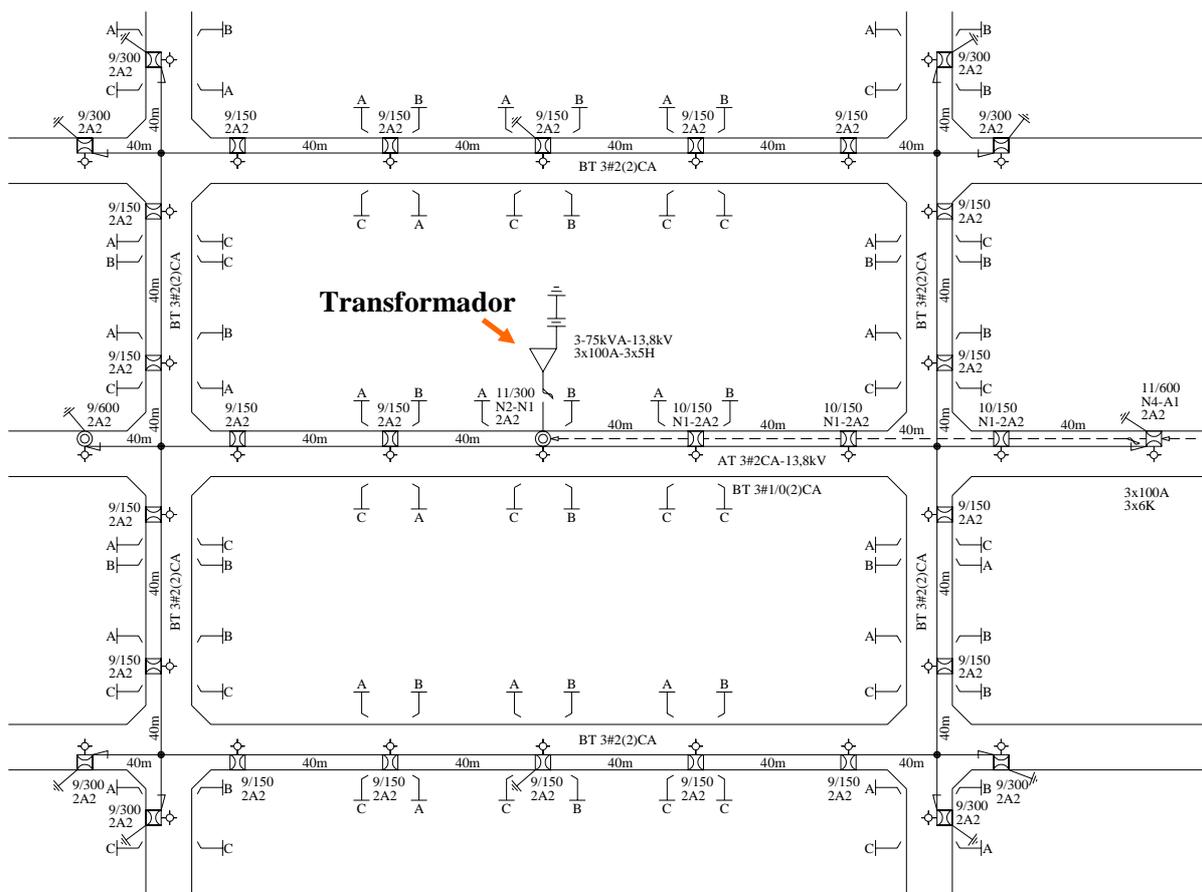
Nesse caso, realizou-se o levantamento em campo de maneira a coletar todos os dados da rede existente e dos consumidores alimentados e, de posse dessas informações, elaborou-se o projeto de melhoria para o dado circuito. As informações básicas coletadas, no levantamento de campo para um projeto de melhoria foram:

- Tipo de cada poste e seu número de identificação, caso exista;
- Tipo da estrutura;
- Ramais de consumidores conectados a cada poste, com identificação de qual fase, ou quais fases, alimentam o mesmo;
- Existência ou não de uso mútuo de determinadas estruturas;
- Tipo dos condutores e estado de conservação dos mesmos;
- Distância entre postes;
- Identificação da arborização local e sua influência no desempenho da rede; e
- Dados do transformador instalado.

Cabe ressaltar que, a rede primária necessária para alimentar o transformador foi projetada, para os três casos, como sendo convencional, de maneira que seu custo fosse o mesmo em todos os casos. E que, os projetos foram elaborados atendendo aos padrões estabelecidos pela CELG Distribuição S.A. (CELG D), contemplando as exigências das seguintes normas técnicas:

- NTD-08 – Critérios de projetos de redes de distribuição aéreas urbanas – classes 15 e 36,2kV⁶;
- NTD-17 – Estruturas de redes de distribuição aéreas protegidas – classe 15kV⁷; e
- NTD-18 – Estruturas para redes aéreas isoladas em tensão secundária de distribuição⁸.

A Figura 2 ilustra o circuito do qual foram elaborados os projetos, inclusive o de melhoria visando mudar a rede secundária de convencional para compacta.



Legenda:					
---	Rede primária	—/—	Chave fusível unipolar instalada		Encabeçamento de rede secundária
—	Rede secundária		Transformador Celg instalado		Encabeçamento de rede primária
	Cruzamento aéreo de rede secundária		Poste de concreto seção duplo T instalado		Ramal monofásico ligado à fase "A"
	Aterramento do neutro instalado		Poste de concreto seção circular instalado		Ramal monofásico ligado à fase "B"
	Pára-raio instalado		Luminária instalada		Ramal monofásico ligado à fase "C"
	Ramal trifásico ligado à fase "ABC"				
Indicação dos condutores:		Indicação do tipo de poste e estrutura:		Indicação do transformador, da chave fusível e do elo fusível	
AT - Rede primária		11/300 - Altura de 11m e 300daN de resistência à tração		3-75kVA-13,8kV - Transformador trifásico de 75kVA, 13,8kV	
BT - Rede secundária		N1-N2 - Estrutura da rede primária		3x100A - 3 chaves fusíveis unipolares com capacidade de 100A	
3#1/0 - 3 fases com condutor 1/0 AWG		2A2 - Estrutura da rede secundária		3x5H - 3 elos fusíveis de 5H	
(2) - Neutro com condutor 2 AWG					
CA - Cabo de alumínio sem alma de aço					
13,8kV - Classe de tensão da rede primária					

Figura 2 – Circuito utilizado para a elaboração dos projetos.

2.2 Etapa de Elaboração dos Projetos

De posse da planta baixa e da planta de situação da área, foram obtidas as características de carga dos consumidores que são alimentados, o perfil do terreno para determinação do traçado das redes e o ponto de derivação da rede primária para alimentação do transformador.

Para se estimar a demanda do circuito, foram considerados todos os consumidores como residenciais, classe “A”, nos quais se enquadram os consumidores com a demanda diversificada individualmente de 0,7 kVA de acordo com a NTD-08⁶. Considerou-se também a instalação de uma

luminária por poste, com demanda de 0,16 kVA por luminária. Assim, como 84 consumidores devem ser alimentados, ou seja, a área contém 84 lotes, e 34 luminárias devem ser instaladas, resultou-se em uma demanda total de 64,24 kVA para o circuito. Assim, definiu-se o transformador trifásico de 75 kVA, de 13,8 kV/380-220 V.

O dimensionamento elétrico da rede secundária consiste basicamente na determinação dos condutores, por meio do cálculo de queda de tensão. O cálculo de queda de tensão foi realizado adotando os coeficientes constantes nas tabelas 12 e 13 da NTD-08⁶ e na tabela 5 da NTD-18⁸, e a máxima queda de tensão permissível na rede secundária foi de 5% em condições normais de operação.

A queda de tensão máxima obtida no projeto com a rede secundária convencional foi de 2,27%, e no projeto com a rede secundária compacta foi de 2,06%, no mesmo trecho. Diferença essa devido aos valores diferentes dos coeficientes de queda de tensão secundária dos condutores utilizados, visto que a carga em ambos os circuitos é idêntica.

Para a rede convencional, com condutores 3#1/0(2) e 3#2(2), os coeficientes de queda de tensão secundária são 0,0473 e 0,0703, respectivamente, e para rede compacta, com condutores 3x1x70+50 e 3x1x35+50, os coeficientes de queda de tensão secundária são 0,0391 e 0,0735, respectivamente.

Definidos os condutores, iniciou-se o dimensionamento mecânico, que foi realizado visando definir as estruturas, inclusive os postes a serem empregados. Os parâmetros básicos considerados foram as trações associadas aos condutores empregados, os afastamentos mínimos a serem obedecidos (afastamentos entre condutores e solo, entre condutores e, entre condutores e edificações), ângulos de deflexão horizontal e vertical, comprimento dos vãos, ação do vento, e até mesmo esforços resultantes de outras redes compartilhando o mesmo poste.

Após a elaboração dos projetos, foram relacionados os materiais a serem utilizados e também, mensurada a mão-de-obra necessária para a execução dos mesmos.

A relação de materiais tornou-se necessária para realizar a cotação de preço junto a diversos fornecedores e assim contabilizar o custo dos materiais nos distintos projetos.

3 Obtenção dos Custos de Implantação

3.1. Custos dos Materiais

Depois de relacionar os materiais, realizou-se a cotação de preços dos mesmos. Nesta etapa, considerou-se três categorias:

- Postes e placas de concreto;
- Ferragens, condutores, isoladores e materiais em geral; e
- Transformador.

Os preços dos postes, das placas de concreto e do transformador foram obtidos diretamente de indústrias goianas, enquanto que os outros materiais foram obtidos de empresas revendedoras de materiais elétricos.

Posteriormente à obtenção dos preços, cujos valores foram referentes ao mês de fevereiro de 2008, o custo dos materiais de cada projeto foi contabilizado, conforme apresenta a Tabela 1. Observando-se que, os valores também estão expressos em p.u. (por unidade) e foram obtidos tomando-se como base os materiais da rede secundária convencional.

Tabela 1 – Custo dos materiais dos três projetos em estudo.

Tipo de Projeto	Valor (R\$)	Comparação (p.u.)
Rede secundária convencional	29.356	1,00
Rede secundária compacta	36.479	1,24
Mudança de convencional para compacta	13.584	0,46

3.2 Custo da Mão de Obra

A mão de obra foi mensurada em função da quantidade de unidades de serviço (US) contabilizada para executar cada projeto. A CELG D padronizou valores típicos de US para cada tipo de atividade a ser executada. Assim, em função do quantitativo de atividades, tem-se o valor total de US para cada serviço a se executar.

O total de US de cada um dos projetos foi obtido por meio do quantitativo de postes e de outros componentes das estruturas a serem instaladas, condutores a serem tensionados e outras atividades a serem executadas.

Como o valor atual pago pela CELG D por US é R\$ 19,63, o custo da mão-de-obra para execução de cada projeto foi calculada e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Custo da mão- de-obra para a execução de cada projeto em estudo.

Tipo de Projeto	US	Total (R\$)	(p.u.)
Rede secundária convencional	706,31	13.865	1,00
Rede secundária compacta	659,63	12.949	0,93
Mudança de convencional para compacta	259,66	5.097	0,37

3.3 Custo Total de Implantação

Em seguida, obteve-se o custo total de cada projeto adicionando-se ao custo dos materiais, o custo da mão-de-obra. Na Tabela 3 apresentado para cada projeto, o custo total e as parcelas de contribuição dos materiais e da mão de obra na composição do mesmo.

Tabela 3 – Contribuição dos materiais e da mão-de-obra na composição do custo total.

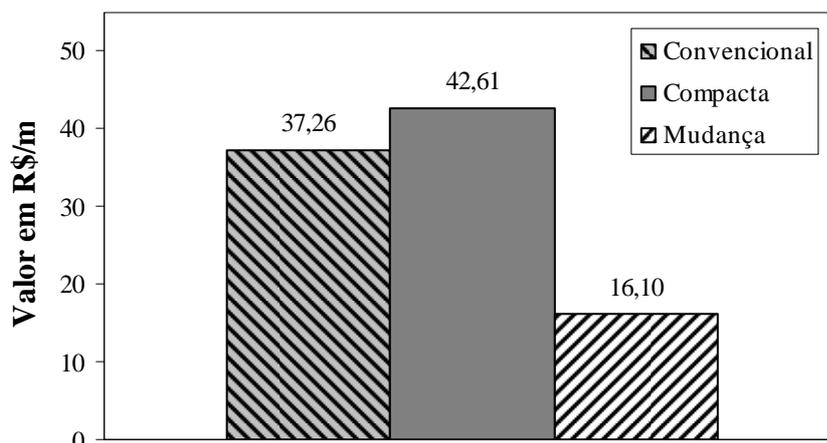
Tipo de Projeto	Materiais		Mão de obra		Custo total	
	Valor (R\$)	Valor (%)	Valor (R\$)	Valor (%)	Valor (R\$)	Valor (%)
Rede secundária convencional	29.356	67,9	13.865	32,1	43.221	100,0
Rede secundária compacta	36.479	73,8	12.949	26,2	49.427	100,0
Mudança de convencional para compacta	13.584	72,7	5.097	27,3	18.681	100,0

A Tabela 4 mostra de maneira simplificada, os custos de implantação dos referidos projetos, observando-se que, os valores também estão expressos em p.u., e foram obtidos com base no custo total de implantação da rede secundária convencional.

Tabela 4 – Custo total de implantação para cada projeto.

Tipo de Projeto	Valor (R\$)	Valor (p.u.)
Rede secundária convencional	43.221	1,00
Rede secundária compacta	49.427	1,14
Mudança de convencional para compacta	18.681	0,43

O custo para a implantação da rede secundária expresso em R\$/m neste estudo de caso, é também ilustrado na Figura 3.



Tipos de rede secundária.

Figura 3 – Custos de implantação em R\$/m das redes secundárias (convencional, compacta e mudança da rede convencional para a rede compacta).

4. Conclusões

Em relação aos custos de implantação das redes secundárias de distribuição, convencionais, compactas e a mudança de convencional para compacta, conclui-se que o custo de implantação da segunda é aproximadamente 14% maior que a primeira, observando os parâmetros de custos de materiais e de mão-de-obra aplicados neste estudo de caso. E que, de acordo com as necessidades, a mudança da rede convencional secundária para a rede compacta, do ponto de vista econômico, é uma opção interessante porque representa aproximadamente 38% do valor (em reais) de uma rede compacta nova.

Os municípios goianos têm como característica, dentre outras, uma densa arborização nas calçadas de suas ruas e de suas avenidas. Tal fato faz com que a arborização influencie fortemente na rede de distribuição, principalmente nos índices de continuidade de fornecimento. Dessa forma, se fazem necessárias podas freqüentes, as quais têm sido cada vez mais restritas devido às exigências de órgãos ambientais. Sendo assim, a utilização de redes secundárias compactas no Estado de Goiás é uma alternativa viável para atender as diretrizes ecológicas vigentes. Soma-se a isso, o baixíssimo risco da ocorrência de acidentes com os cabos elétricos decorrentes de objetos lançados ou que possam tocar a rede por algum motivo, fato que aumenta a segurança dos consumidores.

Cabe observar que, a rede secundária compacta, pelo fato dos condutores serem isolados, propicia uma maior continuidade do fornecimento de energia elétrica, bem como maior satisfação dos consumidores e a obtenção de bons índices de continuidade no fornecimento de energia proporcionando grandes benefícios para a concessionária local, em um mercado cada vez mais exigente e competitivo.

Portanto, salienta-se que o maior custo de investimento para implantação de uma rede secundária compacta, quando comparado com o da convencional, é certamente compensado pela melhoria nos índices de continuidade de fornecimento, já que as perdas financeiras decorrentes das interrupções não programadas (falhas) passam a ser significativamente menores ao longo da vida útil da rede elétrica.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com a colaboração do Centro de Operação da Distribuição (COD) do Departamento Técnico da CELG Distribuição S.A. (CELG D), da empresa KV Serviços Elétricos

Ltda., e da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás (EEEC/UFG).

Referências bibliográficas

- 1 CHAI, X.; LIANG, X; ZENG,R. **Flexible compact AC transmission system - a new mode for large-capacity and long-distance power transmission**. Power Engineering Society General Meeting - IEEE, 2006.
- 2 ENERSUL - Empresa Energética Mato Grosso do Sul. **Rede Compacta de Distribuição**. Disponível em: <http://www.enersul.com.br/aescelsa/meio_ambiente.asp>. Acesso em: 5 de outubro de 2006.
- 3 CECCHETTI, E. et al. **Compact Lines for Urban Áreas: A New Solution**. In: International Conference on Electricity Distribution, 1989.
- 4 COPEL, Companhia Paranaense de Energia. **Redes Compactas**. Disponível em: <<http://www.copel.com/pagcopel.nfs/docs>>. Acesso em: 10 de outubro de 2006.
- 5 SALARI, J.C.F.; D'ALMEIDA, J.C.S.; MOTTA, P.P.; VALENTE, L.S. **Análise Econômica de Redes Elétricas Rurais**. Relatório Técnico CEPEL DPP/PER n° 1259, 2001.
- 6 NTD-08. **Norma Técnica de Distribuição – Critérios de projetos de redes de distribuição aéreas urbanas – classes 15 e 36,2kV**. Companhia Energética de Goiás – CELG, 1996.
- 7 NTD-17. **Norma Técnica de Distribuição – Estruturas de redes de distribuição aéreas protegidas – classe 15kV**. Companhia Energética de Goiás – CELG, 2001.
- 8 NTD-18. **Norma Técnica de Distribuição – Estruturas para redes aéreas isoladas em tensão secundária de distribuição**. Companhia Energética de Goiás – CELG, 2001.