

INSTITUTO DOCTUM DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA

**FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE REDE
SUBTERRÂNEA DE DISTRIBUIÇÃO PARA MELHORIA NOS
INDICADORES DEC E FEC DO ALIMENTADOR MAU1-2 DO
CONJUNTO MANHUAÇU**

**FLADENY CIRINO MIRANDA
JOANITO TEIXEIRA DE PAULA JUNIOR**

**Caratinga
2013**

Fladeny Cirino Miranda
Joanito Teixeira De Paula Junior

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE REDE SUBTERRÂNEA DE
DISTRIBUIÇÃO PARA MELHORIA NOS INDICADORES DEC E FEC DO
ALIMENTADOR MAU1-2 DO CONJUNTO MANHUAÇU**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica orientado pelo professor Rodolfo Cesar Ramos.

Caratinga
2013

Fladeny Cirino Miranda
Joanito Teixeira De Paula Junior

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE REDE SUBTERRÂNEA DE
DISTRIBUIÇÃO PARA MELHORIA NOS INDICADORES DEC E FEC DO
ALIMENTADOR MAU1-2 DO CONJUNTO MANHUAÇU

**Monografia submetida à
Comissão examinadora
designada pelo Curso de
Graduação em Engenharia
Elétrica como requisito para
obtenção do grau de
Bacharel.**

Prof. Rodolfo Cesar Ramos
Instituto Doctum de Educação e Tecnologia Ltda.

Prof. Robson Silva
Instituto Doctum de Educação e Tecnologia Ltda.

Prof. José Eugenio de Oliveira e Silva
Instituto Doctum de Educação e Tecnologia Ltda.

DEDICATÓRIA

Agradeço a todos aqueles que me ajudaram, de uma forma ou de outra a realizar essa travessia vitoriosa. São pessoas 'Especiais' pelas quais tenho muita admiração e respeito que ficarão guardadas para sempre em minha memória como forma de reconhecimento a tudo que nos fizeram.

RESUMO

A utilização da energia elétrica nos dias atuais se tornou um bem imprescindível, aumentando assim a pressão da sociedade a favor de um atendimento de energia com número bem reduzido de interrupções. Através desta demanda dos dias atuais, surge então a necessidade de uma rede confiável que possa atender estas novas demandas, e neste cenário como opção surgiu a possibilidade da implementação das redes subterrâneas de distribuição. Pois este padrão construtivo possui elevados índices de confiabilidade, porém seus investimentos em relação das redes aéreas convencionais são bem elevados. Este trabalho tem como finalidade, apontar as vantagens técnicas das redes enterradas, através de dados obtidos, e realizar um comparativo financeiro se é viável a utilização deste padrão ou não, além do comparativo financeiro mostra a eventual melhoria que seria obtida nos indicadores de qualidade do serviço.

PALAVRAS-CHAVE: Rede confiável, redes subterrâneas de distribuição, redes aéreas convencionais.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Representação das etapas que compõe o sistema elétrico.....	15
FIGURA 2 - Rede convencional aérea.....	16
FIGURA 3 - Rede Aérea Compacta.....	18
FIGURA 4 - Comparação na poda entre a rede convencional, compacta e isolada..	19
FIGURA 5 - Rede Isolada.....	20
FIGURA 6 - Implementação de rede subterrânea.....	21
FIGURA 7 - Representação unifilar da topologia radial simples.....	28
FIGURA 8 - Representação unifilar da topologia radial com recurso.....	29
FIGURA 9 – Representação unifilar da topologia do sistema radial reticulado.....	30
FIGURA 10 - Representação unifilar da topologia primário seletivo.....	31
FIGURA 11 - Representação unifilar da topologia primário operando em malha aberta.....	32
FIGURA 12 - Representação unifilar da topologia Sport network.....	33
FIGURA 13 – Galeria técnica.....	35
FIGURA 14 – Rede de Distribuição Aérea.....	38
FIGURA 15 – Rede de Distribuição Subterrânea.....	38
FIGURA 16 – Infra estrutura padrão da rede subterrânea.....	40
FIGURA 17 – Condutores da rede subterrânea.....	41
FIGURA 18 – Banco de dutos típicos.....	42
FIGURA 19 – Câmara transformadora em construção.....	43
FIGURA 20 – Caixa de inspeção.....	43
FIGURA 21 – Transformador do tipo pedestal em meio a paisagem urbana.....	45
FIGURA 22 - Custo de implementação de rede subterrânea totalmente enterrada..	48
FIGURA 23 – Custo de implementação de rede subterrânea parcialmente enterrada.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Indicadores DEC e FEC do alimentador MAU1-2 no ano de 2012....	48
GRÁFICO 2 – Comparativo do DEC e FEC do ano de 2012 com o simulado.....	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Característica do alimentador MAU1-2.....	46
TABELA 2 - Causa das ocorrências no alimentador MAU1-2.....	47
TABELA 3 - Causas hipotéticas do alimentador MAU1-2 com a rede subterrânea instalada.....	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 DEFINIÇÕES DAS ETAPAS QUE COMPÕEM O SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA.....	13
2.2 PADRÃO CONSTRUTIVO DAS REDES AÉREAS.....	15
2.2.1 Redes Convencionais.....	16
2.2.2 Redes Compactas (protegida).....	17
2.2.3 Redes Isoladas.....	19
2.2.4 Redes Subterrâneas.....	20
2.3 QUALIDADE NO FORNECIMENTO DE ENERGIA.....	22
2.3.1 Conceito de Conjunto Elétrico.....	23
2.3.2 Indicador de Qualidade do Fornecimento DEC.....	24
2.3.3 Indicador de Qualidade do Fornecimento FEC.....	24
2.3.4 Indicador de Qualidade do Fornecimento DIC.....	25
2.3.5 Indicador de Qualidade do Fornecimento FIC.....	26
2.3.6 Indicador de Qualidade do Fornecimento DMIC.....	26
2.4- TOPOLOGIA DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	27
2.4.1 Radial Simples.....	27
2.4.2 Radial com Recurso.....	28
2.4.3. Reticulado.....	29
2.4.4 Primário Seletivo.....	30
2.4.5 Primário Operando em Malha Aberta.....	31
2.4.6 Spot Network.....	32
2.5 INFRA ESTRUTURA CIVIL.....	33
2.5.1 Rede de Distribuição Subterrânea.....	33
2.5.2 Como Planejar um Empreendimento e a Tomada de Decisão de Forma mais Segura.....	34
2.5.3 Compartilhamento e Uso do Solo.....	35
2.5.4 Onde Aplicar as Redes Subterrâneas.....	36
2.5.5 Comparativo Visual entre as Redes de Distribuição Aérea e Subterrânea.....	37
2.5.6 Processo de Execução do Sistema.....	39
3 ESTUDO DE CASO	46
3.1 CARACTERÍSTICA DO ALIMENTADOR MAU1-2.....	46
3.2 CUSTO DO TIPO DE REDE ESCOLHIDA.....	48
3.3 VERIFICAÇÃO DA DENSIDADE DE CARGA DO ALIMENTADOR MAU1-2.....	49
3.4 ESCOLHA DA TOPOLOGIA.....	50
3.5 COMPARATIVO DOS INDICADORES DE QUALIDADE.....	51

3.6 RESULTADO DO ESTUDO DE CASO.....	53
4 CONCLUSÃO.....	55
4.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aquecimento da economia e conseqüentemente o crescimento das grandes cidades, o acréscimo progressivo da demanda energética nesses centros urbanos ao longo dos anos, será cada vez mais imprescindível um sistema de distribuição de energia robusto e eficiente para estas circunstâncias.

Porém, como nestas regiões a densidade demográfica se torna altamente elevada, a utilização de redes de distribuição aérea se torna cada vez mais onerosa e de difícil instalação e manutenção do ponto de vista técnico. É comum em muitos lugares a concessionária ter dificuldades para implantação das redes de distribuição, muitas das vezes em função do crescimento desordenado de nossas cidades.

Diante dessas dificuldades tornou-se necessário verificar outra solução para a distribuição urbana de energia elétrica. Esta deveria apresentar caminhos alternativos para a instalação dos cabos e demais acessórios de distribuição que solucionassem o problema da rede convencional, que necessita de elevado espaço físico para sua instalação. Com isso, surge a discussão sobre a possibilidade da construção de redes subterrâneas de distribuição.

Com a substituição do padrão construtivo atual das redes de distribuição pelo padrão abordado anteriormente, serão alcançados melhores resultados nos indicadores de qualidade do serviço que são constantemente monitorados pelo agente regulador.

Conseqüentemente um outro problema nítido da rede de distribuição aérea é a questão urbanística em que a poluição visual é muito acentuada. Os postes, cabos e demais acessórios dividem espaço com árvores, construções, fachadas de prédios e calçadas causando intensa poluição visual e interferindo na mobilidade urbana.

As improvisações são muitas vezes precárias, as redes de distribuição aéreas geram também problemas de confiabilidade e continuidade de serviço. É comum, por exemplo, concessionárias necessitarem fazer podas frequentes de árvores que poderiam vir a danificar os condutores, causar curto-circuito e conseqüentemente interrupções no fornecimento de energia elétrica.

A proposta de pesquisa é verificar a possibilidade de substituição da rede convencional aérea pela rede de distribuição subterrânea. Atribuindo as vantagens e

desvantagens do sistema em questão, sendo realizado um estudo de caso em um alimentador do conjunto Manhuaçu.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DEFINIÇÕES DAS ETAPAS QUE COMPÕEM O SISTEMA ELÉTRICO

Para compreender melhor o universo da energia elétrica passaremos por alguns conceitos básicos para facilitar a compreensão e assimilação do trabalho em questão. O sistema elétrico é dividido em três etapas: geração, transmissão e distribuição:

Nesse contexto, Kagan, Oliveira, Robba (2010), nos ensina que:

O sistema de geração obtém-se energia elétrica, a partir da conversão de alguma outra forma de energia, utilizando-se máquinas elétricas rotativas, geradores síncronos ou alternadores, nas quais o conjugado mecânico é obtido através de um processo que, geralmente, utiliza turbinas hidráulicas ou a vapor. No caso de aproveitamento hidráulico, o potencial disponível é definido pela queda-d'água, altura de queda e vazão, podendo ter-se usinas desde algumas dezenas de MW até milhares de MW (KAGAN, OLIVEIRA, ROBBA, 2010, p.4).

O sistema de transmissão, que tem como finalidade transportar a energia elétrica gerada nos centros de produção até os centros de consumo, normalmente esses sistemas devem operar interligados. Sendo assim, estas interligações são exigidas por várias razões, dentre elas destacando-se a confiabilidade e a possibilidade de intercâmbio entre áreas.

Nesse contexto, Kagan, Oliveira, Robba (2010), ressalta que:

A título de exemplo, destaca-se a existência de ciclos hidrológicos diferentes entre as regiões de São Paulo, onde tal período concentra-se no inverno. Deste modo, a operação interligada do sistema permite que, nos meses de verão, São Paulo exporte energia para o Paraná, e que no inverno importe energia do Paraná (KAGAN, OLIVEIRA, ROBBA, 2010, p.6).

O sistema de distribuição de energia elétrica é composto pelas redes de distribuição primárias e secundárias. Esse sistema se caracteriza como o segmento do setor elétrico dedicado à entrega de energia elétrica para o usuário final, atendendo assim, a uma demanda dos clientes. As redes primárias (redes de distribuição de média tensão), e redes secundárias (redes de distribuição de baixa

tensão), cuja construção, manutenção e operação são de responsabilidade das companhias distribuidoras de eletricidade.

As redes de distribuição primárias, são circuitos elétricos trifásicos a três fios (três fases), ligados nas subestações de distribuição, normalmente são construídas nas classes de tensão 15 kV, 23 kV, ou 34,5 kV. Nestas classes de tensão, as tensões nominais de operação poderão ser 11 kV, 12,6 kV, 13,2 kV, 13,8 kV, 21 kV, 23 kV, 33 kV, 34,5 kV. Os níveis de tensão 13,8 kV e 34,5 kV são padronizados pela legislação vigente, os demais níveis existem e continuam operando normalmente. Nas redes de distribuição primárias, estão instalados os transformadores de distribuição, fixados em postes, cuja função é rebaixar o nível de tensão primário para o nível de tensão secundário, por exemplo, para rebaixar de 13,8 kV para 220 volts.

As redes de distribuição secundárias são circuitos elétricos trifásicos a quatro fios, sendo três fases e neutro, normalmente operam nas tensões (fase-fase/fase-neutro) 230/115 volts, 220/127 volts, 380/220 volts. Nestas redes estão ligados os consumidores, que são residências, padarias, lojas, etc, e também as luminárias da iluminação pública. Os grandes estabelecimentos como prédios, lojas e mercados consomem mais energia elétrica, e necessitam de transformadores individuais de 75 kVA, 112,5 kVA, 150 kVA.

Em alguns casos a tensão de fornecimento é 380/220 volts ou 440/254 volts, todo o sistema de distribuição é protegido por um sistema composto por disjuntores automáticos nas subestações onde estão ligadas as redes primárias, e com chave fusível nos transformadores de distribuição, que em caso de curto circuito e sobrecarga interrompem o fornecimento de energia elétrica. O sistema elétrico é representado pela figura 1 onde é ilustrado as etapas do mesmo.

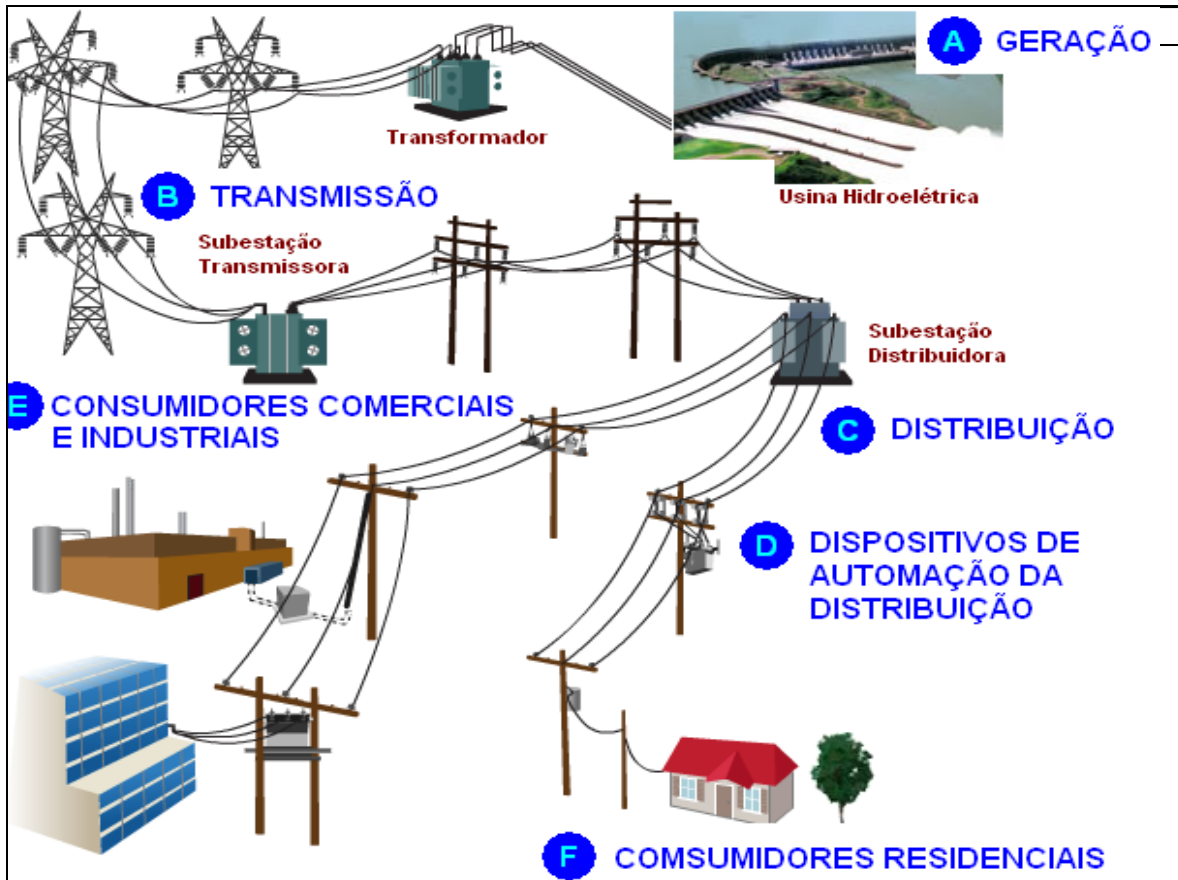


FIGURA 1 – Representação das etapas que compõe o sistema elétrico
 Fonte: <<http://www.antroposimetrica.blogspot.com.br>>

2.2 PADRÃO CONSTRUTIVO DAS REDES AÉREAS

De acordo com a norma de distribuição unificada NDU-004 da Energisa (2012), hoje no Brasil aproximadamente 90% das concessionárias utilizam o padrão construtivo de redes aéreas. Modelo que é empregado na maioria de nossas cidades, onde temos condutores de energia (cabo) sustentados por estruturas que por sua vez são fixados em postes, além dos equipamentos que compõem este sistema, os dispositivos de manobras (chaves facas e chaves fusíveis), transformadores, banco de reguladores de tensão, banco de capacitores e etc.

O sistema de distribuição de energia elétrica é dividido em dois conceitos aplicáveis, Rede de Distribuição Urbana (RDU) e Rede de Distribuição Rural (RDR). O foco será no padrão de RDU, aplicado nos centros urbanos. Estes sistemas são

compostos por quatro tipos de padrões construtivos de redes. Que por sua vez são conectadas nas subestações e formam os alimentadores, a seguir veremos as definições de cada padrão construtivo.

2.2.1 - Redes Convencionais

Este sistema foi desenvolvido há aproximadamente 60 anos e hoje já apresenta uma saturação tecnológica, o que propicia um baixo nível de confiabilidade na distribuição, já que como os condutores não são isolados ou protegidos, qualquer contato com elementos externos ao sistema pode provocar o desligamento da rede. Além disso, a proximidade dessa rede com marquises, sacadas, painéis, andaimes, facilita o contato acidental de pessoas com os condutores, ocasionando além das possíveis descargas elétricas que causam acidentes graves e até mesmo fatais a interrupção do fornecimento de energia elétrica. A figura 2 ilustra a rede convencional aérea.



F

FIGURA 2 - Rede convencional aérea

Fonte: <<http://www.copel.com>>

Como a rede fica totalmente desprotegida contra as influências do ambiente, isso incrementa a taxa de falhas e exige podas drásticas nas árvores próximas, uma das principais causas de desligamentos no sistema aéreo convencional.

Devido à exposição dos cabos, as intervenções para consertos são frequentes. Os principais danos são causados por acidentes com veículos que atingem os postes, raios, chuvas, poluição, salinidade, ventos e pássaros.

Apesar de serem mais baratas, as redes aéreas tem um custo de manutenção e operação bem elevado, devido à grande frequência dos variados tipos de ocorrência caracterizados anteriormente.

Essa disputa do espaço aéreo entre as redes elétricas e os elementos externos, tais como árvores, animais, edificações trás vários problemas que são enumerados a seguir.

- ✓ Curto-circuito na média e na baixa tensão;
- ✓ Queima de transformadores, devido a constante ocorrência de curtos-circuitos;
- ✓ Afrouxamento de conexões que ligam condutores aos demais componentes da rede;
- ✓ Desligamento da rede;
- ✓ Queima de aparelhos domésticos e equipamentos industriais;
- ✓ Prejuízos decorrentes da falta de energia;
- ✓ Transtorno em hospitais e estabelecimentos de utilidade pública;
- ✓ Perdas de faturamento;
- ✓ Gastos acentuados com manutenções e podas emergenciais e corretivas;
- ✓ Alto índice de falha devido descarga atmosférica;
- ✓ Elevado índice de acidentes com pessoas.

2.2.2 - Redes Compactas (Protegida)

De acordo com a norma de distribuição unificada (NDU) – 004 da Energisa (2012), este sistema começou a ser utilizado em grande escala nas duas últimas décadas. As redes com cabos protegidos, chamados de redes compactas, começaram a ser utilizadas devido à necessidade das concessionárias alcançarem um padrão de qualidade cada vez melhor.

Estas redes são compostas de três condutores envoltos uma camada de polietileno não reticulado (XLPE), sustentado por um cabo mensageiro de aço, que por sua vez são fixados por espaçadores poliméricos. Estes espaçadores são instalados em intervalos pré-definidos para compactar a rede.

Outros materiais utilizados nesse sistema são os isoladores de pino e de ancoragem, feitos em material polimérico, com o objetivo de fazer o isolamento dos 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 e sobrecarga.

Com tudo, é importante ressaltar que esses cabos são apenas protegidos, não podendo ser considerados isolados eletricamente. A figura 3 ilustra o sistema citado.



FIGURA 3 - Rede Aérea Compacta
Fonte: <<http://www.copel.com>>

O sistema de rede compacta traz um grande benefício ambiental e custo de manutenção reduzido, pois de acordo com a figura 4 a área da poda se reduz drasticamente.

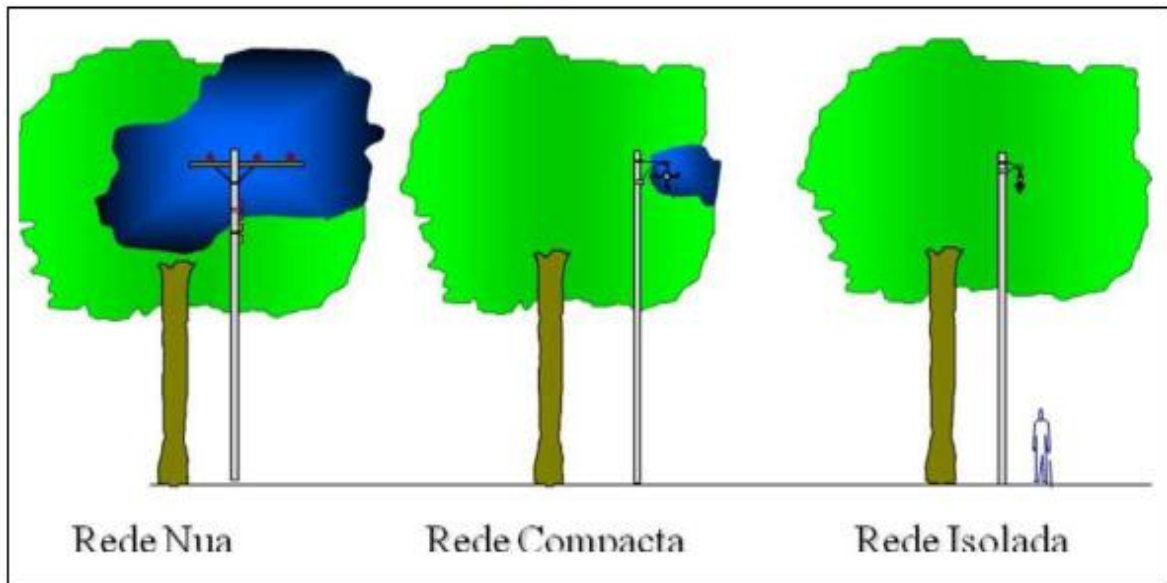


FIGURA 4 - Comparação na poda entre a rede convencional, compacta e isolada.

Fonte: <<https://www.google.com.br/>>

A rede compacta é muito viável para saídas de subestações e locais em que é necessário mais de um alimentador por poste, visto que a sua construção de circuito múltiplo economiza espaço no poste, reduzindo os custos na construção da rede, pois possibilita utilizar os dois lados do poste em um espaço vertical reduzido.

As principais vantagens da rede aérea protegida em comparação com a rede aérea convencional são:

- ✓ Redução drástica na taxa de falhas, com conseqüente redução nas intervenções na rede;
- ✓ Redução substancial no DEC
- ✓ Redução substancial no FEC
- ✓ Redução das manutenções de redes, liberando mão de obra;
- ✓ Aumento de segurança para eletricitistas e público geral;
- ✓ Redução do nível das podas de árvores, em frequência e intensidade;
- ✓ Melhoria de imagem da Empresa Distribuidora;
- ✓ Redução de gasto com podas de árvore.

2.2.3 - Redes Isoladas

Mediante a norma ND.06 - Materiais para Redes Aéreas Isoladas de Distribuição de Energia Elétrica, da Elektro Eletricidade e Serviços S/A (Elektro), as redes multiplexadas de média tensão são constituídas por três cabos fases, isolados e dispostos em trifólio em volta de um cabo mensageiro de liga de alumínio. A aplicação usual das redes multiplexadas de média tensão é para alimentadores expressos.

A rede multiplexada tem elevado custo, principalmente devido ao custo do condutor, porém tem aplicação viável nos casos de alimentadores expressos onde há restrição de espaço na posteação existente ou onde se exige um nível de confiabilidade mais elevado.

A rede multiplexada é blindada e não apresenta desligamentos oriundos de descargas atmosféricas, tensões induzidas e toques eventuais de arborização ou objetos lançados à rede, por isso, é uma rede de alta confiabilidade e baixos índices de desligamento. A figura 5 ilustra este sistema.



FIGURA 5-Rede Isolada

Fonte: <<https://www.google.com.br/>>

2.2.4 - Redes Subterrâneas

De acordo com a Norma de Distribuição ND 5.3 da Cemig (2012). A rede subterrânea pode ser semienterrada e totalmente enterrada. 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.

Já os sistemas subterrâneos de distribuição de energia elétrica são caracterizados pelo uso de cabos e demais equipamentos elétricos totalmente enterrados. Sua utilização é indicada em áreas urbanas com alta densidade de carga, em que a rede aérea é inviável.

Os cabos podem ser instalados diretamente enterrados ou protegidos por uma estrutura civil composta por bancos de dutos, caixas de passagem e câmaras subterrâneas. A figura 6 ilustra o processo de construção do sistema citado.



FIGURA 6 – Implementação de rede subterrânea

Fonte: <<http://www.copel.com>>

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 consideração, como cidades históricas, turísticas, bairros típicos, loteamentos e bairros de alto poder aquisitivo. Algumas outras vantagens em relação aos outros sistemas são:

- ✓ Menor possibilidade de falhas;
- ✓ Alto nível de segurança;
- ✓ Melhor convivência com o meio ambiente;
- ✓ Necessidade quase inexistente de podas de árvores;
- ✓ Redução nos custos de manutenção;
- ✓ Continuidade de serviço.

2.3 QUALIDADE NO FORNECIMENTO DE ENERGIA

De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), á crescente exigência dos consumidores pela qualidade dos serviços de energia elétrica, faz com que o órgão regulador tenha uma ação mais eficaz junto às concessionárias. Atualmente o monitoramento da qualidade do serviço disponível pelas concessionárias teve como base, a coleta e o processamento dos dados de interrupção do fornecimento de energia elétrica informados diariamente pelas concessionárias a ANEEL, trata-se da Duração Equivalente de Interrupção por Unidade consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). Dessa forma, as informações são tratadas e avaliadas pela agência.

Vale ressaltar, que ainda se encontra em andamento a implantação do Sistema ANEEL de Monitoração da Qualidade da Energia Elétrica, que concede a agência o acesso direto e automático sobre as informações relativas à qualidade do fornecimento, passando não mais a depender de dados fornecidos pelas empresas. Assim, será por meio do telefone que o Sistema permitirá a imediata informação dos dados sobre interrupção e restabelecimento do fornecimento de energia elétrica bem como as conformidades dos níveis de tensão nos pontos em que estão instalados os equipamentos de monitoração. Dessa forma, ele medirá a qualidade do serviço prestado pelas concessionárias de energia.

Nesse cenário, a ANEEL nos explica que:

Com o Sistema, a Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade - SFE faz um acompanhamento da qualidade de modo mais eficaz e, além disso, pode auditar os dados fornecidos pelas concessionárias. Os indicadores calculados pelo Sistema são: os de interrupção (DEC, FEC, DIC e FIC) relativos à duração e à frequência das interrupções, por conjunto de consumidores e por consumidor individual; e os de níveis de tensão (DRP, DRC e ICC) relativos à ocorrência da entrega de energia ao consumidor com tensões fora dos padrões de qualidade definidos pela ANEEL.

Dessa forma, a disponibilidade do sistema e o acompanhamento da qualidade de energia elétrica são primordiais, em função de obter diversos benefícios para um serviço de qualidade almejado, a redução da frequência de interrupção de energia ao consumidor, o monitoramento constante pelas concessionárias, contribuindo para a imediata intervenção das agências, fator contundente no âmbito da competitividade e qualificação do produto.

2.3.1 – Conceito de Conjunto Elétrico

De acordo com a ANEEL, para a obtenção de um melhor controle sobre a qualidade de energia das empresas no uso de suas atribuições, emitiu a Resolução nº 24, de 27 de janeiro de 2000, que apresenta como objetivo atualizar, rever e consolidar as disposições referentes à continuidade da distribuição de energia elétrica definidas pela Portaria nº 46 de 1978.

Nesse cenário, Kagan, Oliveira e Robba (2010), discorrem que:

“Para um melhor controle da qualidade de serviço das empresas de distribuição, a ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, no uso de suas atribuições emitiu a Resolução nº 24, de 27 de janeiro de 2000, que teve por finalidade rever, atualizar e consolidar as disposições referentes à continuidade da distribuição de energia elétrica definidas pela Portaria 046 de 1978, ainda do DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.

A ideia de definição de um conjunto parte da suposição que agrupamentos de consumidores, principalmente em áreas contíguas, devem ter seu nível de qualidade de serviço estabelecido em função de características físicas da rede (por exemplo, extensão da rede, área de cobertura etc.) e de características do mercado de energia (por exemplo, potência instalada, consumo médio etc.)”. (KAGAN, OLIVEIRA, ROBBA, 2010, p.291).

Em outras palavras conjunto são todos os clientes que estão vinculados a uma Subestação rebaixadora, que fornece energia para os alimentadores primários que por sua vez alimentam os transformadores, que transformam os níveis de tensão para uso final de clientes.

2.3.2 Indicador de Qualidade do Fornecimento - DEC

Para compreender melhor as avaliações e a qualidade do serviço, abaixo trataremos de alguns indicadores.

O indicador DEC, tem como objetivo, medir o tempo em que, em média, cada consumidor ficou privado do fornecimento de energia elétrica no período considerado, formalmente:

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

DEC = Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora, expresso em horas e centésimos de hora;

DIC = duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;

i = Contador do número de interrupções, variando de 1 a *C_c*;

C_c = Números total de consumidores do conjunto considerado.

2.3.3 Indicador de Qualidade do Fornecimento – FEC

O indicador FEC, tem como funcionalidade medir o número de interrupções que, em média, cada consumidor sofreu, em um período pré-determinado, isto é:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} FIC(i)}{C_c} \quad \text{Equação (2)}$$

FEC = Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor, expresso em numero de interrupções.

FIC = frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão, expresso em número de interrupções;

I = Contador do número de interrupções, variando de 1 a *C_c*;

C_c = Números total de consumidores do conjunto considerado.

Assim, destaca-se que este parâmetro representa o número de interrupções sofridas pelo consumidor da área em estudo no período considerado.

Nesse contexto, pode-se dizer que existem outras características importantes que consiste na necessidade de se ter um controle maior sobre cada consumidor, o que é difícil realizar através de indicadores coletivos, como é o caso do DEC ou FEC, definidos anteriormente. Desta forma foram criados outros três indicadores para complementar os indicadores de duração e frequência de interrupções em um dado consumidor.

2.3.4 – Indicador de Qualidade do Fornecimento – DIC

O indicador Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC), consiste no intervalo de tempo que, no período de observação, em cada unidade consumidora ocorreu descontinuidade da distribuição da energia elétrica:

$$DIC = \sum_{i=1}^N t(i) \quad \text{Equação (3)}$$

DIC = Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora expresso em horas e centésimos de hora;

n = Número de interrupções no período de observações;

i = Contador do número de interrupções, variando de 1 a *n*;

ti = Tempo de duração da interrupção *i* (horas).

2.3.5 - Indicador de Qualidade do Fornecimento – FIC

O indicador Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC), expressa o número de interrupções ocorridas, no período de observação em cada unidade consumidora, é dado por:

$$FIC = N \quad \text{Equação (4)}$$

FIC = Frequência de interrupção Individual por Unidade Consumidora, expresso em número de interrupções;

N = Número de interrupções no período das observações.

2.3.6 Indicador de Qualidade do Fornecimento – DMIC

O indicador DMIC, tempo máximo de interrupção contínua, para uma unidade consumidora qualquer é dado por:

$$DMIC = T(i)Max \quad \text{Equação (5)}$$

DMIC = Duração máxima das interrupções por unidade consumidora;

t(i) Max = Valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção.

2.4 TOPOLOGIA DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Topologia nada mais é que a forma de como as redes de distribuição são arranjadas em campo, pois através dessas configurações é possível realizar a operação do sistema elétrico. Abaixo serão apresentados os principais tipos.

2.4.1 Radial Simples

Em sistemas de distribuição radial simples, o transporte de energia elétrica utiliza uma única via, da subestação até a unidade consumidora. Estes sistemas não

utilizam recursos de contingência, ou seja, uma falha em um determinado trecho do alimentador que atende certo número de carga implica na interrupção do fornecimento de energia elétrica a essas cargas, até que o defeito seja reparado. Este sistema em geral é empregado devido ao baixo custo de investimento e manutenção, facilidade de coordenação de sistemas de proteção, se comparada as demais topologias. O sistema radial simples é retratado na figura 7, é utilizado nas redes de distribuição aéreas.

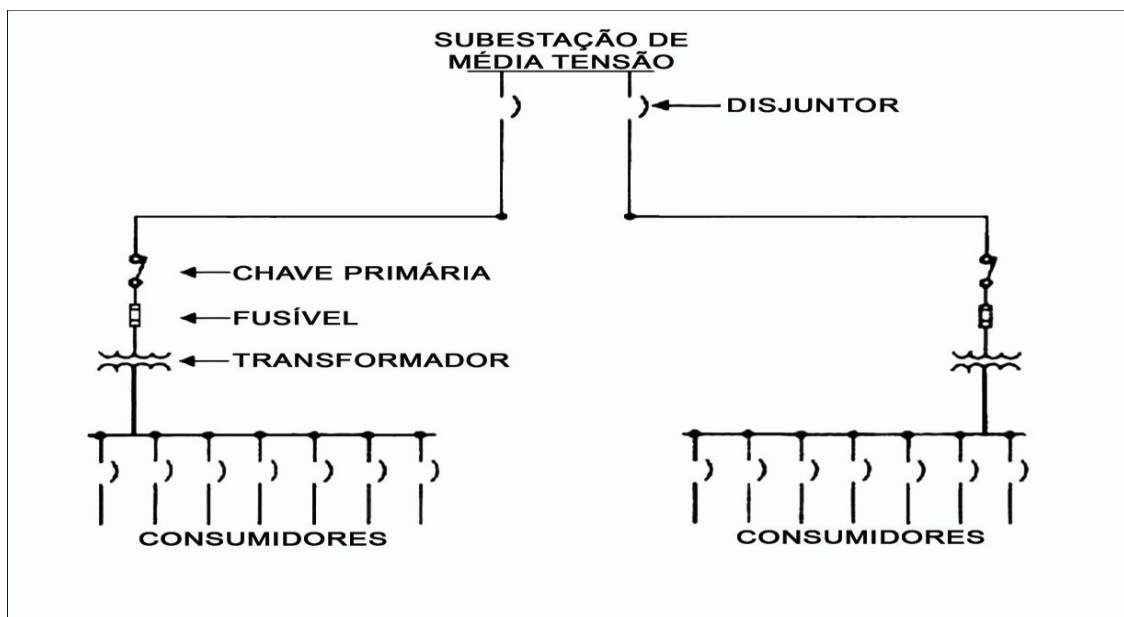


FIGURA 7 - Representação unifilar da topologia radial simples
 Fonte: <<http://www.aneel.gov.br>>

2.4.2 Radial com Recurso

Em um sistema de distribuição radial com recurso é semelhante à configuração do sistema radial simples em condições normais de operação, porém o que difere um do outro, é que o sistema radial com recurso, possui pontos de interligação, que são dispositivos de manobras (chave seccionadora) normalmente em estado de operação aberta, destinada a permitir o tratamento da contingência nos alimentadores por meio de manobras (fechamento de chaves normalmente

abertas após o isolamento do trecho sob falta), realizado manualmente ou automaticamente.

Neste sistema em geral, estes pontos de manobras são instalados em pontos estratégicos visando dividir as cargas instaladas, em uma eventual falha, de modo a possibilitar o isolamento da menor área possível sob falha, isto propicia a operação do sistema isolando o trecho danificado e o restante com continuidade afetando assim um número menor de clientes. Portanto eleva a qualidade e continuidade do sistema, porém exige sistemas de proteção mais elaborados, pode ser visto na figura 8, utilizado nas redes aéreas de distribuição.

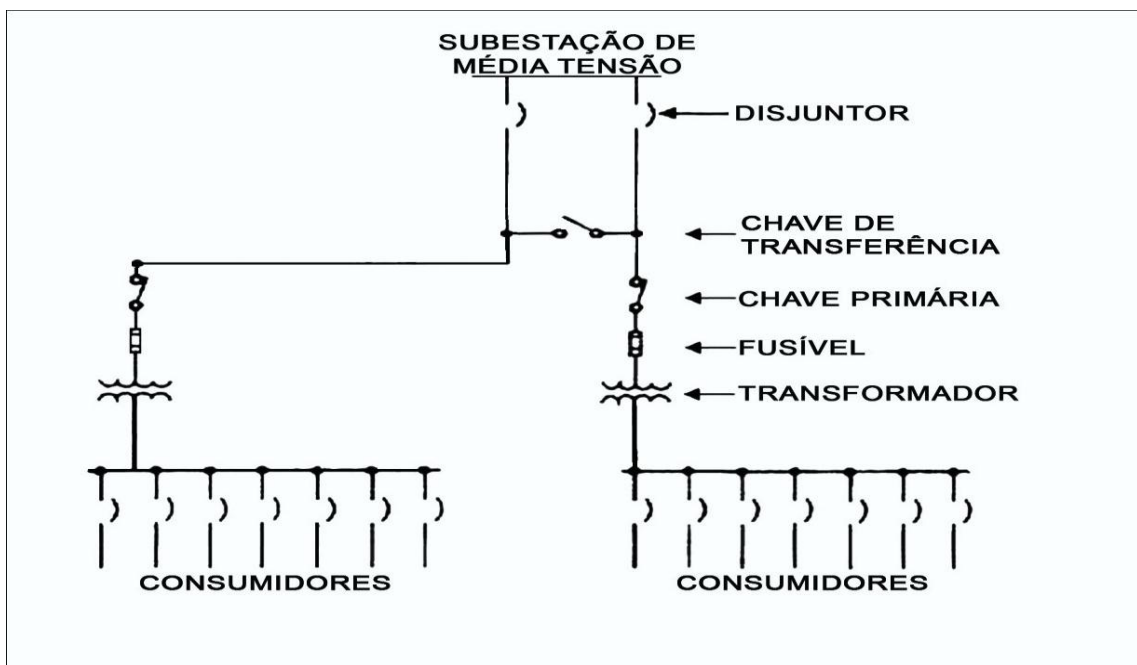


FIGURA 8 - Representação unifilar da topologia radial com recurso
 Fonte: <<http://www.aneel.gov.br>>

2.4.3 Reticulado

Em redes reticuladas, são empregados dois ou mais transformadores ligados em paralelo, que alimentam circuitos de baixa tensão interligados ou independentes. Os transformadores são alimentados por circuitos primários independentes, portanto, no caso de falha num alimentador do circuito a montante, os outros transformadores da rede reticulada encarregam-se do fornecimento. Essa topologia,

geralmente aplicada em redes subterrâneas, é mais comumente empregada em grandes centros urbanos, onde a densidade de carga é elevada e a tolerância a interrupções de fornecimento é menor. O sistema reticulado é apresentado na figura 9.

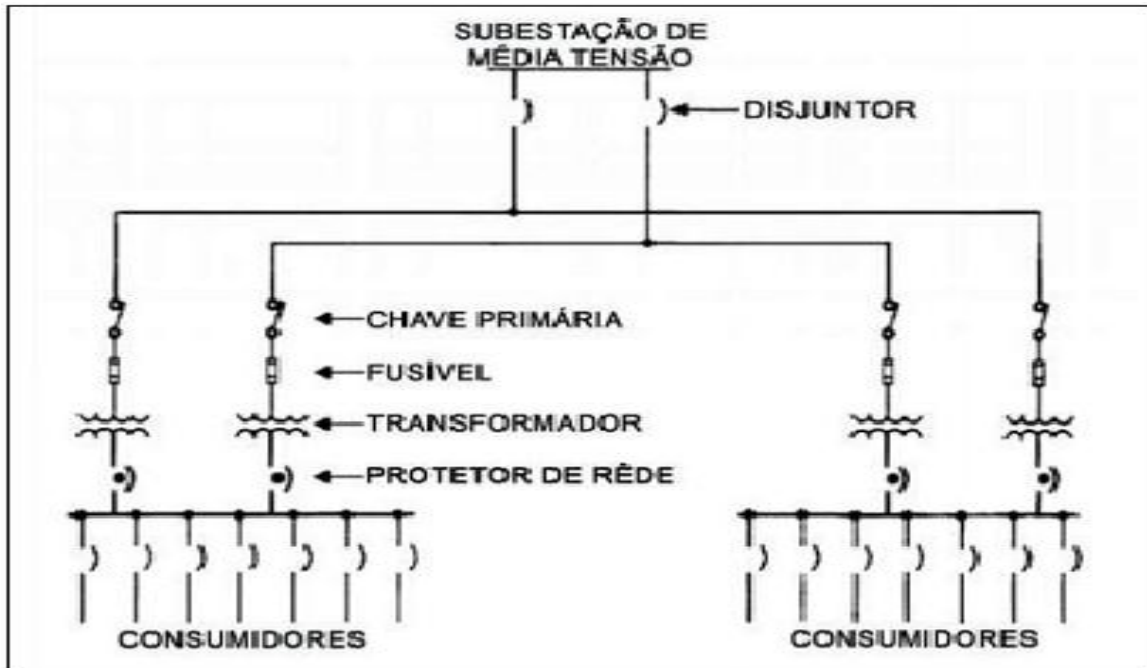


FIGURA 9 – Representação unifilar da topologia do sistema radial Reticulado
 Fonte: <<http://www.aneel.gov.br>>

2.4.4 Primário Seletivo

Neste sistema, a que se refere às redes aéreas e subterrâneas, a linha é desenvolvida em circuito duplo os quais, os consumidores são ligados uns aos outros por meio de chaves que, na condição de operação normal, conectam o consumidor a um dos circuitos e, em emergência, transferem-no para o outro.

De acordo com Kagan, Oliveira e Robba (2010), discorrem que:

“Estas chaves usualmente são de transferências automáticas, contando com relé que detectam a existência de tensão nula em seus terminais, verificam a inexistência de defeito na rede do consumidor, e comandam o motor de operação da chave, transferindo automaticamente o consumidor para o outro circuito. Evidentemente a tensão do outro circuito deve ser não nula. Neste arranjo cada circuito deve ter capacidade para absorver toda a carga do outro, logo, o carregamento admissível em condições normais de operação deve ser limitado a 50% do limite térmico” (KAGAN, OLIVEIRA E ROBBA, 2010, p.15).

De acordo com os autores, a finalidade desse sistema é apresentar um circuito duplo visando dessa maneira garantir continuidade e facilitar as manutenções, tendo a configuração citada a possibilidade da transferência de carga de um para o outro. A figura 10 caracteriza o sistema primário seletivo.

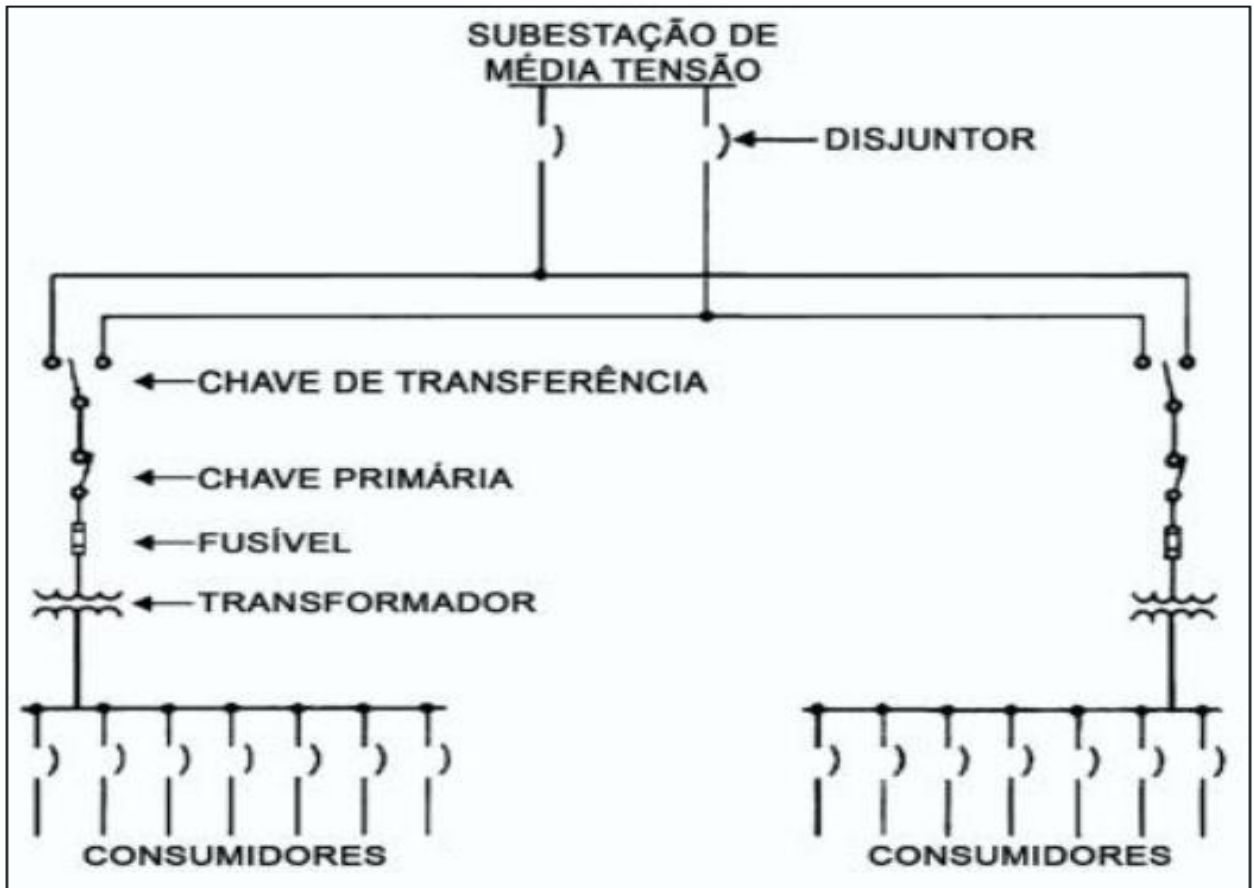


FIGURA 10 - Representação unifilar da topologia primário seletivo
 Fonte: <<http://www.aneel.gov.br>>

2.4.5 Primário Operando Em Malha Aberta

Este tipo de arranjo apresenta custo mais elevado que o anterior, sendo aplicável tão somente em regiões de altas densidades de cargas com grandes consumidores.

Assim, Kagan, Oliveira e Robba (2010) classificam que:

“Usualmente é constituído somente em alimentadores subterrâneos. Neste arranjo, os consumidores são agrupados em barramento que contam com dois dispositivos de comando nas suas extremidades (disjuntor), que se deriva de duas SE s diferentes, ou de dois disjuntores da mesma SE, está seccionado, num ponto conveniente, através de disjuntos que opera aberto na condição normal, NA”. (DAGAN, OLIVEIRA E ROCHA, 2010, p. 16).

Em consonância com o autor, este sistema consiste em interligar duas subestações diferentes no âmbito de amenizar a contingência. Num eventual problema uma subestação supre a outra, o que fica caracterizado na figura 11.

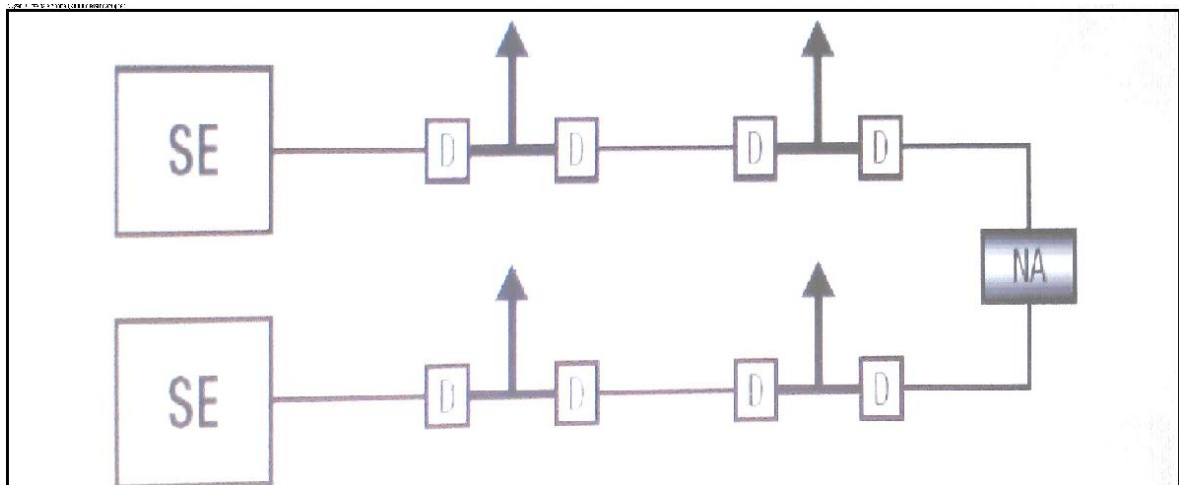


FIGURA 11- Representação unifilar da topologia primário operando em malha aberta
Fonte: <<http://www.aneel.gov.br>>

2.4.6 Spot Network

“Nestas redes, cada transformador de distribuição, com potência nominal de 0,5 a 2,0 MVA, é suprido por dois ou três circuitos. A figura 12 caracteriza o sistema Spot Network. Os circuitos que compõem o spot network podem derivar-se de uma única SE ou de SE s distintas” (KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA, 2010, p.16).

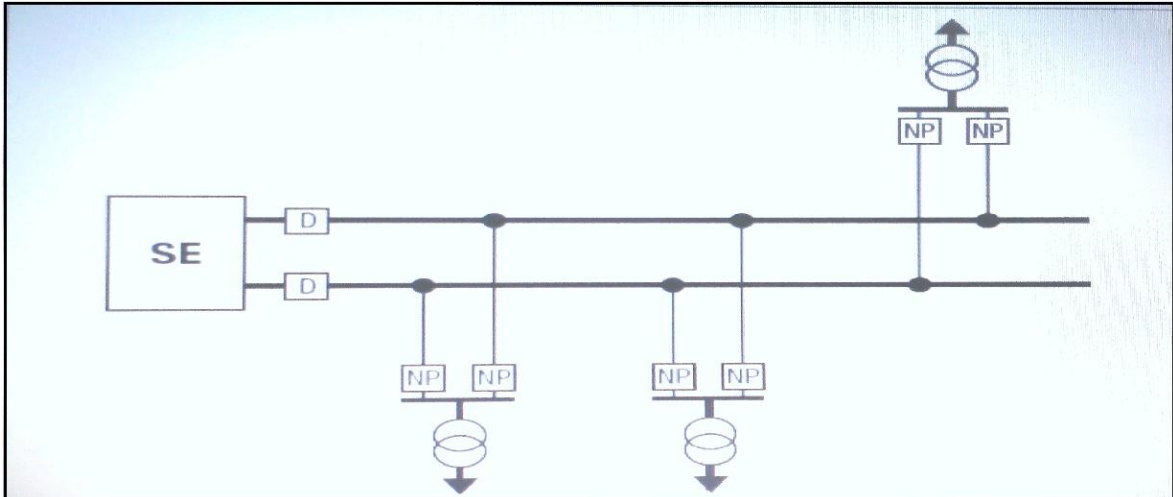


FIGURA 12 - Representação unifilar da topologia Sport network
 Fonte: <http://www.aneel.gov.br>

Todas as configurações de reticulado apresentam opção de fornecimento de energia elétrica em contingência, garantindo assim, significativos índices de qualidade de energia. Dessa maneira o sistema reticulado apresenta índice de interrupções de fornecimento consideravelmente baixo comparado a outras topologias, como a rede aérea.

2.5 INFRAESTRUTURA CIVIL

Este tem por finalidade explicar como é feito o processo de construção civil deste sistema de distribuição. Contempla as ações de planejamento, operação, manutenção, proposição e gerenciamento de soluções tecnológicas para infraestrutura e execução de projetos.

2.5.1 Rede de Distribuição Subterrânea

A implementação de redes subterrâneas, vem apresentando benefícios associados tanto para população quanto para concessionárias de energia, seu

impacto é positivamente benéfico quando ligados à reurbanização e revitalização de determinados locais e aumento no ganho da confiabilidade da rede de distribuição de energia elétrica. Veremos nos próximos subitens, as etapas de construção civil que compõem este sistema.

2.5.2 Como Planejar um Empreendimento e a Tomada de Decisão de forma mais Segura.

Sabe-se que quando se trata desse tipo de empreendimento devem ser consideradas algumas etapas inerentes ao processo. Dessa forma, vale ressaltar algumas pesquisas relativas ao mercado como o planejamento da futura iluminação pública, das calçadas, da acessibilidade a Pessoas Portadoras de Necessidades Especiais (PPNEs), planejamento do trânsito, leitos carroçáveis e equipamentos urbanos (floreiras, lixeiras, etc).

Nessa perspectiva, um dos tópicos de maior destaque no planejamento de reurbanização de localidades, ruas, praças, etc., consiste no enterramento das redes de distribuição aéreas. Para esse tipo de empreendimento devem ser observadas as etapas que se seguem:

- ✓ Estudos preliminares e pesquisas de mercado;
- ✓ Planejamento da futura iluminação pública;
- ✓ Planejamento das calçadas e consequentes condições de acessibilidade para PPNEs;
- ✓ Planejamento do trânsito;
- ✓ Planejamento de equipamentos urbanos (floreiras, lixeiras, etc);
- ✓ Planejamento do possível enterramento das redes de energia e demais infraestruturas;
- ✓ Execução de todos os projetos (design);
- ✓ Compatibilizações de todos os projetos;
- ✓ Contratação e execução das obras;
- ✓ Fiscalização e gerenciamento das obras.

Para um planejamento adequado, o gerenciamento do cronograma das obras de implantação de redes subterrâneas de energia elétrica é imprescindível para evitar transtornos à população próxima ao empreendimento.

2.5.3 Compartilhamento e uso do solo

De acordo com o manual de instrução técnica de projeto e construção de Redes Aéreas da COPEL Distribuição S. A. As redes de distribuição aéreas são compostas não somente pela infraestrutura de energia elétrica, pois diversas concessionárias e permissionárias compartilham ou possuem infraestrutura própria de distribuição aérea. Para que haja o completo enterramento das redes, se faz necessário o enterramento também da infraestrutura das demais empresas.

O enterramento de redes não depende somente da vontade ou desejo dos interessados. Muitos projetos são inviabilizados pela inexistência de um correto gerenciamento do uso do solo, de cadastro ou até do correto planejamento do empreendimento antes mesmo da implantação de redes.

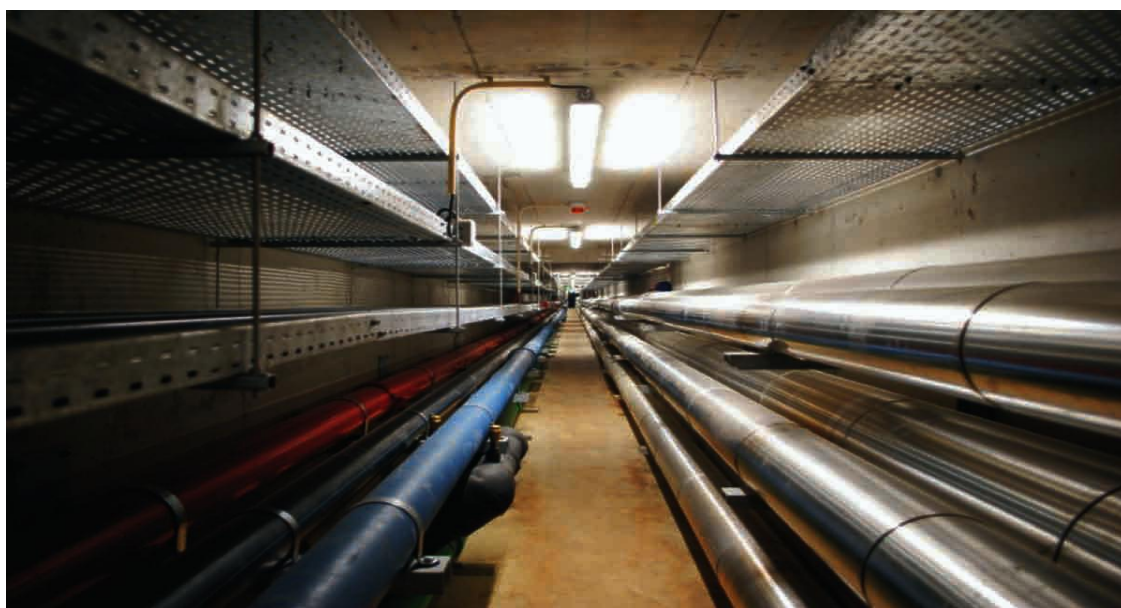


FIGURA 13 - Galeria Técnica - Compartilhamento Total
Fonte: <http://www.copel.com>

Via de regra, utilizam o subsolo e devem ser envolvidas obrigatoriamente na conversão ou na implantação de novas redes subterrâneas as empresas prestadoras de serviços de infraestrutura, como se segue:

- ✓ Água e esgoto;
- ✓ Galerias e águas pluviais – Prefeituras;
- ✓ Infraestrutura para semáforos – Prefeituras;
- ✓ Iluminação pública - Concessionárias ou Prefeituras;
- ✓ Gás;
- ✓ TV a cabo;
- ✓ Telefonia;
- ✓ Entre outros.

2.5.4 Onde Aplicar as Redes Subterrâneas

Neste contexto de aplicação de redes subterrâneas existem dois tipos de empreendimento:

- a) Obras de finalidade exclusivas do município (ou interessado);
- b) Obras de interesse mútuo;

Para o item “b” é prevista a participação financeira da concessionária através de critérios técnicos e econômicos definidos pelas concessionárias relacionados na sequência.

Alguns dos critérios que podem influenciar na decisão e/ou interesse da concessionária pela implantação de redes de distribuição subterrâneas:

- ✓ Em caso quando a área atingida pelo estudo for maior que 24 MVA/km² ou 1500 kW/km (Densidade de Consumo de Energia Elétrica);
- ✓ Em casos em que as redes convencionais não atendem os altos índices de confiabilidade que a região exige;

- ✓ Em áreas de melhoria de acessibilidade das pessoas (calçadas pequenas, etc);
- ✓ Em áreas de abalroamento constante de postes;
- ✓ Em regiões centrais onde a distância entre a rede aérea e as edificações é inferior a 2 metros;
- ✓ Em casos de existência de marquises em avanço sobre as calçadas (questão de segurança);
- ✓ Em áreas de grande circulação de pessoas;
- ✓ Em casos de implantação de nova topologia de rede. Em casos de inserção e testes de novos equipamentos e materiais no sistema da concessionária.

2.5.5 Comparativo Visual entre as Redes de Distribuição Aérea e Subterrânea

Outro ponto que deve ser ressaltado é a questão da poluição visual que a rede de distribuição aérea causa, normalmente nos grandes centros onde as concessionárias compartilham sua infraestrutura (postes) com as empresas de telefonia, TV a cabo, transmissão de dados, provedores de Internet, prefeituras e outros a situação desses postes causa um grande desgaste visual nos moradores e turistas que transitam por esses locais. As figuras 14 e 15 ilustram bem essa comparação da poluição visual entre as redes de distribuição aérea e subterrânea.



FIGURA 14 - Rede de Distribuição Aérea
Fonte: COPEL (2012)



FIGURA 15 - Rede de Distribuição Subterrânea
Fonte: COPEL (2012)

2.5.6 Processo de Execução do Sistema

De acordo com o manual de instrução técnica de projeto e construção de Redes Subterrâneas da COPEL Distribuição S. A projetos de redes de distribuição subterrânea acontecem a realização de alguns estudos e levantamentos preliminares que antecedem a execução do mesmo de forma segura e planejada. É necessário para este tipo de projeto considerar as importantes etapas que se seguem:

- ✓ 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.

Para se adequar ao planejamento das etapas citadas, vale ressaltar também o gerenciamento do cronograma de implantação das redes subterrâneas que são categoricamente importantes para não causar transtorno à população próxima ao local das obras.

Embora haja muitos critérios a serem analisados, existem variados tipos de padrões construtivos e configurações usadas na infraestrutura nesses tipos de redes. Além de possuir grande complexidade de instalações e equipamentos. Assim, neste contexto de projeto, apresenta-se de forma detalhada a infraestrutura padrão ilustrada na figura 16.

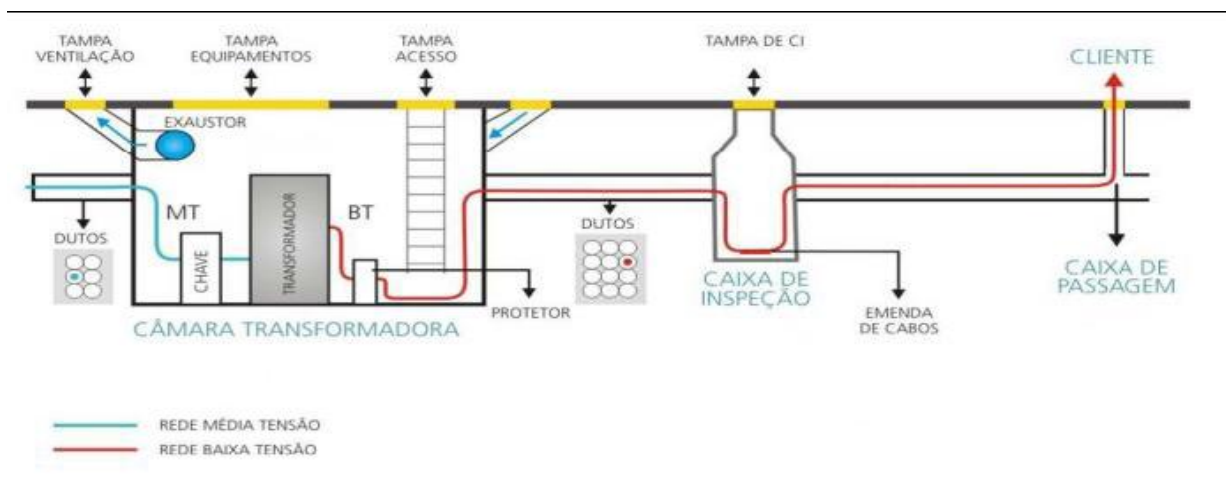


FIGURA 16 – Infraestrutura padrão da Rede Subterrânea

Fonte: <http://www.copel.com>

As redes subterrâneas possuem cabos que apresentam uma blindagem metálica circulando a isolação do cabo que permite menor taxa de falhas, dessa forma, diferente dos condutores usados nas redes aéreas, os quais são geralmente cabos nus e protegidos.

O Polietileno Termo fixo (XLPE), constitui o material mais utilizado na isolação dos cabos da rede secundária e a borracha Etilenopropileno (EPR). Todos apresentam boa eficácia, porém, há diferença, e a principal são os cabos isolados em EPR têm capacidade superior se tratando de umidade, além do mais, o custo benefício dos cabos XLPE é mais acessível, contribuindo assim, para que seja mais difundido.

Os condutores devem ser dimensionados para situações que diminuam ao máximo sua capacitação de condução de corrente e aumentem a queda de tensão do cabo. Então, no dimensionamento também deve se considerar o cálculo de curto-circuito, e se necessário, alterar a bitola da blindagem do condutor.

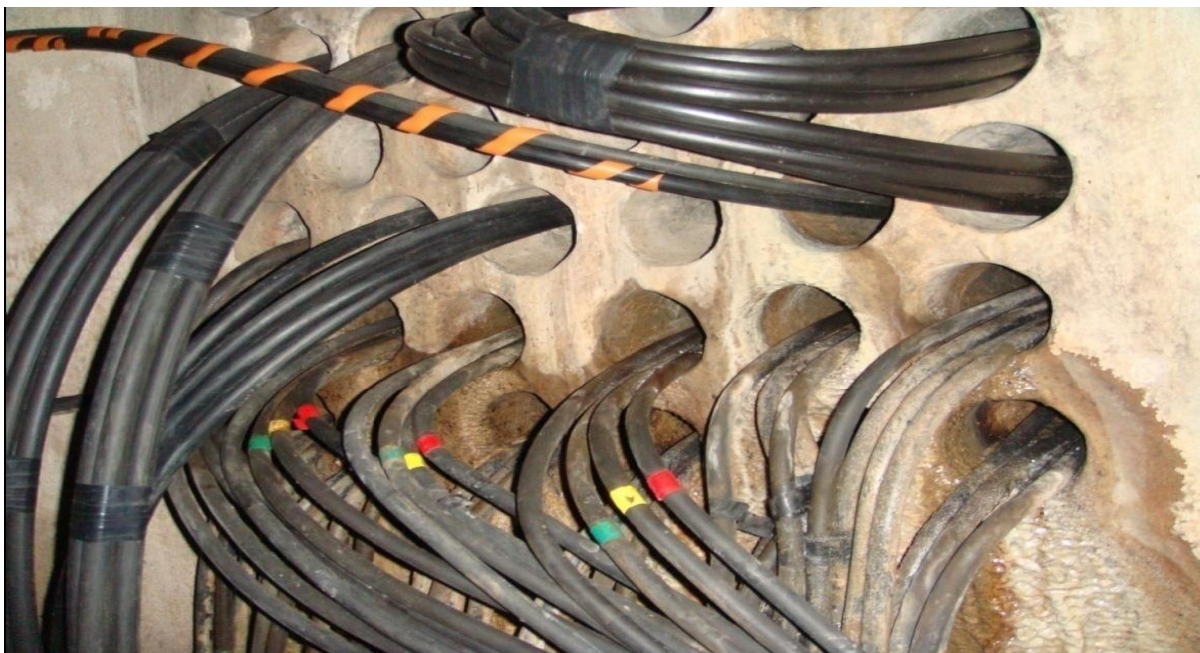


FIGURA 17 – Condutores da rede subterrânea

Fonte: <http://www.copel.com>

No projeto de redes subterrâneas existem algumas dificuldades, porém a principal delas é o enterramento dos condutores em um solo com inúmeras tubulações de serviços essenciais com: água, rede de esgoto, concessionárias como de telefonia, galerias pluviais, fibra óptica e TV. Nesse cenário, há um grande cruzamento de redes, reduzindo os espaços no subsolo, gerando problemas e contribuindo com o aumento dos custos de instalação.

Através da estrutura denominada banco de dutos, parte da problemática é resolvida. Tanto nas redes primária ou secundária, constituem toda a rede subterrânea, neles são instalados bancos de dutos de vários tamanhos, cada um com sua finalidade como demonstra a figura 18.

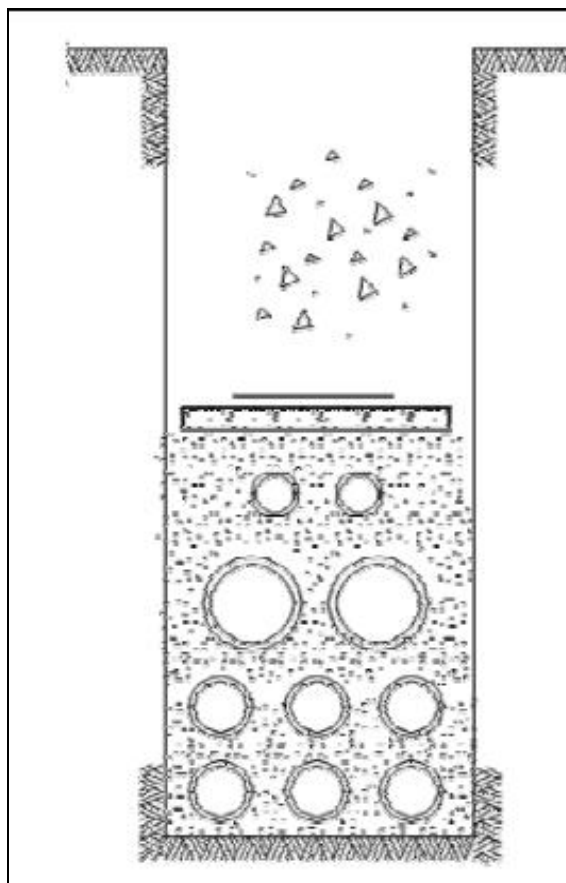


FIGURA 18 – Banco de dutos típico
Fonte : <http://www.copel.com>

Os dutos que se localizam na parte inferior são usados nos cabos de baixa tensão, os intermediários com maior diâmetro podem ser direcionados aos de média tensão, os que se encontram na parte superior destinam-se à instalação de cabos de comunicação e fibra óptica.

Os bancos de dutos são normalmente dispostos sobre as calçadas, áreas verdes de canteiros, leito da rua, as quais são interligadas por toda a estrutura da rede subterrânea pelas câmaras transformadoras.

As câmaras transformadoras (CTs) são construídas por meio de concreto armado e destinadas à proteção dos equipamentos de transformação como a chaves seccionadoras entrada de média tensão, o *network protector*, o transformador, saída de baixa tensão. Eles são localizados sob vias públicas, com tampas para facilitar o acesso de funcionários para inspeção e manutenção.



FIGURA 19 – Câmara transformadora em construção

Fonte: <http://www.copel.com>

Vale ressaltar a extrema importância de eficiente ventilação interna da câmara para conservar a temperatura do ambiente adequada garantindo o funcionamento dos equipamentos elétricos. Há possibilidade também, da instalação de um sistema de drenagem interno com o objetivo de evitar o acúmulo de água, além das caixas de inspeção (CIs), que são de concreto, embora menores que as CTs, adequadas para alojar acessórios e equipamentos, bem como facilitar a passagem de cabos e a movimentação interna de pessoas na execução de serviços, possibilitando a realização de manutenções.



FIGURA 20 – Caixa de Inspeção

Fonte: <http://www.copel.com>

Nesse contexto, vale ressaltar, as caixas de passagem (CPs), outra estrutura de extrema importância. São um pouco menores que as CTs e CIs, têm como função abrigar as emendas dos ramais que atendem seu público. As CPs construídas deverão conter tampas de ferro fundido com aproximadamente 600 mm de diâmetro.

A caracterização de composição de uma estrutura de rede de distribuição de energia enterrada também se compõe de câmaras subterrâneas para abrigar os transformadores e outros equipamentos que interligam a média e baixa tensão.

Há outra configuração subterrânea muito utilizada pelas concessionárias brasileiras, as redes subterrâneas parcialmente enterradas. Com índices de qualidade abaixo das totalmente enterradas, seus custos de implantação e manutenções acessíveis e viáveis dependendo das situações.

Estas estruturas de redes de distribuição de energia enterrada possuem os cabos enterrados, os quais, as instalações de alguns equipamentos são instaladas sobre o solo em postes externos, gabinetes, câmaras normalmente localizados em locais públicos ou privados. Nesse sentido, a concessionária possui acesso a essas áreas na realização de operações e manutenções necessárias.

Esta configuração tem se apresentado muito comum em condomínios residenciais, as quais, por meio de questões estéticas aderem à rede subterrânea normalmente possuindo área externa suficiente para a implantação destas estruturas.

Um dos transformadores mais comuns nas redes parcialmente enterradas é o do tipo pedestal. Ele é selado, e possui duas formas de utilização ao tempo ou na parte interno das construções fixado em uma base de concreto, possuindo compartilhamento completamente blindados para conexão de condutores de média e baixa tensão.



FIGURA 21 - Transformador do tipo pedestal em meio à paisagem urbana
Fonte: <http://www.copel.com>

3 ESTUDO DE CASO

3.1 CARACTERÍSTICA DO ALIMENTADOR MAU1-2

Em função da proposta inicial, foi escolhido o alimentador MAU1-2, este alimentador é exclusivamente urbano e abrange a área central da cidade de Manhuaçu, contemplando todo o centro comercial, a tabela 1 mostra as características do alimentador em questão.

Tabela 1: Características do alimentador MAU1-2

Dados do Alimentador MAU1-2	
Tensão Nominal	11400 V
Demanda Total	3103,4 kVA
Quantidade de Clientes	3663
Consumo Total (mensal)	1097393,6 kWh
Número de Transformadores	76
Capacitor	1
Corrente (na ponta)	130 A
Extensão do Alimentador	Tronco 5,55 km
	Ramal 4,35 km

Fonte: SGD (2013)

Do total de 3663 clientes, temos 1066 clientes comerciais, 33 industriais e o restante se dividem em clientes residenciais e poder público. Em função destas características foi escolhido este alimentador para o estudo de viabilidade.

No ano de 2102, o alimentador MAU1-2 apresentou as seguintes ocorrências operativas.

Tabela 2: Causa das ocorrências no Alimentador MAU1-2

Ano de 2012	Valores	Soma de	Soma de	Soma de
Rótulos de Linha	Contar de CAUSA	FEC_TOT (número de vezes)	DEC_TOT (horas)	CLI_ATING_TOT (número de clientes)
Animal na rede	6	0,0069	0,0046	217
Cabo Partido ou deteriorado	4	0,0258	0,0193	811
Defeito em Conexão	2	0,0022	0,0029	70
Distribuição Programada	não 1	0,0622	0,0381	1943
Distribuição Programada	6	0,0325	0,145	1016
Falha em Equipamento (Linha/Rede)	20	0,0374	0,0417	1188
Fenômenos Naturais	2	0,0214	0,0052	679
Ignorada/Indeterminada	11	0,0141	0,0093	453
Unidade Consumidora	35	0	0,0024	35
Total geral	87	0,2025	0,2685	6412

Fonte: COS (2013)

De acordo com a tabela 2 houve 87 ocorrências no decorrer do ano 2012, atingindo assim um total de 6412 clientes que foram afetados ao longo do ano. O DEC e FEC são abordados pelo gráfico 1 abaixo.

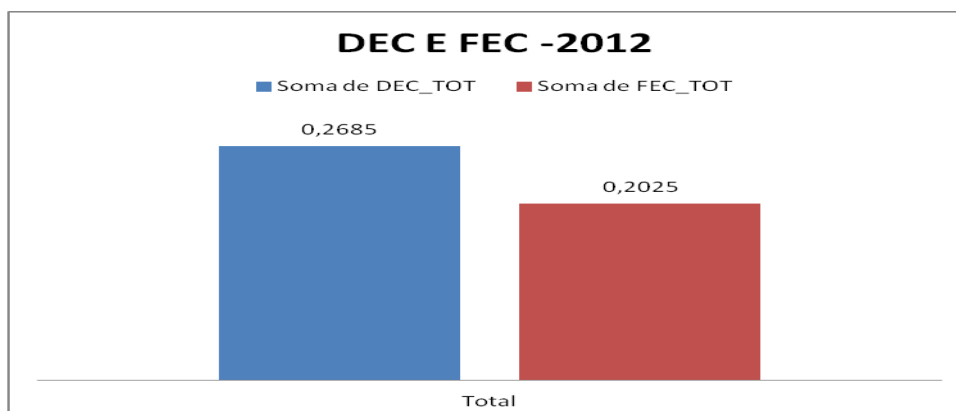


Gráfico 1: Indicadores DEC e FEC do Alimentador MAU1-2 no ano de 2012
Fonte: Autoria Própria

Em função dos objetivos citados anteriormente será verificado as vantagens da implementação da rede subterrânea no alimentador MAU1-2.

3.2 CUSTO DO TIPO DE REDE ESCOLHIDA

Para definir a escolha do tipo de rede subterrânea a ser empregada, será utilizado o estudo de caso da concessionária Companhia Paranaense de Energia (COPEL). As figuras 22 e 23 têm como função expressar os custos e o tipo de rede a ser escolhido.

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aprox.*/km	Custo/kVA	DEC FEC qualitativo	Observações
Rede Reticulada ou Network	Maior que 3000 kVA/km ou 48 MVA/km ²	R\$ 12 milhões	R\$ 800,00	0 a 0,2	Rede com câmaras subterrâneas para abrigo dos transformadores e rede de baixa tensão interligada.
Áreas urbanas - totalmente enterrada	Maior que 1500 kVA/km ou 24 MVA/km ²	R\$ 5 milhões	R\$ 1.500,00	0,5 a 1,0	Tipicamente construída com cabos acomodados em dutos e equipamentos acomodados em câmaras e caixas subterrâneas

FIGURA 22 – Custo de implementação de rede subterrânea totalmente enterrada
Fonte : www.copel.com.br

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aprox.* /km	Custo/kVA	DEC FEC qualitativo	Observações
Rede Radial com recursos para condomínios	Entre 300 e 800 kVA/km	R\$ 1,5 milhões	R\$ 2.000,00	2,0 a 2,5	Necessidade de espaços no condomínio. Tipicamente com equipamentos semienterrados ou pedestal.
Rede Radial com Recursos em áreas especiais (parques de preservação ambiental, ilhas, etc).	Entre 50 e 200 kVA/km	R\$ 600 mil	R\$ 3.000,00	2,2 a 2,7	É necessária a rede subterrânea por questões ambientais. Tipicamente com equipamentos semienterrados e cabos diretamente enterrados
Rede Radial sem Recursos em áreas especiais (parques de preservação ambiental, ilhas, etc).	Entre 50 e 200 kVA/km	R\$ 450 mil	R\$ 2.500,00	2,5 a 3,0	É necessária a rede subterrânea por questões ambientais. Tipicamente com equipamentos semienterrados e cabos diretamente enterrados

FIGURA 23 – Custo de implementação de rede subterrânea parcialmente enterrada
 Fonte : www.copel.com.br

3.3 VERIFICAÇÃO DA DENSIDADE DE CARGA DO ALIMENTADOR MAU1-2

Um parâmetro muito importante na verificação da implementação de uma rede subterrânea é a densidade de carga do Alimentador. Segundo a COPEL (2013) o estudo de densidade de carga vai direcionar qual o melhor tipo de rede a ser utilizado no alimentador em estudo. De acordo com a equação 6 é definido a densidade de carga do alimentador.

$$DC = \frac{DEMANDA}{EXT.ALIMENTADOR} = \frac{3103,4}{9,90} = 313,4 \frac{kVA}{km} \quad \text{Equação(6)}$$

Com uma densidade de carga de 313,4 kVA/km, foi escolhido o sistema reticulado. A densidade verificada corresponde a 10% da especificada no estudo de caso da COPEL, que é de 3000 kVA/km ou 48 MVA/km², para as aplicações em redes totalmente enterradas modelo que foi escolhido para esse estudo.

Como o valor de densidade de carga encontrado ficou muito menor em relação aos parâmetros do manual da COPEL, naturalmente o custo de implementação seria menor em função da diminuição da seção do condutor, no entanto esse aspecto poderá ser abordado em trabalhos futuros com um cálculo mais preciso do custo de implementação em função da redução da seção do condutor, considerando o custo em função da especificação da COPEL teríamos um valor aproximado de R\$ 118,8 milhões.

3.4 ESCOLHA DA TOPOLOGIA

Portanto para a configuração atual deste alimentador que conta com apenas uma subestação seria mais viável a utilização do sistema reticulado que tem como características operativas, dois ou mais transformadores ligados em paralelo, que alimentam circuitos de baixa tensão interligados ou independentes. Os transformadores são alimentados por circuitos primários independentes, portanto, no caso de falha em um alimentador do circuito a montante, os outros transformadores da rede reticulada encarregam-se do fornecimento. Essa topologia, geralmente aplicada em redes subterrâneas, é mais comumente empregada em grandes centros urbanos, onde a densidade de carga é elevada e a tolerância a interrupções de fornecimento é menor.

3.5 COMPARATIVO DOS INDICADORES DE QUALIDADE

Com a implementação do padrão construtivo atual, o cenário mudaria, e algumas ocorrências que são oriundas do padrão construtivo de rede convencional aérea, deixariam de existir ou reduziriam drasticamente.

Portanto, a ocorrência de animais na rede deixaria de existir, pois a maioria destas ocorrências trata-se de pássaros ou de animais de médio porte que em contato com a rede causam curto circuito. As ocorrências de cabo partido ou deteriorado cessariam também, normalmente estas ocorrências são oriundas de fenômenos naturais (ventos), ou objetos que em contato com as redes causam curto circuito e conseqüentemente rompimento dos cabos. As ocorrências de defeito de conexão, também deixariam de existir, pois a maiorias destes problemas são provenientes da forma em que as redes são arranjadas, sendo assim estas conexões ficam expostas a todas condições climáticas acarretando uma serie de problemas como oxidação por exemplo.

As causas referentes às distribuições programadas, diminuiriam também, pois as maiorias destas ocorrências estão vinculadas a obras de manutenção preventivas, obras de segurança como afastamento de rede. As ocorrências de falha em equipamento também reduziriam pela metade, pois o sistema em estudo blinda estes equipamentos, reduzindo assim os contatos diretos com adversidades climáticas, como chuva, sol, descarga atmosférica e etc. As ocorrências de fenômenos naturais acabariam também, pois seria eliminado o contato direto dos ventos e descargas atmosféricas.

As ocorrências ignoradas/indeterminadas, reduziriam-se pela metade, pois estas ocorrências são muitas da vezes em virtude da exposição do sistema atual, qualquer objeto que toca a rede pode causar um curto circuito e interromper o fornecimento de energia elétrica. As ocorrências que tratam das unidades consumidoras, também reduziriam-se, pois são problemas vinculados muitas das vezes ao ramal de entrada de serviço que arrebenta por um motivo ou outro.

De acordo com a implementação do padrão construtivo proposto teríamos uma nova composição das causas de interrupção, onde haveria uma grande

redução nos indicadores da qualidade do serviço como o DEC e o FEC, o que é perfeitamente percebido pela tabela 3.

Tabela 3: Causas hipotéticas do alimentador MAU1-2 com a rede subterrânea instalada.

Simulação	Valores	Soma de FEC_TOT (número de vezes)	Soma de DEC_TOT (horas)	Soma de CLI_ATING_TOT (número de clientes)
Rótulos de Linha	Contar de CAUSA			
Animal na rede	0	0	0	0
Cabo Partido ou deteriorado	0	0	0	0
Defeito em Conexão	0	0	0	0
Distribuição Programada não	1	0,0622	0,0381	1943
Distribuição Programada	2	0,0152	0,0723	472
Falha em Equipamento (Linha/Rede)	10	0,0215	0,0204	675
Fenômenos Naturais	0	0	0	0
Ignorada/Indeterminada	5	0,006	0,0037	192
Unidade Consumidora	15	0	0,0012	15
Total geral	33	0,1049	0,1357	3297

Fonte : Aatoria Própria

O gráfico abaixo corrobora os resultados informados anteriormente onde irá existir uma redução de aproximadamente 50% dos indicadores DEC e FEC, caso seja implantada a proposta estudada.

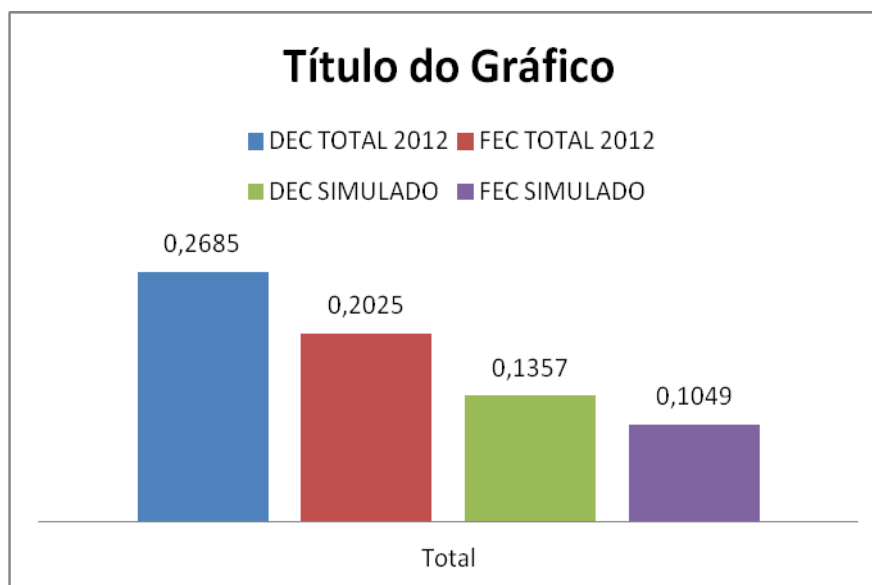


Gráfico 2 – Comparativo do DEC e FEC do ano de 2012 com o simulado
 Fonte : Autoria própria

3.6 RESULTADO DO ESTUDO DE CASO

Em função dos resultados obtidos no estudo de caso a variável econômica/financeira não será satisfatória devido ao elevado custo de implementação do tipo de topologia escolhido, a topologia escolhida ficou restrita ao fato do local de estudo somente possuir uma subestação, como informado anteriormente pode ser objeto de estudo em trabalhos futuros.

Com relação à melhora nos indicadores de qualidade do serviço (DEC e FEC) houve um ganho significativo na redução dos mesmos, o que pode ser percebido pelo gráfico 2. Esse ganho se deve ao fato de que muitos problemas oriundos do padrão construtivo das redes de distribuição aérea desapareceriam com a implementação das redes de distribuição subterrâneas, ou seja, o sistema passaria a ser blindado.

Outro problema que vale ser ressaltado é a questão da proximidade das redes de distribuição aéreas com as construções, sacadas, marquises e fachadas, essa proximidade faz com que ocorram diversos acidentes com terceiros principalmente na construção civil, com a utilização das redes subterrâneas esses tipos de acidentes deixariam de existir.

Outra questão importante a ser levantada seria com relação ao meio ambiente, pois no sistema da rede de distribuição aérea as podas têm que ser constantes e normalmente degradam muito as árvores, essas podas são necessárias para garantir a confiabilidade deste sistema. Com a implementação da rede de distribuição subterrânea este problema seria sanado.

Finalizando temos a questão da poluição visual que foi abordada no decorrer do trabalho a mesma trata da questão estética das cidades, com a implementação do sistema em estudo este emaranhado de cabos ficaria enterrado juntamente com a rede de energia elétrica, ficando somente os postes de iluminação pública, diminuindo assim a poluição visual das cidades.

4 CONCLUSÃO

Com o estudo realizado, evidenciamos o objetivo central que foi a proposta de redução dos indicadores de qualidade do serviço (DEC e FEC). Ficou comprovado com a metodologia de estudo aplicado que houve resultados de ganhos significativos na redução dos indicadores em estudo.

Com a implementação do padrão construtivo em estudo, não apenas reduzimos os indicadores em estudo, mas também tornaríamos o sistema de distribuição de energia mais robusto e aumentaríamos significativamente a confiabilidade do mesmo.

Por tanto, foi mostrado que o custo de implementação ainda possui valores exorbitantes, em função destes valores apresentados torna-se inviável a utilização do padrão construtivo de rede em estudo.

Com os resultados alcançados, a proposta inicial foi atendida. Com tudo as dificuldades foram encontradas na confecção do trabalho, em prol da coleta de material bibliográfico para pesquisas e profissionais com experiências em implantação de redes subterrâneas. Muito disto por causa da pouca utilização deste padrão construtivo no sistema brasileiro de distribuição.

4.1 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O tema que foi levantado como sugestão para trabalhos futuros trata-se do custo financeiro de implementação da rede de distribuição subterrânea, por se tratar de um custo muito elevado o agente regulador (ANEEL), não iria autorizar o repasse integral dos custos na tarifa dos clientes da concessionária, possivelmente a concessionária teria que arcar com parte desse investimento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Nota Técnica ANEEL** nº175. ANEEL, 2008.

ANEEL.PRODIST (2011).**Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** : vigência a partir de 01 de janeiro de 2011 . 2º ver.Brasília.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - ABRADÉE.**Setor de distribuição.**A distribuição de energia.Brasília. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>>. Acesso em: 23 out.2013

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CONSUMIDORES DE ENERGIA – ANACE.**Anace na mídia.**DEF-FEC:sinal de alerta.São Paulo.Disponível em : <<http://www.anacebrasil.org.br/portal/index.php/midia-e-eventos/anace-na-midia/item/650-dec-fec-sinal-de-alerta>> Acesso em: 24 jun.2013.

BRUNHEROTO, Plácido. Antônio. GALDIOLI, Carlos José. **Histórico de redes subterrâneas**, Oct. 2009, p. 127.

COMPANHIA PARANAENSE DE ELETRICIDADE – COPEL.**Redes de distribuição subterrânea.**Redes de distribuição subterrânea 5.Paraná. Disponível em: [http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/redes de distribuicao subterraneas/\\$FILE/RedesDeDistribuicaoSubterraneas-5.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/redes%20de%20distribuicao%20subterraneas/$FILE/RedesDeDistribuicaoSubterraneas-5.pdf)> Acessado em: 5 ago.2013

COMPANHIA ENERGETICA DE MINAS GERAIS - CEMIG – **Normas técnicas**.Fornecimento de energia elétrica ND 5.3.Belo Horizonte. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Documents/ND 5 3 dezembro 2009 versao final.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Documents/ND_5_3_dezembro_2009_versao_final.pdf)> Acessado em: 24 ago.2013

COPEL Distribuição S. A. **Priorização de Obras da Distribuição** - manual do Payoff, 2003.

COPEL Distribuição S. A. **Manuais de Instrução Técnica de projeto e construção de Redes Subterrâneas**. 2005.

ELEKTRO – Elektro Eletricidade e Serviços S/A - **Normas técnicas**. ND.06 - Materiais p/ Redes Aéreas Isoladas e Cobertas de Distribuição de Energia Elétrica.São Paulo.Disponível em : <http://www2.elektro.com.br/novo_site_servicos/isosystem/documentos_consulta2.asp?id=35&logo=33> Acessado em: 13 ago.2013

ENERGISA – Normas técnicas. Norma de distribuição unificada – NDU-004 .Manhuaçu. Disponível em: <[http://www.energisa.com.br/paraiba/pdfedoc/Normas Tecnicas/ndu004.pdf](http://www.energisa.com.br/paraiba/pdfedoc/Normas_Tecnicas/ndu004.pdf)> Acessado em: 8 dez.2013

FERNANDES, Marcelo Alvares. **Estudo comparativo técnico-financeiro entre linhas de transmissão aéreas e subterrâneas em grandes centros urbanos**. TCC UFTPR, 2003;

OLIVEIRA, Carlos César Barioni de; SCHMIDT, Hernán Prieto; Kagan, Nelson; ROBBA, Ernesto João. **Sistema elétricos de potência**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PELOSO, Everton Luis e Silva; Boccuzzi, Cyro Vicente. **Redes de Distribuição de Energia: quem deve pagar por elas** — Revista Eletricidade Moderna Fevereiro 2010.

PRYSMIAN CLUB. **Redes Subterrâneas**. Fios e postes desapareçam. São Paulo. Disponível em:
<http://www.prysmianclub.com.br/revista/PCLub_12/materia_de_capa.htm> Acesso em: 11 out 2013

SILVA, Ennio Peres Da. **Fontes renováveis de energia para o desenvolvimento sustentável**/In: Revista eletrônica Com Ciência publica da em 10/12/2004. Disponível em <<http://www.comciencia.br/reportagens>> Acesso em: 10/10/13.

SARDETO, E. **Avaliação técnica, econômica e de impacto ambiental da implantação das redes compactas protegidas em Maringá**, 1999. 71f. Monografia (Especialização) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

SEITZ, R. A. **Considerações sobre a poda de árvores na arborização urbana**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3., Curitiba, 1990. Anais... Curitiba: FUPEF, 1990. p.87-100.

SDG – Software Sistema de Gerenciamento de distribuição -

SOARES, M. P. **Verdes urbanos e rurais: orientação para arborização de cidades e sítios campestres**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 1998. 242p.