

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS - UNIS MG
ENGENHARIA ELÉTRICA
RODRIGO CESAR CAPUTO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA E
LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEAS**

Varginha
2016

RODRIGO CESAR CAPUTO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO AEREA E
LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Professor Me. Eduardo Henrique Ferroni.

**Varginha
2016**

RODRIGO CESAR CAPUTO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA E
LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em 05/12/2016.

Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni

Eng. Luiz Antônio da Silva Silvério

Prof. Esp. José Cláudio Furquim

OBS:

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, que é minha fonte inesgotável de energia presente todos os momentos em minha vida, segundo aos meus pais que são quem promoveu a realização desse meu sonho, e a todos meus familiares que me apoiaram no decorrer do meu curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que com sua infinita bondade e misericórdia compreendeu os meus anseios, e me guiou por este caminho, me dando força e coragem para seguir em frente e alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Jussara e Ronaldo, pelo apoio, confiança, amor e incentivo ao longo desses cinco anos.

A minha namorada, amiga e fiel companheira Pâmela, que me motivou e me apoiou nas dificuldades encontradas no decorrer dessa caminhada.

Ao meu orientador Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni a quem devo esta obra por toda orientação prestada e boa vontade cedida. Agradeço também a banca examinadora e a todos aqueles que colaboraram, direta ou indiretamente, para a conclusão deste trabalho.

“Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser insignificante”

Augusto Branco

RESUMO

Nos dias atuais, há uma crescente necessidade de fornecimento de energia elétrica para atender a pressão da sociedade, em função de um atendimento de energia sem falhas ou interrupções. A tecnologia aplicada à construção das redes de distribuição de energia elétrica, seja essa distribuição aérea ou subterrânea tem demonstrado grande evolução ao decorrer dos anos. O resultado dessa evolução interfere diretamente nos custos reduzidos e principalmente segurança. Sendo assim, a utilização de métodos de distribuição mais modernos e confiáveis torna-se de grande importância entre as concessionárias de energia elétrica no Brasil. Para que se esclareça essa questão, o trabalho demonstra um estudo comparativo das formas de distribuição, visando como objetivo fazer uma demonstração entre as vantagens e desvantagens da implementação de linhas de distribuição aéreas e linhas de distribuições subterrâneas, levantando em conta os principais fatores, sejam positivos e negativos de cada modelagem de linha de distribuição.

Palavras-chave: Energia elétrica. Redes de distribuição. Implementação de linhas de distribuição. Comparativo das formas de distribuição.

ABSTRACT

Nowadays, there is an increasing need to supply electricity to meet the pressure of society, due to an uninterrupted power supply or interruptions. The technology applied to the construction of electricity distribution networks, be it aerial or underground distribution has shown great evolution over the years. The result of this evolution directly interferes with reduced costs and especially safety. Therefore, the use of more modern and reliable distribution methods becomes of great importance among electric power concessionaires in Brazil. In order to clarify this issue, the paper demonstrates a comparative study of the distribution forms, aiming at demonstrating the advantages and disadvantages of the implementation of aerial distribution lines and underground distribution lines, taking into account the main factors, Positive and negative effects of each distribution line modeling.

Keywords: *Electricity. Distribution networks. Implementation of distribution lines. Methods of distribution. Comparative forms of distribution.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Aglomeração de condutores ligados no poste.....	12
Figura 02 - Modelo de linha de distribuição.....	16
Figura 03 - Esquema de ramal de ligação.....	17
Figura 04 - Esquema de ligação das redes aéreas convencionais.....	18
Figura 05 - Condutores nus sobre as cruzetas.	19
Figura 06 - Modelo de linha de distribuição aérea compacta.....	20
Figura 07 - Modelo de condutores isolados.....	21
Figura 08 - Esquema de rede de distribuição subterrânea de energia elétrica.....	22
Figura 09 - Configuração do cabo de isolamento em XLPE e EPR	26
Figura 10 - Banco de dutos de uma linha subterrânea.....	28
Figura 11 - Rede de distribuição da Rua Presidente Getúlio Vargas	41
Figura 12 - Rede de distribuição da Rua Presidente Getúlio Vargas	42
Figura 13 - Esquema de distribuição da rede	42
Figura 14 - Poluição visual da Rua Presidente Getúlio Vargas.....	43
Figura 15 - Porcentual de custo de conversão de redes aéreas para redes subterrâneas.....	45
Figura 16 - Área exposta a poda para manutenção.....	46
Figura 17 - Participação total de redes subterrâneas no Brasil.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Custos estimados para Rede Aérea.....	36
Tabela 02 - Custos estimados para Rede Subterrânea Reticulada.....	36
Tabela 03 - Custos estimados para Rede Subterrânea Radial	37
Tabela 04 - Custos estimados para Rede Subterrânea com Equipamentos em Pedestal...	37
Tabela 05 - Custos Estimados para Rede Subterrânea com Equipamentos em Poste.....	38
Tabela 06 - Custo aproximado de implementação de rede.....	38
Tabela 07 - Análise comparativa entre modelos de distribuição de energia.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 HISTÓRICO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO.	13
3 REDES DE DISTRIBUIÇÃO	16
3.1 Redes convencionais aéreas	17
3.2 Redes convencionais aéreas compactas	19
3.3 Redes convencionais aéreas isoladas.....	20
3.4 Redes subterrâneas.....	21
3.4.1. Semienterradas.....	22
3.4.2. Totalmente enterradas.....	22
4 ANALISE ENTRE AS LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA CONVENCIONAL E AÉREA COMPACTA.....	24
5 INFRAESTRUTURA	25
5.1 Rede de distribuição aérea.....	25
6 QUALIDADE DA ENERGIA	30
6.1 Qualidade de energia no brasil.....	30
6.2 Indicadores de qualidade	31
7 LEVANTAMENTO TÉCNICO	35
8 LEVANTAMENTO FINANCEIRO.....	36
8.1 Rede aérea	36
8.2 Rede totalmente enterrada – Sistema Reticulado.....	36
8.3 Rede totalmente enterrada – Sistema Radial.....	37
8.4 Rede parcialmente enterrada – Equipamentos tipo pedestal.....	37
8.5 Rede parcialmente enterrada – Equipamentos em poste	37
9 CUSTOS	39
9.1 Manutenção preventiva.....	39
9.2 Manutenção corretiva	39
10 METODOLOGIA.....	41
10.1 Levantamento estrutural do objeto de estudo	41
10.2 Levantamento financeiro e estrutural do objeto de estudo	43
10.3 Levantamento de manutenção e segurança do objeto de estudo	45
11 RESULTADOS	47
12 CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento da população, nos centros urbanos, e crescente demanda de energia acarretada por esse desenvolvimento, tem se tornado maior a necessidade de um sistema de distribuição de energia sempre eficaz. Porém como nos grandes centros é elevada densidade demográfica, é feita a procura de modelos alternativos de distribuição para que solucione a aglomeração de condutores e equipamentos utilizados nas linhas de distribuição. No caso de grandes centros urbanos e de avenidas que apresente esse problema, é visível a dificuldade de uma concessionária encontrar caminhos para implementação das linhas aéreas, atrelado a grande utilização da rede aérea, conforme notado na Figura 1, que demonstra a grande quantidade de condutores, cabos e demais equipamentos que podem estar dividindo espaço com árvores, construções, fachadas de prédios e calçadas causando intensa poluição visual e interferindo na mobilidade e acessibilidade urbana. As improvisações e precariedade de distribuição aéreas geram muitos problemas de confiabilidade do serviço. O estudo em questão tem por objetivo realizar uma comparação entre a rede de distribuição aérea e a rede de distribuição subterrânea, analisando os parâmetros atuais de caracterização de cada uma, tais como a forma de implementação, custos, prós e contra benefícios urbanísticos levando em conta o aspecto visual, impactos ambientais., confiabilidade, segurança de cada infraestrutura, qualidade da distribuição de energia dentre outros fatores que leve a um resultado demonstrativo das vantagens técnicas e econômicas da implementação de cada modelo de linhas de distribuição

Figura 01: Aglomeração de condutores ligados no poste



Fonte: O autor.

2 HISTÓRICO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO.

Na segunda metade do século XIX, a energia elétrica partiu em um importante papel na economia mundial, devido a máquinas atingirem um elevado grau de desenvolvimento, que possibilitaram como força motriz sua utilização nas indústrias e meios de transportes. Com lâmpadas de arco voltaico, a iluminação pública apresentava-se como uma alternativa à iluminação gerada a gás. Utilizava-se, como energia primária quase que exclusivamente máquinas a vapor estacionárias, ou locomoveis, que queimavam carvão ou lenha, em pontos próximos de sua utilização (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

No final deste século, em 1882, a primeira empresa foi fundada, na qual gerou e vendeu energia elétrica, impulsionada pela invenção da lâmpada, por Thomas Edson, que facilitou a iluminação com uso da energia elétrica. Edison criou um sistema cujos motores eram acionados por máquinas a vapor e toda energia distribuída por barras de cobre. A rede abrangia uma área aproximada de 1600 m de raio em torno da usina e chegou a distribuir energia em corrente contínua (110 V) para até 400 clientes (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

A rede obteve gigantesca aceitação e necessitou ser expandida, pois inicialmente foi construída voltada somente para iluminação pública. Porém, em virtude de limitações econômicas e técnicas impostas ao transporte de energia a distâncias maiores da época, foi impedido à expansão (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Em 1886, já existiam aproximadamente 60 centrais de corrente contínua alimentando cerca de 150.000 lâmpadas. Nesta época, foi colocada em operação a primeira central em corrente alternada, localizada em Massachusetts, com apoio de Westinghouse (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Os sistemas Corrente Alternada (CA) começaram a se multiplicar rapidamente com a invenção dos transformadores, foi quando em maio de 1888, Nicola Tesla, na Europa, apresentou um artigo descrevendo motores de indução e motores síncronos bifásicos. Em 1892, ele desenvolve o primeiro motor de indução CA, que foi um passo fundamental dado para a definição de um sistema de transmissão e distribuição de energia predominante. O sistema CA seguiu-se logo com o desenvolvimento dos motores e geradores síncronos de indução. As vantagens deste sistema em relação ao CC fizeram com que os sistemas de CA passassem a ter um desenvolvimento rápido. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Foi quando George Westinghouse investiu na fabricação dos primeiros transformadores de corrente alternada, que se deu início para o desenvolvimento de uma tecnologia facilitadora

para a distribuição de energia em potencias maiores para maiores distancias (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

A primeira grande aplicação da tecnologia CA aconteceu na construção do complexo de Niagara Falls, localizado na América do Norte, quando o grupo defensor da tecnologia CA vence a concorrência sobre os defensores da geração, transmissão e distribuição CC liderados por Edson, e inaugura o sistema de energia de corrente alternada que atingiu uma distância considerável até então improvável para o sistema em corrente contínua (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Já no Brasil o primeiro registro de linha de transmissão, foi construído por volta de 1883, em Diamantina, Minas Gerais com finalidade de levar a energia produzida em uma usina hidrelétrica, construída por duas rodas d'água e dois dínamos grame, a uma distância de 2 km aproximadamente, que consta que era na época, a LT mais extensa do mundo. A energia transportada acionava bombas hidráulicas em uma mina de diamantes.

A partir desse período, as redes CA passassem a ter um desenvolvimento ainda maior, principalmente em países da Europa e Estados Unidos. Desta forma se consolidou a grande viabilidade dos sistemas CA sobre o CC para a interligação entre a geração de energia e os pontos consumidores (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Em Londres, já em 1890 as redes aéreas de distribuição em expansão já não eram aceitas devendo assim ser modificadas. Com isso fabricantes britânicos de cabos desenvolveram técnicas para isolação de cabos de alta tensão e meios menos onerosos para enterrar cabos nas ruas, iniciando assim um maior interesse na implantação da distribuição subterrânea (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Já em Nova Iorque, durante a primeira metade do século XX, com a expansão dessa rede aérea e o aumento constante dos cabos telefônicos e telegráficos, formaram-se grandes labirintos aéreos pelas calçadas da cidade. Isso fez com que a configuração subterrânea se tornasse também desejável (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Durante a Segunda Guerra Mundial desenvolveram os primeiros transformadores para instalação sob as ruas, o transformador de pedestal e as cabines metálicas instaladas ao nível do solo para abrigar equipamentos de seccionamento e proteção, trazendo mais flexibilidade, confiabilidade e relativo baixo custo. Isso possibilitou a expansão e maior aceitação das redes subterrâneas (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

O atendimento de energia chegava cada vez mais a grandes centros de carga como centros comerciais, loteamentos residenciais e parques industriais, aumentando cada vez mais a necessidade de uma alimentação elétrica sem interrupções.

Gerada a necessidade de desenvolvimento sobre a confiabilidade no fornecimento de energia, visando redução nos impactos ambientais, nos riscos de acidentes em redes aéreas, nas podas de árvores necessárias para manutenção, geraram maior discussão sobre a viabilidade de uma substituição das usuais redes aéreas pelas redes subterrâneas.

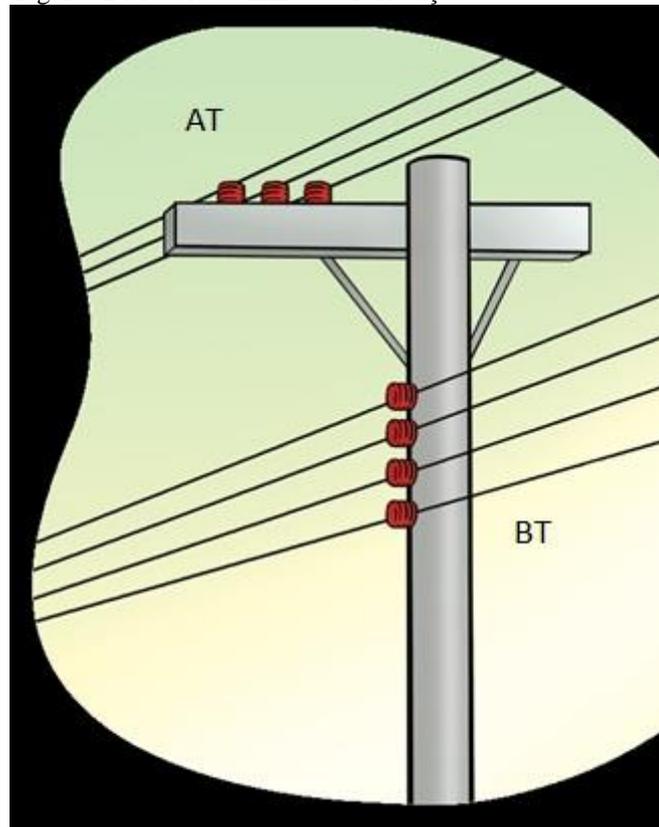
Por exemplo, a concessionária LIGHT, no Brasil, no século XX já transformava parte da sua rede aérea para subterrânea na cidade do Rio de Janeiro. Entretanto, esses sistemas tiveram pouca expansão devido aos altos custos iniciais quando comparados com as redes aéreas de distribuição (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

3 REDES DE DISTRIBUIÇÃO

As redes de distribuição são compostas por linhas de média e baixa tensão, também chamadas de redes primária e secundária, respectivamente. As linhas de média tensão são aquelas com tensão elétrica entre 2,3 kV e 44 kV, e são muito fáceis de serem vistas em ruas e avenidas das grandes cidades, frequentemente compostas por três fios condutores aéreos sustentados por cruzetas de madeira em postes de concreto.

As redes de baixa tensão, com tensão elétrica que pode variar entre 110 e 440 V, são aquelas que, também afixadas nos mesmos postes de concreto que sustentam as redes de média tensão, localizam-se a uma altura inferior conforme a Figura 2 que ilustra melhor sua locação.

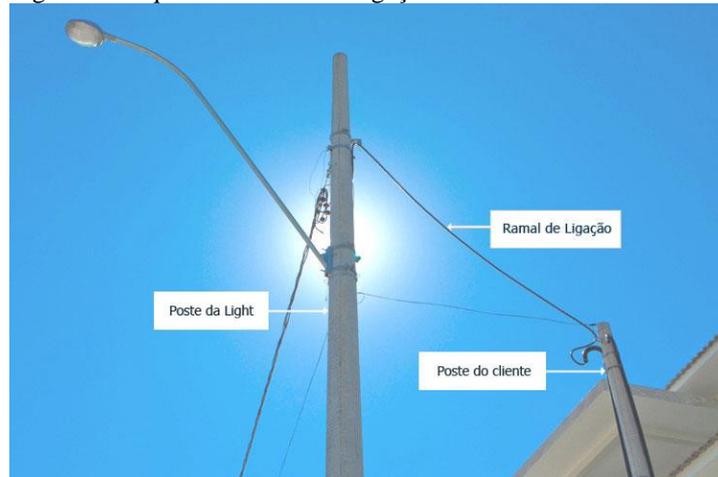
Figura 02 Modelo de linha de distribuição



Fonte: ABRADDEE, 2016.

As redes de baixa tensão levam energia elétrica até as residências e pequenos comércios/indústrias por meio dos chamados ramais de ligação, que são instalados conforme Figura 03. Os supermercados, comércios e indústrias de médio porte adquirem energia elétrica diretamente das redes de média tensão, devendo transformá-la internamente para níveis de tensão menores, sob sua responsabilidade.

Figura 03 Esquema de ramal de ligação



Fonte: AGENCIA VIRTUAL LIGHT, 2016

Outro critério importante utilizado é em função do tipo de isolamento do condutor, podendo este ser nu protegido ou isolado.

Nas redes de distribuição de média tensão também são, frequentemente, encontrados equipamentos auxiliares, tais como capacitores e reguladores de tensão. Ambos são, frequentemente, utilizados para corrigir anomalias na rede, as quais podem prejudicar a própria rede elétrica ou mesmo os equipamentos dos consumidores.

Quanto à forma de instalação das redes, existem quatro tipos de redes de distribuição de energia elétrica. São eles:

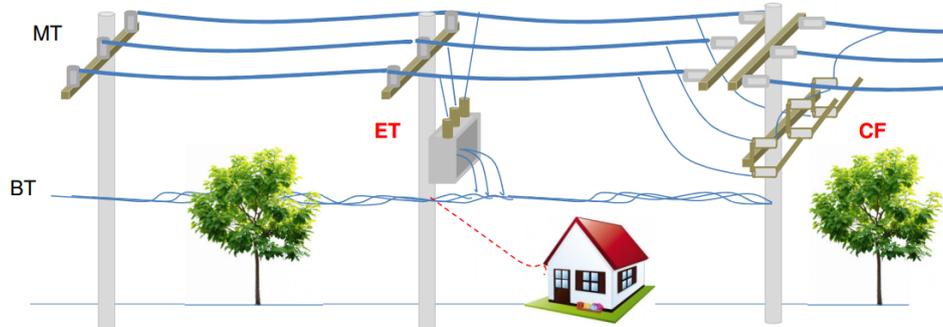
- a) Rede de Distribuição Aérea Convencional.
- b) Rede de Distribuição Aérea Compacta.
- c) Rede de Distribuição Aérea Isolada.
- d) Rede de Distribuição Subterrânea.

3.1 Redes convencionais aéreas

Predominante no Brasil, esse modelo de linhas de distribuição caracteriza-se por mais barato devido a simplicidade de sua configuração de implementação, porém a partir dos anos 2000 foi proibido a implementação desse tipo de linha de distribuição, ou seja, já não se aplica esse modelo de rede para novos loteamentos e manutenções de substituição. As redes convencionais aéreas caracterizam por conter seus condutores nus, apoiados por isoladores de vidro ou porcelana, fixados verticalmente nos postes no caso de baixa tensão (secundário) ou fixados horizontalmente sobre cruzetas de madeiras nos circuitos de média tensão (primário), conforme Figura 04 que exemplifica o modelo de distribuição aérea. Nos postes existem outros

componentes alocados como braços de iluminação pública, transformadores de distribuição, bancos de capacitores, chaves seccionadoras e infraestrutura de comunicação, para raios dentre outros.

Figura 04 Esquema de ligação das redes aéreas convencionais



Fonte: LMDM Consultoria Empresarial, 2011.

Esse modelo de linha, embora seu custo de implementação seja bem mais reduzido, conforme será demonstrado, apresenta um nível de confiabilidade baixo na distribuição, uma vez que qualquer contato com elementos externos ao sistema pode provocar o desligamento da rede, por não possuir isolamento nos cabos conforme demonstra a Figura 05, e eles ocupem mais espaço em relação às demais linhas. Considera-se também, como será citado no trabalho, risco a segurança de pessoas, uma vez que a proximidade dessa rede com marquises, andaimes, sacadas, painéis, facilita o contato acidental de pessoas com os condutores, ocasionando possíveis descargas elétricas que causam acidentes que podem levar a óbito. Apresenta grande taxa de falhas e exige um cuidado especial com manutenção de podas de árvores próximas, que é uma das principais causas de interrupções da rede atualmente. Além deste, existem vários outros fatores que fazem que haja intervenção para consertos, tais como raios, chuvas, poluição, salinidade, acidentes com veículos danificando os postes, ventos fortes e grandes pássaros que contatam uma linha com a outra.

Figura 05 Condutores nus sobre as cruzetas.



Fonte: CELESC, 2016.

3.2 Redes convencionais aéreas compactas

Surgidas no Brasil na década de 1990, as redes compactas são muito mais protegidas que as redes convencionais, não somente porque os condutores têm uma camada de isolamento, mas porque a rede em si ocupa bem menos espaço, resultando em menor número de perturbações. Os estudos e a construção das primeiras redes compactas ocorreram em 1991 no Estado de Minas Gerais, pela CEMIG – Companhia Energética de Minas. A partir de 1992, a COPEL – Companhia Paranaense de Energia – iniciou seus estudos e em 1994, tomando como exemplo, foram instaladas as primeiras redes compactas protegidas, na cidade de Maringá, sendo que atualmente a cidade possui 100% de sua rede urbana no sistema compacto.

As redes compactas deram início devido à necessidade das fornecedoras de energia de melhorar o padrão de distribuição de energia visando uma melhor qualidade com menos falhas.

Trata-se de três condutores cobertos por uma camada de polietileno não reticulado (XLPE), sustentados por um cabo mensageiro de aço que por sua vez, sustenta espaçadores poliméricos de acordo com a Figura 06. Esses espaçadores são instalados a cada 10 m, apoiando os condutores que ficam dispostos em um arranjo triangular compacto (GOMES, 2010).

Figura 06 Modelo de linha de distribuição aérea compacta



Fonte: ATSELETRICA, 2016

Os isoladores de pino e de ancoragem, feitos em material polimérico, isolam os condutores da rede, em conjunto com os espaçadores, braços suportes e para-raios para proteção contra descargas atmosféricas, chaves blindadas para seccionamento e manobra da rede e transformadores auto protegidos, com proteção interna contra curto-circuito (LIGHT, 2011).

Os cabos são apenas protegidos, não podendo ser considerados isolados eletricamente.

As principais vantagens da rede aérea protegida são:

- a) Custos operacionais reduzidos;
- b) Redução dos riscos de acidentes;
- c) Diminuição nas interrupções;
- d) Redução do nível das podas de árvores, preservação da arborização, pois elas reduzem substancialmente a poda de árvores devido à menor área que os condutores ocupam;
- e) Redução drástica na taxa e frequência de falhas, com consequente redução nas intervenções na rede;
- f) Redução das manutenções de redes, liberando mão de obra;
- g) Aumento de segurança para eletricistas e público geral;
- h) Melhoria visual Empresa Distribuidora.

3.3 Redes convencionais aéreas isoladas

Este tipo de rede caracteriza-se pelo seu alto índice de proteção, pois os condutores são encapados com isolamento suficiente para serem trançados. Trata-se de uma rede mais cara, recomendada para projetos especiais onde ela se apresenta com opção única, uma vez que a convencional aérea seja perigosa e a subterrânea seja inviável.

Nas redes aéreas isoladas, de baixa e média tensão, são utilizados três condutores isolados, blindados, trançados e reunidos em torno de um cabo mensageiro de sustentação. O cabo mensageiro serve como elemento de proteção elétrica e de sustentação mecânica, usado como por exemplo contra a queda de um galho ou objetos pesados na rede, conforme demonstrado na Figura 07.

Figura 07 Modelo de condutores isolados



Fonte: CELESC, 2016.

São necessários cabos condutores isolados com camadas semicondutoras, chamados de cabos multiplexados que confinam o campo elétrico em seu interior, ou seja, isolados eletricamente (QUEIROZ, 2003).

Os condutores e acessórios são blindados e totalmente isolados trazendo maior segurança contra contatos acidentais temporários ou contato permanente com objetos aterrados ou ainda a arborização. Nesta rede existe a eliminação contra descargas atmosféricas, pois a blindagem está aterrada nos dois lados do cabo transposto. Um fator importante para esse tipo de rede de distribuição é que o custo operacional é reduzido, já que a ocorrência de falhas é pequena.

3.4 Redes subterrâneas

As redes subterrâneas caracterizam-se por seus condutores serem enterrados, e podem ser divididas em:

3.4.1. Semienterradas

As semienterradas são sistemas subterrâneos que possuem os cabos enterrados e os equipamentos instalados sobre o solo. Este arranjo é possível quando existe uma área suficiente para instalação de painéis e cabines destinados a abrigar o transformador de distribuição e demais acessórios (AZEVEDO, 2010).

3.4.2. Totalmente enterradas

Os sistemas subterrâneos de distribuição de energia elétrica totalmente enterrada são caracterizados pelo uso de cabos e demais equipamentos elétricos totalmente enterrados conforme demonstra a Figura 08. Sua utilização é indicada em áreas urbanas com alta densidade de carga, em que a rede aérea é inviável (AZEVEDO, 2010).

Os cabos podem ser instalados diretamente enterrados ou protegidos por uma estrutura civil composta por bancos de dutos, caixas de passagem e câmaras subterrâneas, que serão mais detalhadamente analisadas no decorrer deste trabalho.

Figura 08 Esquema de rede de distribuição subterrânea de energia elétrica



Fonte: LMDM Consultoria Empresarial, 2011.

Apesar do custo mais elevado, os sistemas subterrâneos são justificados em áreas com grande densidade de carga, locais com congestionamento de equipamentos aéreos e locais onde os fatores estéticos têm de ser levados em conta, como cidades históricas, turísticas, bairros típicos, loteamentos e bairros de alto poder aquisitivo. Algumas outras vantagens em relação aos outros sistemas são:

- a) Menor possibilidade de falhas;
- b) Alto nível de segurança;
- c) Melhor convivência com o meio ambiente;

- d) Necessidade quase inexistente de podas de árvores;
- e) Redução nos custos de manutenção;
- f) Continuidade de serviço.

4 ANÁLISE ENTRE AS LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA CONVENCIONAL E AÉREA COMPACTA.

Em análise de alguns estudos citados envolvendo as linhas de distribuição aérea convencional e compacta pode se notar que as linhas compactas são mais vantajosas.

Na Tabela 01 estão alguns dados de levantamentos de preço por Km da concessionária de energia CEMIG/ MG:

Quadro 01 Comparativo financeiro das redes aéreas convencionais e compactas

SERVIÇO	CEMIG/MG (R\$/Km)
Implementação de rede convencional.	54.188,39
Implementação de rede compacta.	62.215,99
Manutenção preventiva na rede convencional	131,20
Manutenção preventiva na rede compacta	20,75
Manutenção corretiva na rede convencional	18,72
Manutenção corretiva na rede compacta	3,88
Poda em rede convencional	68,82
Poda em rede compacta	14,12

Fonte: LIMA. HILTON, 2006.

Com análise aos dados pode-se concluir que:

- a) Custo de implantação da rede compacta é praticamente o mesmo da rede convencional.
- b) Há uma redução de 80% no custo de manutenção da rede compacta quando comparado à rede convencional.
- c) É mais vantajoso o uso de redes de distribuição compacta em vez de redes convencionais, tanto em termos de custos quanto de benefícios entre esses a melhor convivência com as árvores viárias.
- d) Há menor interrupção no fornecimento de energia no modelo compacto, uma vez que a manutenção é menor.
- e) Aumento de segurança para eletricitistas e público geral;
- f) Melhoria visual.

Tendo em vista os dados apresentados e tomando em consideração que não é mais permitido o uso das linhas aéreas convencionais de acordo com a resolução que entrou em vigor a partir dos anos 2000, não será abordado no trabalho as linhas de distribuição aéreas convencionais.

5 INFRAESTRUTURA

5.1 Rede de distribuição aérea

Para atender a um planejamento o projeto de redes aéreas, dever ser levados em conta vários fatores como as condições locais, o grau de urbanização das ruas, a dimensão dos loteamentos, tendências regionais e comparações que podem ser realizadas com regiões que possuam dados de carga e taxas de crescimento conhecidas.

No início do projeto deverão ser determinados a quantidade e o traçado dos alimentadores primários e secundários de acordo com a demanda requerida. Definem-se os centros de carga e locam-se os postes necessários para a sustentação e funcionamento eficiente da rede de distribuição (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Na locação dos postes deve-se cuidar com a distância às construções e fachadas, aconselha-se também não os local em curvas das ruas e avenidas a fim de evitar acidentes e futuros prejuízos das instalações. A iluminação pública deve ser adequada nos locais de maiores concentrações (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Os condutores são o meio pelo qual se transporta potência de um determinado ponto até um terminal consumidor. Nas redes aéreas, os cabos utilizados são nus ou protegidos, que são constituídos apenas por condutor e isolamento. Praticamente apenas dois metais se destinam a fabricação de condutores elétricos, o alumínio e o cobre (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Os de alumínio normalmente dominam o mercado nas aplicações de redes de transmissão e distribuição não localizadas próximos a orla marítima. Seu baixo custo comparado com os de cobre, sua relação peso por área e sua ótima resistência aos esforços mecânicos são algumas das suas várias vantagens.

Os transformadores utilizados são instalados nos postes de distribuição e são sempre dimensionados em função do crescimento da carga e de forma a minimizar os custos anuais de manutenção. As potências nominais são 15, 30, 45, 75, 112,5, 150 e 250 kVA (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Devem se localizar em centros comerciais e industriais, ou seja, o mais próximo possível dos centros de carga e nos locais que possuem alta concentração de carga, onde é comum a ocorrência de pequenos distúrbios no fornecimento.

5.2 Rede de distribuição subterrânea

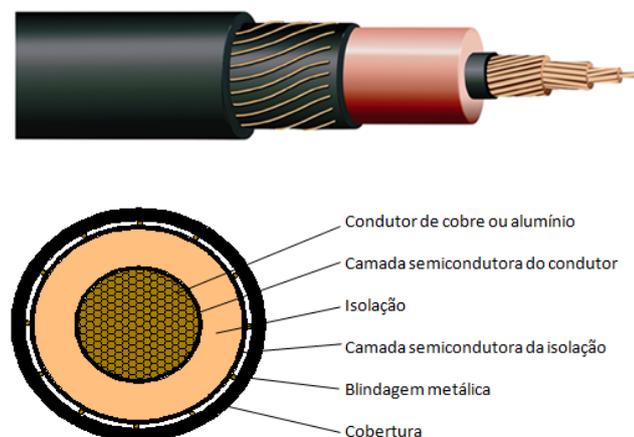
Para esse tipo de projeto, devem ser levados em conta alguns estudos preliminares com o levantamento de algumas informações e execução do mesmo, de forma segura e planejada. Dentre eles estão os estudos preliminares, pesquisas de mercado (tipo de consumidor e taxas de crescimento), estimativa da demanda total e projeto elétrico, características da região (tipo de solo, condições climáticas), planejamento da futura iluminação pública, planejamento das calçadas e estudo da acessibilidade a pessoas portadoras de necessidades especiais, planejamento do trânsito, análise de projetos já existentes, planejamento da infraestrutura urbana, estudo do possível enterramento das redes de energia e demais equipamentos, execução do projeto, fiscalização e gerenciamento das obras.

O planejamento correto desses itens citados e o gerenciamento do cronograma de implantação das redes subterrâneas são imprescindíveis para evitar ao máximo o transtorno à população próxima às regiões em obras.

Existe uma diversa variedade de padrões construtivos e configurações utilizadas na infraestrutura dessas redes. Possuem elevada complexidade de instalações e equipamentos.

Diferentemente dos condutores utilizados nas redes aéreas, que são em geral cabos nus e protegidos, os da rede subterrânea possuem isolação plena, ou seja, os cabos possuem uma blindagem metálica circundando a isolação do cabo que garante uma menor taxa de falhas, conforme a Figura 09 demonstra as características do cabo (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Figura 09 Configuração do cabo de isolação em XLPE e EPR



Fonte: NEXANS, 2016.

Os materiais mais utilizados na isolação dos cabos da rede secundária são normalmente o Polietileno Termofixo (XLPE) e a borracha Etilenopropileno (EPR). Ambos possuem bom desempenho, a diferença principal é que os cabos isolados em EPR têm maior capacidade de resistir a umidade. Entretanto o custo benefício dos cabos XLPE ainda é melhor, fazendo com que seu uso seja mais difundido.

Os condutores devem ser dimensionados para a pior condição, ou seja, situações que reduzem ao máximo a capacidade de condução de corrente e elevam a queda de tensão do cabo. No dimensionamento também deve ser levado em conta os cálculos de curto-circuito, e caso seja necessário, a bitola da blindagem do condutor deverá ser alterada. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Uma das maiores dificuldades no projeto de redes subterrâneas é o enterramento dos condutores em um solo recheado de tubulações de serviços essenciais (rede de esgoto, água, galerias pluviais) e de outras concessionárias como de telefonia, TV a cabo e fibra óptica. Dessa forma há um enorme cruzamento de redes, diminuindo os espaços no subsolo, gerando contratempos e elevando ainda mais os custos de instalação (COPEL, 2010).

Para amenizar esse problema utiliza-se banco de dutos. Todos os condutores de energia da rede primária e secundária, que compõem toda a rede subterrânea são instalados nestes bancos que são compostos por dutos de tamanhos variados, cada um com uma determinada finalidade.

Os dutos localizados na parte inferior são destinados aos cabos de baixa tensão, os intermediários com maior diâmetro podem ser reservados para os de média tensão, e os localizados na parte superior designados à instalação de cabos de comunicação e fibra óptica (COPEL, 2010).

De acordo com a Figura 10, os bancos de dutos são geralmente dispostos sob o leito da rua, em calçadas ou mesmo em áreas verdes de canteiros, e interliga toda a estrutura da rede subterrânea as câmaras transformadoras (COPEL,2010).

Figura 10 Banco de dutos de uma linha subterrânea



Fonte: CELESC, 2016.

As câmaras transformadoras (CTs) são construídas em concreto armado e são destinados a alojar os equipamentos de transformação (entrada de média tensão, chaves seccionadoras, transformador, network protector, saída de baixa tensão). Eles são situados sob vias públicas, são providas de tampas para inspeção de fácil acesso para funcionários em caso de manutenções e circuito interno exclusivo para iluminação (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Necessita também de uma eficiente ventilação interna da câmara para manter a temperatura do ambiente adequada e assim garantir um bom funcionamento dos equipamentos elétricos. É possível também a instalação de um sistema de drenagem interno a fim de evitar o acúmulo de água de qualquer procedência.

Existem ainda as caixas de inspeção (CIs) que também são de concreto, porém menores que as CTs, destinadas a alojar acessórios (emendas e derivações) e equipamentos (chaves e medidores), assim como possibilitar a passagem de cabos (mudança de direção, fim de linhas), cujas dimensões possibilitem a movimentação interna de pessoas para a execução de serviços e facilite a realização de manutenções (COPEL, 2010).

Outra estrutura importante são as caixas de passagem (CPs). São menores que as CTs e CIs, e sua função principal é abrigar as emendas das derivações dos ramais que atendem os clientes da concessionária. As CPs construídas sob o leito da rua deverão ter tampas de ferro fundido com diâmetro aproximado de 600 mm.

As estruturas apresentadas acima caracterizam a composição de uma rede de distribuição de energia totalmente enterrada. Nele, como foi visto, existem câmaras subterrâneas para abrigo dos transformadores e demais equipamentos que interligam a média e baixa tensão.

Existe outra configuração subterrânea sendo altamente utilizadas pelas concessionárias brasileiras, as redes subterrâneas parcialmente enterradas que possuem índices de qualidade um pouco piores comparadas às totalmente enterradas, porém seus custos de implantação e manutenção podem os tornar viáveis em determinadas situações.

Caracterizam-se de cabos são enterrados, porém alguns equipamentos de rede são instalados sobre o solo em gabinetes como dito anteriormente, câmaras ou mesmo postes externos localizados em locais públicos ou privados. Independentemente, é importante ressaltar que a concessionária deve ter livre acesso a essas áreas para realizar operações e manutenções necessárias (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Esse tipo de configuração tem se tornado bastante comum em condomínios residenciais, que por questões estéticas optam pela rede subterrânea e que possuem área externa suficiente para a disposição destas estruturas (COPEL, 2010).

O transformador mais utilizado nas redes parcialmente enterradas é o do tipo pedestal. Ele é selado, podendo ser utilizados ao tempo ou dentro de construções, fixado sobre uma base de concreto, com compartimentos blindados para conexão de condutores de média e baixa tensão (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

6 QUALIDADE DA ENERGIA

6.1 Qualidade de energia no Brasil

O setor elétrico brasileiro se expandiu por meio de incentivos da iniciativa privada, assim o mercado estabelecia diretrizes de expansão e até parâmetros de operação. Em meados de 1973, com a equalização das tarifas de energia, que a intervenção econômica do Estado começou a impactar a área.

O objetivo destas intervenções era estimular o desenvolvimento de áreas distantes e carentes, atendidas por concessionárias menos rentáveis. Essa prática, porém, foi ineficiente, já que o regime tarifário estava centrado no custo dos serviços prestados e uma remuneração mínima passou a ser garantida, desestimulando o estudo para otimização dos gastos, maior eficiência e melhores índices de qualidade.

O processo de estatização progrediu com a venda da LIGHT para a ELETROBRÁS em 1978 e ao longo dos anos aconteceram planos econômicos, onde as tarifas dos serviços tornaram-se instrumentos de combate à inflação, reduzindo mais ainda as chances de investimento em modernização das redes de distribuição.

Em 1995 foi implantado no Brasil o Plano Real, com objetivo de controlar a inflação e que acabou proporcionando avanços econômicos e sociais. A qualidade de vida aumentou e causou um acréscimo do consumo per capita de energia, tanto por consumidores residenciais como industriais e também aumento considerável no número de novas residências.

Neste mesmo ano iniciou-se uma nova fase do setor elétrico brasileiro com as privatizações. O capital privado voltava a gerenciar a operação e expansão do setor sob supervisão da então recém-criada ANEEL. As empresas privadas assumiram o controle de redes de distribuição debilitadas devido aos anos sem investimentos e que com o aumento da demanda passaram a operar próximas aos seus limites. Tudo isso diminuiu rapidamente a segurança dessas redes e degradou seus níveis de confiabilidade (AZEVEDO, 2010).

A queda apontada nos gráficos entre os anos de 2000 e 2002 se deve a crise do apagão ocorrida nesta época que afetou o fornecimento e distribuição de energia. Ela foi causada devido à falta de chuvas, impossibilitando a geração de energia, e a falta de planejamento e investimento na rede brasileira.

Observou-se uma dependência cada vez maior da energia elétrica pelos consumidores, que trocam fontes de energia pela eletricidade por ser mais limpa, segura e eficiente. Tantos clientes residenciais como industriais passaram a utilizar equipamentos sensíveis a interrupções

momentâneas de fornecimento, mesmo que por pequenos intervalos de tempo. A qualidade do serviço prestado passa a ser questionada e níveis mínimos de operação passam a ser exigidos aos órgãos regulatórios.

6.2 Indicadores de qualidade

A primeira medida do governo na história a mencionar a qualidade para o fornecimento de energia elétrica foi o chamado de Código das Águas (Decreto nº24.643) em 1934, que tendia ao melhor aproveitamento industrial das águas, até então regida por legislações obsoletas (BARRETO, 2010). Ela inseria pela primeira vez na legislação brasileira a preocupação com a qualidade de fornecimento de energia. Os artigos 178 e 179 citam:

Art. 178. No desempenho das atribuições que lhe são conferidas, a Divisão de Águas do Departamento Nacional da Produção Mineral fiscalizará a produção, a transmissão, a transformação e a distribuição de energia hidroelétrica, com o triplice objetivo de:

- a). assegurar serviço adequado;
- b). fixar tarifas razoáveis;
- c). garantir a estabilidade financeira das empresas. (Brasil, 1934, p.18.).

Art. 179. Quanto ao serviço adequado a que se refere a alínea “a” do artigo precedente, resolverá a administração, sobre:

- a) qualidade e quantidade de serviço;
- b) extensões;
- c) melhoramentos e renovação das instalações;
- d) processos mais econômicos de operação. (Brasil, 1934, p.18.).

Desde então diversos outros decretos foram elaborados a fim de regulamentar a distribuição de energia no país e que resultaram no atual PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional). Eles são normas que disciplinam o relacionamento entre as concessionárias de distribuição com unidades consumidoras e centrais geradoras. Regulamentam também a relação entre as distribuidoras e a ANEEL, no que diz respeito ao intercâmbio de informações. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Por meio do controle das interrupções, do cálculo e da divulgação dos indicadores de continuidade de serviço, as distribuidoras, os consumidores e a ANEEL podem avaliar o desempenho do sistema e a qualidade do serviço prestado.

Os indicadores de qualidade existentes analisam a duração e frequência das interrupções e devem ser calculados em intervalos mensais, trimestrais e anuais. Eles podem ser indicadores coletivos e individuais. (PRODIST) (ANEEL, 2009).

Os individuais são:

A duração, em horas, de interrupção individual para a unidade (DIC) que pode ser calculado por:

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (1)$$

Onde:

n = número de interrupções da unidade considerada;

i = índice de interrupções da unidade no período de apuração;

$t(i)$ = tempo de duração da interrupção;

A frequência de interrupção individual para a mesma (FIC), que pode ser calculado por:

$$FIC = n \quad (2)$$

Onde:

n = número de interrupções da unidade considerada;

A duração máxima de interrupção contínua (DMIC), que pode ser calculado por:

$$DMIC = t(i) \max \quad (3)$$

Onde:

$t(i) \max$ = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção contínua, expresso em horas e centésimos de hora.

Esses cálculos que são apurados para todas as unidades consumidoras atendida pela concessionária. Desta forma limita é limitado o tempo máximo de cada interrupção, impedindo que a concessionária deixe o consumidor sem abastecimento de energia por longos períodos.

Conjunto elétrico de unidades consumidoras são subdivisões da área atendida pela concessionária com características semelhantes de atendimento, sobre a qual também são avaliados os eventos relacionados aos índices de qualidade. Um conjunto pode ter abrangência variada. Podem englobar mais de um município, ao mesmo tempo em que um município pode ter mais de um conjunto.

A Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC), indica o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, que pode ser o mês ou ano. Ele pode ser calculado por:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} DIC(i)}{C_c} \quad (4)$$

Onde:

i = índice de unidades consumidoras atendidas no conjunto;

C_c = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração.

Já a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), representa o número de interrupções que cada consumidor sofreu em média em um determinado período. Ela pode ser calculada por:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n FIC(i)}{C_c} \quad (5)$$

Onde:

n = número de interrupções da unidade considerada;

i = índice de unidades consumidoras atendidas no conjunto;

C_c = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração.

Tanto o cálculo do DEC e FEC os indicadores de continuidade coletivos, e são analisados pela ANEEL através dessas subdivisões.

A definição dos valores desses índices depende ainda dos dados enviados pelas próprias empresas concessionárias em cada mês de operação. Além dos índices de continuidade coletivos e individuais, existem os índices de conformidade, que quantificam as transgressões de qualidade no tocante aos níveis de tensão contratada pelo consumidor.

São eles a duração relativa da transgressão máxima de tensão precária (DRP), a duração relativa da transgressão máxima de tensão crítica (DRC) e o índice de unidades consumidoras com tensão crítica (ICC). A tensão é considerada adequada pela ANEEL se está entre 95% e

105% da tensão contratada, precária se estiver entre 93% e 95% e crítica se estiver abaixo de 93% ou acima de 105% da tensão contratada pelo consumidor (GOMES, 2010).

A DRC é um indicador individual referente à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas críticas e a DRP é o equivalente nas tensões precárias no período de observação definido. O ICC é o percentual da amostra analisada que possui transgressões de tensão crítica.

Existem também vários indicadores que calculam a qualidade no atendimento às ocorrências emergenciais. Os principais são o Tempo Médio de Preparação (TMP), Tempo Médio de Deslocamento (TMD) e o Percentual do Número de Ocorrências Emergenciais com Interrupção de Energia (PNIE).

O TMP é o valor médio correspondente ao tempo de preparação das equipes de emergência, para o atendimento às ocorrências emergenciais verificadas em um determinado conjunto de unidades consumidoras. O TMD mensura o tempo de deslocamento médio dessas equipes até o local de atendimento. Por fim o PNIE é o quociente percentual do número de ocorrências verificadas em um conjunto que registraram interrupção no fornecimento de energia elétrica.

7 LEVANTAMENTO TÉCNICO

O setor elétrico brasileiro teve controle verticalizado, com gerência centralizada na geração, com a utilização do sistema de transmissão e distribuição para a entrega ao consumidor final. Com as privatizações vieram às reestruturações e o surgimento de um novo modelo, onde empresas estatais passaram a controlar separadamente a atividade de geração, transmissão e distribuição.

Iniciou-se a competição na geração e comercialização de energia entre as concessionárias e a ANEEL passou a utilizar o termo “confiabilidade” nos contratos de concessão de distribuição para regulamentar a qualidade dos serviços prestados a toda a população (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Quando os indicadores de continuidade, individuais e coletivos citados no segundo capítulo, foram criados pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), precedente à ANEEL, em 17 de abril de 1978 através da Portaria nº46, foram estabelecidos os primeiros limites. Entretanto, no início não havia punições financeiras para a concessionária em caso de extrapolação desses índices (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

Foi apenas em 2000 que uma nova resolução instituiu a compensação financeira em caso de violação dos limites dos indicadores individuais (DIC, FIC e DMIC). Assim, as distribuidoras que não respeitassem os valores definidos teriam a obrigação de efetuar o pagamento de compensação aos seus consumidores na forma de abatimento na fatura de energia.

Em relação aos indicadores coletivos DEC e FEC, se as concessionárias não atendessem tais limites, a penalidade era através de multa. Porém em 2009 a Resolução Normativa nº 395 extinguiu essa penalidade da lei brasileira e também alterou os limites dos indicadores individuais com o objetivo de incentivar as distribuidoras a promoverem melhorias no serviço prestado, já que a multa por violação de DEC e FEC deixaria de existir (ANEEL, 2009).

8 LEVANTAMENTO FINANCEIRO

A definição ou não da utilização de uma rede subterrânea é uma decisão que gera uma grande quantidade de questionamentos. O estudo, como referência para o comparativo financeiro, demonstra apresentação dos custos referentes a várias tipologias de sistemas subterrâneos, tanto totalmente enterrados quanto parcialmente enterrados. A seguir estão alguns dados de preços de sistema aéreo subterrâneos:

8.1 Rede aérea

A Tabela 02 demonstra os custos de implementação de uma rede de distribuição aérea, o preço é representado por KM de linha instalada.

Tabela 01 Custos estimados para Rede Aérea

Equipamentos	Valor (R\$/KM)
Cabos	R\$ 3.100
Transformador	R\$ 12.200
Poste	R\$ 3.100
Estruturas, acessórios	R\$ 2.000
Total	R\$ 20.400

Fonte: LMDM Consultoria Empresaria, 2011.

8.2 Rede totalmente enterrada – Sistema Reticulado

Para este tipo de rede, considera-se que o custo/km é aproximadamente R\$ 12 milhões para uma carga de 48 MVA, sendo o custo elétrico (60%) R\$ 7,2 milhões e o custo civil (40%) R\$ 4,8 milhões. Como se sabe que o dobro de carga acarreta em um acréscimo de 40% no custo elétrico e 5% no custo civil pode-se chegar aos valores apresentados na Tabela 03:

Tabela 02 – Custos estimados para Rede Subterrânea Reticulada

Carga (MVA)	Equipamentos Elétricos (R\$/km)	Infraestrutura Civil (R\$/km)	Total (R\$/km)
48	7,2 milhões	4,8 milhões	12 milhões
24	5,0 milhões	4,56 milhões	9,56 milhões
12	3,5 milhões	4,33 milhões	7,83 milhões
06	2,45 milhões	4,11 milhões	6,56 milhões

Fonte: O autor.

8.3 Rede totalmente enterrada – Sistema Radial

Neste tipo de rede, que tem como valor base R\$ 5 milhões por quilômetro linear considerando uma carga de 24 MVA, o custo elétrico (60%) é de R\$ 3 milhões e o custo civil (40%) é R\$ 2 milhões. Partindo do mesmo princípio de acréscimo nos custos quando a carga é dobrada, os resultados são representados na Tabela 04:

Tabela 03 – Custos estimados para Rede Subterrânea Radial

Carga (MVA)	Equipamentos Elétricos (R\$/km)	Infraestrutura Civil (R\$/km)	Total (R\$/km)
48	4,2 milhões	2,1 milhões	6,3 milhões
24	3,0 milhões	2,0 milhões	5,0 milhões
12	2,1 milhões	1,9 milhões	4,0 milhões
06	1,47 milhões	1,81 milhões	3,28 milhões

Fonte: O autor.

8.4 Rede parcialmente enterrada – Equipamentos tipo pedestal

Nesta tipologia, onde a densidade de carga é menor, os custos elétricos e civis são divididos em partes iguais. Isso resulta em um custo elétrico de R\$ 1,6 milhões, e um custo civil também de R\$ 1,6 milhões, sendo ambos os valores com base em uma carga de 15 MVA. Através do mesmo princípio de acréscimo de preço de acordo com o dobro da carga, os resultados são mostrados na Tabela 05:

Tabela 04 Custos estimados para Rede Subterrânea com Equipamentos em Pedestal

Carga (MVA)	Equipamentos Elétricos (R\$/km)	Infraestrutura Civil (R\$/km)	Total (R\$/km)
45	3,14 milhões	1,76 milhões	4,9 milhões
30	2,24 milhões	1,68 milhões	3,92 milhões
15	1,6 milhões	1,6 milhões	3,2 milhões
7,5	1,12 milhões	1,52 milhões	2,64 milhões

Fonte: O autor.

8.5 Rede parcialmente enterrada – Equipamentos em poste

Neste outro tipo de rede utilizado para densidades de carga menores, os custos elétricos e civis também representam partes iguais. A partir disso, chega-se em valor de R\$ 1,25 milhão para o custo elétrico, e R\$ 1,25 milhão para o custo civil, referidos a uma carga de 13 MVA.

Mais uma vez utilizando os acréscimos para cada vez que a carga é dobrada, os valores obtidos são representados de acordo com a Tabela 06:

Tabela 05 – Custos Estimados para Rede Subterrânea com Equipamentos em Poste

Carga (MVA)	Equipamentos Elétricos (R\$/km)	Infraestrutura Civil (R\$/km)	Total (R\$/km)
40	2,45 milhões	1,38 milhões	3,83 milhões
26	1,75 milhões	1,3 milhões	3,05 milhões
13	1,25 milhões	1,25 milhões	2,5 milhões
06	0,88 milhão	1,18 milhões	2,06 milhões

Fonte: O autor.

Sendo assim, com os dados das configurações subterrâneas pode-se simplificar, de acordo com a Tabela 07, os preços de custos dos diferentes modelos de linha subterrânea:

Tabela 06- Custos aproximados de implementação de rede

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aprox. /Km	Custo/kVA	DEC e FEC qualitativo	Observações
Rede reticulada ou Network	Maior que 3000 kVA/km ou 48 MVA/km ²	R\$ 12 milhões	R\$ 4.000,00	0 a 0,2	Rede com câmaras subterrâneas para abrigo dos transformadores e rede de baixa tensão interligada
Sistema Radial	Maior que 1500 kVA/km ou 24 MVA/km ²	R\$ 5 milhões	R\$ 3.400,00	0,5 a 1,0	Tipicamente construída com cabos acomodados em dutos e equipamentos acomodados em câmaras e caixas subterrâneas
Áreas urbanas com equipamentos semienterrados ou tipo pedestal	Entre 400 e 1500 kVA/km ou entre 6,4 e 24 MVA/km ²	R\$ 3,2 milhões	R\$ 3.400,00	0,7 a 1,5	Necessidade de liberação de espaços públicos e/ou privados para instalação de equipamentos
Áreas urbanas com equipamentos em poste	Entre 200 e 1500 kVA/km ou entre 6,4 e 24 MVA/km ²	R\$ 2,5 milhões	R\$ 2.900,00	1,2 a 2,0	Necessidade de liberação de espaços públicos para a instalação de postes com equipamentos

Fonte: O autor.

Como observado, conclui-se:

- Para redes com densidade de carga até de 20 MVA/km², o custo dos equipamentos elétricos representa 50% dos investimentos iniciais, enquanto a infraestrutura civil representa os outros 50%;
- Para redes com densidade acima de 20 MVA/km², o custo dos equipamentos representa 60%, ficando a infraestrutura civil com os 40% restantes;
- Quando a carga é dobrada, em uma mesma área, os custos dos equipamentos elétricos sofrem um acréscimo de aproximadamente 40%;
- Na infraestrutura civil, o dobro da carga acarreta em um aumento de 5% dos investimentos.

9 CUSTOS

Dentre os custos totais de um sistema elétrico de potência, que é composto por geração, transmissão e distribuição, cerca de 40% correspondem ao sistema de distribuição (NETO, 2011).

Existem três custos que podem ser considerados os principais para o estudo financeiro das redes de distribuição, sendo eles:

- a) Investimento inicial;
- b) Custos operacionais;
- c) Custos por energia não distribuída (BRITO; CASTRO, 2007).

O investimento inicial, ou custo de implantação da rede, considera todos os materiais adquiridos, a mão de obra (incluindo serviços de topografia, projeto e execução) e as despesas administrativas (LIGHT, 2011).

Os custos operacionais podem ser divididos em duas parcelas:

9.1 Manutenção preventiva

A função da manutenção preventiva é manter um fornecimento contínuo de energia elétrica aos clientes, atendendo as legislações vigentes. Ela atua de forma a reduzir ou evitar falhas ou defeitos, ou ainda corrigindo desgastes naturais e previsíveis, seguindo uma programação previamente elaborada e baseada em intervalos de tempo. Os equipamentos que passarão por manutenções podem variar de acordo com o tipo de rede.

9.2 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é necessária para restabelecer o sistema em caso de interrupções acidentais. Seu objetivo é corrigir ou restaurar as condições de funcionamento de determinado equipamento, visando eliminar defeitos ou falhas, e podendo ser de forma programada ou emergencial. Quando é programada, exige menos tempo, é mais segura e de melhor qualidade. Quando é de caráter emergencial, demanda maior tempo, aumento dos custos e perdas de qualidade e fornecimento (LIGHT, 2011).

Os custos por energia não distribuída, caracterizados por interrupções de energia elétrica, acarretam em perdas de processo e decréscimo das atividades. Para a concessionária, além de não faturar, são contabilizados também ressarcimentos aos clientes por perdas e danos

em eletrodomésticos ou outros aparelhos devido a uma falha na rede. Vale também considerar que mesmo com o retorno do fornecimento da energia, o faturamento da concessionária sofre um atraso em virtude de o tempo necessário para os consumidores retomarem suas atividades. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

10 METODOLOGIA

Para que fosse realizado o estudo de caso foi delimitado uma linha de distribuição da Rua Presidente Getúlio Vargas, do Centro de Boa Esperança- MG. O trecho e de responsabilidade da Companhia Energética de Minas Gerais S.A. (CEMIG)

A CEMIG é uma das principais concessionárias de energia elétrica do Brasil, tendo sede na cidade de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais.

10.1 Levantamento estrutural do objeto de estudo

A Rede escolhida caracteriza-se por uma linha de distribuição aérea compacta com fornecimento através de um transformador de 150KVA conforme figura 11.

Figura 11 Rede de distribuição da Rua Presidente Getúlio Vargas



Fonte: O autor.

Ela abrange uma distância total de 275 metros, sendo que 206 metros estão na Rua Governador Valadares e os demais 69 metros está localizado em uma de suas travessas perpendiculares, na rua Nelson Freire. A Figura 12 demonstra um trecho da Rua Presidente Getúlio Vargas.

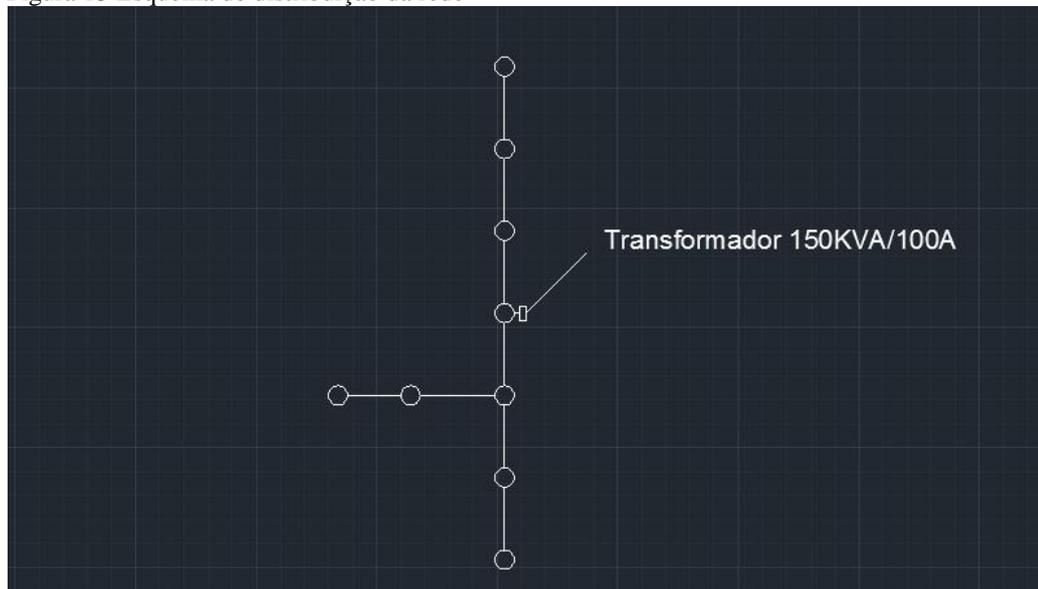
Figura 12 Rede de distribuição da Rua Presidente Getúlio Vargas



Fonte: O autor.

A rede é responsável por fornecimento de energia para 47 residências, 31 comércios e 02 indústrias. Esta é sobreposta através de 9 postes de aproximados 30 metros de distância de um poste para o outro conforme Figura 13.

Figura 13 Esquema de distribuição da rede



Fonte: Autor.

A linha de distribuição aérea escolhida tem como características cabos condutores isolados suspensos. Nela são utilizados três condutores isolados, blindados, trançados e reunidos em torno de um cabo messageiro de sustentação. O cabo messageiro serve como elemento de proteção elétrica e de sustentação mecânica, como tomado como exemplo contra a queda de um galho ou objetos pesados na rede.

Os condutores e acessórios são blindados e totalmente isolados trazendo maior segurança contra contatos acidentais temporários ou contato permanente com objetos aterrados ou ainda a arborização. Nesta rede existe a eliminação contra descargas atmosféricas, pois a blindagem está aterrada nos dois lados do cabo transposto. Um fator importante para esse tipo de rede de distribuição é que o custo operacional é reduzido, já que a ocorrência de falhas é pequena.

A linha distribuída ao longo dos 275 metros tem característica segura em relação a falhas, e gera pouca manutenção, que na maioria das vezes são preventivas, ou seja, visitas de rotina.

Uma das características negativas da linha de distribuição é a poluição visual, conforme Figura 14, pois ela divide espaço com demais cabos de rede de televisão, internet, telefone e demais serviços prestados que utilizam os postes de iluminação pública.

Figura 14 Poluição visual da Rua Presidente Getúlio Vargas



Fonte: O autor.

10.2 Levantamento financeiro e estrutural do objeto de estudo

Trata-se de uma rede mais cara, em relação a rede aérea convencional, devido seu alto índice de confiabilidade, uma vez que seus condutores são isolados.

Pela tabela de serviços da CEMIG, a mão de obra é cobrada por unidade de serviço (US) e segue da seguinte forma:

Poste a Instalar - Completo – 1,00 US. Corresponde à instalação de um poste equipado, podendo incluir as operações de:

- a) Transporte dos materiais e equipamentos necessários do almoxarifado ao local da obra e devolução dos materiais salvados;
- b) Fincamento do poste, instalação de escora, concretagem da base, profundidade aumentada, recomposição do passeio, se necessário, e estaiamento (inclusive instalação e/ou retirada de contraposte e poste servindo de contraposte);
- c) Equipagem das estruturas primárias e secundárias;
- d) Lançamento dos condutores, amarrações, ligações e eventualmente, instalação de cobertura protetora;
- e) Instalação e ligação de materiais e equipamentos de iluminação pública;
- f) Instalação de equipamentos (transformadores, equipamentos de proteção, manobra, regulação de tensão e compensação de reativos);
- g) Instalação e ligação do (s) ramal (is) de ligação;
- h) Poda de árvores.

Ou seja, uma unidade de serviço corresponde a aproximadamente R\$1.200 (dado repassado pela CEMIG) para implementação da rede seria gasto R\$10.800 de mão de obra.

Tomando em consideração as análises feitas durante o referencial teórico, e aplicando na metodologia, pode-se concluir que a rede custou cerca de R\$17.000 levando em conta que o preço por poste (média do preço do poste com os equipamentos) gira em torno de R\$1.707 e nela são locados 09 postes, e em uma segunda análise o preço por Km de linha gira em torno de R\$ 62.200 com a linha e equipamentos.

Fazendo um levantamento, pode-se calcular o custo para implementação de uma linha subterrânea neste local seja da seguinte forma:

Para implementação de uma rede subterrânea seria gasto um transformador, que para o padrão de rede subterrânea tem custeio de R\$ 26.700, seria gasto também R\$ 60.600 com cabos e implementação, cerca de R\$38.000 com chaves e gás e R\$3.300 com emendas e demais acessórios e construção civil. Ou seja, para a linha escolhida usando as devidas proporções da extensão da rede, seria um custo de R\$ 73.917.

No Quadro 01 seguir fica visível a diferença entre o custo em Km das duas redes, que demonstra a superioridade do preço da rede de distribuição subterrânea em relação a aérea.

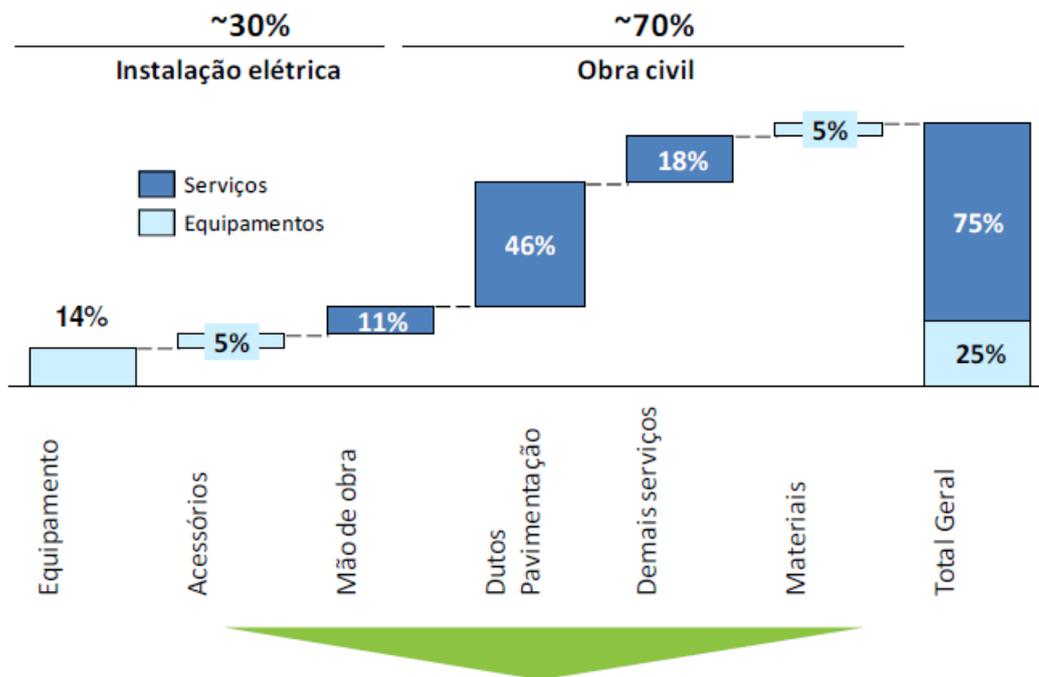
Quadro 02 Comparativo entre preço de implementação da rede de distribuição aérea e subterrânea.

Rede Subterrânea		Rede Aérea	
Cabos	R\$ 60.600	Cabos	R\$ 3.100
Transformador	R\$ 26.700	Transformador	R\$ 12.200
Chave a gás	R\$ 38.000	Poste	R\$ 3.100
Acessórios (emendas, etc)	R\$ 3.300	Estruturas, acessórios	R\$ 2.000
Construção civil	R\$ 69.800		
Total	R\$ 198.400	Total	R\$ 20.400

Fonte: LMDM Consultoria Empresarial 2011.

Em forma estrutural a Figura 15 demonstra o percentual de equipamentos e serviços da substituição das redes aéreas em subterrâneas:

Figura 15 Porcentual de custo de conversão de redes aéreas para redes subterrâneas



Fonte: LMDM Consultoria Empresarial, 2011.

10.3 Levantamento de manutenção e segurança do objeto de estudo

Nos dias atuais, a grande preocupação das concessionárias em um fornecimento de energia interrupto e satisfatório é cada vez mais importante para o desenvolvimento das redes, e principalmente necessário para empresas e consumidores privados, que são dependentes dos serviços atuais de distribuição.

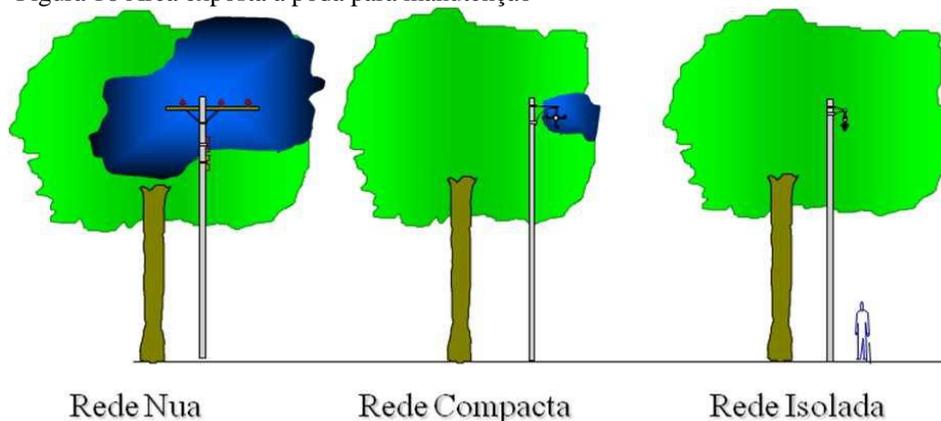
A implementação da rede subterrânea não se apresenta viável em estudo levando em conta o aspecto financeiro a curto prazo. O que gera maior necessidade da tomada de decisão

da substituição do modelo aérea para subterrâneo é simplesmente a segurança do fornecimento acompanhado com a economia gerada com a diminuição de gastos com a manutenção.

Em uma análise de manutenção pela linha de distribuição da Rua Presidente Getúlio Vargas, a sua taxa de incidência de falha e baixa em relação a linha compacta, e em relação a taxa de falha da subterrânea ela é um pouco mais alta, uma vez que seus equipamentos ficam expostos ao tempo.

O que gera maior preocupação em uma linha manutenção preventiva. A manutenção preventiva que é feita regularmente nas linhas de distribuição frequentemente são as podas de árvores, e nela é visível que é necessário maior cuidado com as linhas aéreas, pois a subterrânea, só se faz necessário a poda, quando as árvores interferem na iluminação pública. A Figura 16 demonstra a área que se faz necessário a poda em cada modelo de linha aérea de distribuição:

Figura 16 Área exposta a poda para manutenção



Fonte: CELESC, 2016

A poda de árvore gera um custo de aproximadamente R\$600 por árvore para a concessionária, levando em conta deslocamento, veículo, funcionários e tempo de serviço.

11 RESULTADOS

Durante o estudo comparativo entre linhas de distribuição aérea e linhas de distribuição subterrâneas foi levantado dados através da Tabela 08 que encaminharam ao seguinte resultado:

Tabela 07 Análise comparativa entre modelos de distribuição de energia

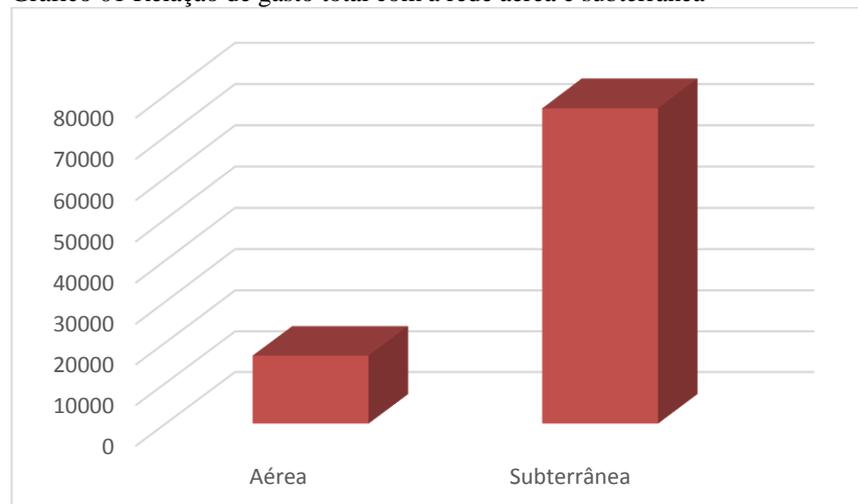
Linha de Distribuição Aérea		Linha de Distribuição Subterrânea	
Equipamento/Serviço	Preço (R\$)	Equipamento/ Serviço	Preço (R\$)
Cabos (275m)	853	Cabos (275m)	16.665
Transformador	12.200	Transformador	26.700
Postes	3.100	Postes (Iluminação)	3.100
Chaves		Chaves	10.450
Emendas e Assessórios	550	Emendas e Assessórios	908
Construção Civil		Construção Civil	18.975
Manutenção com Podas	0	Manutenção de Podas	0
Total	16703	Total	76798

Fonte: O autor.

Esses dados implicam no preço que seria gasto para que se fosse implementado uma linha de distribuição subterrânea ao longo da Rua Getúlio Vargas. Com isso é possível chegar aos seguintes análises:

- a) A implementação da linha subterrânea gira em torno de 4,6 vezes a mais de custo que a rede isolada atualmente instalada. O Gráfico 01 demonstra a relação de gasto total com a rede aérea em relação a subterrânea:

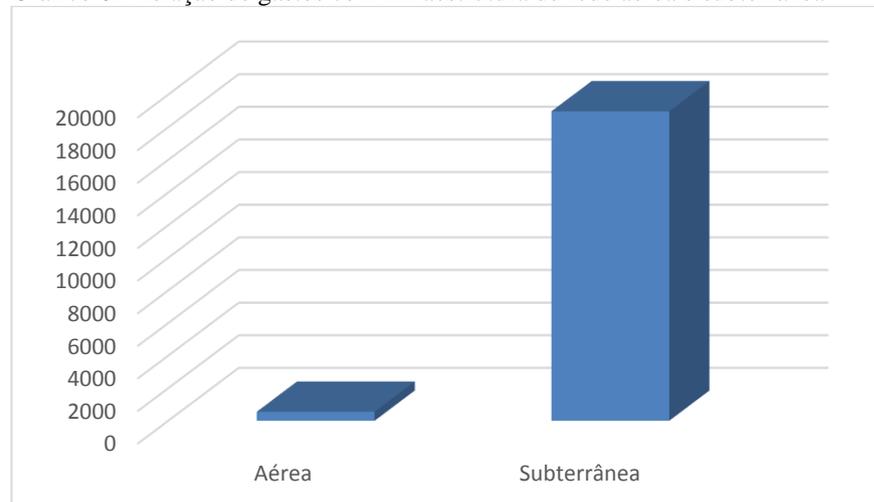
Gráfico 01 Relação de gasto total com a rede aérea e subterrânea



Fonte Autor.

- b) O que gera maior despesa das redes subterrâneas em relação as redes aéreas é a infraestrutura civil. O Gráfico 02 demonstra melhor essa situação

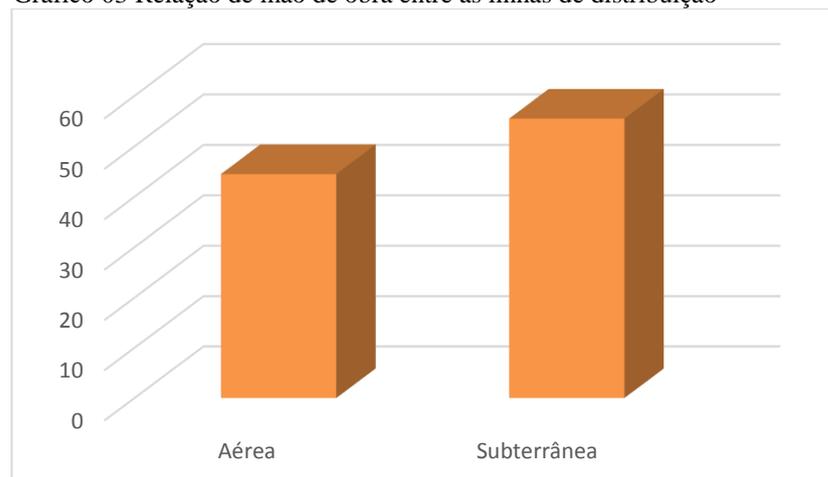
Gráfico 02 Relação de gastos com infraestrutura de rede aérea e subterrânea



Fonte: O autor.

- c) Se observado a Figura 14 são gastos 5% a mais de acessórios e 14% de equipamentos nas linhas subterrâneas.
- d) É necessário 11% a mais de mão de obra na implementação da linha subterrânea, conforme Gráfico 03:

Gráfico 03 Relação de mão de obra entre as linhas de distribuição



Fonte: O autor.

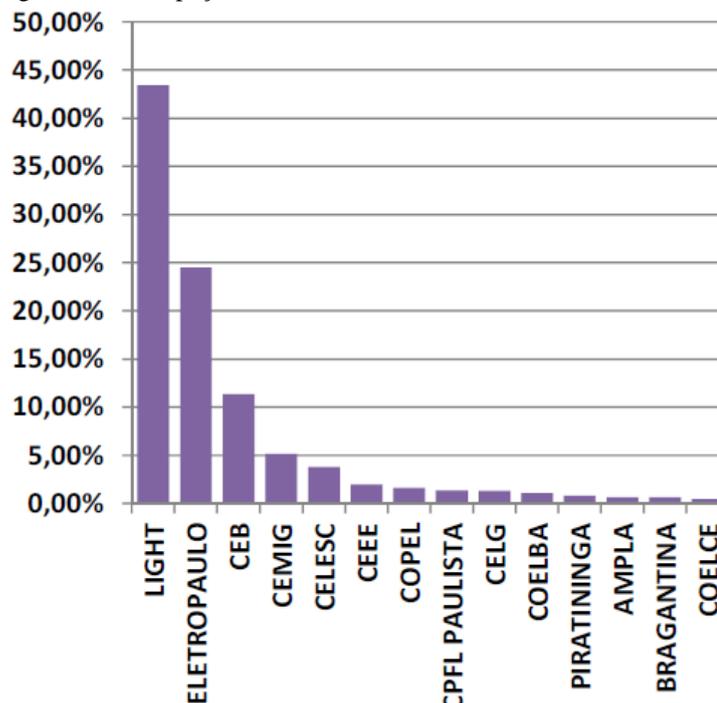
- e) De acordo com a Figura 14 pode concluir que são gastos 25% a mais equipamentos em geral e 75% de serviços para implementação da linha de distribuição subterrânea em relação as aéreas.

Sendo assim, ainda segundo levantamento durante o estudo, os fatores que vão justificar a essa mudança de modelo de linha para a concessionária são:

- Solução técnica para elevadas densidades de condutores, uma vez que a Rua apresenta grande índice de cabos dividindo espaço com demais estruturas.
- Melhoria da qualidade, levando em conta menores interrupções devidas a manutenções providas de vento, chuvas, abalroamento de postes.
- Levando em consideração a podas, não influenciará neste resultado, ressaltando que no trecho escolhido não possui árvores.
- Eliminação de cabeamentos e postes melhorando no aspecto visual. Nesse caso cita-se o caso do centro histórico de Parati- RJ, e em Tiradentes- MG que são instalados todos os tipos de serviços via cabo subterrâneo, por norma municipal, levando em conta o turismo e o impacto visual que gera as redes aéreas de fornecimento.
- Redução de fraudes e furtos, pois a linha dificulta acesso de terceiros.
- Redução de acidentes com ruptura de cabos, toque a rede exposta com e danos em postes.

Embora tais conclusões foram levantadas, vale ressaltar que dificuldades foram encontradas ao se buscar material bibliográfico para pesquisas e profissionais com experiência em implantação de redes subterrâneas devido à baixa utilização dessa configuração no sistema da CEMIG conforme demonstra a Figura 17.

Figura 17 Participação total de redes subterrâneas no Brasil



Fonte: LMDM Consultoria Empresarial, 2011.

12 CONCLUSÃO

E de conhecimento das concessionárias brasileiras de energia a busca pela qualidade do fornecimento de energia as empresas e consumidores privados. Mesmo assim falta um estudo para que as empresas façam um investimento mais bem feito em relação a implementação das redes de distribuição. E mais interessante um investimento mais bem feito que traga menor despesa com o decorrer dos anos em relação a manutenção e prejuízos.

As redes subterrâneas, destacando principalmente o sistema reticulado, demonstra uma alternativa que agrega confiabilidade no quesito qualidade de fornecimento de energia, conforme estudo. As demais configurações do modelo subterrâneo, tais como do tipo parcialmente enterradas, em pedestal ou poste, são soluções mais baratas, mas que não possuem o mesmo nível de confiabilidade, mais se destacam no quesito confiabilidade se comparadas com as aéreas.

No caso da linha escolhida para análise não é possível a instalação o modelo reticulado para a concessionaria devido a sua configuração. Mas o investimento nas demais configurações do modelo subterrâneo, tais como do tipo parcialmente enterradas, em pedestal ou poste, traria melhoria para o local, visando tanto o turismo que a cidade explora, como visando o impacto visual que os condutores trazem para a população e moradores que dividem espaços com suas sacadas.

O sistema ideal para que fosse implementado na da Rua Getúlio Vargas para solucionar a grande aglomeração de condutores que geram tamanho impacto visual seria o parcialmente enterrado com equipamentos instalados em poste, que evitaria um gasto desnecessário com a ampla infraestrutura civil e custos de manutenção exigidos pela rede totalmente enterrada.

No ponto de vista de segurança e confiabilidade, essa solução subterrânea adotada apresentaria ótimos índices em relação ao sistema atual, levando em conta os condutores não dividirem espaço com sacadas e demais comércios. Outro fator que implica na implantação é o custo da energia não distribuída, que pode ser alto em redes aéreas com interrupções frequentes, algo que não ocorre nas redes subterrâneas.

É importante ressaltar que para redes de distribuição para atendimento de áreas com alta densidade de carga, e alto fluxo de pessoas e caminhões conforme a Rua Getúlio Vargas, os custos de implantação não é o fator que primordial, ou seja, tanto os espaços disponíveis, segurança, complexidade de equipamentos, custos de manutenção, níveis de confiabilidade, interfere na escolha do modelo, para que a fornecedora ganhe em e uma qualidade de serviço

padrão ao cliente privado e principalmente comercial, que não pode sofrer com piques de energia acarretados por manutenção a falhas das linhas.

A proposta inicial do projeto de fazer um estudo comparativo entre os modelos aéreo e subterrâneo foi atendida. Entretanto as dificuldades foram encontradas ao se buscar material bibliográfico para pesquisas e profissionais com experiência em implantação de redes subterrâneas. Muito disso por causa da baixa utilização dessa configuração no sistema da CEMIG.

Mais contudo, o estudo se fez por completo uma vez que foi alcançado o conhecimento de que o Brasil precisa de maiores estudo de casos rigorosamente, preocupando com a viabilidade de métodos alternativos de linha de distribuição, bem analisados, visto que, em muitos casos, torna-se vantajoso fazer um investimento inicial mais alto, para depois contar com uma manutenção mínima, e gozar de um alto índice de confiabilidade do sistema, que não tragam riscos para as populações humanas e vegetais da área, fazendo assim um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para distribuição, levando em conta tanto o ponto de vista a curto e longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABRADEE, 2016. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>. Acesso em: 2 set.2016.

AGENCIA VIRTUAL LIGHT, 2016. Disponível em: <https://agenciavirtual.light.com.br/slno/simuladorDemanda.do?dispatchParam=goToResumo>. Acesso em: 2 out.2016.

ANEEL, Resolução Normativa nº 395. Brasília, 2009.

ATSELETRICA 2016. Disponível em: <http://www.atseletrica.com.br/rede-compacta-rede-distribuicao.php>. Acesso em: 11 set.2016.

AZEVEDO, F.H. **Otimização de Rede de Distribuição de Energia Elétrica Subterrânea Reticulada através de Algoritmos Genéticos**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

BARRETO, G.A. **Estudo de Viabilidade de um Sistema de Monitoramento de Baixo Custo para os Sistemas de Distribuição Reticulados Subterrâneos**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Decreto Nº24.643, de 10 de julho de 1934. **Centro de Documentação e Informação**. Rio de Janeiro, RJ, 1934.

BRITO, M.L.S.; CASTRO, P.M. Viabilidade Econômica de Redes de Distribuição Protegidas. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, São Paulo, v. 2, n. 1, 2007.

CELESC, 2016. Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas-tecnicas/instrucoes-normativas/i3130021.pdf>. Acesso em: 12 out.2016.

COPEL. **Utilização e Aplicação de Redes de Distribuição Subterrâneas** – Guia para os municípios e empreendedores. Curitiba, 2010.

GOMES, H.J. **Estudos de Viabilidades das Redes de Distribuição Secundárias Compactas no Sistema Elétrico da CELG D**. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade de Goiás, Goiânia, 2010.

G37 2016 Disponível em: <https://g37.com.br/c/divinopolis/cemig-investe-r-150-milhoes-na-regiao-de-divinopolis> Acesso em: 20 out.2016.

LIMA, HILTON. **Análise Comparativa Dos Custos De Diferentes Redes De Distribuição De Energia Elétrica No Contexto Da Arborização Urbana**, 2006.

LMDM Consultoria Empresarial. **Estudo: A Transformação das Redes de Distribuição de Energia Aéreas em Subterrâneas** Curitiba, 2011.

LIGHT. **Rede de Distribuição Subterrânea**. Rio de Janeiro. 13 p. 2011. (Relatório Técnico).

NAKAGUISHI, Marcos Issao; HERMES, Paulo Diego. **Estudo comparativo técnico/financeiro para implantação de redes de distribuição subterrâneas**. Curitiba, 2011.

NETO, J.A.D. **Distribuição de Energia Elétrica**. Universidade Federal do Paraná, Curso de Engenharia Elétrica, Curitiba, 2011. (Anotações de Aula.).

NEXANS 2016. Disponível em: http://www.nexans.com.br/eservice/Brazil-en/navigatepub_150857_-33894/Como_Funciona_2_Edi_o_Cap_tulo_5.html. Acesso em: 27 out.2016.

QUEIROZ Levi Góes de. **Análise Regulatória de Alternativas para Distribuição de Energia Elétrica na Rede Primária em Áreas Urbanas**. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia, Universidade de Salvador. Bahia, 2003.