

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**BENEFÍCIOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA COMPACTA 15KV**

Área de Engenharia Elétrica

Por

André Luis Ribeiro

Geraldo Peres Caixeta, Doutor  
Orientador

Itatiba (SP), novembro de 2008

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**BENEFÍCIOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA COMPACTA 15KV**

Área de Engenharia Elétrica

por

André Luis Ribeiro

Relatório apresentado à Banca Examinadora do  
Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia  
Elétrica para análise e aprovação.  
Orientador: Geraldo Peres Caixeta, Doutor

Itatiba (SP), novembro de 2008

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelas oportunidades concedidas e pela persistência mediante as dificuldades encontradas.

Aos meus pais, João Ribeiro Neto e Ivone Gomes do Couto Ribeiro, e minhas irmãs Alessandra Ribeiro e Patrícia Helena Ribeiro, a companhia de vocês sempre foi essencial na minha vida. De alguma forma sempre estiveram comigo, dando apoio, amizade, carinho e compreensão.

Agradeço de forma muito especial à pessoa que depois de entrar em minha vida, fez com que as coisas mudassem de rumo completamente, minha namorada Priscila Cristina Rosa.

Agradeço, a ajuda de meu orientador, prof. Dr. Geraldo Peres Caixeta, pela paciência com que sempre me acolheu.

Agradeço aos meus colegas por todo companheirismo e apoio durante o período acadêmico, colegas que por muitas vezes foram peças fundamentais na persistência e coragem para enfrentar as dificuldades da engenharia.

A todos do fundo do meu coração, **MUITO OBRIGADO!**

André Luis Ribeiro.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	VI
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	VIII
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	IX
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	X
<b>LISTA DE EQUAÇÕES</b> .....	XI
<b>RESUMO</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1. OBJETIVOS .....	15
1.1.1. Objetivos Específicos .....	15
1.2. METODOLOGIA .....	15
<b>2. REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	16
2.1. REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA .....	16
2.2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA CONVENCIONAL.....	16
2.3. REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA COMPACTA .....	17
2.4. REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA ISOLADA .....	18
2.5. REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA .....	19
2.6. REDE DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIA .....	21
2.7. ESTAÇÕES TRANSFORMADORAS .....	21
2.8. REDES DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA.....	21
<b>3. INDICADORES DE CONTINUIDADE</b> .....	24
3.1. FORMAÇÃO DA CULTURA NAS EMPRESAS DE ELETRICIDADE .....	24
3.2. ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO .....	25
3.3. AÇÕES DO ÓRGÃO REGULADOR .....	25
3.4. CONTINUIDADE DE FORNECIMENTO .....	26
3.5. PERÍODOS DE APURAÇÃO DO DEC, FEC, DIC, FIC .....	28
3.6. UNIVERSOS DE APURAÇÃO DO DEC E FEC .....	29
3.7. UNIVERSOS DE APURAÇÃO DO DIC E FIC .....	29
3.8. PENALIDADES POR VIOLAÇÃO DAS METAS DE CONTINUIDADE .....	29
<b>4. COMPROMETIMENTO AMBIENTAL</b> .....	32
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	32

4.2. TIPOS DE ARVORES A SER PLANTADA JUNTO A REDE ELÉTRICA .....	32
4.2.1. Árvores de pequeno porte .....	33
4.2.2. Árvores de médio porte .....	33
4.2.3. Árvores de grande porte .....	34
4.3. FUNÇÕES E BENEFÍCIOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA .....	35
4.4. ÁRVORES URBANAS E REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	36
4.5. POSSÍVEIS SOLUÇÕES .....	36
<b>5. UTILIZAÇÃO DE REDES COMPACTAS .....</b>	<b>38</b>
5.1. METODOLOGIA DE PROJETO .....	38
5.2. LOCAIS DE INSTALAÇÃO DE REDE COMPACTA - APLICAÇÃO .....	39
5.3. VANTAGENS X DESVANTAGENS DE REDE COMPACTA EM RELAÇÃO A REDE CONVENCIONAL .....	39
5.3.1 Saturação Tecnológica .....	39
5.3.2. Elevada Taxa de Falhas .....	40
5.3.3. Interferência no Meio Ambiente .....	40
5.3.4. Exposição do Perigo .....	41
5.3.5. Conseqüências .....	41
5.4. CARACTERÍSTICAS DA REDE COMPACTA .....	41
5.5. USO DE MATERIAIS POLIMÉTRICOS .....	42
5.6. AUSÊNCIA DE RELIGADORES .....	42
5.7. MANUTENÇÃO CORRETIVA E PREVENTIVA .....	42
5.8. CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE .....	42
5.9. ACESSÁRIOS MAIS SOFISTICADOS .....	43
5.10. VANTAGENS DA REDE AÉREA COMPACTA .....	43
5.10.1. Vantagens .....	43
5.10.2. Segurança .....	44
5.10.3. Confiabilidade e Qualidade .....	44
5.10.4. Análise Econômica .....	44
5.10.5. Solução de Problemas .....	45
5.10.6. Desvantagem ou restrição da utilização.....	45
5.11. PRESERVAÇÃO DA ARBORIZAÇÃO .....	45
5.12. TECNOLOGIA EMPREGADA .....	46
5.13. TIPOS DE CABOS .....	47

5.14. MATERIAIS E ACESSÓRIOS .....	50
<b>6. SUBSTITUIÇÃO DE REDE AÉREA CONVENCIONAL PARA REDE AÉREA COMPACTA .....</b>	<b>58</b>
6.1. INTRODUÇÃO .....	58
6.2. CARACTERÍSTICA DO SISTEMA ELÉTRICO .....	58
6.3. ÍNDICE DE CONTINUIDADE DO CONJUNTO .....	59
6.4. DESCRIÇÃO DO CONJUNTO ALIMENTADOR DE MONTE VERDE .....	62
6.5. LOCAL PARA A VIABILIDADE DE REDE AÉREA COMPACTA.....	63
6.6. SITUAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	64
6.7. PROPOSTA DE MELHORIA DO SISTEMA .....	68
6.8. CONSTRUÇÃO DE REDE COMPACTA .....	68
6.9. LEVANTAMENTO DE CUSTOS .....	69
6.9.1. Custo para Instalação da Rede Aérea Convencional .....	69
6.9.2. Custo para Instalação da Rede Aérea Compacta .....	69
6.10. ANÁLISE ECONÔMICA DE IMPLEMENTAÇÃO DE REDES AÉREAS COMPACTAS .....	71
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>77</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>AT</b>	Alta Tensão
<b>BT</b>	Baixa Tensão
<b><i>Ca(i)</i></b>	Numero de unidades consumidoras atingidos pela interrupção “i”
<b>CAA</b>	Cabo de Alumínio com alma de Aço
<b><i>Cc</i></b>	Numero total de unidades consumidoras do conjunto considerado
<b>CEPEL</b>	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
<b>CM</b>	Média aritmética dos valores líquidos das faturas de energia elétrica
<b>CEMIG</b>	Companhia Energética do Estado de Minas Gerais
<b>CNAE</b>	Conselho Nacional de Águas e Energia
<b>COPEL</b>	Companhia Paranaense de Energia
<b>DEC</b>	Duração Equivalente de Interrupção Por Unidade Consumidora
<b>DIC</b>	Duração de Interrupção Individual Por Unidade Consumidora
<b>DICp</b>	Padrão de continuidade estabelecido no período considerado
<b>DICv</b>	Duração de Interrupção por Unidade Consumidora
<b>DMIC</b>	Duração Máxima de Interrupção Contínua Por Unidade Consumidora
<b>DMICp</b>	Padrão de continuidade estabelecido no período
<b>DMICv</b>	Duração Máxima de Interrupção Contínua por unidade consumidora
<b>EEB</b>	Empresa Elétrica Bragantina
<b>FEC</b>	Frequência Equivalente de Interrupção Por Unidade Consumidora
<b>FIC</b>	Frequência de Interrupção Individual Por Unidade Consumidora
<b>FICp</b>	Padrão de continuidade estabelecido no período considerado
<b>FICv</b>	Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora
<b><i>i</i></b>	Índice de eventos ocorridos no sistema que provocam interrupções
<b><i>k</i></b>	Numero de eventos no período considerado
<b>kei</b>	Coefficiente de majoração
<b>kw</b>	Quilo Watts
<b>km</b>	Quilômetro
<b>kV</b>	Quilo Volts
<b>kVA</b>	Quilo Volt Ampéres
<b>Mt</b>	Média Tensão
<b>n</b>	Número de interrupções da unidade consumidora
<b>NBI</b>	Nível básico de Impulso
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>PROCEL</b>	Programa Nacional de Conversão de Energia Elétrica
<b>RDC</b>	Rede de Distribuição Aérea Convencional
<b>RDP</b>	Rede de Distribuição Aérea Protegida (Compacta)
<b>RIV</b>	Rádio Interferência - Simetria
<b>SE</b>	Subestação
<b><i>t(i)</i></b>	Duração da interrupção de suprimento “i”, usualmente em minutos

<i>t(i)max</i>	Valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção (i)
V	Volts
XPLE	Composto Extruturado de Polietileno Termofixo

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Linha de distribuição aérea convencional .....	16
Figura 2. Rede aérea de distribuição compacta .....	18
Figura 3. Rede aérea de distribuição isolada .....	19
Figura 4. Rua arborizada em sistema de distribuição subterrâneo .....	20
Figura 5. Poda excessiva I .....	40
Figura 6. Rede aérea convencional oferecendo risco de acidente .....	41
Figura 7. Comparação entre redes .....	44
Figura 8. Preservação da arborização .....	46
Figura 9. Poda excessiva II .....	46
Figura 10. Cabo Isolado .....	47
Figura 11. Cabo Coberto .....	47
Figura 12. Aplicação de cabo coberto .....	48
Figura 13. Cabos Multiplexados .....	49
Figura 14. Cabos Multiplexados instalado .....	50
Figura 15. Braço suporte tipo "L" .....	50
Figura 16. Braço suporte tipo "L" instalado .....	51
Figura 17. Braço suporte tipo "C" .....	51
Figura 18. Braço suporte tipo "C" instalado .....	52
Figura 19. Laço para o isolador .....	52
Figura 20. Espaçador.....	53
Figura 21. Separador Vertical .....	53
Figura 22. Aplicação de Separadores Verticais .....	54
Figura 23. Isolador Polimérico .....	54
Figura 24. Braço Anti-Balanço .....	55
Figura 25. Grampo de Ancoragem Dielétrico .....	55
Figura 26. Estribo .....	56
Figura 27. Acessórios .....	56
Figura 28. Conector Cunha .....	57
Figura 29. Conector Perfuração BT .....	57
Figura 30. Sistema Elétrico de Distribuição da EEB .....	58
Figura 31. Mapa do distrito de Monte Verde .....	63
Figura 32. Sistema Elétrico de Distribuição da EEB (distrito de Monte Verde) com o trecho a ser distribuído .....	64
Figura 33. Poda Excessiva III .....	66
Figura 34. Via Pública Arborizada .....	66
Figura 35. Rede de distribuição de média tensão e baixa tensão .....	66
Figura 36. Encontro das redes de baixa tensão em local arborizado .....	67
Figura 37. Arborização perto de casas .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativa do custo médio para implem. (1km) de rede de distribuição subterrânea.....	20
Tabela 2. Tipos de Palmeira .....	35
Tabela 3. Custo dos gastos anualmente com podas.....	65
Tabela 4. Custo médio para a implantação de rede aérea convencional.....	69
Tabela 5. Custo médio para a implantação de rede aérea compacta .....	70
Tabela 6. Estimativa de custo médio para a implantação de rede aérea compacta no setor 03/0628.....	70
Tabela 7. Redução nos custos de manutenção .....	71
Tabela 8. Diferenças entre os valores das interrupções DEC .....	73
Tabela 9. Diferenças entre os valores das interrupções FEC .....	74

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Valor do DEC e FEC referente ao ano de 2005 .....	59
Gráfico 2. Valor do DEC e FEC referente ao ano de 2006 .....	60
Gráfico 3. Valor do DEC e FEC referente ao ano de 2007 .....	60
Gráfico 4. Valor do DEC e FEC referente ao ano de 2008 .....	61
Gráfico 5. Diminuição do DEC com alteração dos trechos do alimentador de RDC para RDP	71
Gráfico 6. DEC Global Antes e Após a rede compacta.....	72
Gráfico 7. FEC Global Antes e Após a rede compacta .....	73

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. DEC.....	27
Equação 2. FEC.....	27
Equação 3. DIC.....	28
Equação 4. FIC.....	28
Equação 5. DMIC.....	28
Equação 6. Violação dos padrões de DIC.....	30
Equação 7. Violação dos padrões de DMIC.....	30
Equação 8. Violação dos padrões de FIC.....	30

## RESUMO

RIBEIRO, André Luis. **Rede de Distribuição Aérea Compacta 15kV**. Itatiba, 2008. no f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

As redes elétricas disputam o mesmo espaço das árvores nas ruas das cidades, criando problemas tanto para o meio ambiente como para o sistema de distribuição de energia elétrica. Este trabalho apresenta uma alternativa na busca de um convívio natural entre ambas. Serão apresentados subsídios técnicos e econômicos (respectivos custos e benefícios) para uma substituição de redes aéreas de distribuição de energia elétrica convencional para rede aérea compacta, melhorando os indicadores de continuidade, fiscalizados pelo órgão regulador e reduzir os prejuízos ambientais causados pelas podas em árvores urbanas. As redes aéreas compactas apresentam um custo de implantação superior as redes aéreas convencionais, porém apresentam um gasto de manutenção inferior e afetam menos o desenvolvimento das árvores que lhes são próximas. Apresentam também outras vantagens diante às redes convencionais, dentre elas se destacam a diminuição nos custos de manutenção em 80%, a diminuição considerável dos indicadores de continuidade DEC e FEC, a extinção das podas excessiva e conseqüentemente menor interferência no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Rede Compacta. Meio Ambiente. Distribuição de Energia.

## ABSTRACT

*The electrical networks contend the same area of trees on the streets of cities, creating problems both for the environment and for electrical distribution networks. This paper presents an alternative approach to reaching a natural coexistence between them. This paper proposes a model of technical and economic subsidies to replace conventional compact air network, improve continuity indicators monitored by regulatory bodies, and reduce environmental damage caused by pruning trees in urban environments. Compact air networks cost more than conventional air networks, but cost less to maintain and have less impact on nearby trees. They also provide other advantages over conventional networks, among them a reduction in maintenance costs by 80%, a considerable decrease of continuity indicators DEC and FEC, and the reduced need for excessive pruning. Consequently compact air networks have less negative impact on the environment.*

**Keywords:** *Compact Network. Environment. Power Distribution*

# 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é uma das formas de energia que o homem mais utiliza na atualidade, ela proporciona à sociedade trabalho, produtividade e desenvolvimento, e aos seus cidadãos conforto, comodidade etc, o que torna a sociedade moderna cada vez mais dependente de seu fornecimento e mais suscetível às falhas do sistema elétrico.

Será apresentando uma avaliação em dois pontos importantes na distribuição de energia elétrica: a continuidade de fornecimento (DEC/FEC) e o meio ambiente.

As redes elétricas disputam o mesmo espaço das árvores nas ruas das cidades, criando problemas tanto para o meio ambiente como para o sistema de distribuição de energia. A convivência entre elas é, atualmente, um dos principais problemas da arborização viária, sendo a poda, o método mais utilizado para contorná-lo; embora livrando galhos da rede, em um primeiro instante, acaba por estimular novas brotações, as quais, em um curto espaço de tempo, atingirão novamente os fios, na qual necessitarão de uma manutenção freqüente.

A rede convencional é caracterizada pelo conjunto de fios condutores desencapados, apoiados sobre isoladores de porcelana, fixados horizontalmente sobre cruzetas de madeira ou concreto, nos circuitos de média tensão e, verticalmente, nos de baixa tensão. Já a rede compacta reduz a área de poda das árvores porque utiliza cabos elétricos encapados separados a uma pequena distância, que é mantida por espaçadores plásticos.

A arborização urbana é importante, porque as árvores participam da interceptação de radiação solar direta, reduzindo a temperatura e ajudando a melhorar a qualidade do ar. Além disso, uma área arborizada influencia as pessoas, muda a paisagem de ruas e parques, constituindo-se como um espaço para o bem-estar. Também atua como fonte de abrigo e alimento para animais e serve como meio de orientação das vias públicas.

Apesar de apresentar um custo de implantação superior à rede convencional, a rede compacta é mais vantajosa, pois apresenta um gasto de manutenção inferior e afeta menos o desenvolvimento das árvores que lhes são próximas.

A partir das características do sistema elétrico de distribuição do determinado local, esse trabalho propõe-se a analisar as características de um sistema de distribuição e a partir deste, sugerir uma alternativa possível para tornar este sistema mais estável, e adequado para os padrões de proteção ao meio ambiente.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é apresentar subsídios para uma substituição da rede aérea de distribuição de energia elétrica convencional para rede aérea compacta em uma área da concessão da Empresa Elétrica Bragantina.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Melhorar o índice de continuidade DEC/FEC, fiscalizado pelo órgão regulador assim evitando pagamentos de multas e reduzir os prejuízos ambientais causados pelas podas em árvores urbanas e melhorar a convivência das espécies com a fiação elétrica.

## **1.2. METODOLOGIA**

Analisar e levantar as características do sistema de distribuição de energia elétrica de dois tipos: a convencional e a compacta, apresentando seus respectivos custos e benefícios, além dos problemas com a arborização, e mostrar que existem maneiras viáveis, estéticas, econômica, e eficiente de contornar os impactos relacionados ao meio ambiente.

## **2. REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Inúmeros são os tipos de redes de distribuição de energia elétrica, sendo que muitas vezes estas se encontram em circuitos mistos, acarretando diversas combinações entre redes de média e baixa tensão, variando principalmente com as concessionárias de energia elétrica nos diferentes estados brasileiros e com as necessidades e condições locais.

### **2.1. Rede de Distribuição Aérea**

As redes de distribuição aéreas constituem a maioria dos sistemas de distribuição de energia das cidades brasileiras. Por apresentarem um custo de construção civil menor com relação aos sistemas subterrâneos, que exigem a construção de “túneis”, as redes de distribuição aéreas se difundiram e também evoluíram, gerando, basicamente, três tipos de redes: rede de distribuição aérea convencional, rede de distribuição aérea compacta e rede de distribuição aérea isolada.

### **2.2. Rede de Distribuição Aérea Convencional**

Uma rede aérea convencional é composta basicamente por postes de concreto circular ou duplo “T”; cruzetas; isoladores; pára-raios; braço de iluminação pública; condutores; transformadores; bancos de capacitores; chaves corta-circuito; chaves a óleo (equipamentos destinados a estabelecer, conduzir e interromper circuitos elétricos); e os cabos são de alumínio. A fiação pode ser dividida em primária, de 34,5kV, 23kV, 13,8 kV e 11,9 kV, ou secundária, de 220 e 127 V [3]. Esse sistema pode ser visualizado na figura 1.



Figura 1: Linha de Distribuição Aérea Convencional.

Este sistema foi desenvolvido há 50-60 anos e está tecnologicamente saturado, visto que se tem um baixo nível de confiabilidade no sistema elétrico de distribuição de energia. Pelo fato dos condutores não serem isolados, sua convivência em meio onde existe arborização é difícil, pois o simples contato de um galho com o condutor nu pode provocar o desligamento da rede. Também, deve-se destacar que nos centros urbanos existe a necessidade de haver uma coexistência entre as redes aéreas convencionais e as edificações, em função do grande potencial de risco que estas propiciam, devendo-se manter afastamentos mínimos de forma a evitar acidentes com pessoas [15].

Segundo [3], a rede convencional é caracterizada por condutores nus, apoiados sobre isoladores de vidro ou porcelana, fixados horizontalmente sobre cruzetas de madeira, nos circuitos de média tensão e, verticalmente, nos de baixa tensão. A rede fica desprotegida contra influência do meio ambiente, apresenta alta taxa de falhas e exige que sejam feitas podas excessivas nas árvores. Pelo fato das redes ficarem expostas, as intervenções para manutenções também são frequentes. Os danos nestes casos podem ser causados por acidentes com veículos que atingem postes, raios, chuvas, ventos e pássaros.

O autor [8] afirma que, se por um lado às redes aéreas são mais baratas de se instalar, por outro elas têm um custo de manutenção de operação elevado depois de instaladas, além de serem menos seguras e constantemente danificadas por ações do ambiente.

### **2.3. Rede de Distribuição Aérea Compacta**

As redes aéreas compactas surgiram como uma solução tecnológica para que as concessionárias de distribuição de energia pudessem melhorar o nível de qualidade da energia distribuída aos clientes, aumentando a confiabilidade do sistema.

Basicamente, a rede de distribuição aérea compacta é um conjunto formado por cabo de aço e cabos cobertos ou protegidos, fixados em estruturas compostas por braços metálicos, espaçadores losangulares ou separadores de fase confeccionados em material polimérico. Todo este conjunto de cabos é sustentado por um cabo de aço guia que é também utilizado como neutro do sistema de distribuição, sendo assim denominado de cabo mensageiro. Os cabos cobertos ou protegidos são apenas encapados, não podendo ser considerados como isolados eletricamente por não terem seu campo elétrico confinado [3].

A instalação de redes aéreas compactas, além de aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica e melhorar os indicadores técnicos de qualidade, promove a preservação da

arborização reduzindo drasticamente a necessidade de podas de árvores e a utilização de cruzetas de madeira [15].

A figura 2 abaixo apresenta uma área urbana com rede aérea compacta.



Figura 2: Rede Aérea de Distribuição Compacta.

Além disso, com a utilização deste tipo de rede, reduzem-se consideravelmente os custos e a periodicidade das intervenções na rede de distribuição para manutenção preventiva, corretiva e podas de árvores ao mesmo tempo em que fornecem a compactação da configuração da rede aérea de distribuição, minimizando a poluição visual ocasionada pelo excesso de estruturas para sustentação dos cabos e equipamentos [4].

## 2.4. Rede de Distribuição Aérea Isolada

A rede aérea isolada abrange circuitos de média e baixa tensão. Neste tipo de rede são utilizados três condutores isolados, blindados, trançados e reunidos em torno de um cabo mensageiro (neutro) de sustentação. Desta forma, são necessários cabos condutores com camadas semicondutoras, chamados de cabos multiplexados, que confinam o campo elétrico em seu interior, ou seja, isoladas eletricamente [9].

As redes isoladas apresentam-se muito caras, sendo recomendada para projetos especiais onde ela é a única solução. Aplicam-se, por exemplo, em indústrias onde a aplicação de rede subterrânea é inviável e a rede convencional ou protegida é perigosa.

Nas redes isoladas o cabo mensageiro funciona como elemento de proteção elétrica e de sustentação mecânica como, por exemplo, para proteção contra queda de galhos e objetos na rede.

Os condutores e acessórios são blindados e totalmente isolados trazendo maior segurança contra contatos acidentais temporários ou contatos permanentes com objetos aterrados ou ainda arborização. Nessas redes isoladas existe a eliminação de problemas com descargas atmosféricas, pois a blindagem está aterrada nos dois lados onde o cabo é transposto. Outro aspecto importante é a redução de custos operacionais, já que a taxa de falhas é muito reduzida. Tem sua configuração super-compacta obtendo melhor regulação na linha. A figura 3, ilustra uma área urbana com rede isolada.



Figura 3: Rede Aérea de Distribuição Isolada.

## 2.5. Rede de Distribuição Subterrânea

As redes subterrâneas, além de melhorar a estética, também são muito mais seguras e mais econômicas ao longo do tempo para determinadas situações de distribuição em regiões com alta densidade populacional.

Em termos de confiabilidade, as redes subterrâneas são mais eficientes porque não sofrem interferências. Por estarem enterradas, elas ficam a salvo o ambiente externo. Esta confiabilidade ainda pode ser ampliada com estratégias inteligentes, como as configurações dos circuitos em forma de anel. Esse desenho permite que a rede seja alimentada por dois pontos, deixando apenas parte da rede desconectada em caso de queda do sistema. As redes subterrâneas também são mais seguras porque utilizam cabos isolados, e atendem a distribuição desde baixas até médias tensões [9].

Portanto, as redes subterrâneas estão sendo cada vez mais utilizadas porque trazem grandes benefícios de segurança, confiabilidade e economia para as comunidades onde estão instaladas. Quando se somam os custos da poda das árvores, da interrupção do fornecimento de energia, dos

custos sociais, falta de segurança e da não-produção, fica mais fácil notar que ao longo do tempo as redes subterrâneas também são vantajosas, tanto para quem instala quanto para quem utiliza [15].

Na figura 4, pode-se observar uma rua arborizada com sistema de distribuição subterrâneo.



Figura 4: Rua Arborizada em Sistema de Distribuição Subterrâneo.

O que dificulta essa aplicação é o seu alto custo que pode chegar até 8 vezes maior do que a convencional.

Na tabela 1, pode-se observar que o investimento inicial é bastante elevado.

<b>Equipamentos Utilizados</b>	<b>Preços R\$</b>	<b>Quantidade Necessária</b>	<b>Custo Parcial (R\$/Km)</b>
Cabo 204mm <sup>2</sup> Cu (MT)	74,93/metro	100 Metros	74.933,95
Cabo 240mm <sup>2</sup> AL (BT)	49,63/metro	50 Metros	2.481,54
Terminais de AT para Cabo 95mm <sup>2</sup>	379,84/conjunto	2 conjuntos	749,79
Transformador pedestal 300kVA	15.445,81/conjunto	1 conjunto	15.445,81
Via asfaltada com recalçamento em asfalto (obra civil)	174,55/metro	1000 Metros	174.548,08
Vala em via asfaltada com recalçamento em asfalto (obra civil)	168,43/metro	1000 Metros	168.425,88
<b>Custo total</b>			<b>436.585,04/Km</b>

Tabela 1: estimativa do custo médio para implementação (1 km) de rede de distribuição subterrânea [9].

## **2.6. Redes de Distribuição Primária**

As redes de distribuição primária, ou de média tensão, surgem a partir das subestações de distribuição e são responsáveis pela alimentação dos transformadores de distribuição que suprem à rede secundária, ou de baixa tensão. Além da alimentação das estações transformadoras de distribuição, as redes primárias também atendem aos consumidores primários, dentro os quais se destacam indústrias de médio porte e grandes conjuntos comerciais.

De acordo com [6], as redes primárias podem ser aéreas ou subterrâneas, sendo que as primeiras possuem uso mais difundido pelo seu menor custo, e, as segundas possuem grande aplicação em áreas de maior densidade de carga, ou onde há restrições paisagísticas, como já foi visto anteriormente.

## **2.7. Estações Transformadoras**

Segundo [6], as estações transformadoras são constituídas por transformadores que reduzem a tensão primária para a tensão de distribuição secundária. Em redes elétricas aéreas utilizam-se transformadores trifásicos, instalados diretamente no poste, juntamente com pára-raios, para a proteção contra sobretensões, e elos fusíveis para a proteção contra sobrecorrentes, instalados no lado primário.

Para as redes subterrâneas, as estações transformadoras são constituídas, de transformadores trifásicos refrigerados a óleo, instalados em uma estrutura ao nível do solo, ou em cubículos subterrâneos, quando o transformador deve ser do tipo submersível. Geralmente, os transformadores de distribuição possuem potências nominais padronizadas, isto é, podem assumir valores de 10, 15, 30, 45, 75, 112,5 e 150 kVA. A escolha da potência do transformador a ser instalado deve variar de acordo com a potência da carga que o transformador tem que suprir [3].

## **2.8. Redes de Distribuição Secundária**

As redes de distribuição secundárias abrangem o sistema de distribuição alimentado pelo secundário dos transformadores. No Brasil, a tensão de distribuição secundária está padronizada nos valores 127/220 V e 220/380 V, havendo predomínio da primeira [3].

Em redes secundárias trifásicas são utilizados nas linhas de baixa tensão 4 condutores, sendo 3 correspondentes às fases e o quarto condutor ao neutro. Nas redes monofásicas, as linhas são constituídas geralmente por três condutores, dois fases e um neutro. Em ambos os casos, o condutor neutro é multiaterrado e comum à rede primária. As redes secundárias utilizadas pelas concessionárias de energia podem ser do tipo convencional ou multiplexada. Na rede convencional são utilizados condutores não isolados verticalmente, ao passo que na rede multiplexada são utilizados cabos fase isolados e torcidos ao redor de um condutor nu, que possui duas funções: sustentação da rede (cabo mensageiro) e neutro. As linhas secundárias em áreas urbanas são geralmente instaladas sob a linha primária quando da presença da mesma, sendo os postes compartilhados entre as linhas. O afastamento mínimo entre a linha secundária e a linha primária de classe 15 KV é de 80cm, e de 100cm para redes de classe 35 KV. Os postes são instalados tipicamente com distâncias entre vãos na faixa de 30m a 40m, para áreas urbanas.

A altura mínima entre os condutores da rede e o solo é geralmente na faixa de 3,5 m a 6,0m dependendo da localização (tipo de logradouro) da linha. Embora possam ser encontrados afastamentos diferentes para cada tipo de logradouro entre as concessionárias, os valores utilizados pelas concessionárias devem estar de acordo com a norma NBR 5433/5434. Na rede convencional os condutores são dispostos verticalmente, geralmente com separação entre condutores de 20cm, sendo o condutor neutro isolado acima dos condutores fase. A linha de baixa tensão é montada sobre suportes isolados denominados estribos, que podem ser duplos ou simples. O condutor neutro contínuo na rede de distribuição primária é comum à rede secundária, aterrado em intervalo padrão (multiaterrado). A função do aterramento do condutor neutro e demais equipamentos elétricos é proteger as pessoas e os equipamentos, assegurando o bom funcionamento dos equipamentos de proteção do sistema elétrico.

A distância típica entre os intervalos de aterramento do neutro se encontra na faixa de 150m a 300m. Para distâncias entre pontos de aterramento iguais a 300m, fica garantido que nenhum ponto da rede de distribuição secundária fique afastado mais que 200m de um ponto de aterramento. Todo final de rede é aterrado.

Nas redes urbanas, a alimentação dos consumidores em baixa tensão é feita através de um ramal de ligação, que compreende os condutores e acessórios instalados entre o ponto de derivação da rede da concessionária e o ponto de entrega de energia. Sua instalação e manutenção são de responsabilidade da concessionária. O comprimento máximo do ramal de ligação é, geralmente, de 30m, podendo chegar a 35m em final de linha. A derivação do ramal de ligação é preferencialmente realizada nos postes, podendo ser utilizados tanto cabos isolados quanto cabos não isolados. A

entrada do ramal da unidade consumidora possui um ponto de aterramento, onde são conectados o condutor neutro e a caixa metálica do medidor. Uma das características das redes secundárias urbanas é a grande diversidade de configurações de montagem e traçado de linhas, uma vez que os loteamentos nem sempre obedecem a um padrão. As redes de baixa tensão são projetadas de modo a minimizar os custos anuais de investimento inicial, ampliações, modificações e perdas, dentro do horizonte de projeto (10 anos, normalmente). A máxima queda de tensão admitida na rede secundária é de 3,5%. Para atender essas especificações, as redes secundárias são geralmente curtas (de 100m a 400m) e não interligadas. Em regiões com baixa demanda, uma linha mais longa é inicialmente construída com previsão de seccionamento no quinto ano, quando o limite dos condutores é atingido. Assim aumenta-se a capacidade da rede sem a substituição dos condutores previamente instalados.

Este tipo de rede pode operar na configuração radial ou em anel, suprindo os consumidores de baixa tensão, consumidores residenciais, pequenos comerciantes e indústrias de pequeno porte, podendo atingir, por circuito, comprimentos da ordem de centenas de metros. Destaca-se, neste tipo de rede, o predomínio de consumidores residenciais.

### **3. INDICADORES DE CONTINUIDADE**

#### **3.1. Formação da cultura nas empresas de eletricidade**

A distribuição de energia elétrica em áreas urbanas deve evoluir no sentido de melhorar o fornecimento de energia conforme a visão do consumidor. Porém, historicamente pode-se observar que no Brasil isso não ocorreu, porque até recentemente (antes das privatizações) o setor elétrico brasileiro tinha uma postura distanciada da sociedade [2].

Na formação da cultura do setor elétrico, formaram-se paradigmas que são concebidos ao longo do tempo e que vão se tornando fontes de referência e de consulta. Em relação à distribuição de energia elétrica na rede primária o paradigma de construção é aquele construído há mais de 60 anos, ou seja, desde que foi concebido [5].

- Até os anos 30: não se encontra na regulação nenhuma indicação em relação ao ordenado das linhas de distribuição [13].
- 1934: foi promulgado pelo Presidente Getúlio Vargas o Código de Águas, assegurando ao poder público a possibilidade de controlar sistematicamente as concessionárias de energia elétrica.
- 1939: o Presidente Getúlio Vargas criou o Conselho Nacional de Águas e Energia – CNAE para sanear os problemas de suprimento, regulamentação e tarifa referentes à indústria de energia elétrica do país.
- 1973: é criado o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPTEL para desenvolver tecnologia em equipamentos e em sistemas elétricos.
- 1985: é constituído o Programa Nacional de Conversão de Energia Elétrica – PROCEL, com o objetivo de incentivar a racionalização do uso da energia elétrica.
- 1997: é constituído o novo órgão regulador do setor de energia elétrica sob a denominação de Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

A partir de então as concessionárias privatizadas reguladas por uma agência nacional criam um ambiente propício à revisão dos conceitos relacionados aos padrões de redes primárias de distribuição. Até então isso não era possível devido à imposição de padrões tecnológicos das multinacionais. Com a criação de empresas reguladoras em um ambiente de competição empresarial acirrado e novos tempos de valorização do cidadão, tem-se uma motivação facilitada para revisão de alguns conceitos e normas [9].

### 3.2. Análise da Legislação

No estudo que regulamenta os padrões para a distribuição de energia elétrica na rede primária em áreas urbanas, a observação de pontos importantes da legislação que enquadre o assunto é fundamental [9].

Nos dias de hoje o fornecimento de energia elétrica constitui-se um serviço essencial conforme a Constituição Federal de 1988 em seu artigo 175 regulamentado pela lei complementar 8.987 de 13 de fevereiro de 1995 [13].

Através da legislação pode-se analisar se o poder gera uma visão idêntica com a visão do consumidor, que destaca quatro aspectos:

- **Da confiabilidade** – continuidade de fornecimento e níveis de tensão adequados.
- **Da segurança** – com a eliminação máxima das possibilidades de ocorrerem correntes de fuga; evitar os acidentes, perdas materiais e óbitos em função de choques elétricos.
- **Econômico** – que permita ao concessionário investimento adequado aos custos operacionais que não venham a inviabilizar a atividade.
- **Ambiental** – na preservação dos recursos disponíveis.

### 3.3. Ações do Órgão Regulador

O setor elétrico brasileiro está passando, desde a implantação do programa nacional de privatização deflagrado no governo federal de 1991, por um período de transição em que o Estado deixa de ser o investidor e empresário para ser o regulador e fiscalizador [9].

Foram criadas as agências reguladoras, que no setor elétrico está representada pela ANEEL. A lei de criação da ANEEL delega ao órgão regulador as atribuições de regulação e fiscalização citadas na lei 8.789/95. A ANEEL através de suas resoluções dita as normas e procedimentos para o fornecimento de energia elétrica.

A resolução ANEEL nº 24, de janeiro de 2000, estabelece as disposições relativas à continuidade de distribuição de energia elétrica para as unidades consumidoras, destacando-se nesse ponto as definições de DEC, FEC, DIC, FIC, e DMIC.

Quanto à apuração das interrupções a serem consideradas, a resolução nº 024 estipula que, a partir de janeiro de 2005, as concessionárias deverão contemplar todas as interrupções com duração maior ou igual há 3 minutos. A análise da performance dos índices de continuidade atingidos pela

concessionária será realizada com periodicidade mensal, trimestral e anual. No que se refere à origem da interrupção a serem consideradas, para os indicadores coletivos, DEC e FEC, deverão ser consideradas todas as interrupções que atingirem as unidades consumidoras, admitidas apenas as seguintes exceções:

- Falha nas instalações da unidade consumidora que não provoque interrupção em instalações de terceiros;
- Interrupção decorrente de obras de interesse exclusivo do consumidor e que afete somente a unidade consumidora do mesmo. Para o cálculo dos indicadores individuais, DIC e FIC, não devem ser consideradas as interrupções acima mencionadas e também as interrupções oriundas de atuação de esquemas de alívio de carga e aquelas vinculadas a racionamento de energia. Para a apuração do DMIC, além das situações mencionadas anteriormente, também não deverão ser consideradas aquelas oriundas de desligamentos programados, desde que os consumidores sejam devidamente avisados.

### **3.4. Continuidade de fornecimento**

A continuidade de fornecimento é, em geral, avaliada pelas empresas de distribuição, a partir das ocorrências na rede de distribuição. Nota-se que, de uma forma geral, os indicadores relacionados à frequência das interrupções, FEC e FIC, refletem o estado físico da rede, o grau de agressividade e a eficiência da manutenção, enquanto que os relativos à duração, DEC e DIC, estão intimamente ligados a fatores como o dimensionamento e o posicionamento das equipes de atendimento de emergência, a coordenação da proteção e a facilidade de localização da falha [3].

A contabilização da qualidade do serviço fornecida a estes consumidores ou relacionada a este sistema de distribuição é avaliada após um determinado período, como determina o órgão regulador, mensalmente, trimestralmente ou anualmente.

Para o cálculo dos indicadores de continuidade (coletivos ou individuais, controlados ou não pela ANEEL), serão definidas as seguintes variáveis:

**Ca(i)** – Numero de unidades consumidoras atingidos pela interrupção “i”, no período de apuração;

**t(i)** – Duração da interrupção de suprimento “i”, usualmente em minutos;

**i** – Índice de eventos ocorridos no sistema que provocam interrupções em uma ou mais unidades consumidoras;

**k** – Numero de eventos no período considerado;

**C<sub>c</sub>** – Numero total de unidades consumidoras do conjunto considerado;

**n** – número de interrupções da unidade consumidora ou do ponto de conexão considerada, no período de apuração;

**t(i)max** – Valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção (i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora ou ponto conexão.

### **(DEC) - Duração Equivalente de Interrupção Por Unidade Consumidora**

É o índice que expressa basicamente quanto tempo a partir da ocorrência da falta do fornecimento, a concessionária demorou em restabelecer a normalidade. Assim pode-se concluir que quanto maior esse índice, maior foi a demora na manutenção corretiva, motivada pela falta de estrutura operacional ou dificuldades específico àquele tipo de linha. Nesse caso ainda pode-se associar basicamente a problemas em elementos da rede primária. Dado por:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i) \times t(i)}{C_c} \quad (1)$$

### **(FEC) – Frequência Equivalente de Interrupção Por Unidade Consumidora**

É a frequência com que ocorrem as interrupções, é um índice que expressa basicamente quantas vezes está havendo falta naquele conjunto de consumidores. Assim pode-se concluir que quanto maior esse índice, pior é a qualidade da rede primária, já que atinge um número grande de consumidores. Expresso por:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i)}{C_c} \quad (2)$$

### **(DIC) – Duração de Interrupção Individual Por Unidade Consumidora**

É a duração de interrupção individual, pode-se associar o mesmo a demora da manutenção do sistema. Neste caso, ainda pode-se apontar basicamente a problemas em elementos da rede secundária, já que atinge somente um consumidor. Determinado por:

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (3)$$

### **(FIC) – Frequência de Interrupção Individual Por Unidade Consumidora**

É o índice que descreve o número de interrupções ocorridas, no período de observação, em cada unidade consumidora. Expresso por:

$$FIC = n \quad (4)$$

### **(DMIC) – Duração Máxima de Interrupção Contínua Por Unidade Consumidora**

Expressa o tempo máximo de interrupção contínua de distribuição de energia elétrica para uma unidade consumidora qualquer. Expresso simplesmente por:

$$DMIC = t(i)_{max} \quad (5)$$

## **3.5. Períodos de apuração do DEC, FEC, DIC e FIC**

O período de apuração dos indicadores de DEC, FEC, DIC e FIC são definidos como o intervalo de tempo entre o início e o fim da contabilização das interrupções de fornecimento de energia elétrica dos consumidores de um determinado universo de apuração.

São utilizados os períodos mensais, trimestrais e anuais, sendo que as apurações mensais são realizadas para cada um dos meses do ano e as trimestrais correspondem a cada trimestre civil.

Já as apurações anuais, que também são realizadas mensalmente, englobam todas as interrupções das apurações mensais dos últimos 12 meses, incluindo-se o mês de apuração.

### **3.6. Universos de apuração do DEC e FEC**

Os indicadores DEC e FEC podem ser apurados para diferentes universos, como por exemplo:

- Sistema de Distribuição da Empresa: Inclui todos os consumidores atendidos em tensão de distribuição. Considera, portanto, todos os consumidores atendidos com tensão nominal igual ou inferior a 34,5kV.
- Sistema de Distribuição de Área de Concessão: inclui todos os consumidores de cada uma das áreas de concessão atendidas em tensão de distribuição. Considera, portanto, todos os consumidores atendidos com tensão nominal igual ou inferior a 34,5kV da área de concessão.
- Conjunto de Consumidores: Inclui todos os consumidores pertencentes a cada um dos conjuntos em vigor e definidos pelo ANEEL.

### **3.7. Universos de Apuração do DIC e FIC**

São apurados os indicadores DIC e FIC para os seguintes universos:

- Consumidores atendidos por sistema subterrâneo;
- Consumidores atendidos em alta tensão;
- Consumidores atendidos em média tensão situados em zona urbana;
- Consumidores atendidos em baixa tensão situados em zona urbana, inclusive os pertencentes a conjuntos com menos de 1000 consumidores;
- Consumidores localizados em zona rural;

### **3.8. Penalidades Por Violação das Metas de Continuidade**

A resolução nº. 024/2000 da ANEEL estabeleceu que o não cumprimento das metas de continuidade resultaria em punições a concessionária de distribuição de energia. A violação de padrão dos indicadores de continuidade individuais em relação ao período de apuração (mensal, trimestral ou anual), irá gerar para a concessionária uma compensação ao consumidor de um valor a ser creditado na fatura de energia elétrica no mês subsequente a apuração. No cálculo do valor destas compensações, serão utilizadas as seguintes fórmulas:

a) Violação dos padrões de DIC:

$$Valor = \left( \frac{DIC_v}{DIC_p} - 1 \right) DIC_p \times \frac{CM}{730} \times kei \quad (6)$$

b) Violação dos padrões de DMIC:

$$Valor = \left( \frac{DMIC_v}{DMIC_p} - 1 \right) DMIC_p \times \frac{CM}{730} \times kei \quad (7)$$

c) Violação dos padrões de FIC;

$$Valor = \left( \frac{FIC_v}{FIC_p} - 1 \right) DIC_p \times \frac{CM}{730} \times kei \quad (8)$$

Onde:

**DIC<sub>v</sub>** = Duração de Interrupção por Unidade Consumidora ou ponto de conexão, verificada no período considerado, expresso em horas e centésimos de hora;

**DIC<sub>p</sub>** = Padrão de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de Duração de Interrupção por Unidade Consumidora ou ponto de conexão, expresso em horas e centésimos de hora;

**DMIC<sub>v</sub>** = Duração Máxima de Interrupção Contínua por unidade consumidora ou ponto de conexão, verificada no período considerado, expresso em horas e centésimos de hora;

**DMIC<sub>p</sub>** = Padrão de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de Duração Máxima de Interrupção Contínua por unidade consumidora ou ponto de conexão, expresso em horas;

**FIC<sub>v</sub>** = Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora ou ponto de conexão, verificada no período considerado, expresso em número de interrupções;

**FIC<sub>p</sub>** = Padrão de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora ou ponto de conexão, expresso em número de interrupções;

**CM** = Média aritmética dos valores líquidos das faturas de energia elétrica dos consumidores ou acessantes da distribuidora ou dos encargos de uso do sistema de transmissão, correspondentes aos meses do período de apuração do indicador;

**730** = Número médio de horas no mês;

**kei** = Coeficiente de majoração, onde a faixa de variação é de 10 a 50, para consumidor cativo, e cujo valor, fixado em 10 (dez), poderá ser alterado pela ANEEL a cada revisão periódica das tarifas.

No caso de violação dos padrões dos indicadores de continuidade de conjunto em determinado período de apuração, a concessionária pode sofrer as penalidades previstas na resolução normativa nº. 63 de 12 de maio de 2004, que vão desde advertência até multa de 2% do faturamento da empresa e suspensão da participação em licitações.

## **4. COMPROMETIMENTO AMBIENTAL**

### **4.1. Considerações Iniciais**

Árvores e redes elétricas disputam espaço nas ruas das cidades, criando problemas tanto para o meio ambiente como para o sistema de distribuição de energia. A convivência entre elas é, atualmente, um dos principais problemas da arborização viária, sendo a poda, o método mais utilizado para contorná-lo; embora livrando galhos da rede, em um primeiro instante, acaba por estimular novas brotações, as quais, em um curto espaço de tempo, atingirão novamente os fios, na qual necessitarão de uma manutenção freqüente.

De acordo com [21], as árvores podadas têm seu aspecto original alterado, sendo que jamais irão conseguir cumprir seu papel estético e funcional. Assim, é bom que tenhamos árvores com seu porte natural e, para te-las, é indispensável que lhes proporcionemos o espaço correspondente a sua natureza.

### **4.2. Tipos de árvores a serem plantadas junto à rede elétrica.**

A maioria das publicações que abordam o tema arborização viária são unânimes em recomendar que sob rede elétrica devem ser plantadas árvores e/ou arbustos de pequeno porte, como forma de prevenir e/ou eliminar a interferência dos galhos nestas redes ou podar as já existentes, para que não atinja os fios.

Ao escolher árvores para o plantio em calçadas, deve-se optar sempre por aquelas cujas raízes se desenvolvem para baixo. Algumas pessoas alegam não plantar árvores nas calçadas pois poderia provocar levantamento e quebra do piso ou rachaduras em muros. Isso ocorre quando se planta árvores das espécies em que as raízes crescem lateralmente. É preciso levar em conta também a largura do passeio, a distância das casas e se há fiação elétrica ou de telefonia.

Com o objetivo de facilitar na escolha, as árvores usadas na arborização de ruas e avenidas foram classificadas em pequeno, médio e grande porte. Em passeios estreitos e/ou com fiação elétrica, só se deve plantar árvores de pequeno porte. As árvores de médio porte podem ser plantadas em locais de passeio largo e sem fiação elétrica. No caso de locais amplos, sem fiação, pode-se optar por árvores de grande porte.

#### 4.2.1. Árvores de pequeno porte

São aquelas cuja altura na fase adulta atinge entre 04 e 05 metros e o raio de copa fica em torno de 02 a 03 metros. São espécies apropriadas para calçadas estreitas (< 2,5m), presença de fiação aérea e ausência de recuo predial.

Tipos de árvores de pequeno porte:

- Murta, Falsa-murta, Murta de cheiro *Murraya exotica*
- Ipê-de-jardim *Stenolobium stans*
- Flamboyantzinho, Flamboyant-mirim *Caesalpinia pulcherrima*
- Manacá-de-jardim *Brunfelsia uniflora*
- Hibisco *Hibiscus rosa-sinensis*
- Resedá anão, Extremosa, Julieta *Lagerstroemia indica*
- Grevílea anã *Grevillea forsterii*
- Cássia-macranthera, manduirana *Senna macranthera*
- Rabo-de-cotia *Stiffia corymbosa*
- Urucum *Bixa orellana*
- Espirradeira, Oleandro *Nerium oleander*
- Calistemon, Bucha-de-garrafa *Callistemon citrinum*
- Algodão-da-praia *Hibiscus pernanthensis*
- Chapéu-de-Napoleão *Thevetia peruviana*

#### 4.2.2. Árvores de médio porte

São aquelas cuja altura na fase adulta atinge de 05 a 08 metros e o raio de copa varia em torno de 04 a 05 metros. São apropriadas para calçadas largas (> 2,5m), ausência de fiação aérea e presença de recuo predial.

Tipos de árvores de médio porte:

- Aroeira-salsa, Falso-chorão *Schinus molle*
- Quaresmeira *Tibouchina granulosa*
- Ipê-amarelo-do-cerrado *Tabebuia* sp

- Pata-de-vaca, unha-de-vaca *Bauhinia* sp
- Astrapéia *Dombeya wallichii*
- Cássia imperial, cacho-de-ouro *Cassia ferruginea*
- Resedá-gigante, Escumilha africana *Lagerstroemia speciosa*
- Magnólia amarela *Michaelia champaca*
- Eritrina, Suinã, Mulungu *Erythrina verna*
- Ligustro, Alfeneiro-do-Japão *Ligustrum lucidum*
- Sabão-de-soldado *Sapindus saponaria*
- Canelinha *Nectandra megapotamica*

### 4.2.3. Árvores de grande porte

São aquelas cuja altura na fase adulta ultrapassa 08 metros de altura e o raio de copa é superior a 05 metros. Estas espécies não são apropriadas para plantio em calçadas. Deverão ser utilizadas prioritariamente em praças, parques e quintais grandes.

Tipos de árvores de grande porte:

- Sibipiruna *Caesalpinia peltophoroides*
- Jambolão *Eugenia jambolona*
- Monguba, Castanheira *Pachira aquatica*
- Pau-ferro *Caesalpinia ferrea*
- Sete-copas, Amendoeira *Terminalia catappa*
- Oiti *Licania tomentosa*
- Flamboyant *Delonix regia*
- Alecrim-de-Campinas *Holocalix glaziovii*
- Ipê-roxo *Tabebuia avellanedae*
- Ipê-amarelo *Tabebuia chrysotrica*
- Ipê-branco *Tabebuia roseo-alba*
- Cássia-grande, Cássia-rósea *Senna grandis*
- Cássia-de-Java *Senna javanica*
- Jacarandá-mimoso *Jacaranda mimosaeifolia*
- Figueiras em geral *Ficus* sp

As palmeiras em geral também não são apropriadas para uso em calçadas, seja pelo porte, na maioria das vezes grande, e também pela dificuldade de manejo. No entanto, podem ser utilizadas nos canteiros centrais de avenidas e nas rotatórias, bem como nas áreas livres públicas.

Tipos de palmeiras na tabela 2 abaixo:

Nome comum	Nome científico	Local de plantio
Palmeira-real-da-Austrália	<i>Archontophoenix cunninghamiana</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Butiazeiro	<i>Butia capitata</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Cariota	<i>Caryota urens</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Palmitreiro	<i>Euterpe edulis</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Neodipsis	<i>Neodypsis decaryi</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Tamareira-das-canárias	<i>Phoenix canariensis</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Tamareira	<i>Phoenix dactylifera</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Robeline	<i>Phoenix roebelinii</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Palmeira imperial	<i>Roystonea oleracea</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Sabal	<i>Sabal palmetto</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Gerivá	<i>Syagrus romanzoffianum</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Palmeira cabeluda	<i>Trachycarpus fortunei</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Buriti-palito	<i>Trithrinax brasiliensis</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Palmeira-da-califórnia	<i>Washingtonia robusta</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais
Palmeira-da-califórnia	<i>Washingtonia filifera</i>	Calçadas e/ou Canteiros Centrais

Tabela 2: [http://www.rge-rs.com.br/gestao\\_ambiental/arborizacao\\_e\\_poda/](http://www.rge-rs.com.br/gestao_ambiental/arborizacao_e_poda/)

### 4.3. Funções e Benefícios da Arborização Urbana

Vegetação em cidades é um serviço urbano essencial, assim como a distribuição de energia elétrica, abastecimento de água, telefonia, limpeza urbana, iluminação pública, entre outros (Castro, 2000).

Segundo [7], as principais funções da arborização urbana são: função química – absorção do gás carbônico e liberação do oxigênio, melhorando a qualidade do ar urbano; função física – oferta de sombra, absorção de ruídos e proteção térmica; função paisagística – quebra da monotonia da

paisagem pelos diferentes aspectos e texturas; função ecológica – abrigo e alimento aos animais e função psicológica – bem estar às pessoas proporcionadas pelas massas verdes.

A importância da urbanização urbana é dada por diversas ações de melhoria do microclima, de controle das poluições sonora, visual e atmosférica e pela melhoria da estética das cidades. Além disso, a arborização urbana proporciona uma melhoria na qualidade de vida, saúde física e mental do homem (Milano, 1984, 1988; Grey & Deneke, 1978; Detzel, 1990). Desta forma, em decorrência dos benefícios ambientais, tanto estéticos quanto funcionais, são gerados outros, de caráter social e econômico que, direta ou indiretamente, afetam a todos os habitantes urbanos (Detzel, 1993).

#### **4.4. Árvores Urbanas e Redes de Distribuição de Energia Elétrica**

As indicações de espécies para a arborização urbana ainda é feita de maneira muito empírica, utilizando-se apenas de informações estéticas e desprezando todas as condições desfavoráveis que o meio urbano oferece as árvores (Biondi, 1996).

Sabe-se que a convivência harmônica entre as redes de distribuição de energia elétrica e a arborização viária é um dos grandes desafios para as prefeituras e concessionárias de energia elétrica. Na maioria das vezes este problema se agrava pelo fato de que a arborização e as implantações dos sistemas elétricos de distribuição são planejados e realizados de forma independente. Segundo Comitê de Distribuição (1990) esse fato resultou em uma disputa entre as árvores e as redes de distribuição pelo mesmo espaço físico.

#### **4.5. Possíveis Soluções**

De acordo [20], “na maioria das vezes a situação já está consolidada e o conflito, entre rede elétrica e arborização, já está instalado”. Com isso, é de grande importância que alternativas sejam usadas para substituição ou adaptação dos sistemas atuais. Alternativas essas que podem ser as redes protegidas ou outras que reduzam as atividades de podas prejudiciais.

Devido a isso, o objetivo deste trabalho é apresentar subsídios para uma substituição da rede aérea de distribuição de energia elétrica convencional para rede aérea compacta em uma área da concessão da Empresa Elétrica Bragantina. Com o intuito de melhorar o índice de continuidade e reduzir o número de podas feitas em árvores urbanas e melhorar a convivência das espécies com a

fiação elétrica, além de permitir à árvore desempenhar plenamente a função ecológica que lhe é esperada, favorecendo assim ao meio ambiente.

## **5. UTILIZAÇÃO DE REDES COMPACTAS**

Nesta etapa serão abordados os aspectos técnicos e o desempenho do padrão convencional de distribuição de energia elétrica em redes aérea de distribuição primária e fazendo uma comparação com a rede aérea de distribuição compacta. Em função da influência dos fabricantes de equipamentos e demais aspectos relacionados no Brasil o padrão de distribuição aérea em 13,8kV e 23kV (tensão entre fases) feita através de cabos de alumínio nus sustentados por isoladores em cruzetas de madeira ou concreto. Entretanto esse modelo convencional apresenta desvantagens em relação a alternativas mais modernas como a utilização de redes compactas. As primeiras redes compactas construídas no Brasil surgiram nos anos 90 sendo que a CEMIG – Companhia Energética do Estado de Minas Gerais iniciou-se a construção dessa rede a partir de 1991 já a COPEL - Companhia Paranaense de Energia começou com um projeto piloto em 1994 na cidade de Maringá – PR sendo que nos dias de hoje conta com 100% da cidade na área urbana no novo padrão redes compactas [9].

### **5.1. Metodologia de Projeto**

A rede compacta é um sistema de distribuição de energia elétrica aéreo, onde a rede primária é constituída de três condutores cobertos por uma camada de polietileno reticulado – XLPE (composto extrudado de polietileno termofixo), e é sustentado através do cabo mensageiro de aço fixado aos postes por meios de braços metálicos e espaçadores losangulares poliméricos instalados em intervalos de 7 a 10 metros ao longo do vão que por sua vez, exercem a função de compactação e separação elétrica dos cabos cobertos, que ficam dispostos em formato triangular. É importante saber que os cabos protegidos não são isolados eletricamente e sim apenas encapados por não terem seu campo elétrico confinado [3].

Além desses materiais, são também usados isoladores de pino e de ancoragem, feitos em material polimérico, com o objetivo de promover o isolamento elétrico dos condutores da rede, em conjunto com os espaçadores, braços suportes (ferragens para a sustentação da rede) e alguns equipamentos de última geração, como pára-raios de óxido de zinco para proteção contra descargas atmosféricas, chaves blindadas e isoladas a gás para seccionamento e manobra da rede e transformadores auto protegidos, com proteção interna contra curto-circuito [9].

## **5.2. Locais de instalação de rede Compacta - Aplicação**

- Redes com mais de um circuito por estrutura
- Alternativa as redes isoladas (alto custo)
- Tronco de alimentadores e derivações
- Locais densamente arborizados
- Ramais com alta taxa de falha
- Condomínios fechados
- Saída de subestações
- Ruas estreitas

## **5.3. Vantagens x Desvantagens da Rede Compacta em relação à rede convencional**

A rede aérea convencional apresenta diversas desvantagens e algumas serão apresentadas a seguir, deve-se conscientizar que a solução não se trata de algo complexo e sim que a evolução dos materiais e as técnicas de implementação surgem para melhorar a qualidade de energia.

### **5.3.1. Saturação tecnológica**

O modelo convencional de redes elétricas aéreas apresenta uma saturação tecnológica, entende-se por esse termo um uso excessivo e prolongado de tecnologia a partir de uma acomodação que se formou enquanto os interesses em utilizar uma nova alternativa eram sempre menores do que a soma de outros interesses envolvidos e uma forte cultura estabelecida. A linha de distribuição primária aérea existe dessa maneira convencional desde a época em que a transmissão de eletricidade foi concebida. Quase nada foi alterado em relação aos elementos do sistema que continuam com os mesmos nomes. Somente os postes deixaram de ser de madeira ou ferro para serem de concreto armado, e agora as cruzetas que se usavam de madeira passam a ser usar de concreto em muitos casos. Em outras linhas os isoladores continuam sendo de vidro ou de cerâmica, sendo que somente nessa década passaram a ser utilizado com frequência isoladores de material polimérico. Os cabos continuam sendo de alumínio nu e a manutenção feita com o auxílio de escadas [9].

Em relação às linhas de distribuição convencional, com todo o progresso no campo da engenharia de materiais já era tempo de ser repensado um padrão que só no Brasil já está completando 100 anos [5].

### **5.3.2. Elevada taxa de falhas**

A rede de distribuição de energia elétrica convencional está exposta às condições do ar (raios, excesso de umidade, depósito de salitre em ambiente litorâneo, etc) e por esse motivo apresenta elevada taxa de falhas [12].

Essa elevada taxa de falhas apresenta-se cada vez mais incompatível com as necessidades que o uso da eletricidade vai impondo a vida moderna. Por isso que o órgão regulador está monitorando e cobrando cada vez mais uma melhoria contínua nos índices de DEC e FEC das concessionárias que por sua vez tem uma relação direta com as falhas presentes nas linhas convencionais de distribuição [9].

### **5.3.3. Interferência no meio ambiente**

Essa interferência está presente principalmente na poda de um grande número de árvores que estão na mesma direção da faixa de passagem conforme pode ser visualizado na figura 5. Além desse aspecto de intervenção externa que priva o meio ambiente de sombra e outros benefícios da vegetação retirada, podemos incluir como agressão ao meio ambiente e diferença de estética das ruas.



Figura 5: Poda excessiva I

### **5.3.4. Exposição ao perigo**

Outra desvantagem dos sistemas convencionais é a exposição ao perigo a que estão sujeitas as pessoas que circulam em locais próximos a faixa de passagem. Quando por exemplo à construção caminha paralelamente a rede, a proximidade leva a situação de extremo risco. E não é mais novidade acontecerem acidentes com linhas primárias sendo elas instaladas em postes ou quando ocorre rompimento de cabo energizado. A figura 6 mostra uma linha aérea convencional oferecendo risco de acidente.



Figura 6: rede aérea convencional oferecendo risco de acidente.

### **5.3.5. Conseqüências**

Com todas essas desvantagens têm por conseqüência um elevado custo de manutenção preventiva e corretiva que, conforme será visto na análise econômica, compensam os investimentos em redes mais modernas, como as redes aéreas compactas.

## **5.4. Característica da rede compacta**

Será apresentada uma solução tecnológica que visualiza a melhoria da qualidade do fornecimento de energia, o aumento da segurança do pessoal, a preservação da arborização e a redução dos custos operacionais. A rede aérea compacta, já está sendo utilizada usada nos Estados

Unidos, na Europa, no Japão, na Austrália e na América do Sul. Sendo também utilizada como solução em diversas cidades brasileiras.

### **5.5. Uso de materiais poliméricos**

A evolução da engenharia de materiais nos últimos anos permitiu o desenvolvimento de compostos poliméricos altamente resistentes a esforços mecânicos e principalmente com um alto gradiente de rigidez dielétrica. Esses materiais substituem a cerâmica e o vidro de maneira vantajosa na medida em que representam um custo bem menor.

### **5.6. Ausência de Religadores**

Na utilização se deve repensar a ausência de religadores automáticos nas saídas dos alimentadores das subestações. Nesse caso o religador passa a ser um elemento indesejável já que se supõe que no caso de cabos protegidos as falhas que provocam os desligamentos não são imprevistas e que por isso devem ser analisadas antes do religamento.

### **5.7. Manutenção corretiva e preventiva**

Em redes aéreas compactas também devem ser revistos os conceitos de manutenção preventiva e de manutenção corretiva. A poda de árvores, por exemplo, passa a ser uma prática mais remota, enquanto que a inspeção e o monitoramento da qualidade da energia passam a ser mais freqüente.

### **5.8. Capacidade de condução de corrente**

Neste tipo de sistema a capacidade de condução de corrente passa a ser um elemento importante no dimensionamento. No caso de condutores de alumínio nu o critério predominante era o de queda percentual de tensão. No caso de condutores cobertos os valores máximos permissíveis de corrente estão limitados pelas temperaturas máximas que a cobertura e a isolamento estarão sujeitas, passando nesse caso a ser o critério predominante no dimensionamento.

## **5.9. Acessórios mais sofisticados**

Em comparação com a rede aérea convencional, a rede compacta pressupõe acessórios bem mais sofisticados para fazer as interconexões e derivações. Por isso nesse caso deve haver maior investimento em treinamento de pessoal

No caso de redes protegidas o cabo mensageiro funciona como elemento de sustentação mecânica, contra a queda de galhos e objetos, e elétrica, na atenuação de descargas atmosféricas. Os espaçadores poliméricos (espaçamento de 8 a 13 cm) terão como função a compactação do espaço e o entrelaçamento dos condutores assim haverá menor possibilidade do condutor rompido atingir o solo, melhorando o aspecto de segurança da rede. A compactação da rede diminui a impedância mútua (redução  $\Delta V$  em até 20%) reduzindo a necessidade de bancos de capacitores para baixar a indutância da linha. As redes protegidas eliminam os desligamentos acidentais em tempestades a partir do contato temporário com a arborização, assim haverá a redução dos custos operacionais com menor taxa de falhas, sendo, portanto um sistema mais confiável [9].

## **5.10. Vantagens da rede aérea compacta**

Pode-se observar que as características acima apresentadas sobre as redes compactas apresentam vantagens significativas sobre a rede convencional. Para se ter uma idéia melhor dessas vantagens será apresentado a seguir uma serie de fatores no qual este sistema se comporta de forma favorável [14].

### **5.10.1. Vantagens**

- Confiabilidade, Qualidade e Segurança;
- Solução de Problemas;
- Melhor relação com o cliente;
- Redução dos custos operacionais;
- Menor intervenção na rede;
- Minimização das podas de árvores;
- Aumento do faturamento;
- Visualmente agradável;

Na figura 7 é possível verificar com clareza que as redes compactas, visualmente são mais agradáveis em relação às redes aéreas convencionais.



Figura 7: comparação entre redes.

### **5.10.2. Segurança**

- Redução da corrente de fuga (contato acidental);
- Redução de Acidentes (Próprios ou de terceiros);

### **5.10.3. Confiabilidade e Qualidade**

- Redução das falhas no sistema;
- Redução do DEC/FEC;
- Menor queda de tensão (distância entre fases);
- Redução do campo eletromagnético (RIV -Rádio interferência - simetria);

### **5.10.4. Análise Econômica**

- Investimento inicial (~20% maior);
- Taxa de falhas reduzida;
- Manutenção Preventiva e Corretiva;

### **5.10.5. Solução de Problemas**

- Arborização;
- Espaço;
- Vento;
- Neve;

### **5.10.6. Desvantagem ou Restrição na utilização**

Para regiões densamente poluídas e nas áreas próximas à orla marítima, não deverão ser projetadas redes aéreas com cabos cobertos, pois a deposição de agentes agressivos e/ou da maresia na superfície protetora dos cabos, permitem a passagem de correntes elétricas superficiais, ocasionando um fenômeno conhecido como tracking (trilhamento elétrico);

A restrição de uso dos cabos cobertos nos municípios litorâneos, está limitada a uma distância de trezentos (300) metros da orla marítima.

Para estas situações devem ser estudadas alternativas para cada caso específico, como por exemplo:

- Elevação do nível básico de impulso da rede (NBI), mantendo-se a configuração compacta;
- Mudança de configuração, mantendo-se o cabo coberto e acessórios;
- Mudança para rede isolada ou subterrânea, entre outras [17].

### **5.11. Preservação da Arborização**

- Redução na área de poda;
- Aumento no tempo entre podas;
- Preservação da Arborização;

Na figura 8 pode-se visualizar o benefício da rede compacta (protegida) no que diz respeito à preservação ambiental

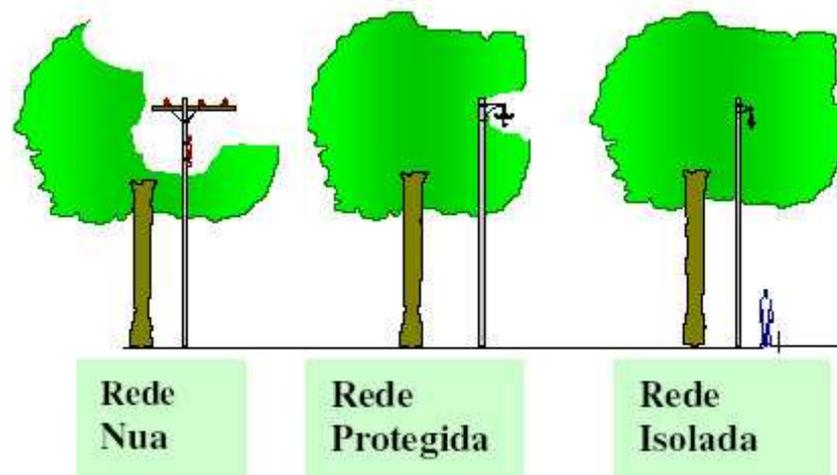


Figura 8: Preservação da arborização.

Realidade da poda excessiva na rede convencional



Figura 9: poda excessiva II

## 5.12. Tecnologia empregada

A rede compacta apresenta a rede secundária isolada, utilizando cabos multiplexados e a rede primária é constituída de três condutores cobertos por uma camada de polietileno reticulado [14].

### 5.13. Tipos de Cabos

Neste item serão apresentados os tipos de cabos utilizados em redes aéreas compactas bem como suas características e potencialidades. Basicamente estes se dividem em dois grupos:

Cabos cobertos (XLPE) no primário, sustentados e separados por espaçadores losangulares poliméricos que são apoiados em um cabo mensageiro de aço.

Cabos multiplexados (XLPE) no secundário. As fases são encordoadas em torno do mensageiro/neutro.

- **Cabo Isolado**

O cabo isolado apresenta diversas diferenças em relação ao cabo coberto que é apenas encapado enquanto este se apresenta eletricamente isolado (figura 10).



Figura 10: Cabo Isolado

- **Cabo Coberto**

O segundo cabo a ser apresentado é o cabo coberto em XLP, e está ilustrado na figura 11.

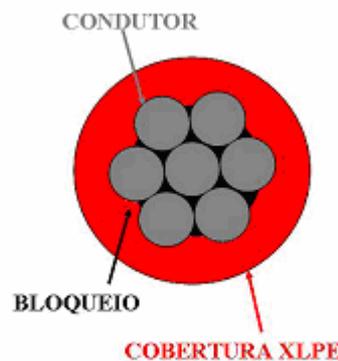


Figura11: Cabo Coberto

- **Dados Construtivos:**

**Condutor:**

- Fio de alumínio nu;
- Bloqueado (evita penetração de água);

**Cobertura:**

- Polietileno reticulado (XLPE) - cor preta;
- Resistente ao trilhamento elétrico (tracking);
- Resistente aos raios ultra-violeta;

Para se ter uma idéia melhor de como se apresenta este tipo de cabo, é ilustrada (figura 12), uma aplicação direta do mesmo.



Figura 12: Aplicação de Cabo Coberto

- **Fenômeno Tracking:**

Para uma melhor compreensão deste efeito são apresentadas suas características típicas:

- Diferença de potencial entre dois pontos de uma superfície isolante;
- Circulação de corrente;
- Aquecimento e secagem do local;
- Aumento da resistência superficial da região;

- Campo elétrico torna-se irregular;
- Ocorrência de micro-arcos;
- Carbonização do material;

- **Cabos Multiplexados**

Nas redes aéreas compactas a rede secundária é toda isolada, utilizando cabos multiplexados (figura 13).

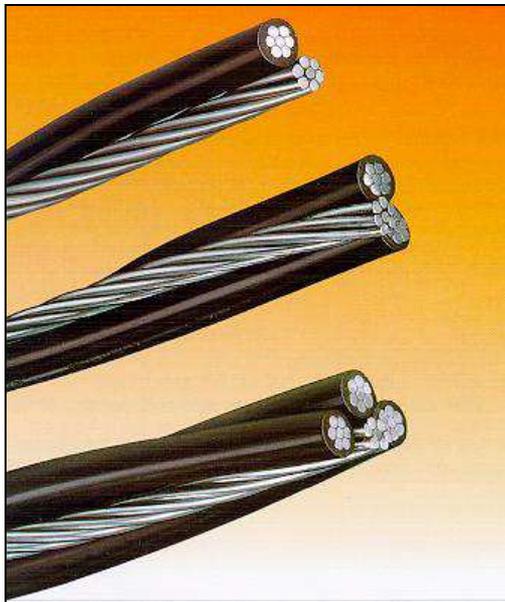


Figura 13: Cabos Multiplexados

- **Dados Construtivos: Condutor Neutro:**

Cabos formados por fios sólidos de alumínio nu têmpera dura, com ou sem alma de aço ou alumínio liga 6201.

Mediante consulta, poderão ser fabricados cabos multiplexados com condutores neutros isolados.

- **Identificação:**

Os condutores fases são identificados por números impressos sobre a isolação.

A figura 14 está representada, um exemplo de rede secundária multiplexada atuando no sistema.



Figura 14: Cabos Multiplexados instalado

### 5.14. Materiais Acessórios

Este item irá apresentar um conjunto de acessórios indispensáveis na construção de uma linha aérea compacta, serão destacadas suas características construtivas, capacidade de atuação, e sua respectiva ilustração [16].

- **Braço Suporte Tipo “L”**

Ferragem em forma de “L”, tem a função de sustentação do cabo mensageiro de rede compacta classe 15kV, em condição de tangência ou em ângulos de deflexões de até 6°. (Figura 15)

- Peso: 4,5 kg;
- Carga vertical: 500 dan;
- Carga horizontal: 800dan;
- Prensa-cabo para 1/4”(6,4mm) e 3/8“(9,5mm);



Figura 15: Braço Suporte Tipo “L”

Na figura 16, pode-se observar o braço suporte tipo “L” instalado na rede, podendo assim visualizar melhor a finalidade deste equipamento.



Figura 16: Braço suporte tipo “L” instalado

- **Braço Suporte Tipo “C”**

Ferragem em forma de “C”, tem a função de ancoragem ou sustentação de cabos fase em condições de ângulo, final de linha e derivações e conexão de equipamentos à Rede compacta classe 15kV. (Figura 17)

- Peso: 10 Kg;
- Carga Vertical: 200 DaN;
- Carga Horizontal: 150 DaN;

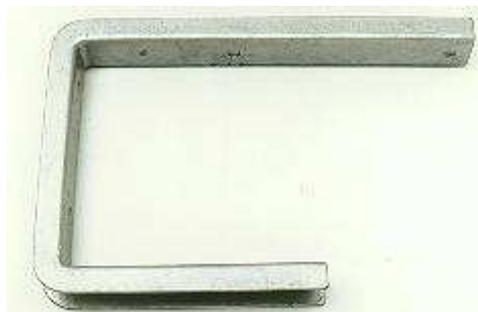


Figura 17: Braço Suporte Tipo “C”

Na figura 18, pode-se observar o braço suporte tipo “C” instalado na rede, podendo assim visualizar melhor a finalidade deste equipamento.



Figura 18: Braço suporte tipo “C” instalado

- **Laço Plástico**

É utilizado para fixação dos cabos cobertos nos isoladores de pino aplicados no braço tipo “C”. (Figura 19)

- Para amarração topo é 0° até 15°;
- Para amarração lateral é 15° até 40°;



Figura 19: Laço para o isolador

- **Espaçadores**

Acessório de formato losangular para utilização em Redes Compactas classe 15 kV. Apoiado sobre um cabo mensageiro, sua função é a sustentação e separação dos cabos cobertos ao longo do vão, mantendo o isolamento elétrico da rede. (Figura 20)

- Polietileno de alta densidade;
- Resistente aos raios ultravioletas;
- Resistente ao trilhamento elétrico;
- Amarração com Laço Preformado;
- Peso aprox.: 0,6 kg;
- Esforços de tração até 450 daN;



Figura 20: Espaçador

- **Separador Vertical**

- Polietileno alta densidade;
- Resistente aos raios ultravioletas;
- Resistente ao trilhamento elétrico;
- Amarração com Laço Preformado;
- Peso aprox. : 0,6 kg;
- Esforços de tração até 400 daN (Figura 21);



Figura 21: Separador Vertical

Na figura 22, está ilustrada uma rede aérea compacta, utilizando separadores verticais, para melhor visualização.

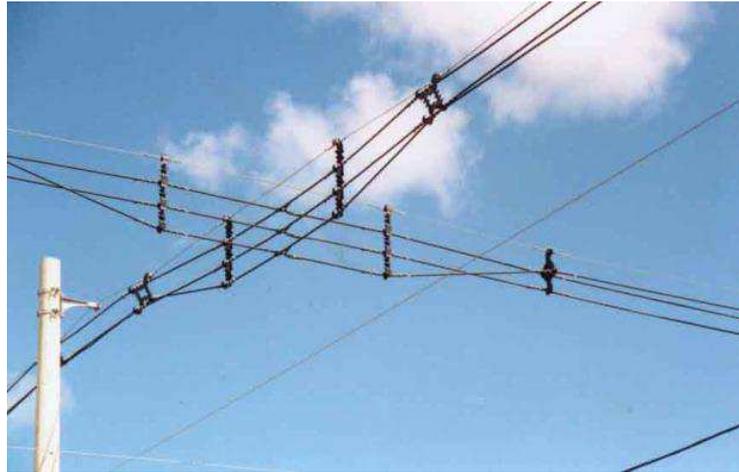


Figura 22: Aplicação de Separadores Verticais

- **Isolador Polimérico - 15 KV**

O Isolador Polimérico é utilizado em redes de distribuição de energia elétrica com cabos nus ou cobertos, classe de tensão 15 kV. (figura 23)

- Polietileno de alta densidade;
- Resistente aos raios ultravioletas;
- Resistente ao trilhamento elétrico;



Figura 23: Isolador Polimérico

- **Braço Antibalanço**

A função do braço antibalanço é a fixação do espaçador losangular, evitando-se a aproximação ou o afastamento dos cabos cobertos junto às estruturas e reduzindo-se, assim, a vibração mecânica das redes compactas classes 15 kV. (Figura 24)

- Resistente a esforços de compressão, tração e flexão exigidos pela rede;
- Resistente aos raios ultravioletas;

- Resistente ao trilhamento elétrico;
- Fabricado em poliamida na cor preto;



Figura 24: Braço Anti-Balanço

- **Grampo de Ancoragem Dielétrico**

Acessório em forma de cunha, destinado à ancoragem dos cabos fase em estruturas de fim de linha ou em estruturas onde há o seccionamento das fases. É aplicado diretamente sobre a cobertura do cabo. (Figura 25)

- Aplicação: 12 a 27 mm;
- Carga máxima de tração = 500 daN;



Figura 25: Grampo de Ancoragem Dielétrico

- **Estribo para Fixar o Espaçador ao Braço L**

Ferragem complementar ao braço tipo “L” cuja função é permitir a instalação de espaçadores losangulares, quando da utilização de braço antibalanço. (Figura 26)

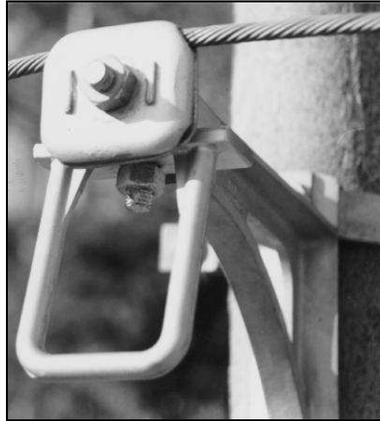


Figura 26: Estribo

A figura 27, mostra uma associação de diversos acessórios apresentados até aqui, tendo uma idéia melhor de como estes se dispõem no sistema de redes compactas.



Figura 27: Acessórios

Analisando a figura 27, nota-se que estão presentes o braço suporte tipo “L”, o estribo para fixar o espaçador, o braço antibalço e os cabos protegidos, ou seja, a forma como os acessórios se disponibilizam no sistema.

- **Conector Cunha Com Capa MT**

- Alta confiabilidade, capa resistente 15 kV;
- Estribo p/ Grampo LV e Aterramento (Figura 28);



Figura 28: Conector Cunha

- **Conector Perfuração BT**

- Conector de fácil instalação; porca torquimétrica (Figura 29)

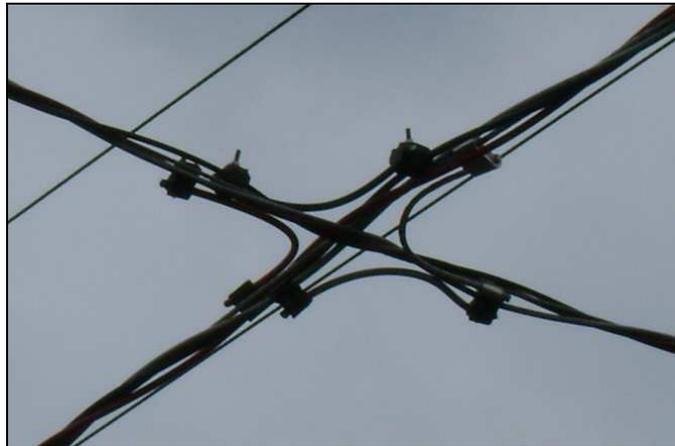


Figura 29: Conector Perfuração BT

## 6. SUBSTITUIÇÃO DE REDE AÉREA CONVENCIONAL PARA REDE AÉREA COMPACTA

### 6.1. Introdução

Serão levantados as características do sistema de distribuição e mostrar os custos e benefícios que a rede de distribuição compacta pode trazer ao sistema elétrico e ao meio ambiente.

### 6.2. Características do sistema elétrico

A Empresa Elétrica Bragantina possui uma área de concessão de 3.453 km<sup>2</sup>, atendendo quinze municípios sendo cinco no estado de São Paulo como Bragança Paulista, Vargem, Tuiuti, Pinhalzinho e Pedra Bela e dez no estado de Minas Gerais como Extrema, Itapeva, Camanducaia (Monte verde), Cambuí, Córrego do Bom Jesus, Senador Amaral, Estiva, Toledo, Munhoz e Bueno Brandão, contando atualmente com aproximadamente 117.773 consumidores; ref. Julho de 2008.

O sistema elétrico da empresa elétrica bragantina é composto por 18 subestações e aproximadamente com 70 alimentadores entre urbanos e rurais.

Sendo que alguns alimentadores possuem uma grande concentração de carga um exemplo é o alimentador “R2” com aproximadamente 100Km de extensão e ao longo de sua rede com 493 transformadores ligados. (Figura 30)

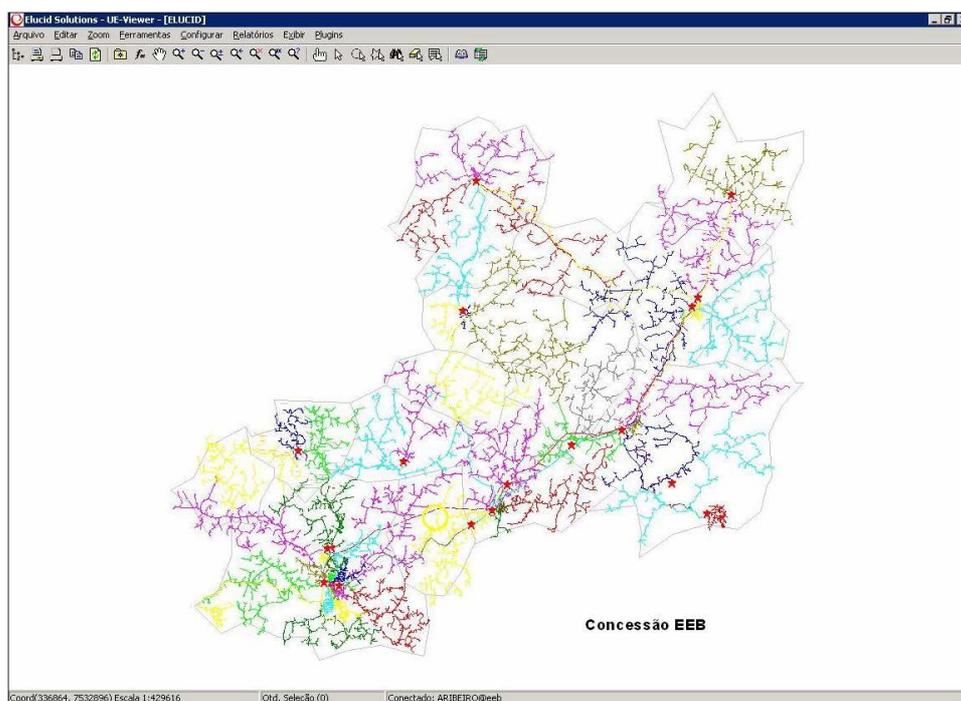


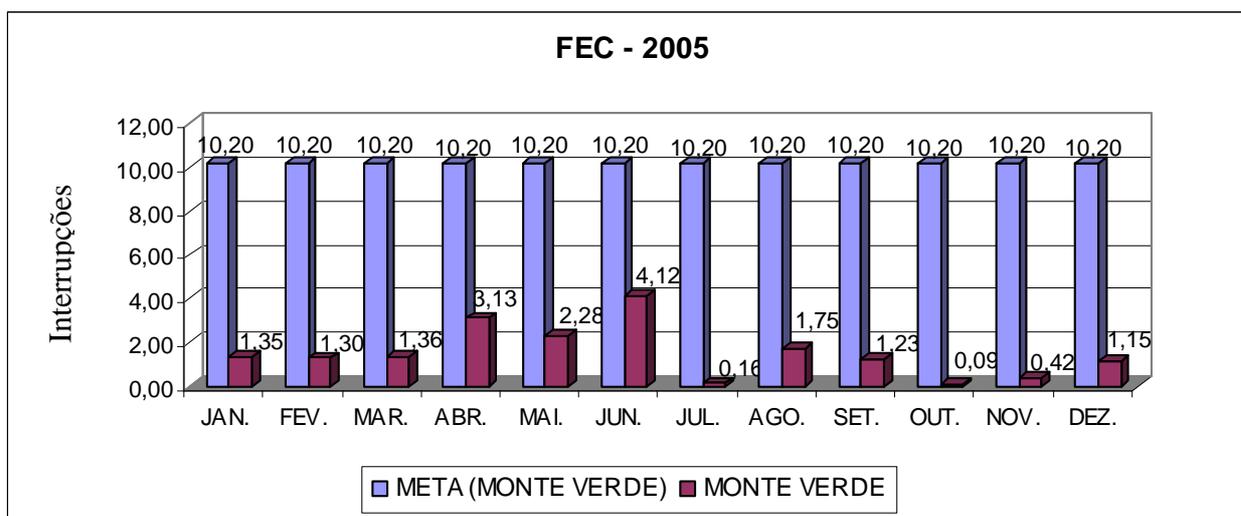
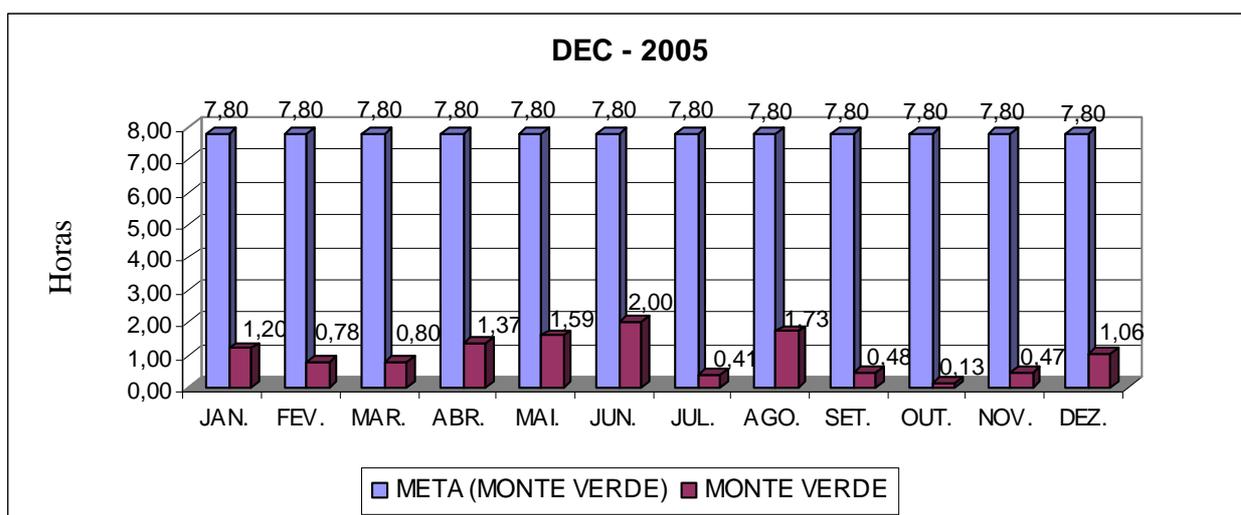
Figura 30: Sistema Elétrico de Distribuição da EEB

Em cada subestação tem as saídas dos alimentadores, portanto cada alimentador tem instalado um relé em conjunto com um disjuntor de modo que ambos atuem de maneira ideal ou seja, interrompendo o fornecimento de energia em milisegundos, durante curtos circuitos temporários, e ainda se bem coordenados com elos fusíveis dispostos ao longo do sistema de distribuição, seccionando apenas o trecho com defeito, permanecendo os demais trechos em serviços energizados.

### 6.3. Índice de continuidade do conjunto

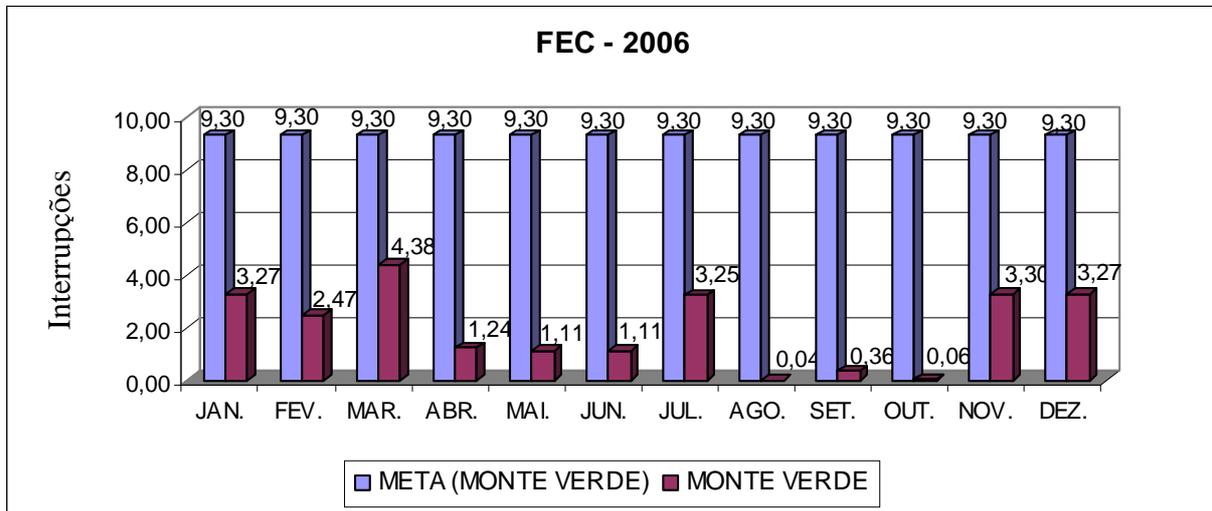
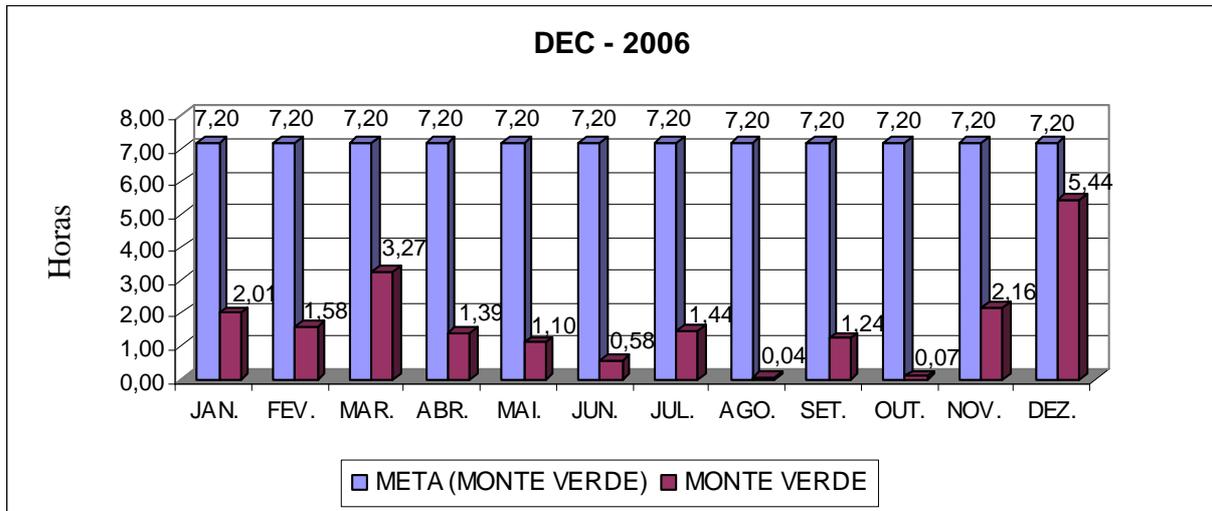
Será apresentando o histórico de valores de DEC e FEC e junto à meta de continuidade estabelecida para o alimentador Monte Verde.

Gráfico 1: valor de DEC e FEC referente ao ano de 2005



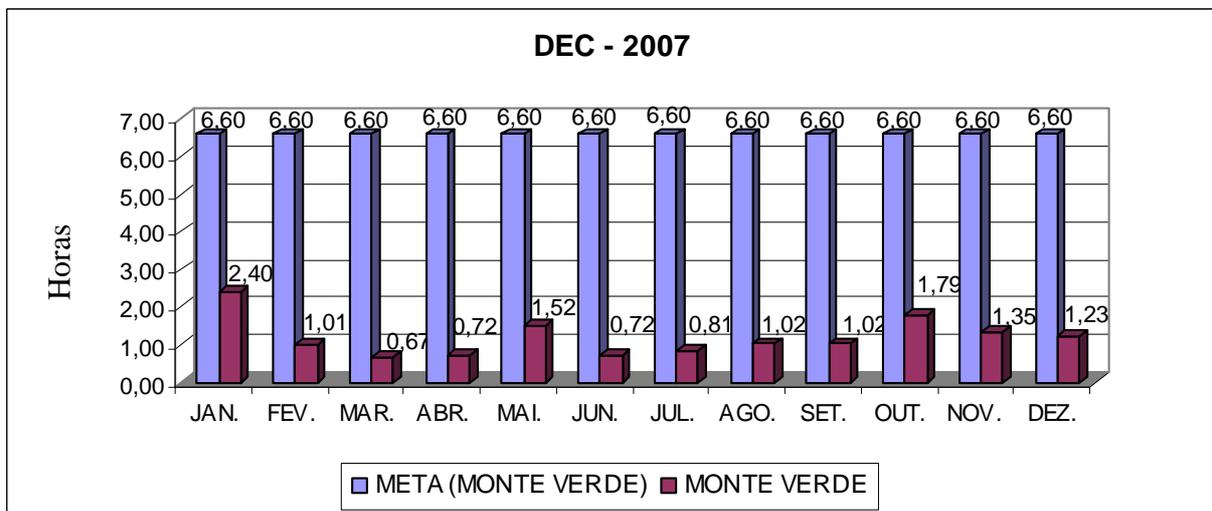
Fonte: Empresa Elétrica Bragantina – Média de consumidores atingidos 2546

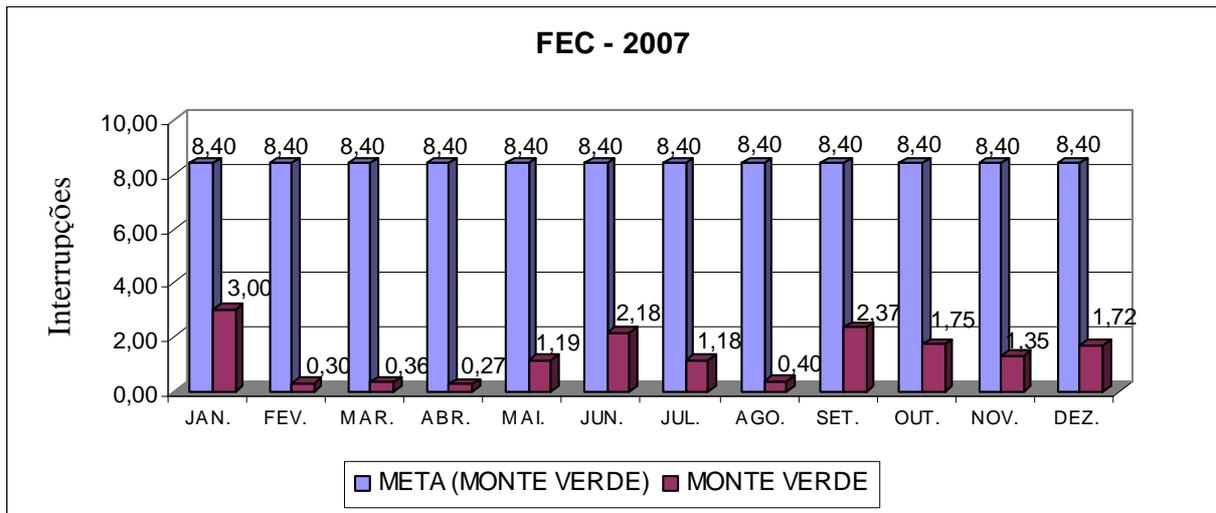
Gráfico 2: valor de DEC e FEC referente ao ano de 2006



Fonte: Empresa Elétrica Bragantina – Média de consumidores atingidos 2584

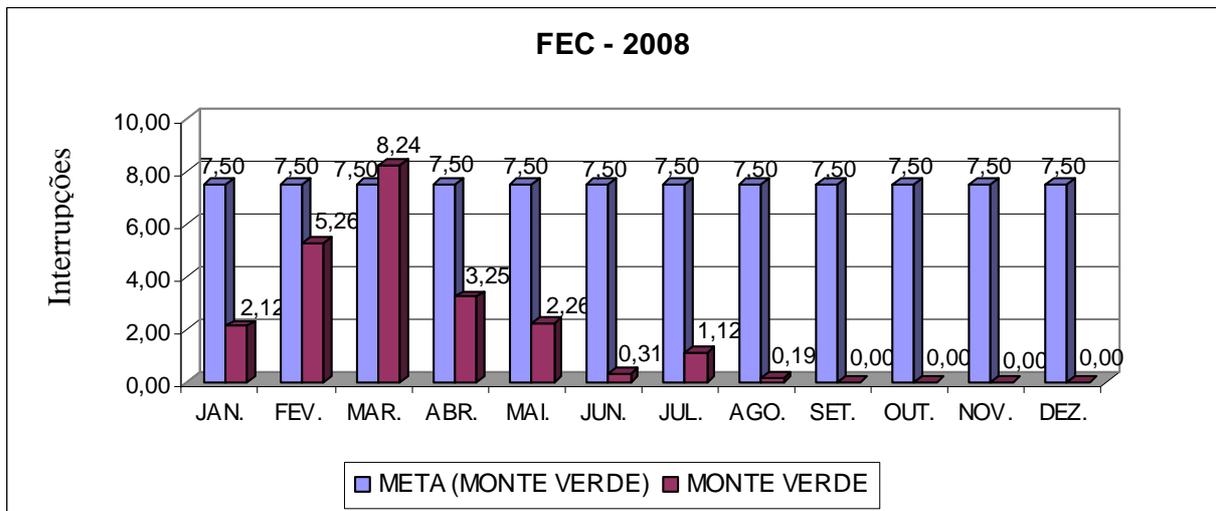
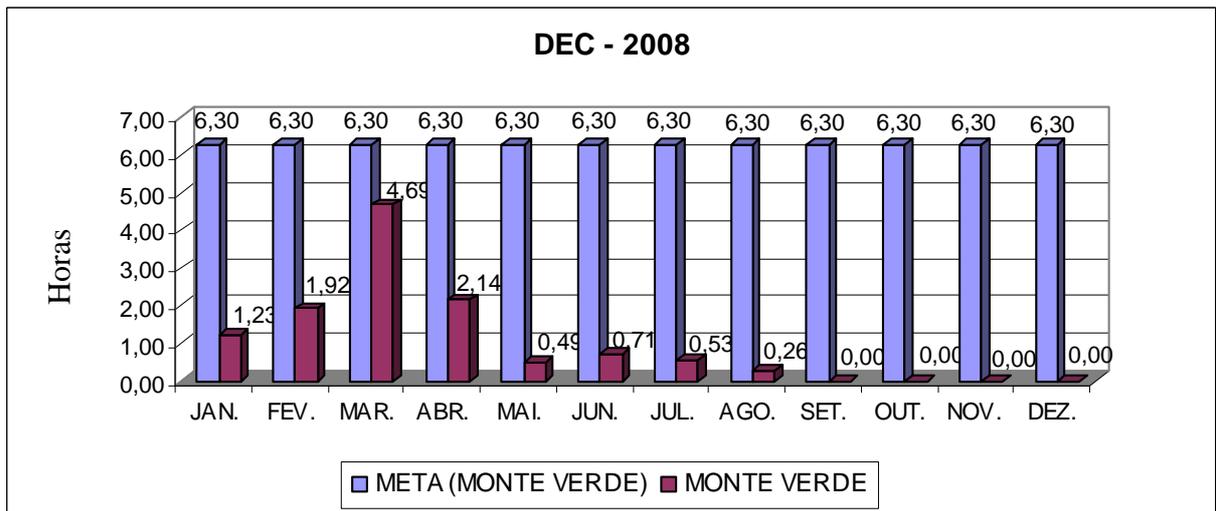
Gráfico 3: valor de DEC e FEC referente ao ano de 2007





Fonte: Empresa Elétrica Bragantina – Média de consumidores atingidos 2624

Gráfico 4: valor de DEC e FEC referente ao ano de 2008



Fonte: Empresa Elétrica Bragantina – Média de consumidores atingidos até agosto 2621

Fazendo uma análise dos dados acima, verificamos que o nível de continuidade no alimentador esteve abaixo das metas estabelecida pela ANEEL com exceção de 2008.

O alimentador Monte Verde apresentou em diversas situações valores próximos ao valor da meta. É o caso do mês de junho de 2005, onde o indicador de FEC atingiu 4.12, para uma meta de 10.20 interrupções, e também nos meses de março e dezembro de 2006, onde os indicadores de DEC atingiram 3.27 e 5.44, para uma meta de 7.20 horas e também, no mês de janeiro de 2007, onde os valores de DEC e FEC atingiram 2.4 e 3.00, para uma meta de 6.60 horas e 8.40 interrupções. No ano de 2008 foi mais agravante onde no mês de março o DEC alcançou o índice de 4.69 para uma meta de 6.30 horas e nos meses de fevereiro e março o FEC atingiu 5.26 e 8.24 para um índice de 7.50 interrupções.

Portanto este conjunto apresenta um desempenho ruim e pelos motivos acima citado foi o escolhido para a realização de um estudo com o objetivo de minimizar os valores dos índices de continuidade e assim melhorar a qualidade dos serviços prestados a estes consumidores.

#### **6.4. Descrição do conjunto alimentador Monte Verde**

O alimentador que será analisado tem seu início a partir do barramento de 13,8kV da subestação SE – Monte verde da EEB – Empresa Elétrica Bragantina, localizado no Sul de Minas Gerais no distrito de Monte Verde do município de Camanducaia - MG.

O alimentador Monte Verde possui uma extensão de aproximadamente 35000 metros de primária com tensão de 13,8kV sendo que 28000 metros estão no padrão de rede convencional com condutor 4 e 2 CAA – Cabo de Alumínio com Alma de Aço e 7000 metros já esta no padrão adequado para aquela região com rede de distribuição compacta com condutor 50mm<sup>2</sup> e atende mais de 3000 consumidores e possui ao longo de sua extensão 122 transformadores de distribuição com relação transformação de 13,8/0,22kV.

Através de um relatório elaborado pela Empresa Elétrica Bragantina com as causas de todas as ocorrências verificadas no sistema de distribuição, tirando as ocorrências de iluminação publica, observa – se que:

- Aproximadamente 48% das ocorrências provocam interrupção no fornecimento de energia;
- Dos 48% ou 1150 casos que provocaram interrupção no fornecimento de energia, aproximadamente 46% das interrupções no fornecimento de energia podem ser resolvidas com a instalação de rede aérea compacta de distribuição de energia, entre as ocorrências estão relacionados às situações de curto-circuito desarme de chaves fusíveis, queima de elos fusíveis, queima de transformadores e cabos cortados.

## 6.5. Local para a viabilidade de rede aérea compacta

Para a realização desse estudo foi escolhido um setor do alimentador Monte Verde do distrito de Monte Verde, devido ao fato que este local apresenta uma densa arborização e que se têm problemas nos índices de continuidade e que mais gera custos de manutenção para a concessionária daquela região.

Este setor parte da chave fusível codificada através do código 03/0628 com extensão de aproximadamente 8km de rede de distribuição convencional, sendo que a maior parte é cercada por diversos tipos de arvores em sua maioria de grande porte, sendo necessárias podas regularmente.

Esta rede de distribuição se localiza na área urbana com alto índice turístico, ou seja existe um fluxo constante de pessoas, carros e animas o que deve ser levado em conta visto que qualquer problema que ocorrer nesta rede pode colocar em perigo a integridade física dos mesmos. Este é um fator de extrema importância, mais do que aspectos técnicos e econômicos tratam-se da segurança da população que circula pelo local.

Na figura 31 e 32 pode-se visualizar um esboço do mapa do distrito de Monte Verde bem como o local a que será alvo do estudo.

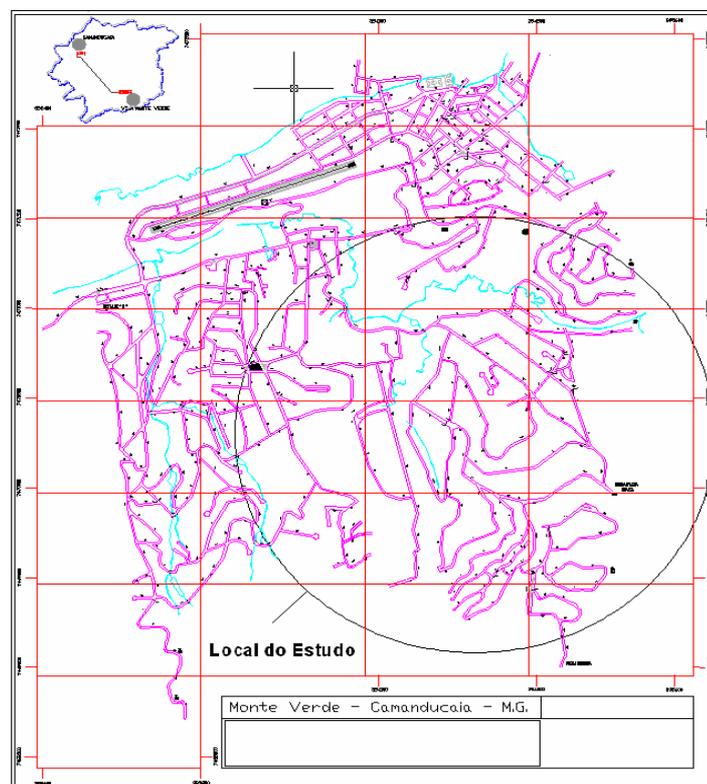


Figura 31: Mapa do distrito de Monte Verde

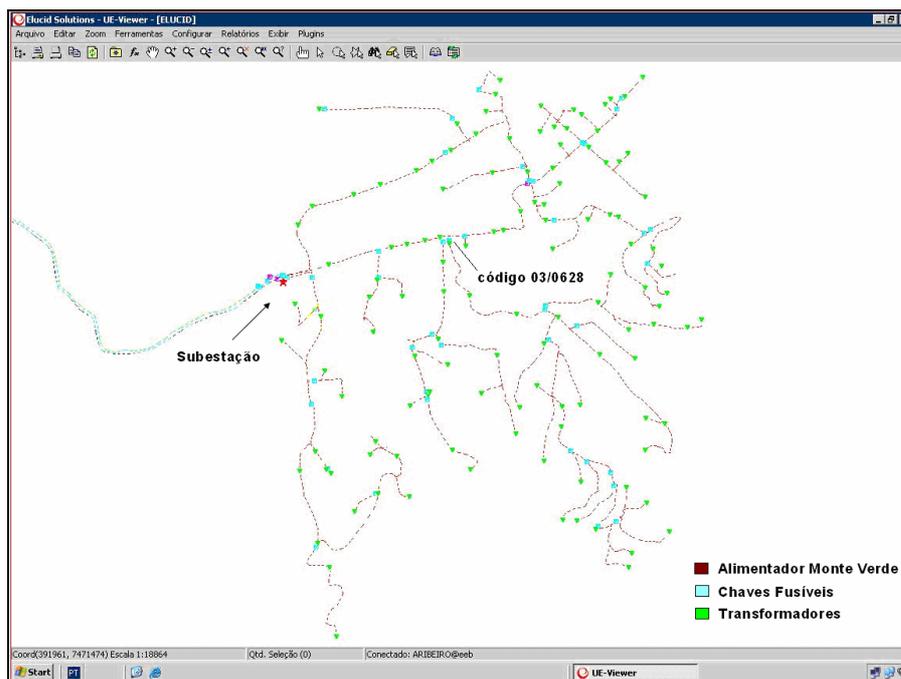


Figura32: Sistema Elétrico de Distribuição da EEB (Distrito de Monte Verde) com o trecho a ser substituído.

## 6.6. Situação da Rede de Distribuição

Como sabemos uns dos grandes problemas que se tem com rede de distribuição de energia aérea em cidades densamente arborizada são as arvores visto que atinge diretamente os condutores de energia elétrica, no distrito de Monte Verde este problema esta presente por toda parte visto que o local possui uma variedade de arvores. Para que esta arborização não venha causar problemas frequentes à rede de distribuição aérea, a Empresa Elétrica Bragantina pode optar entre duas técnicas de poda, a poda normal que é realizada a cada dois meses ou então pela poda excessiva que é efetuada a cada seis meses.

Normalmente a concessionária da preferência pela poda normal o que gera mais custos, mas não chega agredir tanto a planta e o meio ambiente de forma tão intensa, estas podas são de extrema importância, mas geram custos que devem ser observados, pois estes valores são considerados apenas para rede convencionais, uma vez que esta for substituída por redes compactas este valor cai em torno de 80%, o que significa uma economia anual considerável.

A concessionária Empresa Elétrica Bragantina dispõe de um contrato junto à empreiteira Sigma (terceirizada) que fornece serviços de podas de arvores para a concessão e disponibiliza uma equipe de 5 pessoas para o distrito de Monte Verde que fazem o serviço de manutenção preventiva

e corretiva na arborização do local. A equipe trabalha em torno de duas horas para cada poda a ser realizada.

Segundo a Empresa Elétrica Bragantina, leva-se em torno de 60 horas para podas normais que deve ser feito seis vezes por ano já a poda excessiva leva em torno de 90 horas e que se deve ser feito a duas vezes por ano e com base nesses dados podemos observar na tabela 3 o valor gasto anualmente pela concessionária com podas de árvores.

Tabela 3: Custo dos gastos anualmente com podas.

<b>Material e Serviço</b>	<b>Custo</b>
Valor do orçamento anual da poda normal	28.600,00
Valor do orçamento anual da poda excessiva	14.150,00
Diferença entre os valores sugeridos	14.450,00

Fonte: EEB, Setembro de 2008

Pode se observar na tabela acima que a poda normal feita por uma terceirizada gera um gasto anual para a concessionária de mais de R\$ 28.000,00, levando em conta custos com mão de obra, custo administrativo e transporte. Pode-se observar também que este valor se comparado com a poda excessiva é bem superior, mas torna-se a única solução visto que a poda excessiva não é aconselhável neste caso.

Estes valores mostram uma grande motivação para a substituição de rede de distribuição aérea convencional por redes compactas sendo que a manutenção é reduzida em 80% nesta topologia, o que gera uma economia de R\$ 22.880,00 reais por ano apenas na questão das podas, sem contar que a estética da planta praticamente não é danificada.

Para mostrar a real situação do local, serão mostradas algumas figuras e a necessidade da substituição da rede aérea convencional pela rede compacta.

Podemos observar na figura 33 uma poda realizada de maneira excessiva com a intenção de diminuir os problemas de ocorrência no sistema, onde a estética e seu desenvolvimento ficam prejudicados.



Figura 33: poda excessiva III

O distrito de Monte Verde apresenta em suas vias publicas um alto numero de arvores, estas arvores se encontra em meio à rede aérea de distribuição, se pode visualizar na figura 34.

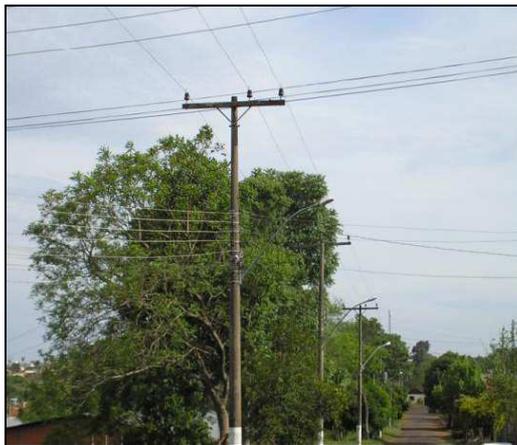


Figura 34: Via publica arborizada

Observa-se que são encontrados problemas tanto na rede de distribuição de media como na de baixa tensão. Pode ser visto na figura 35.



Figura 35: Rede de distribuição de media tensão e baixa tensão

Cruzamento de redes de distribuição de baixa tensão em um lugar densamente arborizado podendo causar falhas no sistema, situação encontrada no distrito de Monte Verde pode ser visto na figura 36.



Figura 36: encontro das redes de baixa tensão em local arborizado

Existe um conflito de rede de distribuição e árvores próximo a residências, onde em dias de ventos fortes pode trazer grande risco a população como pode ser visto na figura 37.



Figura 37: arborização perto de casas

Depois desta apresentação de figuras podemos concluir que o distrito de Monte Verde é um lugar onde se deve ter uma atenção especial pela concessionária Empresa Elétrica Bragantina onde a probabilidade de interrupções não programadas ocorrer é muito grande, e a segurança da população que reside no local pode ser comprometida diante de situações adversas.

Este trabalho tem a finalidade de buscar uma alternativa viável para que a concessionária elimine alguns destes problemas sem que haja um investimento alto e aumentando a melhoria no sistema de distribuição local. Com esse objetivo alcançado todo mundo tende a ganhar como energia de qualidade e fornecimento de energia integral.

## **6.7. Proposta de melhoria do Sistema**

Com os índices de continuidade DEC/FEC alto e pagamentos de multa pela concessionária o objetivo é propor uma diminuição nos índices DEC/FEC em função de melhoria no sistema de distribuição de energia, levando em consideração os aspectos ambientais e econômicos envolvidos. Como já foi citado o setor do distrito de Monte Verde pertence ao conjunto Alimentador Monte Verde o qual será analisado.

Com base nos históricos das ocorrências de interrupções no sistema de distribuição de energia elétrica da Empresa Elétrica Bragantina no ano de 2008 (dados relativos até o mês de Agosto), uma ação de melhoria proposta para o alimentador Monte Verde é a substituição da rede de distribuição aérea convencional para rede de distribuição aérea compacta.

É importante ressaltar que a substituição da rede deve ocorrer, quando houver a necessidade da retirada da rede de distribuição aérea existente, por motivos de vida útil da rede e impossibilidade de atuação da rede no sistema, isso porque que a rede tem seu funcionamento adequado por um período determinado pelo fabricante.

## **6.8. Construção de Rede compacta**

A construção de rede aérea de distribuição compacta traz diversos benefícios à concessionária como diminuição nos índices de continuidade em decorrência da significativa melhoria da confiabilidade atribuída ao uso desta tecnologia e por outro lado um fator importante é a questão ambiental que vem recebendo uma atenção especial por partes das autoridades. Por ter um custo maior que a rede aérea convencional a rede compacta se restringe a locais densamente arborizados, redes com vários circuitos em ruas estreitas, condomínios fechados e ramais com altas taxas de falhas. Baseado nestas afirmações o distrito de Monte Verde foi escolhido devido à presença de todas essas características em seu sistema de distribuição.

A Empresa Elétrica Bragantina tem um interesse de eliminar o pagamento de multas imposto por ultrapassar as metas de continuidade e na redução de custos com a manutenção preventiva e corretiva o que se refere a corte e podas de arvores.

## **6.9. Levantamento de Custos**

A concessionária de energia Empresa Elétrica Bragantina tem suas próprias estimativas de custo por km de rede aérea convencional e compacta que será apresentado logo abaixo em formas de tabelas.

### **6.9.1. Custo para Instalação da Rede Aérea Convencional**

Conforme foi mencionado acima o custo para a implantação da rede aérea convencional pela concessionária empresa elétrica bragantina poderá ser observado na tabela 4.

Tabela 4: Custo médio para a implantação de rede aérea convencional.

<b>Tipo de Rede</b>	<b>Custo por KM (R\$/KM)</b>
Rede Primária – Classe 15kV	36.819,56
Rede Secundária Nu	25.233,00
Rede Primária e Secundária	50.731,77

Fonte: EEB, Setembro de 2008

Pode se observar na tabela acima que os preços da rede primária e da rede secundária estão incluso os postes a serem instalados para cada topologia, já a rede primaria e secundaria está incluso os postes sendo que a secundária passaria a ser considerado os postes existentes.

### **6.9.2. Custo para Instalação da Rede Aérea Compacta**

Conforme foi mencionado anteriormente o custo para a implantação da rede aérea compacta pela concessionária, pode ser observado na tabela 5.

Tabela 5: Custo médio para a implantação de rede aérea compacta.

<b>Tipo de Rede</b>	<b>Custo por KM (R\$/KM)</b>
Rede Primária – Classe 15kV	48.315,97
Rede Secundária Isolada	26.160,00
Rede Primária e Secundária	60.260,96

Fonte: EEB, Setembro de 2008

Obs.: vale a pena salientar que na tabela acima que os preços da rede primária e da rede secundária estão incluso os postes a serem instalados para cada topologia, já a rede primaria e secundaria está incluso os postes sendo que a secundária passaria a ser considerado os postes existentes.

Com estes dados apresentados acima se pode fazer o calculo de quanto sairia o custo para a instalação da rede aérea compacta no distrito de Monte Verde no determinado setor codificado através do código **03/0628** conforme especificado anteriormente. Como foi mencionado anteriormente o setor possui aproximadamente 8km de redes aéreas de distribuição convencional, sendo assim o custo da substituição está apresentado na tabela 6 logo abaixo.

Tabela 6: Estimativa de custo médio para a implantação de rede aérea compacta no setor 03/0628.

<b>Tipo de Rede</b>	<b>Custo por KM (R\$/KM)</b>
Rede Primária – Classe 15kV	386.527,76
Rede Secundária Isolada	209.280,00
Rede Primária e Secundária	482.087,68

Fonte: EEB, Setembro de 2008.

Iremos considerar o valor da instalação da rede aérea convencional de R\$ 405.854,16, conforme a Empresa Elétrica Bragantina, e se comparado a R\$ 482.087,68 da rede aérea compacta onde se pode observar que a diferença do investimento inicial é de R\$ 76.233,52 para o referido setor do alimentador Monte Verde. Se a economia anualmente de podas de arvores é de aproximadamente R\$ 23.000,00 a substituição seria paga em 3 anos e meio de utilização o que torna esta substituição viável, visto que a economia seria bem maior, pois ela não se restringe apenas às podas.

## 6.10. Análise Econômica de Implementação de Redes Aéreas Compactas

A rede compacta apresenta um investimento superior de aplicação em relação às redes aéreas convencionais, o que se deve levar em conta são as inúmeras vantagens das redes de distribuição aéreas compacta.

Uma experiência realizada pela concessionária COPEL na cidade de Maringá mostra uma Análise Econômica de Aplicação das Redes Compactas, e os diversos atrativos desta tecnologia.

Foi realizada pela COPEL concessionária de energia elétrica uma obra de substituição de 50km de rede de distribuição aérea convencional por redes de distribuição aéreas compactas. Os dados estão apresentados na tabela 7, abaixo:

Tabela 7: Redução nos Custos de Manutenção

Alimentador	Comprimento (km)	Custo de Manutenção (Hxh)		Redução (%)
		Antes	Depois	
1	12,77	7.324,36	1.106,34	84,90
2	18,01	6.211,31	1.504,98	75,77
3	22,57	4.850,65	1.012,48	79,13
<b>Total</b>	<b>53,35</b>	<b>18.386,32</b>	<b>3.623,80</b>	<b>80,29</b>

Fonte: COPEL – Dados referentes há um ano.

Com a utilização de redes compactas o custo da manutenção reduziu como é mostrado na tabela acima, onde a concessionária obteve uma redução de 80,29% nos custos totais de manutenção, o que representou uma economia de R\$ 14.762,52 em um período considerado.

Abaixo pode ser visto no gráfico 5 uma avaliação do comportamento do DEC na medida em que trechos de um alimentador foram sendo substituídos de RDC para RDP [17].

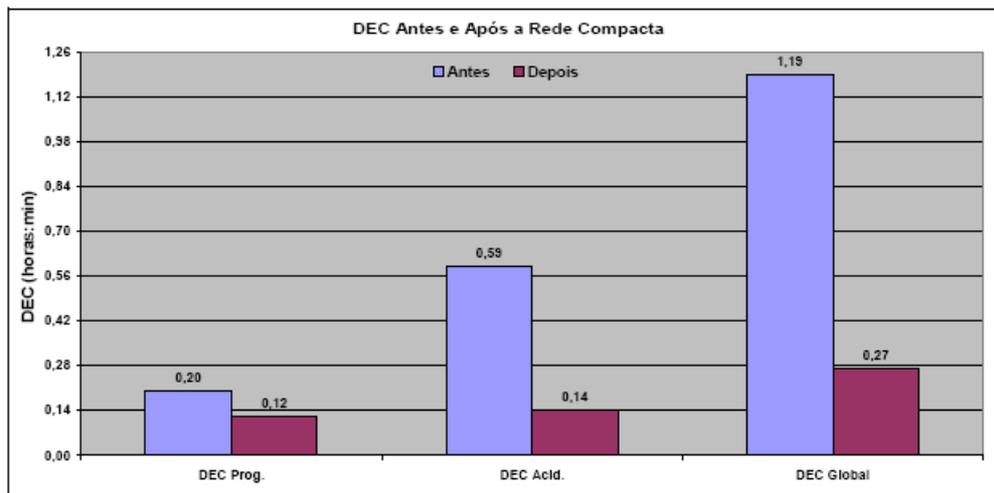
Gráfico 5: Diminuição do DEC com a alteração dos trechos do alimentador de RDC para RDP.



Fonte: COPEL

Os dois gráficos (6 e 7) abaixo apresentam uma comparação dos dados de DEC e FEC totais, programados e acidentais, anteriores a instalação da rede compacta e posteriores a alteração promovida pela concessionária.

Gráfico 6: DEC Global Antes e Após a Rede Compacta

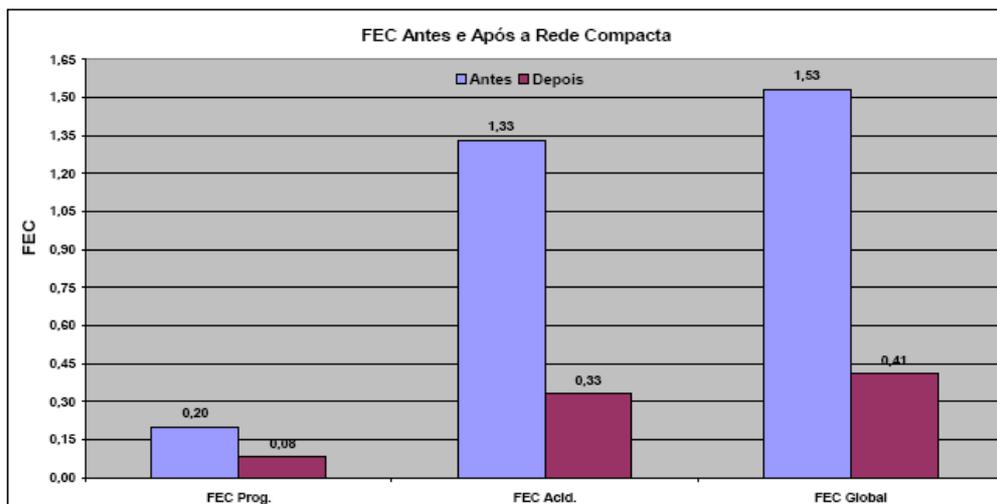


Fonte: COPEL

Ao analisarmos o gráfico 6, nota-se que as ocorrências de DEC Prog. (DEC em decorrência das interrupções programadas) diminuiram 40%, ou seja, 8 minutos. As ocorrências de DEC Acid. (DEC em decorrência das interrupções acidentais) apresentaram uma diminuição de 76%, ou seja, 45 minutos. Para os valores de DEC Global a diminuição do tempo de interrupção de fornecimento de energia apresentou redução de 77%, ou seja, 52 minutos.

Agora analisando os dados do gráfico 7, percebe-se que a frequência de interrupção programada (FEC Prog.) diminuiu 60%, a frequência das interrupções acidentais (FEC Acid.) diminuiram 75% e a frequência de interrupção global diminuiu 73%.

Gráfico 7: FEC Global Antes e Após a Rede Compacta



Fonte: COPEL

Com os dados apresentados anteriormente, verificou-se que o retorno do investimento ocorre em um período de tempo bastante atraente devido à redução significativa nos custos de manutenção, que foram da ordem de 80%, redução nos custos de interrupção de fornecimento, redução nos custos de podas, melhorias na imagem da empresa e ainda na redução de outros custos indiretos que não foram analisados.

A empresa NEXANS elaborou uma pesquisa analisando os índices de continuidade DEC e FEC médio e mostrando as principais diferenças entre as redes aéreas existentes (convencional), e as redes aéreas com a nova tecnologia (compacta), os resultados estão apresentados abaixo nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8: Diferenças Entre os Valores das Interrupções DEC

### Índice DEC médio para redes existentes e redes com tecnologia nova

Natureza da interrupção		Valor (h/consumidor-ano)		
		RDA Convencional	RDA Isolada	RDA Protegida
Programada	Construção	1,5	1,5	1,5
	Manutenção	2,25	0,5	0,75
	Terceiros	0,4	0,2	0,25
Acidental	Próprias	2	0,35	0,7
	Meio ambiente	4,25	0,3	0,45
	Outros	1,1	0,4	0,55
	Total	11,5	3,25	4,2

Fonte: NEXANS

Notas: 1 – índice médio das empresas do RJ, MG, SP e PR.

2 – Interrupções sustentadas ( $\geq$  de 3 minutos).

Tabela 9: Diferenças Entre os Valores das Interrupções FEC

#### Índice FEC médio para redes existentes e redes com tecnologia nova

Natureza da interrupção	Valor (h/consumidor-ano)		
	RDA Conventional	RDA Isolada	RDA Protegida
Programada	2,4	1,5	1,7
Acidental	6,6	1,5	2,3
Total	9,0	3,0	4,0

Fonte: NEXANS

Notas: 1 – índice médio das empresas do RJ, MG, SP e PR.

2 – Interrupções sustentadas ( $\geq$  de 3 minutos).

As redes aéreas compactas apresentam diversas vantagens diante das redes convencionais, dentre elas se destacam a diminuição nos custos de manutenção em 80%, a diminuição considerável dos indicadores de continuidade DEC e FEC, extinção das podas excessiva e conseqüentemente menor interferência no meio ambiente. O investimento desta tecnologia gera em torno de 20% a mais que a convencional o que torna uma desvantagem.

Com todas essas vantagens da rede compacta, estima-se que a substituição das redes aéreas convencionais pelas compactas teria seus gastos equilibrados em um período estimado de 3 anos e meio.

Ao analisar os benefícios que essa tecnologia traz para a concessionária consideramos esse período atraente.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A finalidade deste trabalho foi mostrar para a concessionária de distribuição de energia elétrica que existe uma maneira de se diminuir os indicadores de continuidade dos gastos gerados com operação bem como do impacto ambiental causado pelas podas excessivas.

Foram apresentadas informações do sistema de distribuição de energia elétrica, detalhando o que são rede aérea compacta e suas principais características, seguido de estratégias de planejamento, operação e de manutenção, fazendo a análise de um sistema de distribuição real visando proporcionar menor agressão ao meio ambiente e com isso trazer benefícios para a concessionária e para a população atendida pela mesma.

A concessionária apresentou dados do conjunto alimentador monte verde onde se apresenta valores preocupantes relativos a continuidade de energia, e por este motivo foi escolhido um setor deste alimentador que possui intensa arborização para a realização de um estudo que propõe uma ação efetiva para trazer melhorias para a concessionária.

A construção de rede aérea de distribuição compacta foi escolhida como alternativa de investimento. Embora seu custo seja superior se comparado com redes aéreas convencionais, através do estudo realizado percebe-se que empresas que substituíram sua rede de distribuição aérea convencional por redes aéreas compactas obtiveram resultados bastante interessantes, como uma redução de 80,29% nos custos totais de manutenção, reduzindo em torno de 77% das ocorrências de DEC e 73% das ocorrências de FEC, e também levando em conta que o uso desta tecnologia é amplamente benéfico na questão ambiental. Isso nos leva a crer que o retorno de investimento deve ser estimado em um período de tempo bastante atraente. Como o presente trabalho propõe a substituição da rede somente em um setor específico, onde as taxas de falhas são bastante altas, a concessionária não precisa dispor de recursos para a implementação de rede compacta em todo o seu sistema de distribuição, o que seria inviável, a idéia é fazer um investimento maior apenas neste ponto o que se torna totalmente viável devido seu custo-benefício.

A análise realizada no sistema de distribuição, em especial na Vila de Monte Verde, pertencente ao alimentador Monte Verde, levou a comprovação de que a alternativa para a redução dos impactos ambientais causados pelas podas é viável, já que sua implementação proporcionará melhores índices de continuidade, redução de custos com manutenção e também estabelecerá uma boa imagem da concessionária a seus consumidores. Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se:

- Localizar outros pontos críticos da concessionária e propor a troca da rede aérea convencional, realizando um levantamento dos custos desta operação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica; **Resolução nº 24**, Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em outubro de 2008.
- [2] BALBI, André L. L. **Avaliação da Função Fiscalização na Estrutura Organizacional das Agências Estaduais de Regulação**. Salvador: UNIFACS, 2002. Dissertação de Mestrado - Universidade Salvador, 2000.
- [3] BURATTI, Rafael Pereira. **Análise dos Indicadores de Continuidade de Fornecimento em um Sistema de Distribuição de Energia Elétrica – Alternativas Para Diminuição dos Índices em um Sistema de Distribuição Real**. Ijuí, 2005.
- [4] COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Viabilidade Econômica de Redes de Distribuição Protegidas**. Belo Horizonte, 1998. (Relatório de Estudo de Distribuição), Disponível em:<<http://www.cemig.com.br>>. Acesso em setembro de 2008.
- [5] ELETROBRÁS. **Centrais Elétricas Brasileiras**. Memória da eletricidade no Brasil. Cronologia da História da energia elétrica no Brasil. 2003. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br>>, Acesso em agosto de 2008.
- [6] KAGAN, Nelson et al. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- [7] MELLO FILHO, L.E. Arborização Urbana. In: Encontro nacional sobre arborização urbana. Porto Alegre, 1985. **Anais**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 1985.
- [8] PIRELLI. Fios e Postes, desapareçam! **Revista Pirelli Club**, n.13, fev. 2001.
- [9] QUEIROZ Levi Góes de. **Análise Regulatória de Alternativas Para Distribuição de Energia Elétrica na Rede Primária em Áreas Urbanas**. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia, Universidade de Salvador. Bahia, 2003.

[10] SANCHOTENE, M.C.C. **Frutíferas Nativas Úteis à Fauna na Arborização Urbana**. Porto Alegre: Sagra, 1989.

[11] SARDETO, E. **Avaliação Técnica Econômica e de Impacto Ambiental da Implantação das Redes Compactas Protegidas em Maringá**. Monografia de Especialização – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999.

[12] SOARES, M. **Tecnologia para Redes Protegidas**. Apresentação técnica em Seminário. Governador Valadares, 2000.

[13] TANURE, Eduardo. **Regulação da Indústria de Energia Elétrica**. Apostila do Curso de Mestrado, 2001. Universidade Salvador. UNIFACS.

[14] NEXANS. **Redes Compactas**. Informação relacionada, Disponível em: <<http://www.nexans.com.br>>. Acesso em setembro de 2008.

[15] VELASCO, Giuliana Del Nero. **Arborização Viária X Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Avaliação de Custos, Estudo das Podas e Levantamentos de Problemas Fitotécnicos**. São Paulo: USP, 2003. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2003.

[16] PLP – Produtos para Linhas Preformados. **Rede Compacta Protegida**. Disponível em: <<http://www.plp.com.br>>. Acesso em agosto de 2008.

[17] BANDEIRANTE ENERGIA DO BRASIL – **Padrões e Especificações Técnicas – Norma ID-4005**. Disponível em: <<http://www.bandeirante.com.br>>. Acesso em setembro de 2008.

[18] **GRUPO REDE** – Site da companhia. Disponível em: <<http://www.gruporede.com.br>>. Acesso em agosto de 2008

[19] **COPEL Companhia Paranaense de Energia** - Site da companhia. Disponível em: <<http://www.copel.com.br>> Acesso em setembro de 2008

- [20] LANGOWSKI, E.; KLECHOWICZ, N. A. **Manual prático de poda e arborização urbana**. 3 ed. Cianorte: APROMAC, 2001. 42P.
- [21] HOEHNE, F.C. **Arborização Urbana**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio, 1944. 215p.
- [22] CASTRO, N. S. de **Importância da arborização no desempenho técnico da gerência da coordenação regional de Porto Alegre**. Porto Alegre, 2000. 96 p. Monografia (especialização) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [23] MELLO FILHO, L.E. **Arborização Urbana**. In: **Encontro Nacional sobre Arborização Urbana**, 1. Porto Alegre 1985. Anais. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 1985. p. 117-127.
- [24] MILANO, M. S. **Avaliação e Análise da Arborização de Ruas de Curitiba – PR**. Curitiba, 1984. 130p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.
- [25] GREY, G.W.; DENEKE, F.J. **Urban Forestry**. New York: John Wiley, 1978. 279 p.
- [26] DETZEL, V.A. **Avaliação Monetária de Árvores Urbanas**. In: Encontro Nacional sobre Arborização Urbana, 3. Curitiba, 1990, Anais. Curitiba: FUPEF, 1990 p. 140-152.
- [27] DETZEL, V.A. **Avaliação Monetária e de Conscientização Pública sobre Arborização Urbana: Aplicação metodológica à situação de Maringá – PR**. Curitiba, 1993. 84p. Dissertação (M.S.) – Universidade Federal do Paraná.
- [28] BIONDI, D. **Critérios para a introdução de espécies na arborização urbana**. In: Congresso Brasileiro de Arborização Urbana, 3. Salvador, 1996. Anais. Salvador: 1996. p. 97-102.
- [29] COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. **Coexistência dos Sistemas elétricos de distribuição e arborização**. Rio de Janeiro, 1990. 64p. (Relatório SCOM 37.02).