

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO
SUBTERRÂNEAS: ASPECTOS GERAIS E AMBIENTAIS**

Adriana Domene Barbosa Lima

Prof.Dr. Gerson Antonio Santarine

Rio Claro (SP)

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

ADRIANA DOMENE BARBOSA LIMA

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DAS REDES
DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEAS: ASPECTOS GERAIS E
AMBIENTAIS

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Engenheiro Ambiental.

*Rio Claro - SP
2016*

333.79 Lima, Adriana
L732e Estudo da viabilidade de implantação das redes de
distribuição subterrâneas: aspectos gerais e ambientais /
Adriana Lima. - Rio Claro, 2016
60 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: Gerson Antônio Santarine

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia elétrica. 3.
Redes aéreas. 4. Redes subterrâneas. I. Título.

ADRIANA DOMENE BARBOSA LIMA

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEAS: ASPECTOS GERAIS E AMBIENTAIS

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Gerson Antonio Santarine

Prof. Dr. Edson José Vasques

Prof. Dr. Francisco José dos Santos

Rio Claro, 08 de janeiro de 2016.

Adriana Lima

Prof. Dr. Gerson A. Santarine

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pela formação do meu caráter ao longo da jornada da vida e pelo apoio incondicional durante a trajetória acadêmica.

Ao meu orientador Gerson pelo apoio e incentivo durante a elaboração deste trabalho.

À todos os colegas da Elektro S.A. que de alguma maneira me ajudaram com fornecimento de dados e pela prestatividade.

Resumo

A partir do início da Revolução Industrial, a demanda por energia elétrica tornou-se cada vez maior. Distribuída inicialmente através de redes aéreas propiciou conforto e qualidade de vida para a população mas, concomitantemente, a adoção deste sistema resultou num cenário com grande quantidade de postes e fios num espaço de um contexto urbano, propiciando a poluição visual das cidades, além dos impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes. O surgimento de novas tecnologias inovou o mercado de fornecimento de energia com o desenvolvimento de redes subterrâneas, método alternativo de distribuição de energia elétrica que pode apresentar-se de modo totalmente ou parcialmente enterrado no subsolo. A implantação das redes subterrâneas apresenta inúmeras vantagens em comparação às redes aéreas, principalmente na melhoria de aspectos na estética dos grandes centros urbanos, revitalização dos municípios, preservação da vegetação e mitigação de algumas questões de segurança pública. Do ponto de vista operacional, as redes subterrâneas apresentam grande eficiência nos indicadores de continuidade do fornecimento, prevalecendo-se sobre as redes aéreas mas, em contrapartida, o custo financeiro das redes subterrâneas é um dos fatores relevantes que pode tornar sua implantação inviável em muitos casos.

Palavras-chave: Redes aéreas. Redes subterrâneas. Distribuição de energia elétrica.

Abstract

Since Industry Revolution there has been a large increase on the demand for electrical power. Power distribution was initially made through air networks, that provided the population comfort and a wealthy life but the adoption of this system resulted on an urban area scenario full of poles and wires, which were responsible for causing visual pollution, besides environmental, social and economic impacts. The urge of new technologies innovated power distribution sector by developing underground networks, an alternative electrical power method distribution that can be shown as totally or partially buried under the soil. Underground networks implantation in comparison to air grids present great amounts of benefits such as esthetical improvements on urban centers, city's revitalization, green preservation areas and a solution response to public security. Considering the operational aspect, underground networks show great efficiency on continuity indicators over air grids performance, but their financial cost is a factor of significant relevance that can turn the implantation impracticable in many cases.

Key words: Air networks. Underground networks. Electrical power distribution.

SUMÁRIO

1	Introdução e Justificativa.....	1
2	Objetivos	2
	Redes de Distribuição	3
3	Histórico	3
4	A Geração, Transmissão e Distribuição de Energia	6
5	Classificação dos Tipos de Rede	8
5.1	Rede Aérea Convencional (RDA)	9
5.1	Rede Aérea Compacta (RDP).....	10
5.2	Rede Aérea Isolada (RDI).....	11
5.3	Rede de Distribuição Subterrânea (RDS)	12
6	Indicadores de Continuidade	13
7	Impactos Ambientais, Sociais e Econômicos	17
7.1	Redes Aéreas	17
7.1.1	Impactos Sociais e Econômicos	17
7.1.2	Impactos Ambientais.....	21
7.2	Redes Subterrâneas	26
7.2.1	Impactos Sociais e Econômicos	26
7.2.2	Impactos Ambientais.....	30
8	As Redes Subterrâneas no Mundo.....	34
9	As Redes Subterrâneas no Brasil.....	36
10	Comparativos Financeiros.....	37
10.1	Redes Aéreas	37
10.2	Redes Subterrâneas	39
11	Comparativos de Indicadores de Continuidade.....	43
12	Conclusões	46
	Referências Bibliográficas.....	48

1 Introdução e Justificativa

A energia elétrica que chega nas áreas urbanizadas é transportada de um ponto a outro através das linhas de transmissão de alta potência e posteriormente redistribuída aos domicílios através das redes de distribuição e ramais de ligação. A transmissão da energia é feita geralmente através de correntes alternadas conectadas as usinas de geração de energia aos consumidores.

A grande expansão dos centros urbanos no Brasil exige uma demanda de energia cada vez maior para suprir a necessidade dos brasileiros. Segundo dados do IBGE (2010), 97,8% dos domicílios do país possuem cobertura de energia elétrica. Porém, a distribuição da mesma por sistemas aéreos, usados majoritariamente no Brasil, vem se tornando caótico nas grandes cidades, uma vez que há excesso de postes e cabos em áreas que não mais suportam tais estruturas, principalmente por falta de planejamento espacial.

As desvantagens do uso de redes de distribuição aéreas surgem nos mais diversos aspectos: além da poluição visual das regiões metropolitanas, acidentes e consequentes perdas de energia por raios e vegetações intensas em contato com cabos, os acidentes operacionais relacionados à manutenção de fios são constantes. Todos estes fatores atingem de maneira difusa âmbitos sociais, ambientais e econômicos.

2 Objetivos

Objetivo Geral

Analisar a viabilidade da implantação de redes de distribuição subterrâneas quando comparadas às redes de distribuição aéreas nua convencional e compacta

Objetivos Específicos

- a) Analisar as vantagens e desvantagens da implantação das redes de distribuição subterrâneas;
- b) Comparar as redes de distribuição aéreas nuas e compactas às subterrâneas;
- c) Caracterizar os aspectos gerais, energéticos operacionais, sociais e ambientais das redes de distribuição subterrânea e aéreas nua e compactas;
- d) Propor a viabilidade da implantação das redes de distribuição subterrâneas.

Redes de Distribuição

3 Histórico

A Revolução Industrial marcou um período histórico para a modernidade do cotidiano populacional. A partir do surgimento da máquina a vapor (1781), tornou-se cada vez mais necessário a introdução de inovações tecnológicas para o crescente aumento na capacidade da produção industrial. A energia elétrica, usada como força motriz para que esse crescimento pudesse se tornar-se viável, configurou-se como elemento essencial e indispensável no dia-a-dia, tanto no quesito econômico como na proporção do conforto e lazer.

Porém, somente em 1882 é que surgiu a primeira empresa criada para gerar e comercializar a energia elétrica. Thomas Edison, inventor da lâmpada incandescente, desenhou um projeto de instalação de uma usina na cidade de Nova Iorque, na qual os dínamos eram acionados por máquinas a vapor. O raio de abrangência da rede de distribuição era equivalente à uma área de 1600 m², com o fornecimento de energia em corrente contínua e tensão de 110 V. Correntes contínuas possuem um fluxo de movimentação de elétrons em um único sentido mas, o grande desperdício de energia ao longo desse tipo de corrente é uma característica que a torna limitada.

Correntes alternadas, por outro lado, possuem um fluxo de elétrons que estão constantemente oscilando senoidalmente, reduzindo a sua perda de energia ao longo da corrente. Tal tecnologia utilizada nos dias de hoje surgiu com George Westinghouse Jr a partir da criação de transformadores capazes de transmitir correntes elétricas por longas distâncias.

No Brasil a primeira vez em que houve geração de energia elétrica por meios mecânicos deu-se em 1879, através da instalação da iluminação elétrica na Estação Central da Estrada de Ferro na cidade do Rio de Janeiro pela iniciativa de Dom Pedro II. Em 1876, com a expansão da ferrovia Companhia Paulista de Estradas de Ferro, a cidade de Rio Claro passou por um marcante momento econômico. Considerada como uma das mais importantes cidades da província de São Paulo, a cidade que possuía sua economia baseada nas lavouras canavieiras agora havia sido substituída pela cafeicultura e pelo início do desenvolvimento industrial. Seu destaque e importância política e econômica na época levaram Rio Claro a ser a

segunda cidade do Brasil e primeira cidade da província de São Paulo a receber energia elétrica.

A eletricidade também teve seu uso pioneiro como força motriz em transportes coletivos em 1883, em Niterói, com a primeira linha de bondes elétricos brasileiros a bateria. A primeira central construída para geração e transmissão de energia surgiu em 1883 no município de Campos, RJ, movida por uma unidade termoelétrica. No mesmo ano é construída também a primeira usina hidrelétrica brasileira, no município de Diamantina, MG.

Na transição dos séculos XIX para o XX, o crescimento urbano do Rio de Janeiro e São Paulo trouxeram investimentos estrangeiros para a instalação de companhias de serviços públicos. Em 1899, a empresa canadense LIGHT foi constituída nessas cidades para a exploração de diversos serviços urbanos de utilidade pública: transportes, iluminação pública, produção e distribuição de eletricidade, distribuição de gás canalizado e telefonia.

O crescimento extraordinário da população brasileira entre 1900 e 1920 exigiu uma maior demanda por serviços urbanos e incentivou o mercado interno com a produção interna necessária de bens de consumo. O desenvolvimento a partir do aproveitamento do potencial hidráulico do eixo Rio – São Paulo aumentou em 600% a capacidade de geração de energia elétrica no país. Em 1924 foi constituída a segunda empresa de energia elétrica, American Foreign Power Company (Amforp), responsável por abranger o interior de São Paulo e mais nove capitais no Brasil.

De acordo com os dados do IBGE (2010), aproximadamente 98% dos domicílios brasileiros recebem energia elétrica. A conexão entre a energia gerada e a distribuição da mesma para os consumidores é feita através das redes de distribuição. Segundo dados da AES Eletropaulo (2013), 97% dos clientes da área de concessão da distribuidora recebem essa energia por meio de redes de distribuição aéreas.

A desenfreada expansão urbana e o desenvolvimento no setor elétrico trouxeram consigo consequências desvantajosas. Pela falta de planejamento urbano das cidades, a energia distribuída aos consumidores através de redes aéreas poluiu visualmente os grandes centros, formando enormes teias e emaranhados de fios esteticamente indesejáveis além de possibilitarem apresentação de falhas em diversos aspectos operacionais.

Os impactos ambientais, sociais, econômicos e as interrupções no fornecimento de energia questionam a confiabilidade do método de distribuição das redes aéreas convencionais. No início das décadas de 50 e 60 no Brasil, iniciou-se a construção e uso das redes subterrâneas, com o propósito de solucionar diversos aspectos indesejáveis provenientes das redes aéreas. A demanda pela sua implantação tem crescido, entretanto, o alto custo desse tipo de sistema quando comparado às redes aéreas impede a aceleração de sua expansão pelo país.

4 A Geração, Transmissão e Distribuição de Energia

A energia elétrica pode ser gerada através fontes: solar, eólica, hidráulica, térmica, nuclear, dentre outras. No Brasil, a fonte de geração majoritária de energia se encontra no setor hidrelétrico, ou seja, a energia potencial hidráulica (proveniente da água) é convertida em energia elétrica.

De acordo com os dados do site institucional da TAESA, Transmissora Aliança de Energia Elétrica, a energia produzida pelas centrais de geração tem tensão média de (15.000 volts), a qual, posteriormente será elevada nas subestações de transmissão para que atinja o nível de transmissão necessário para que possa viajar longas distâncias.

O sistema de transmissão (também conhecidos como redes de transmissão) serão responsáveis pelo transporte da energia desde a usina de geração até os consumidores finais. Esse tipo de rede opera em regime de alta tensão (acima de 23.000 Volts) que, ao chegar ao final da rede, atravessa uma subestação rebaixadora que fará a redução da tensão da linha para que a mesma possa ser conectada às redes de distribuição. Para os grandes consumidores, como por exemplo, fábricas e mineradoras, a energia é recebida em alta tensão, não havendo a necessidade da passagem pelo processo de redução.

Uma vez conectada às redes de distribuição, a tensão da energia é reduzida diversas vezes até que atinja o nível de consumo adequado (220 V ou 127 V). Essa redução é feita através dos transformadores de distribuição, equipamentos encontrados na abrangência estrutural de materiais que compõem a rede. Um desenho esquemático este processo está ilustrado na figura 1, que segue abaixo.



Figura 1. Trajeto da energia desde a sua geração até a distribuição. Fonte: ABRADÉE

5 Classificação dos Tipos de Rede

De acordo com a ABRADEE (Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica), as redes de distribuição são compostas por linhas de alta, média e baixa tensão. A rede básica é formada por linhas de transmissão com tensão igual ou superior a 230 kV. As Demais Instalações de Transmissão (DIT's) são linhas de tensão inferior a 230 kV, que quando operadas numa tensão entre 69 kV e 138 kV normalmente são operadas por empresas distribuidoras.

Além das linhas de alta tensão, as distribuidoras de energia elétrica operam também linhas de média e baixa tensão, conhecidas como redes primárias e secundárias. As redes primárias operam com tensões entre 2,3 kV e 44 kV, enquanto as redes secundárias operam com tensões que podem variar entre 110V a 440V.

As redes primárias aéreas (tensão média) são compostas por três fios condutores aéreos sustentados por cruzetas em postes, conforme ilustra a figura abaixo.



Figura 2. Ilustração de rede primária. Fonte: Google Imagens

As redes secundárias aéreas (baixa tensão) se utilizam do mesmo poste de fixação das redes primárias mas se localizam em altura inferior, conforme mostra a figura 3. A energia elétrica recebida em residências e pequenos comércios é

conduzida a partir das redes secundárias através de ramais de ligação padronizados.



Figura 3. Ilustração de rede primária e secundária. Fonte: Adriana Lima

Existem 4 tipos de redes de distribuição de energia elétrica: rede de distribuição aérea convencional, rede de distribuição aérea compacta, rede de distribuição aérea isolada e rede de distribuição subterrânea.

5.1 Rede Aérea Convencional (RDA)

De acordo com a ABRADÉE, as redes de distribuição aéreas convencionais são as mais empregadas no Brasil. São compostas por condutores nus (sem isolamento), apoiados sobre isoladores cerâmicos fixados horizontalmente sobre cruzetas de madeira ou metal nos circuitos de média tensão (redes primárias) e verticalmente nos de baixa tensão (rede secundária). Ainda em sua estrutura podem ser identificados outros equipamentos, tais como: pára-raios, braços de iluminação pública, transformadores de distribuição, bancos de capacitores, chaves seccionadoras e infraestrutura de comunicação (NAKAGUISHI; HERMES, 2011). A figura 4 ilustra de forma didática estas configurações:



Figura 4. Rede Convencional Aérea. Fonte: Adriana Lima

A falta de isolamento dos cabos faz com que esse tipo de rede se torne mais susceptível à ocorrência de defeitos (curto-circuitos), uma vez que o contato do sistema com elementos externos pode provocar o desligamento da rede.

A exposição dos cabos nesse tipo de rede apresenta um custo financeiro menor em comparação a outros. Porém, o custo de manutenção de operação se torna elevado devido à grande frequência do número de ocorrências acidentais no sistema.

5.1 Rede Aérea Compacta (RDP)

Surgidas no Brasil na década de 1990, as redes compactas são muito mais protegidas que as redes convencionais, não somente pela camada de isolamento dos condutores, mas pelo menor espaço físico ocupado por elas.

As redes de distribuição aéreas compactas, ou também conhecidas como protegidas, são formadas por um conjunto composto por cabo de aço, condutores de alumínio cobertos com uma camada de polietileno reticulado e espaçadores losangulares, confeccionados em materiais poliméricos e metálicos suportados por postes de madeira, concreto ou fibra de vidro. A sustentação da rede compacta é feita através do cabo de aço, denominado como cabo mensageiro, fixados ao poste por suportes metálicos e alças. Os espaçadores losangulares exercem a função de

sustentação, compactação e separação dos condutores cobertos (SOUZA, 2015). A configuração descrita é ilustrada pela figura 5.



Figura 5. Composição Rede Aérea Compacta. Fonte: Adriana Lima

Apesar do custo de implantação ser mais elevado, os custos de manutenção e operação são menores se comparados às redes nuas, além de apresentarem menor índice de falhas e interrupções no sistema.

As redes compactas são altamente recomendadas para locais com elevado índice de interferências externas e regiões densamente arborizadas.

5.2 Rede Aérea Isolada (RDI)

A rede aérea isolada possui três condutores isolados, blindados, trançados e reunidos em torno de um cabo mensageiro de sustentação. Devido ao seu total isolamento, todas as conexões da rede são feitas por meio de acessórios especiais que são acopláveis para garantir o sistema isolado (Eletrobras, 2012).

Os principais materiais que são utilizados nas Redes Aéreas Isoladas de média tensão incluem condutores, acessórios desconectáveis e terminações. Os

condutores são cabos de alumínio isolados que possuem camada isolante, blindagens semicondutoras, blindagem metálica e capa. Os acessórios desconectáveis são peças moldadas em borracha utilizadas em todas as derivações e conexões da rede, e ainda possuem formatos geométricos específicos que dependem da sua aplicação. As terminações, por fim, são peças moldadas em bases poliméricas, que fazem a transição entre os condutores isolados e os condutores de redes nuas ou protegidas.

5.3 Rede de Distribuição Subterrânea (RDS)

As redes subterrâneas começaram a ser implantadas no Brasil no início das décadas de 50 e 60. A Distribuidora de Energia Copel deu início à construção da rede subterrânea na cidade de Curitiba em 1973, que teve sua segunda fase de expansão em 1983.

Apresentam diversos benefícios para a população e para a própria concessionária de energia, uma vez que seu enterramento das redes traz impactos positivos associados à reurbanização e à revitalização dos grandes centros.

As redes subterrâneas podem ser classificadas em dois tipos: semi-enterradas e totalmente enterradas. Segundo Martins (2012), as redes semi-enterradas possuem os cabos enterrados e os equipamentos instalados sobre o solo. Esse tipo de arranjo é implantando nos casos em que existe área física suficiente para a instalação de painéis e cabines que abrigam transformadores de distribuição e demais acessórios.

Os sistemas totalmente enterrados são indicados para áreas urbanas com alta densidade de carga, nas quais as redes aéreas são inviáveis. São caracterizados pela localização de cabos e demais equipamentos elétricos inteiramente subterrâneas.

Os sistemas utilizados para o enterramento de redes podem ser basicamente de dois tipos: rede reticulada ou network e rede radial. A rede radial possui uma linha principal instalada desde a fonte até as cargas, fazendo interligações com outros circuitos de mesma tensão. Já o sistema reticulado possui vários circuitos de média tensão, que são responsáveis por alimentar os transformadores de distribuição (MARTINS, 2012), conforme ilustra a figura abaixo.

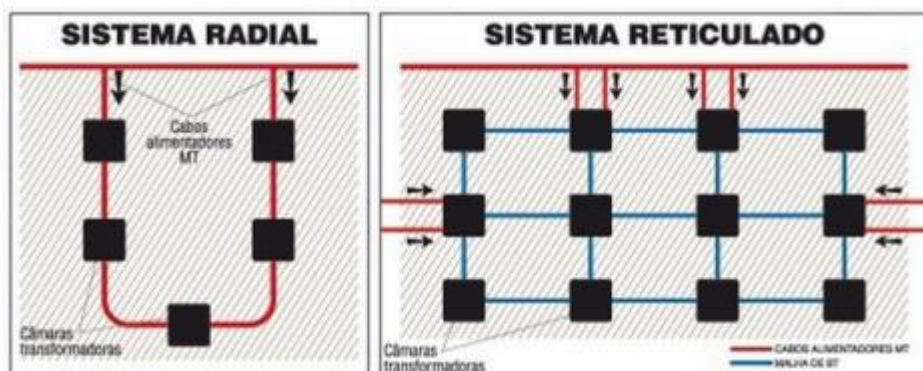


Figura 6. Tipos de Sistemas Subterrâneos de Distribuição de Energia. Fonte: LMDM Consultoria Empresarial

O sistema subterrâneo é composto por câmaras de transformação, caixas de inspeção e de passagem e dutos para cabeamento no subsolo. As câmaras transformadoras abrigam os equipamentos de transformação, chaves de seccionamento e protetores de network, e são construídas em concreto armado. Se situam em vias públicas e possuem tampas para inspeção e acesso. As caixas de inspeção ficam no subsolo e servem para facilitar a passagem dos cabos. Por fim, as caixas de passagem permitem a derivação dos ramais que atendem aos clientes. (MARTINS, 2012). A figura 7 ilustra esse tipo de rede.



Figura 7. Sistema de Rede de Distribuição Subterrânea. Fonte: Revista O Setor Elétrico

6 Indicadores de Continuidade

No intuito de manter um patamar de qualidade da prestação pública de distribuição de energia elétrica elevado, o órgão regulador ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, exige que as concessionárias mantenham um padrão de continuidade medido através de limites para indicadores coletivos.

Segundo a ANEEL, os indicadores são apurados pelas distribuidoras e enviados periodicamente para que haja uma verificação da continuidade do serviço prestado. Esses dados representam o tempo e o número de vezes que uma UC (unidade consumidora), ou seja, um cliente, ficou sem energia elétrica por um período variável a ser determinado (mês, trimestre ou ano). Os 5 principais indicadores de continuidade coletivos medidos são: DEC, FEC, DIC, FIC e DMIC.

O DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) indica o número de horas que, em média, as unidades consumidoras de um conjunto permaneceram sem energia elétrica por um período estabelecido: mês, trimestre ou ano.

Uma expressão matemática que representa o valor do DEC é dada por (ANEEL, 2015):

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i) \times t(i)}{Cs}$$

DEC = Duração Equivalente de Interrupção por consumidor (h ou h^{-2});

n = número de interrupções no período de observação;

i = contador de número de interrupções, variando de 1 a n;

Ca(i) = número de consumidores atingidos na interrupção;

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

C(s) = número total de consumidores do conjunto considerado.

O FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) indica quantas vezes, em média, as unidades consumidoras de um conjunto determinado sofreram por falta de energia.

A fórmula matemática que representa o valor do FEC é dada por (ANEEL, 2015):

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i)}{Cs}$$

FEC = Frequência Equivalente de Interrupção por consumidor (número adimensional expresso com duas casas decimais);

n = número de interrupções no período de observação;

i = contador de número de interrupções, variando de 1 a n;

Ca(i) = número de consumidores atingidos na interrupção;

C(s) = número total de consumidores do conjunto considerado.

O DIC (Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora) determina o número de horas que o cliente ficou sem energia elétrica. Sua fórmula pode ser representada por:

$$DIC = \sum_{i=1}^n ti$$

DIC = Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (número adimensional expresso com duas casas decimais);

t (i) = tempo de duração da interrupção (h ou h^{-2});

i = contador de número de interrupções, variando de 1 a n;

n = número de interrupções no período de observação.

O FIC (Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora) é representado pela quantidade de vezes que o consumidor ficou sem energia elétrica no período de apuração (mensal, trimestral ou anual). Sua fórmula pode ser representada por:

$$FIC = n$$

FIC = Frequência das interrupções do consumidor em consideração;

n = número de interrupções no período de observação.

O DMIC (Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora) é representado pelo número de horas da maior interrupção vivenciada pelo consumidor no período de apuração do indicador. Sua fórmula pode ser dada por:

$$DMIC = t(i) \text{ Max}$$

DMIC = Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora

t (i) Max = tempo de máxima duração da interrupção (h ou h^{-2});

7 Impactos Ambientais, Sociais e Econômicos

A escolha do tipo de rede a ser implantada é um fator variável que depende das características da localidade, viabilidade financeira, exigências operacionais, além da susceptibilidade à influência de fatores físicos externos. A decisão do sistema a ser adotado pode impactar positiva ou negativamente o ambiente no qual o mesmo está alocado em diversos aspectos, sejam ambientais, sociais e econômicos.

7.1 Redes Aéreas

7.1.1 Impactos Sociais e Econômicos

A atividade humana na evolução do setor elétrico é passível de diversos impactos sociais e econômicos, uma vez que a distribuição de energia pode alterar positivamente e/ou negativamente o ambiente na qual a população está inserida.

A confiabilidade na distribuição de energia é um fator fundamental nas redes de distribuição, identificada através da frequência das falhas na distribuição. As redes aéreas convencionais possuem um sistema formado por condutores nus caracterizados pela exposição a intempéries do ambiente, que representam agentes causadores dos desligamentos das redes (FINK, 2013). De acordo com dados da ABRADEE, uma média de 90% das causas das interrupções nas redes de distribuição de média tensão ocorrem nas redes aéreas convencionais. Considerando-se o dado estatístico mencionado anteriormente, serão apresentados impactos sociais causados pelo tipo de rede em questão.

As falhas nas redes aéreas convencionais atingem majoritariamente as áreas urbanas, onde estão localizadas as grandes massas de clientes das concessionárias de energia. O primeiro grande impacto social é observado diretamente nas residências dos consumidores, que são impactados por diversos fatores: perda de alimentos perecíveis estocados em refrigeradores, desconforto térmico pelo não funcionamento de ventiladores, ar condicionado e chuveiros elétricos, falta de segurança pelo desarmamento de alarmes e cercas elétricas, não funcionamento de televisões e outros aparelhos eletrônicos que promovem lazer, etc.

Neste contexto, a insatisfação dos clientes pode ir além. As interrupções nas redes aéreas conectadas à hospitais, delegacias, fábricas e indústrias apresentam um grande impacto negativo para a população uma vez que, a queda de energia nestes estabelecimentos pode provocar uma falha nos cuidados emergenciais necessários em casos de saúde nos hospitais, a falta de segurança pública nas delegacias e prejuízos financeiros nas produções em largas escalas das indústrias.

Apesar dos grandes consumidores serem os maiores afetados, a queda de energia por falhas operacionais das redes aéreas prejudica também os estabelecimentos comerciais e industriais de pequeno e médio porte no aspecto de perdas financeiras.

Na questão do transporte público, a falha na distribuição de energia pode influenciar diretamente o funcionamento dos metrô das regiões metropolitanas. A desativação do funcionamento desse meio de transporte sobrecarrega as linhas de ônibus e estimula o uso de automóveis, intensificando o trânsito nas ruas e avenidas. De acordo com a reportagem escrita por Mariana Desidério (2015) para o site Exame.com, com a desativação de metrô e trens, os moradores da Grande São Paulo levariam em média 3 horas e 20 minutos de ônibus para percorrerem seus trajetos no horário de pico (simulação feita para as 18h).

As concessionárias de energia também assumem grande parcela dos impactos causados pelas frequentes interrupções das redes aéreas convencionais. A imagem pública assumida pelas distribuidoras perante a falta de energia dos consumidores causadas por falhas operacionais é de impacto significativo. A divulgação de ocorrências de grandes desligamentos é frequentemente exposta por meio da mídia, a qual pode trazer uma imagem negativa dos serviços prestados pelas empresas e consequentemente reduzir o nível de satisfação dos clientes.

Em termos de organização espacial, o espaço físico ocupado pelos postes e redes pode trazer impactos sociais de grande magnitude. O abalroamento de postes em vias públicas é um problema que traz danos materiais às redes de distribuição e insegurança para a população, além de interromper o fornecimento de energia. De acordo com uma reportagem publicada no site do Governo de Santa Catarina (2015), em 2014, a Celesc teve um prejuízo de 5,4 milhões de reais com equipamentos danificados por abalroamento, totalizando 4.687 casos de abalroamentos em toda a área de concessão da distribuidora. A reportagem reforça ainda que para esse tipo de ocorrência, o tempo médio para restabelecimento da

energia pode ser superior a 5 horas. A figura 8 ilustra um acidente com abalroamento de poste.



Figura 8. Abalroamento de poste. Foto: Copel

No aspecto de organização espacial, constata-se ainda um outro impacto relevante para a sociedade: a poluição visual. A taxa de crescimento populacional é hoje desproporcional ao planejamento urbano, levando às cidades enfrentar um problema substancial de organização espacial para o suporte desse contingente populacional. A crescente demanda do setor elétrico não contribui para modificar tal situação. A estrutura física dos sistemas de redes aéreas faz com que os postes e redes preencham grande parte do espaço físico das ruas e avenidas com a consequente poluição visual das cidades. A figura abaixo exemplifica uma avenida poluída visualmente.



Figura 9. Poluição Visual causada por Redes Aéreas. Fonte: Net Diário

Um outro impacto advindo das redes aéreas são os incidentes causados por pipas. Segundo a Cemig, os desligamentos das redes causados por pipas totalizaram a interrupção de fornecimento de 450 mil consumidores em Minas Gerais, sendo contabilizadas 1.528 ocorrências com essa causa no período de janeiro a maio de 2015. Além dos impactos causados pela falha de fornecimento, empinar pipas próximo a locais com redes elétricas aéreas apresenta um risco à saúde e segurança da população.

De acordo com a reportagem “Pipas já deixaram 450 mil consumidores sem energia em Minas em 2015” (2015), o gerente de Segurança, Saúde e Bem-Estar da Cemig, João José Magalhães, alerta que o contato da pipa com as redes pode ser fatal, uma vez que o uso do cerol e materiais metálicos e de madeira podem se tornar condutores de energia elétrica, podendo provocar choques elétricos quando em contato com as redes energizadas. Magalhães informa ainda que a maioria dos acidentes ocorre quando as pessoas tentam retirar os papagaios presos à rede com materiais condutores. A figura 10 ilustra casos de pipas presos na rede.



Figura 10. Linhas de pipas enroscadas nos fios. Foto: Biné Moraes/O Estado

Do ponto de vista positivo, a instalação de redes elétricas aéreas convencionais apresenta o menor custo financeiro quando comparado aos outros tipos de sistemas. Tal custo, conseqüentemente, acarretará um menor incremento na tarifa paga pelos consumidores, sendo vantajoso no aspecto financeiro.

7.1.2 Impactos Ambientais

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a Resolução CONAMA Nº 001/1986 define impacto ambiental no seu Artigo 1º:

Art. 1º Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

A fim de melhor entender os principais impactos ambientais causados pelas redes aéreas e suas conseqüências no ambiente e para a população, é necessária uma revisão sobre a importância da arborização urbana nos municípios.

A arborização urbana é composta pelos elementos vegetais de porte arbóreo dentro das cidades, que são representados por árvores plantadas em calçadas, parques e praças até áreas gramadas, lagos, jardins, entre outras (RESENDE, 2011).

A inserção de áreas verdes nos municípios desempenha um papel muito importante para a sociedade. Segundo o IBAMA (2008), a arborização excede a

função de recreação e aumento do valor estético de uma localidade. Sua utilidade pode ser aplicada em diversos aspectos: melhorar a qualidade do ar e da água; proteger a biodiversidade; reduzir a erosão e os riscos de inundações; permitir o tratamento de águas residuais; dar abrigo à fauna propiciando uma variedade maior de espécies, consequentemente influenciando positivamente para um maior equilíbrio das cadeias alimentares e diminuição de pragas e agentes vetores de doenças; reduzir a velocidade do vento; e influenciar o balanço hídrico, favorecendo infiltração da água no solo.

Além das características citadas, Sanchotene (1994) reforça que a presença de arbustos e árvores na área urbana tende a melhorar o micro clima das cidades através da diminuição da amplitude térmica, principalmente por meio da elevada transpiração, e também por meio dos sombreamentos vindos das copas das árvores.

A arborização deve ser objeto de planejamento prévio, de modo que o Plano de Arborização seja compatível com a cidade na qual será inserido. Segundo o site da Copel, o plano deve ser elaborado com base em critérios técnico-científicos que considerem as características do meio urbano e as características das espécies que serão escolhidas para compor o cenário urbano. As distribuidoras de energia exercem um papel importante com a elaboração de planos de arborização que são fornecidos aos municípios, que mostram métodos ideais para o planejamento de áreas verdes em perímetros urbanos.

Ao olhar da legislação, na Constituição Federal de 1988, o art. 225 deixa explícito o direito da população à um ambiente equilibrado, além de direcionar ao Poder Público a responsabilidade de assegurar a efetividade desse direito:

CAPÍTULO VI DO MEIO AMBIENTE

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

I - preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas; (...)

III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção; (...)

VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente; (...)

Fica evidente que, além da responsabilidade do poder público para manter um ambiente ecologicamente equilibrado, há a necessidade do controle do mesmo para que seja preservado e devidamente disponível para o conhecimento de todos. A arborização urbana se encaixa na legislação como uma alternativa para manter este equilíbrio e qualidade de vida para a população, que pode ser considerada como um possível incremento de grande impacto sócio-econômico ambiental se inserido nos Planos Diretores Municipais.

Entretanto, o cenário brasileiro não é otimista quando se trata desse assunto. O planejamento e manejo das atividades ligadas à arborização é feito de forma desordenada, de uma maneira que o ambiente físico saudável desejado torna-se passível de diversos conflitos negativos dentro do município.

O espaço físico disputado entre árvores e a infra-estrutura das redes elétricas é um problema recorrente na atualidade, que traz a necessidade de pontos de atenção por parte dos órgãos públicos e distribuidoras de energia. Segundo a Copel, uma das principais causas de interrupção de energia nas cidades com sistemas de distribuição por redes aéreas é o contato da vegetação sobre as mesmas.

As árvores, quando em contato com as redes aéreas nuas, tornam-se objetos “aterrados”, e propícias, portanto, a causarem curtos-circuitos. Além da falha na distribuição, a interação da vegetação com a rede pode causar graves acidentes para a população, uma vez que esse contato faz com que a árvore aja como condutora de energia e possa causar choques elétricos. Dependendo da intensidade do curto-circuito, a situação pode ser agravada e causar um incêndio na vegetação.

A frequência de interrupções por vegetação é menos acentuada nas redes compactas protegidas, pois seus condutores são cobertos por materiais poliméricos que evitam as correntes de fuga e curto-circuito (FINK, 2013), além do menor espaço físico ocupado pela sua estrutura. Porém, a alta frequência da interação árvore/rede leva o material polimérico ao seu desgaste e pode tornar suas características operacionais similares às das redes nuas.

Afim de evitar essa causa de desligamento, as concessionárias de energia atuam em projetos de manutenção preventiva e corretiva em parceria com órgãos públicos. Ambas manutenções são caracterizadas por ações focadas nas podas urbanas e rurais de árvores de médio e grande porte com potencial de interferência nas redes elétricas.

De acordo com o Manual de Poda elaborado pela Prefeitura da cidade de São Paulo, os 4 tipos de podas mais comuns são classificados em: poda de formação, poda de limpeza, poda de emergência e poda de adequação. Com o objetivo de abrir espaço para um livre trânsito de pedestres e veículos, a poda de formação é feita com o intuito de inibir as brotações laterais, além de proporcionar à árvore um crescimento retilíneo vertical e à sua copa altura.

As podas de limpeza agem para se evitar que galhos mortos caiam das árvores e coloquem em risco a segurança e saúde pública, além da preservação de patrimônios públicos e privados. A retirada dos galhos mortos evita o comprometimento do desenvolvimento sadio das árvores.

As podas de emergência, ou conhecidas como podas drásticas, são efetuadas com a finalidade de se retirar partes das árvores que estejam comprometendo a integridade física da população ou de patrimônios públicos e privados, conforme mostra a ilustração abaixo.



Figura 11. Exemplo de poda drástica. Foto: Pick-upau/ Pedro Isal

Por fim, as podas de adequação são empregadas para solucionar ou amenizar a desarmonia entre infra-estrutura urbana e vegetação. Frequentemente,

ela deve ser empregada pela falta de planejamento no manejo das espécies implantadas, pela ausência da manutenção na poda de formação e por alterações antrópicas de uso do solo, subsolo e espaço aéreo.

As podas fazem parte da rotina de atuação das distribuidoras de energia e órgãos públicos, mas essa ação quando pouco fiscalizada, ela pode trazer impactos ambientais negativos para o equilíbrio ecológico do município.

Segundo Bagatini (2012), o conceito de poda drástica abrange a remoção de mais de 30% do volume da copa de uma árvore. Essa nova condição traz um desequilíbrio entre a superfície da copa e a superfície de absorção de água e nutrientes. O estresse sofrido fará com que a árvore emita uma rica brotação de novos galhos para recompor sua folhagem natural. O rebrotamento dá origem a um número maior de galhos dos que existiam anteriormente, que crescem de forma desordenada e repletos de necroses e lesões. Essas condições impõem um comprometimento na vitalidade das árvores a médio prazo, uma vez que as mesmas ficam suscetíveis à quebras de galhos e podem colocar em risco a integridade das pessoas e patrimônios privados e públicos.

As consequências das podas drásticas podem ser levadas muito mais além. A remoção brusca das copas das árvores, em espécies de folhagem caduca, remove as reservas energéticas que auxiliam na sobrevivência da vegetação no inverno, já que nessa estação no ano as folhas caem e portanto não havendo a realização de fotossíntese. As reservas energéticas estão presentes nos ramos que contêm as gemas para as quais foram transferidos os nutrientes produzidos pelas folhas (BAGATINI, 2012).

Outro impacto vindo das podas é o apodrecimento do lenho quando cortado em grandes proporções. Após o corte, o lenho se expõe à umidade e se torna vulnerável a infestações de fungos e insetos, podendo os levar a necroses profundas. Tais casos são mais comuns em espécies caracterizadas por madeiras mais porosas e fracas.

Nos piores dos casos, espécies pouco tolerantes aos processos citados anteriormente podem ser levadas à morte. Estes impactos afetam comumente plantas de crescimento lento, tais como guabijus, cerejeiras, entre outras. Além dos diversos efeitos adversos causados, as podas drásticas realizadas em vegetações de vias públicas podem ainda serem caracterizadas como crimes ambientais, de acordo com a Lei Federal nº 9605/98, como é explicitado no artigo 49.

Art. 49. Destruir, danificar, lesar ou maltratar, por qualquer modo ou meio, plantas de ornamentação de logradouros públicos ou em propriedade privada alheia:

Pena - detenção, de três meses a um ano, ou multa, ou ambas as penas cumulativamente.

Parágrafo único. No crime culposo, a pena é de um a seis meses, ou multa.

As podas drásticas trazem também consequências ambientais indiretas. A remoção de galhos e folhagens afetam a fauna local, que sofre com a perda de seu habitat, podendo levar a uma redução de biodiversidade na micro região.

Em adição, a supressão de vegetação e podas feitas de maneira irregular e desenfreada reduzem as propriedades de equilíbrio ambiental urbano que as áreas verdes podem trazer para o município, como o balanço hídrico, a influência na alteração do micro-clima, sombreamento concedido pelas copas, preservação de espécies, entre outras.

7.2 Redes Subterrâneas

7.2.1 Impactos Sociais e Econômicos

A utilização de padrões construtivos de sistemas elétricos mais modernos e confiáveis configura-se como demanda atual que as concessionárias de energia devem atender, para que possa haver uma evolução na distribuição com redução de custos, aumento do nível de segurança e qualidade do serviço. As redes subterrâneas apresentam aspectos positivos tanto para as distribuidoras que prestam os serviços, como para os consumidores que serão beneficiados tal sistema.

Em períodos de chuva, vários são os motivos que levam as redes a serem desligadas. Descargas elétricas atmosféricas quando atingem as redes aéreas levam o sistema a se desligar automaticamente por razões de segurança e proteção dos equipamentos elétricos dos consumidores (CEB, 2013).

Objetos presos na rede (pipas, galhos, etc.) que podem não interferir no sistema durante os períodos de seca, tornam-se condutores de energia na presença das chuvas, podendo ocasionar curtos-circuitos nas redes. Além disso, os ventos provocados pelas tempestades influenciam na movimentação de árvores que tocam

nas redes e objetos que podem também ser arremessados contra as fiações, ocasionando interrupções no fornecimento.

Além disso, os casos de acidentes com veículos e abalroamento de postes tem as maiores incidências na época de chuva, oferecendo um sério risco a segurança urbana e comprometendo mais uma vez o fornecimento de energia.

Nesse contexto, o enterramento das redes oferece uma proteção contra tempestades e fenômenos naturais, uma vez que a mesma localiza-se em um nível subterrâneo e isolada de intempéries do ambiente físico. Essa característica resulta na diminuição do DEC e FEC de um conjunto, proporcionando uma maior satisfação dos clientes em relação a qualidade da energia distribuída. Consequentemente, os custos de operação e manutenção corretiva das redes subterrâneas terão valores reduzidos.

As redes subterrâneas quando associadas à reurbanização e revitalização das cidades podem trazer diversos impactos positivos. A poluição visual, segundo o engenheiro civil Roberto Hermínio França Júnior, deixa a população sem o referencial arquitetônico da paisagem urbana, transgride medidas de segurança e mobilidade social, exclui das pessoas o referencial de espaço, estética, paisagem e harmonia do espaço urbano. O excesso de fios e postes da infra-estrutura das redes aéreas que causa essa poluição visual pode ser solucionado pelo enterramento das redes, uma vez que o sistema torna-se invisível para a população nos cenários de ruas e avenidas das cidades. A redução da poluição visual dos centros urbanos traz uma melhor qualidade de vida física e psicológica para os moradores. As figuras 12 e 13 mostram o impacto de uma fachada de um shopping com fiação aérea e o seu impacto visual sem a fiação.



Figura 12. Fachada do shopping Olímpia com rede aérea. Foto: skyscrapercity.com



Figura 13. Simulação da fachada do shopping Olímpia com rede subterrânea. Foto: Skyscrapercity.com

Ainda na questão da paisagem urbana, as redes subterrâneas podem oferecer impactos na vegetação. Por estarem enterradas, as árvores não terão interferência direta com as fiações, eliminando assim os curto-circuitos e ainda evitarão serviços dos órgãos públicos e das distribuidoras relacionados às podas. Além do benefício de manter a estrutura física da vegetação intacta, o custo de manutenções e gastos com serviços públicos são reduzidos significativamente.

Consideradas tais circunstâncias, pode-se assumir que um outro impacto causado pelas redes subterrâneas é a valorização imobiliária. Uma vez que a redução da poluição visual traz melhorias na qualidade de vida da população, fica clara a preferência, principalmente baseada em padrões estéticos, da escolha de

aquisição de imóveis em localidades com o visual agradável. O mesmo aspecto pode ser aplicado ao setor de comércio, que ficam mais propícios ao aumento de movimento de pessoas na região onde as redes são enterradas.

Em relação à mobilidade urbana, dados do IBGE (2010) afirmam que cerca de 30% das viagens cotidianas são realizadas a pé, atribuindo uma grande importância para a função das calçadas no contexto de urbanização. A disputa dos postes pelo espaço físico nas calçadas é muito comum nas cidades, e podem ocasionar problemas de mobilidade para cadeirantes, deficientes físicos, carrinhos de bebê, dentre outros. A figura abaixo mostra a dificuldade de locomoção de uma cadeirante na calçada.



Figura 14. Cadeirante com dificuldade de mobilidade na calçada. Fonte: Jornal A Semana

Considerando-se este quadro, as redes subterrâneas trazem impactos sociais positivos, já que a ausência de postes permite uma abertura de espaço e facilita a mobilidade da população nas calçadas, evitando desconfortos e aumentando a segurança pública.

Do ponto de vista dos impactos sócio-econômicos negativos, a Copel, Companhia Paranaense de Energia, afirma que o custo de implantação das redes subterrâneas hoje é aproximadamente seis vezes menor do que há 10 anos, devido ao aumento de demanda desse tipo de serviço. Portanto, o sistema de enterramento de redes subterrâneas ainda continua com um custo mais elevado em comparação

às redes aéreas, o que leva a um consequente incremento na tarifa mensal paga pelos consumidores.

Em questões operacionais, apesar da redução dos custos com manutenções, as redes subterrâneas exigem novas metodologias e novos procedimentos de reparo. A ausência da ajuda visual retarda o tempo de localização de defeitos, além de requerer o uso de equipamentos específicos para a identificação de falhas. Em casos de manutenções, esse tipo de sistema ainda necessita de funcionários que conheçam a identificação de modo preciso das instalações subterrâneas (DOULET, 2009).

Além disso, deve-se enfatizar que a construção civil das caixas e dutos devem ter fiscalizações de controle de qualidade e serem feitas seguindo normas e padrões estabelecidos, uma vez que construídas de maneira irregular ou com materiais inadequados podem levar as redes a serem danificadas.

7.2.2 Impactos Ambientais

Os impactos ambientais provenientes das redes subterrâneas são causados diretamente pela infra-estrutura desse tipo de empreendimento, decorrentes da necessidade de obras específicas de construção civil para sua implantação. A tecnologia mais utilizada para esse tipo de construção nas cidades brasileiras é o método tradicional de escavação (Oliveira, 2012).

Esse método apresenta diversos impactos na sua implantação, podendo causar alterações na paisagem, modificações nas características do solo urbano, transtornos na qualidade de vida da população, entre outros.

Em relação aos impactos no meio físico, Campos (2006) destaca que a ocupação subterrânea de áreas urbanas pode causar dois impactos de importante relevância. O primeiro deles se refere à possibilidade de provocar alterações danosas nos sistemas de aquíferos naturais através do rebaixamento do seu nível ou até mesmo pela geração de contaminações, enquanto o segundo impacto é a dificuldade de encontrar locais para a deposição do material escavado. Segundo Grandis (1998), o rebaixamento do lençol freático diminui as pressões neutras e aumenta as pressões efetivas do solo, podendo gerar um abaixamento da superfície dos terrenos próximos à obra. Já a contaminação do lençol freático, dependendo de

seu grau, pode impossibilitar o uso das águas subterrâneas em grandes áreas. A disposição final dos materiais escavados deve ser destinada à aterros específicos ou depósitos de materiais excedentes, que muitas vezes encontram-se distantes das localidades dos canteiros de obras e tornam o custo do manejo do seu destino inviável.

Outro impacto a ser discutido pelo enterramento das redes é geração de resíduos de construção civil. De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, os resíduos de construção civil pode ser definidos como:

Art. 2º Para efeito desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

Atualmente, a produção de quantidades significativas de resíduos de construção civil é um grande problema urbano enfrentado. Um estudo levantado por Pinto (1999) mostra nos dados levantados em cinco cidades do interior de São Paulo entre 1995 e 1997 o indicador que a geração de resíduos de construção e demolição variavam entre 54% e 70% dos resíduos sólidos urbanos totais gerados nos municípios. A questão da sustentabilidade ligada ao manuseio, reciclagem, reutilização, redução e disposição desses resíduos é incentivada por políticas públicas, e tem sua ação mais efetivada em termos legais pela Resolução nº 307 do CONAMA, que classifica os resíduos, especifica sua destinação e apresenta a responsabilidade do seu gerador.

Art. 3º Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de

revestimento etc.), argamassa e concreto;
 c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
 II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
 III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
 IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Art. 4º Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

Art. 10. Os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas:
 I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
 II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
 III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
 IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

A escavação das estruturas das redes subterrâneas influenciam o aparecimento de outros impactos. O levantamento da poeira e materiais particulados causados pela escavação contribuem para a alteração da qualidade do ar com prejuízos à saúde humana, uma vez que podem resultar em problemas respiratórios para a população próxima à localidade da obra. A poluição sonora oriunda da escavação, movimentação de caminhões e tratores provoca transtornos psicológicos, além da possibilidade de afugentar a fauna mais sensível que habita as proximidades. Em relação à mobilidade urbana, os canteiros de obras intensificam o trânsito local como consequência dos bloqueios de passagem das ruas e avenidas.

A remoção da cobertura vegetal também é um impacto que pode acontecer, principalmente quando a implantação do empreendimento acontecer sob áreas verdes. Tanto a remoção da cobertura como a fase inicial de escavação podem

alterar a biodiversidade e abundância das espécies que vivem em comunidades terrestres, que são prejudicadas pela destruição ou modificação de seus habitats naturais.

8 As Redes Subterrâneas no Mundo

No final de 1800, New York se tornou uma cidade com quantidade excessiva de cabos aéreos, o que levou a um planejamento posterior do enterramento das suas redes nas décadas de 1920/1930. O principal fator que influenciou este planejamento foi estético visando despoluir visualmente o cenário urbano da região. Nas décadas de 1960/1970 foi decidido que toda a rede seria enterrada mas, o custo estimado para a execução do empreendimento o tornou inviável. Assim, as áreas com maior densidade populacional foram priorizadas, como a ilha de Manhattan, contudo regiões mais distantes dos centros urbanos não tiveram suas redes enterradas, como o Brooklin, Bronx e Queens. Dados de 2011 apresentam que New York tinha 72% de sua rede enterrada e apenas 28% das redes permanecem aéreas (AES Eletropaulo, 2013).

O fator influenciador do enterramento de redes no mundo não se adere somente à estética. Regiões que estão propícias a eventos naturais de grande magnitude são cada vez mais motivadas a construir sistemas de redes subterrâneas. Um exemplo é o estado da Flórida, nos EUA, que está localizado no mapa da rota de furacões e vulnerável a intempéries externas intensas. O frequente acontecimento de tempestades severas levou os órgãos públicos a estudarem os locais mais impactados, representados pelas áreas de maior densidade populacional que afetadas principalmente por questões de segurança. Tais localidades foram mapeadas para estudos de conversão de redes aéreas para subterrâneas.

Nesse mesmo contexto, após uma chuva de granizo em 2007 interromper o fornecimento de 600.000 residências e empresas em Oklahoma, EUA, a cidade foi levada a um estudo do enterramento de toda a sua rede. Situação similar ocorreu na Carolina do Norte que, após uma tempestade de gelo que desligou 2 milhões de consumidores, também foi incentivada a investigar a possibilidade do enterramento de suas redes.

A cidade de Tóquio representa uma região altamente susceptível à ocorrência de abalos sísmicos de grande magnitude por estar localizada próxima a junção de placas tectônicas. Em 1985, iniciou-se o processo de enterramento de redes como um plano preventivo anti-desastres, com o intuito de proteger a infra-estrutura da cidade e evitar acidentes com a quebra dos sistemas de redes aéreas, falta de fornecimento de energia e garantir a segurança da população. Entre os anos de

1965 e 2010 foram construídos aproximadamente 290 km de redes subterrâneas na cidade, elevando o percentual da cobertura desse sistema de 17% para 46%.

A figura abaixo mostra o enterramento das redes em algumas cidades do mundo. Nela, observa-se que algumas localidades como Bruxelas, Amsterdam e Londres possuem 100% de seu sistema elétrico subterrâneo. É possível perceber na figura também que o Brasil tem uma baixa representação de implantação de redes subterrâneas, sendo a cidade do Rio de Janeiro a mais evoluída neste aspecto, com aproximadamente 11% de suas redes convertidas.

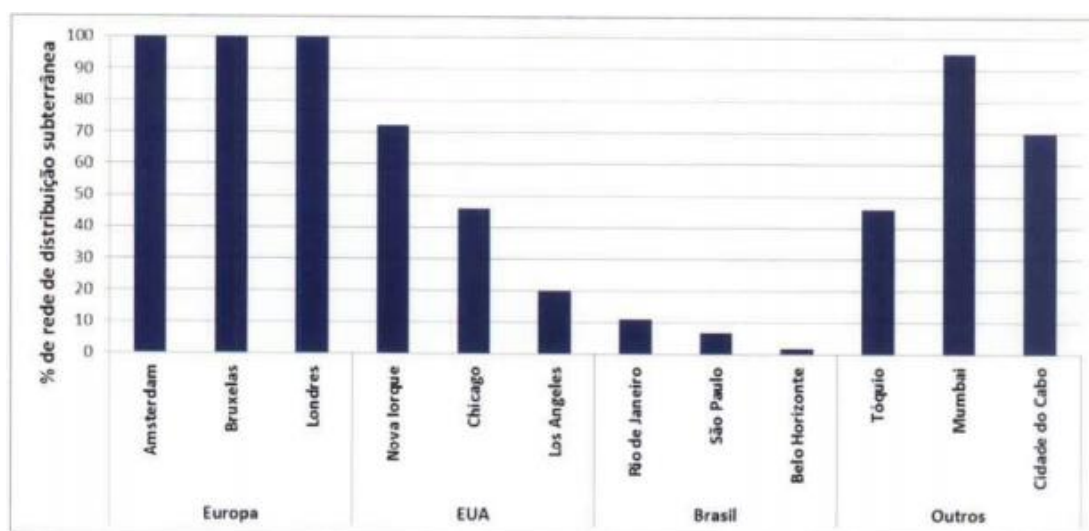


Figura 15. Percentual de redes subterrâneas em algumas cidades do mundo. Fonte: ANEEL

9 As Redes Subterrâneas no Brasil

Ao contrário de diversos países no mundo que implementam o sistema de redes subterrâneas por influências de intempéries externas, o Brasil caracteriza seus critérios de implementação deste tipo de rede de acordo com prioridades estéticas, espaciais e eficiência operacional.

Considerando-se os dados do gráfico citado acima, é possível perceber que o Brasil não possui cidades inteiramente cobertas por redes subterrâneas, mas apresentam regiões urbanas estrategicamente selecionadas para a adoção deste sistema. Na sequência seguem alguns casos de construção de redes subterrâneas em perímetros urbanos brasileiros.

A rua Oscar Freire, localizada na cidade de São Paulo, é um centro comercial tradicional da capital paulistana, e foi alvo de um projeto de enterramento de redes elétricas. A rede subterrânea implantada na rua é de 750 metros, equivalente a cinco quadras. A construção do sistema radial demorou cerca de 1 ano para ser finalizada devido à grande quantidade de conflitos com os impactos sociais apresentados na região, relacionados à poluição sonora, intensificação do trânsito e poluição visual. O projeto de enterramento da rede foi realizado em 2006 e financiado pela Associação Comercial de Lojistas, pela Prefeitura de São Paulo e pela patrocinadora Amex, e teve um investimento total de R\$8,5 milhões (BURGARDT, 2011).

Outro caso de enterramento de redes aconteceu na avenida Advogado Horácio Raccanello, na cidade de Maringá localizada na região norte do Paraná. A cidade passou por uma revitalização do seu centro urbano, que envolveu o rebaixamento dos trilhos que atravessavam a avenida e a consequente transformação das redes aéreas em subterrâneas. A obra foi financiada pela Prefeitura Municipal de Maringá em 2011 e teve seu custo totalizado em R\$5 milhões de reais.

Com a cidade de Foz do Iguaçu, Paraná, não foi diferente. A região foi uma das primeiras a ser privilegiada com a modernização das redes subterrâneas, que foram implantadas na zona central do município na Avenida Brasil. A extensão de 1 km de rede nessa avenida em 2008 a um custo de R\$7,5 milhões, financiados pela Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu em parceria com a concessionária de energia Copel.

10 Comparativos Financeiros

Um estudo comparativo financeiro será feito para determinar custos de implantação dos três tipos de redes mais comuns utilizados no Brasil: redes aéreas nuas, redes aéreas compactas e redes aéreas subterrâneas.

As comparações financeiras serão feitas baseadas em trechos urbanos de cidades, caracterizados por sistemas elétricos de alta carga.

10.1 Redes Aéreas

De acordo com dados fornecidos pela distribuidora de energia Elektro S.A. (2015), a tabela a seguir mostra o custo de redes aéreas do tipo compacta por quilômetro:

Tabela 1. Custo (R\$/km) de diferentes tipos de rede compacta

Tipo de Rede	Bitola (mm ²)	Tensão (kV)	Custo (R\$/km)
Compacta	120	15	37.034,59
Compacta	120	35	68.748,62
Compacta	185	15	49.420,44
Compacta	185	35	75.955,52
Compacta	50	15	36.614,07
Compacta	70	15	40.026,28
Compacta	70	35	55.294,86

Fonte: Elektro S.A

Estimativas informadas pela concessionária mostram que o custo das redes aéreas nuas é aproximadamente 30% menor que o custo apresentado pelas redes compactas. A tabela a seguir mostra o custo por quilômetro de diferentes tipos de redes aéreas através dos cálculos estimados por valores referentes à rede compacta.

Tabela 2. Estimativa de custo (R\$/km) de diferentes tipos de rede nua.

Tipo de Rede	Bitola (mm ²)	Tensão (kV)	Custo (R\$/km)
Nua	120	15	25.924,213
Nua	120	35	48.124,034
Nua	185	15	34.594,308
Nua	185	35	53.168,864

Nua	50	15	25.629,849
Nua	70	15	28.018,396
Nua	70	35	38.706,402

Fonte: Elektro S.A.

Segundo o analista de compras da Elektro, Paulo Migliorini, e o engenheiro elétrico Edmilson Menegatti, os custos estimados por quilômetro para a execução de projetos de implantação de redes aéreas nuas e compactas em áreas urbanas caracterizadas com cargas elevadas são descritos conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Estimativa do custo por quilômetro de projetos de redes aéreas nua e compacta.

Tipo de Projeto	Custo (R\$/km)
Rede Aérea Nua	140.000,00
Rede Aérea Compacta	200.000,00

Fonte: Elektro S.A.

Além do custo de implantação, é importante destacar a relevância do custo de manutenção das redes aéreas com o serviço de poda. Dados disponibilizados pelo engenheiro elétrico Flávio Penellas mostram na tabela a seguir o custo médio com o serviço de podas por quilômetro de rede em ramais e troncos urbanos.

Tabela 4. Custo (R\$/km) do serviço de poda em ramal e tronco urbano.

Rede	Custo (R\$/km)
Ramal Urbano	321,34
Tronco Urbano	447,29

Fonte: Elektro S.A.

De acordo com a norma técnica NTE – 023 da Cemat, Centrais Elétricas Matogrossenses, tronco urbano é definido por um segmento da linha elétrica que transporta a maior quantidade de carga com a extensão determinada pelo alimentador em áreas urbanas. Já os ramais são linhas elétricas que derivam dos troncos e fazem a distribuição de energia para os consumidores das áreas urbanas.

A partir dos dados da tabela, pode-se assumir que uma média de custo do serviço de poda por quilômetro em áreas urbanas equivale a R\$384,31.

O custo de implantação das redes conta também com aspectos de formação para eletricitistas. Para que as redes aéreas possam ser operadas, são obrigatórios treinamentos mínimos para especializar os eletricitistas a executarem diferentes tipos de serviços na rede. No caso das redes aéreas, são considerados as seguintes cargas horárias de treinamentos mínimos de acordo com a tabela 5, disponibilizada pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais).

Tabela 5. Carga horária de treinamentos mínimos para operação em redes aéreas.

Treinamentos mínimos para função <i>Fonte: UNIVERCEMIG</i>	Eletricista RDA
Curso de formação do eletricitista	540 h
Estágio supervisionado	360 h
NR 10 – Básico	40 h
NR 10 – Complementar	40 h
NR 33 – Trabalhador Autorizado	-
NR 33 – Supervisor de Espaço Confinado	-
Operação e manutenção de protetores de reticulado	-
Carga horária de formação inicial	980
Reciclagem NR 10 – período	24 meses
Reciclagem NR 33 – período	12 meses

Fonte: UNIVERCEMIG

10.2 Redes Subterrâneas

As redes subterrâneas podem ter seus custos diferenciados de acordo com as suas tipologias empregadas. Podem ser definidas em: parcialmente enterradas ou totalmente enterradas em sistema radial ou reticulado. As redes parcialmente enterradas são entendidas como aquelas que possuem algum tipo de equipamento e/ou elemento tipo pedestal ou aéreo.

O guia da Copel para utilização e aplicação das redes de distribuição subterrâneas para municípios e empreendedores disponibilizados custos para a implantação das redes totalmente enterradas conforme ilustram as tabela abaixo.

Tabela 6. Custo de implantação de redes subterrâneas totalmente enterradas.

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aprox.*/km	Custo/kVA
Rede Reticulada ou Network	Maior que 3000 kVA/km ou 48 MVA/km ²	R\$ 12 milhões	R\$ 800,00
Áreas urbanas - totalmente enterrada	Maior que 1500 kVA/km ou 24 MVA/km ²	R\$ 5 milhões	R\$ 1.500,00

Fonte: Copel

Nas tabelas 7 e 8 são disponibilizados também os custos para a implantação de redes parcialmente enterradas para diferentes tipos de localidades.

Tabela 7. Custo de implantação de redes parcialmente enterradas.

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aprox.*/km	Custo/kVA
Áreas urbanas com equipamentos semienterrados ou tipo pedestal	Entre 400 e 1500 kVA/km	R\$ 3,2 milhões	R\$ 1.600,00
Áreas urbanas com equipamentos em poste	Entre 200 e 1500 kVA/km	R\$ 2,5 milhões	R\$ 1.800,00

Fonte: Copel

Tabela 8. Custo de implantação de redes parcialmente enterradas em localidades diversas.

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aprox.*/km
Rede Radial com recursos para condomínios	Entre 300 e 800 kVA/km	R\$ 1,5 milhões
Rede Radial com Recursos em áreas especiais (parques de preservação ambiental, ilhas, etc).	Entre 50 e 200 kVA/km	R\$ 600 mil
Rede Radial sem Recursos em áreas especiais (parques de preservação ambiental, ilhas, etc).	Entre 50 e 200 kVA/km	R\$ 450 mil

Fonte: Copel

A CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais), em sua apresentação sobre aspectos regulatórios das redes subterrâneas, evidencia o comparativo de custos genérico entre as RDP, RDI e RDS que é mostrado na tabela abaixo.

Tabela 9. Comparativo de custos entre RDP, RDI e RS.

RDP - Rede Distribuição Protegida Aérea	1,0
RDI - Rede Distribuição Isolada Aérea	1,6-2 vezes
RDS – Rede de Distribuição Subterrânea Sistema Radial Simples	4-6 vezes
RDS – Rede de Distribuição Subterrânea Sistema Radial com Recurso	6-8 vezes
RDS – Rede de Distribuição Subterrânea Sistema Dupla Alimentação	10-12 vezes
RDS – Rede de Distribuição Subterrânea Sistema Reticulado	15-20 vezes

Fonte: CEMIG

Assim como a operação de redes aéreas exige treinamentos especializados para os eletricitas, a mesma situação se aplica para a operação de redes subterrâneas. A tabela abaixo ilustra uma complementação que compara a carga horária de treinamento mínimo para a operação de redes aéreas e subterrâneas.

Tabela 10. Comparação de carga horária de treinamento mínimo para operação de redes aéreas e subterrâneas.

Treinamentos mínimos para função <i>Fonte: UNIVERCEMIG</i>	Eletricista RDA	Eletricista RDS
Curso de formação do eletricista	540 h	600 h
Estágio supervisionado	360 h	620 h
NR 10 – Básico	40 h	40 h
NR 10 – Complementar	40 h	40 h
NR 33 – Trabalhador Autorizado	-	16 h
NR 33 – Supervisor de Espaço Confinado	-	8 h
Operação e manutenção de protetores de reticulado	-	240 h
Carga horária de formação inicial	980	1544
Reciclagem NR 10 – período	24 meses	24 meses
Reciclagem NR 33 – período	12 meses	12 meses

Fonte: UNIVERCEMIG

É possível observar que em todas as análises apresentadas, os custos de implantação das redes subterrâneas excedem aos custos das redes aéreas em porções significativas.

Vale ressaltar que os custos de implantação das redes subterrâneas deveriam ser financiados por concessionárias de distribuição de energia em parceria com órgãos públicos. Essa é uma questão que gera diversos conflitos, vez que, o elevado investimento nestes sistemas inviabiliza a parceria dos municípios, e acaba por sobrecarregar a maior parte dos investimentos nas distribuidoras. Um aspecto interessante é que seria possível o compartilhamento subterrâneo com outras empresas prestadoras de serviços, tais como telefonia, televisão e afins, o que poderia resultar numa redução do custo total do enterramento das redes.

11 Comparativos de Indicadores de Continuidade

Os indicadores de continuidade estão entre os importantes fatores a serem considerados no momento de escolha do tipo de rede a ser implantada. O DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) indicam a qualidade do serviço de distribuição de energia ao medirem a duração e frequência dos desligamentos das redes elétricas.

O gráfico abaixo fornecido pela ABRADÉE mostra a evolução do indicador DEC ao longo dos anos, tanto num panorama geral do Brasil, como num panorama específico da região sudeste. São mostradas no gráfico as médias anuais das duas localidades, e ainda é feita uma comparação destes panoramas com um conjunto caracterizado por redes subterrâneas.



Gráfico 1. Evolução do índice DEC no Brasil e Sudeste e comparação com conjunto de rede subterrânea. Fonte: ABRADÉE

Observa-se no gráfico que a média do DEC ao longo dos anos no conjunto com rede subterrânea é substancialmente menor que a média brasileira e da região sudeste. Tal redução do número de horas deste indicador mostra uma eficiência

operacional maior nesse tipo de rede, que implica numa redução drástica nos custos de manutenção de redes subterrâneas.

Um estudo feito pela Elektro na cidade de Limeira SP mostra três conjuntos de redes: nua convencional, compacta e subterrânea; e seus desempenhos em relação à DEC e FEC. Para essa análise, foram selecionadas três chaves fusíveis no perímetro urbano, num período de operação de novembro de 2014 à outubro de 2015. A tabela de comparação dos indicadores de continuidade é mostrada a seguir.

Tabela 11. Comparação dos indicadores de continuidade entre redes aéreas nua, convencional e subterrâneas.

Chave	Tipo de Rede	DEC (h)	FEC
LIM01155	Convencional	5,5	6,3
LIM07812	Compacta	4,47	5,97
LIM08407	Subterrânea	2,66	5,45

Fonte: Elektro S.A.

Na tabela anterior, é possível notar que o DEC e o FEC da rede subterrânea são inferiores em comparação à ambas redes aéreas, sendo que a diferença no DEC entre redes convencionais e subterrâneas chega a reduzir em 2,84 horas, ou seja, reduz mais da metade do valor.

O gráfico abaixo representa os dados citados anteriormente a partir de uma curva de performance desses indicadores no mesmo período estabelecido.

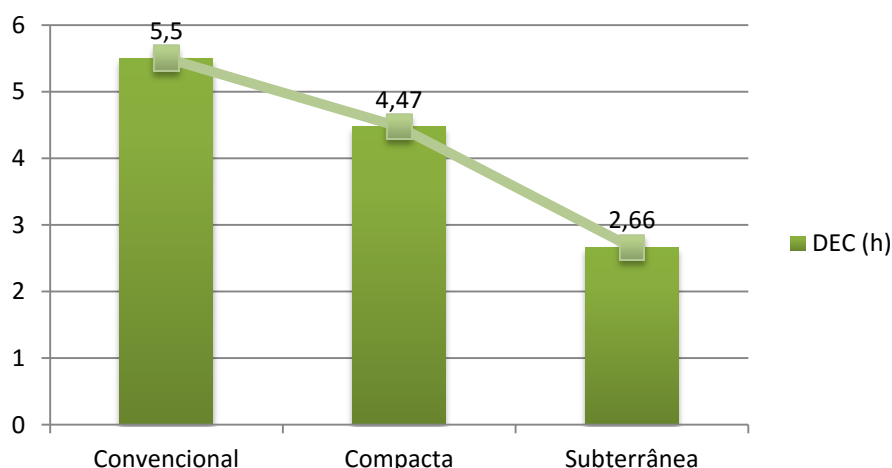


Gráfico 2. Performance do DEC em redes aérea convencional, aérea compacta e subterrânea. Fonte: Atora própria

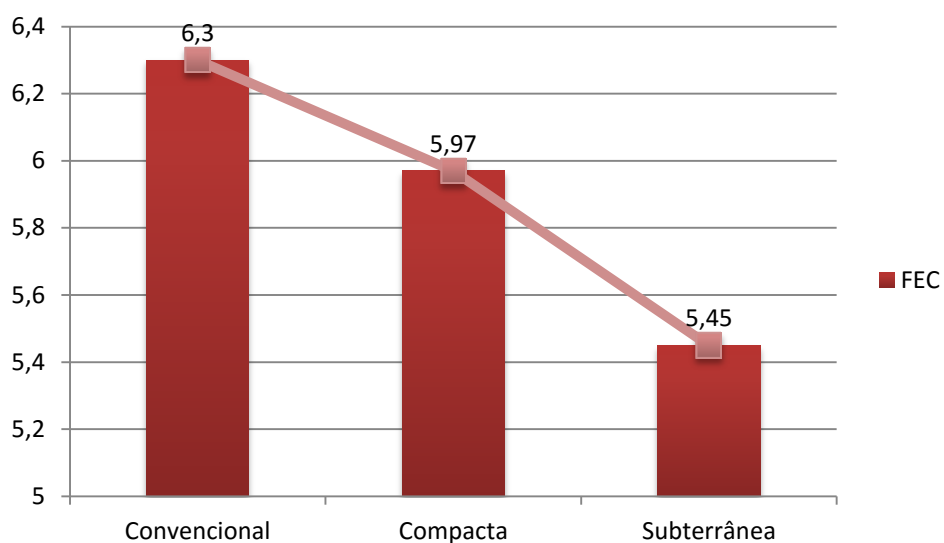


Gráfico 3. Performance do FEC em redes aérea convencional, aérea compacta e subterrânea. Fonte: Autora própria

Pelas análises apresentadas, pode-se assumir que o DEC da rede aérea convencional é 107% maior que o DEC da subterrânea, assim como o DEC da rede compacta é 68% maior que o DEC da rede subterrânea. Em termos de FEC, a rede convencional ultrapassa a rede subterrânea em 16%, assim como a rede compacta excede a subterrânea em 10%.

12 Conclusões

Neste trabalho foram apresentados diversos aspectos que diferenciam as redes aéreas das redes subterrâneas, os quais incluem econômicos, sociais, ambientais e operacionais. A implantação de redes subterrâneas depende das características do local na qual será inserida, seu objetivo no contexto de inserção e a disponibilidade financeira de seu investidor.

Em relação aos aspectos sociais, as redes aéreas são prejudicadas por causarem impactos como poluição visual, dificuldades de mobilidade urbana, acidentes com abalroamento de postes, acidentes com pipas, e outras questões que envolvem o bem estar e segurança da população. As redes subterrâneas apresentam-se como alternativas benéficas em relação a todos estes aspectos, uma vez que os mesmos são completamente sanados.

Nos aspectos ambientais, as redes aéreas apresentam impactos relacionados à fauna e flora locais, principalmente no que diz respeito à poda urbana. A falta de planejamento urbano não deixa de ter influência direta nesta questão, levando a arborização das cidades a ser um impasse para o fornecimento de energia elétrica. Este impacto pode se estender por todos os anos de operação das redes aéreas, pois a permanência das mesmas no perímetro urbano e o ciclo de vida da vegetação os levarão a coexistir por períodos longos. Impactos ambientais também existem para o enterramento de redes, gerados principalmente pelas escavações vindas da construção civil destes sistemas, mas, pode-se assumir que tais impactos acontecem majoritariamente durante a implantação inicial das mesmas, cessando-se ao fim de seu período de operação.

Comparando-se os aspectos operacionais, fica evidente que os indicadores de continuidade das redes subterrâneas possuem desempenhos significativamente melhores em relação às redes aéreas. Uma vez que há reduções no DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupções por Consumidor), as redes subterrâneas apresentam uma melhor qualidade no fornecimento de energia e conseqüentemente uma redução nas manutenções corretivas.

No contexto de aspectos financeiros, as redes subterrâneas demandam um investimento substancialmente maior que as redes aéreas. Estes custos são elevados devido aos gastos com construção civil, equipamentos específicos para

compor os sistemas, qualificação de funcionários dentre outros. Em contrapartida, o enterramento das redes traz um benefício no mérito de manutenções corretivas, já que apresenta uma configuração que permite uma redução com esses gastos.

A conclusão final é que a viabilidade de implantação das redes subterrâneas pode variar de acordo com a sua finalidade. Nos aspectos sociais, ambientais e operacionais, sua viabilidade é válida e traz inúmeras vantagens para o fornecimento de energia, bem estar da população e equilíbrio do meio ambiente mas, se o critério de implantação contemplar somente aspectos financeiros, as redes aéreas são melhores recomendadas.

Referências Bibliográficas

GOMES, A.C.S. et al. **O Setor Elétrico**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial14.pdf>. Acesso em: 11 out. 2015.

PIERDONÁ, D.H. et al. **Estudo Comparativo Técnico/Financeiro Entre Linhas de Transmissão Aéreas e Subterrâneas, em Grandes Centros Urbanos**. 2003. 109 f. Tese de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. 2003. Disponível em: <http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/estudo_linhas_aereas_sub_2003.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2015.

FINK, A. **Viabilidade das Redes Compactas Protegidas na Distribuição de Energia Elétrica**. 2013. 51 f. Tese de Conclusão de Curso – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2013. Disponível em: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2241/ADRIANO_Tcc_CORRIGIDO_-_14.01.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 nov. 2015.

NAKAGUISHI, M.I.; HERMES, P.D. **Estudo Comparativo Técnico/Financeiro para Implantação de Redes de Distribuição Subterrâneas**. 2011. 94 f. Tese de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Paraná. 2011. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/199.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

Redes de Energia Elétrica. Desenvolvido por Associação Brasileira de Energia Elétrica – ABRADÉE. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 13 nov. 2015.

O Caminho da Energia até a sua Casa. Desenvolvido por Transmissora Aliança de Energia Elétrica – TAESA. Disponível em: <<http://institucional.taesa.com.br/como-a-energia-chega-ate-a-sua-casa/>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

Souza, W. A. **Estudo do Comportamento de Estruturas de Redes de Distribuição Compactas Frente a Sobretensões Impulsivas**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. 2015. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1104M.PDF>>. Acesso em: 10 nov. 2015

Martins, J. **Por Baixo da Terra**. Revista O Setor Elétrico, abril de 2015. Disponível em: <<http://www.osetoelettrico.com.br/web/a-empresa/842-por-baixo-da-terra.html>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

GOOGLE. **Google Imagens**. Disponível em: <<http://www.google.com.br>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

GUIA de Utilização e Aplicação de Redes de Distribuição Subterrâneas. Desenvolvido por Companhia Paranaense de Energia – Copel. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/redesub/padroes_construtivos.html>. Acesso em: 12 nov. 2015.

Estudo: A Transformação de Redes de Distribuição de Energia Aéreas em Subterrâneas. Desenvolvido por LMDM Consultoria Empresarial. Disponível em: <<http://www.lmdm.com.br/wp-content/uploads/2014/10/Estudo-Redes-A%C3%A9reas-x-Subterr%C3%A2neas.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

Desidério, M. **Até 09 Horas a Pé: Como seria a Vida em SP sem Metrô e Trem**. Revista Exame.com, 27 maio 2015. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/ate-9-horas-a-pe-como-seria-a-vida-em-sp-sem-metro-e-trem>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

Abalroamentos causaram prejuízo de R\$ 5,4 milhões em redes elétricas no ano passado. Governo de Santa Catarina, 10 março 2015. Disponível em: <<http://www.sc.gov.br/mais-sobre-energia/abalroamentos-causam-falta-de-energia-e-prejuizos>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

Pipas já deixaram 450 mil consumidores sem energia em Minas em 2015.

Em.com.br, 13 julho 2015. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/07/13/interna_gerais,667826/pipas-ja-deixaram-450-mil-consumidores-sem-energia-em-minas-em-2015.shtml>. Acesso em: 15 nov. 2015.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 f.

Manual Técnico de Poda de Árvores. Desenvolvido por Prefeitura da Cidade de São Paulo. Disponível em:

<http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/meio_ambiente/eixo_biodiversidade/arbonizacao_urbana/0002/Manual_poda_final.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2015.

BAGATINI, J. A. **Poda Drástica: Não Cometa Este Crime Ambiental!**. CRBio Digital, 10 set. 2012. Disponível em: <<http://www.crbiodigital.com.br/portal?txt=3477323935>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.605, 12 fev. 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 12 fev. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm>. Acesso em: 18 nov. 2015.

Regulação dos Serviços de Distribuição. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=725>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

Kühl, J. C. A.; Ferraz, V. M. B. **As Usinas do Corumbataí**. Disponível em: <http://www.energiaesaneamento.org.br/media/28389/kuhl_julio_cesar_de_assis_e_ferraz_vera_maria_de_barros_as_usinas_do_corumbatai.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

Postes irregulares afetam cadeirantes em César de Souza. Jornal A Semana, 3 maio 2013. Disponível em: <<http://www.asemana.com.br/postes-irregulares-afetam-cadeirantes-em-cesar-de-souza/>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

Chuvas e falta de energia. CEB, 27 fev. 2013. Disponível em: <<http://www.ceb.com.br/index.php/22-noticias/154-chuvas-e-falta-de-energia>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

DOULET, A. **Distribuição de energia elétrica e redes subterrâneas – Cabos`09**, 3 de outubro de 2009. Disponível em: <http://www.jicable.org/Other_Events/cabos09/content/Cabos'09%20P1.0.P.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2015.

MÜLLER, M. C. N. **Rebaixamento do lençol freático: indicações, métodos e impactos decorrentes.** 2004. 73 f. Tese de Conclusão de Curso – Universidade Anhembi Morumbi. 2004. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-04/civil-24.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

OLIVEIRA, E. L.; OLIVEIRA, L.T.; SALLES, L.T.; AMORIN, S.L. **Sustentabilidade em obras de redes subterrâneas de infra-estrutura: realidade brasileira.** Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, jun. 2012. Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/portals/2/documents/cneg8/anais/t12_0483_3029.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2015.

BRASIL. **Resolução nº 307, 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 5 julho 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

Manual de Projeto de Redes de Distribuição Aéreas Urbanas. Desenvolvido por Eletrobras. Disponível em: <<http://www.eletobrasamazonas.com/cms/wp->

content/uploads/2014/08/Manual-Projeto-de-Redes-Distribuicao-Aereas-Urbanas.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2011.

Norma Técnica de Montagem de redes secundárias de distribuição de energia elétrica aérea trifásica urbana, com condutores isolados multiplexados. Desenvolvido por Cemat – Centrais Elétricas Mato Grossenses. Disponível em: <http://www.gruporede.com.br/media/1099243/nte_023.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2015.

Sistemas Subterrâneos de Distribuição: aspectos regulatórios. Desenvolvido por Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Palestra_5_CEMIG.pdf>. Acesso em 29 nov. 2015.

BURGARDT, L. **Redes Subterrâneas – Saiba como cidades viabilizaram a conversão da fiação aérea por cabeamento enterrado.** 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/7/redes-subterraneas-235532-1.aspx>>. Acesso em: 02 dez. 2015.

Poluição visual: feio, mas não precisava ser assim. Net Diário, 4 jul. 2013. Disponível em: <<http://netdiario.com.br/poluicao-visual-feio-mas-nao-precisava-ser-assim/>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

Linhas de pipa e vegetação na rede elétrica oferecem riscos. Jornal O Estado, 11 set. 2014. Disponível em: <<http://imirante.com/sao-luis/noticias/2014/09/11/linhas-de-pipa-e-vegetacao-na-rede-eletrica-oferecem-riscos.shtml>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

PICK-UPAU. **Desrespeito à Cidadania e ao Meio Ambiente.** Disponível em: <http://www.pick-upau.org.br/ong/noticias/noticias_2010/2010.01.15_poda_drastica_campanhas/materia_poda_drastica_campanhas.htm>. Acesso em: 15 dez. 2015.

SKYSCRAPERCITY. **Como seriam as fachadas sem postes e sem fios elétricos?** Disponível em:

<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1755727>>. Acesso em: 15 dez. 2015.