

UNIVERSIDADE SALVADOR
Departamento de Engenharia
Mestrado em Regulação da Indústria da Energia

**Análise regulatória de alternativas para
distribuição de energia elétrica na rede
primária em áreas urbanas**

Mestrando: Levi Góes de Queiroz

SALVADOR / BAHIA
2003



UNIVERSIDADE SALVADOR
Departamento de Engenharia
Mestrado em Regulação da Indústria da Energia

**Análise regulatória de alternativas para
distribuição de energia elétrica na rede
primária em áreas urbanas**

Mestrando: Levi Góes de Queiroz

Trabalho acadêmico apresentado como requisito
para obtenção do grau de Mestre em Regulação da
Indústria de Energia pela Universidade Salvador.
Orientador Professor Doutor André Valente.

SALVADOR / BAHIA

01 de Setembro de 2003



Ficha Catalográfica – Sistema de Bibliotecas da Unifacs

Q3a

Queiroz, Levi Góes de,

Análise regulatória de alternativas para distribuição de energia elétrica na rede primária em áreas urbanas / Levi Góes de Queiroz; orientador Prof. Dr. André Valente. – Salvador, 2003.

159 f.

Trabalho acadêmico apresentado como requisito para obtenção do grau de Mestre em Regulação da Indústria de Energia pela Universidade Salvador.

1. Energia elétrica. 2. Energia elétrica - Distribuição. 3. Energia Elétrica – Regulação I. Valente, André, orien. II. Título.

CDD: 333.7932



Queiroz, Levi G. de : **“Análise regulatória de alternativas para distribuição de energia elétrica na rede primária em áreas urbanas”**, trabalho acadêmico apresentado como requisito para obtenção do grau de Mestre em Regulação da Indústria de Energia pela Universidade Salvador; que foi julgado para aprovação pelos professores doutores abaixo:

Professor Doutor André Valente
Departamento de Engenharia / Universidade Salvador.
Orientador

Professor Doutor Lineu Belico dos Reis
Departamento de Engenharia / Universidade de São Paulo
Banca examinadora

Professor Doutor James Correia
Departamento de Engenharia / Universidade Salvador.
Banca examinadora



Agradecimentos

Ao Coordenador do curso de Mestrado **Professor Doutor James Correia**, pela receptividade encontrada em todos os momentos do curso. Desde o primeiro dia quando em entrevista incentivou e apostou no meu interesse, além de, durante o mesmo ter feito o convite para que ensinasse no curso de graduação da Universidade Salvador o que veio a reforçar o meu interesse pela carreira acadêmica.

Ao orientador dessa dissertação e também professor do curso de Mestrado **Professor Doutor André Valente**, pela receptividade encontrada em todos os momentos em que foi necessária a sua intervenção.

A **todos os Professores** que fazem parte do corpo docente do curso de Mestrado.

A empresa brasileira **ELETROBRAS S/A** que através da concessão de uma bolsa de estudos apoiou financeiramente o aluno, tornando possível a conclusão do mestrado e desse projeto de pesquisa.

A **UNIVERSIDADE SALVADOR S/C UNIFACS** pela qualidade do curso oferecido, através dos funcionários e professores envolvidos.

Ao Nosso Senhor **Deus** pela força nos momentos em que mais precisava.

Aos meus pais, **José Queiroz** e **Maria Dalva**, que deu a melhor de todas as heranças aos seus filhos, a educação.

A minha família: Jacqueline, Camila e Carolina.



R E S U M O

O objetivo principal dessa dissertação é exatamente estimular o questionamento do desenvolvimento urbano, particularmente no que se refere à sua infra-estrutura necessária para a distribuição da energia elétrica, através de uma análise regulatória das alternativas de rede primária nos aspectos mais genéricos.

Será apresentada uma cronologia de implantação na distribuição de energia em áreas urbanas criando uma ligação entre a história das concessionárias no Brasil e os modelos tecnológicos de distribuição adotados. A seguir serão apresentadas as tecnologias disponíveis para distribuição com a utilização de linhas aéreas comparando custos e benefícios. Depois serão apresentadas as tecnologias disponíveis para distribuição com a utilização de linhas subterrâneas também comparando custos e benefícios.

Num segundo momento será desenvolvido um estudo de casos de duas cidades em países desenvolvidos e duas no Brasil. A seguir será proposto, baseado nos casos estudados, um modelo de regulação para o setor.

Evidentemente esse trabalho não é o primeiro nem será o último que aborda os impactos das diversas tecnologias de distribuição. Mas tem somente a pretensão de fomentar a divulgação e discussão através da proposição de um modelo regulatório que discipline melhor as práticas do setor; questionando mais segurança, economia e preservação do meio ambiente.



ABSTRACT

The main objective of this dissertation is precisely to stimulate the debate of the urban development, particularly in what it relates to its necessary infrastructure for the distribution of the electric energy, through a regulatory analysis of the alternatives of primary network in the most generic aspects.

It will be presenting an implantation chronology of the distribution of energy in urban areas; creating a link between the history of the concessionaires in Brazil and the technological models of distribution adopted. Then to show and to divulge the available technologies for distribution with the use of overhead lines comparing costs and benefits. Later to show and to divulge the available technologies for distribution with the use of underground lines comparing costs and benefits.

This dissertation intends in a second moment to develop a study of cases of two cities in developed countries and two in Brazil. Then to propose, based in the studied cases, a model of regulation for the sector.

Evidently this work is not the first one nor will be the last one that broaches the impacts of the diverse technologies of distribution. But it has only the pretension to foment the divulgation and the debate, through the proposition of a regulatory model that better disciplines the practicals of the sector, questioning more security, economy and environment preservation.



SUMÁRIO

Capítulo 1 - Distribuição de Energia Elétrica

1.1. Objetivos da dissertação.....	08
1.2. Estrutura do texto.....	11
1.3. Conceitos relacionados ao tema	13

Capítulo 2 – Histórico da distribuição de energia elétrica no Brasil

2.1. Formação da cultura nas empresas de eletricidade.....	22
2.2. Análise da legislação pertinente ao tema	27
2.3. Estruturação atual da concessão e da regulação	41

Capítulo 3 – Novas tecnologias de distribuição urbana em redes aéreas

3.1. Aspecto técnico.....	43
3.2. Aspecto econômico.....	54
3.3. Aspecto ambiental	60

Capítulo 4 – Novas tecnologias de distribuição urbana em redes subterrâneas

4.1. Aspecto técnico.....	71
4.2. Aspecto econômico.....	91
4.3. Aspecto ambiental.....	101



Capítulo 5 – Distribuição urbana - estudo de casos

5.1. Análise da tendência mundial.....	116
5.2. Em países desenvolvidos	118
5.3. Em países em desenvolvimento	126

Capítulo 6 – Propostas de regulação e conclusões

6.1. Situação atual	144
6.2. Propostas de regulação e de estudos futuros.....	147
6.3. Conclusões finais	152

Referências Bibliográficas.....	157
--	------------

Lista de Figuras.....	162
------------------------------	------------

Lista de Tabelas.....	165
------------------------------	------------



Capítulo 1

Distribuição de Energia Elétrica

1.1. Objetivos da dissertação.

Um dos aspectos mais evidentes que separam os países desenvolvidos economicamente e os países em desenvolvimento está nas enormes diferenças que existem nas infra-estruturas urbanas. Quando se compara, por exemplo, a cidade de Paris na França com a cidade de Salvador no Brasil nota-se prontamente uma assimetria no que se refere aos tipos de moradia, de transporte, de distribuição de água e de energia elétrica assim como a rede de saneamento.

De imediato aquele que é leigo em assuntos de infra-estrutura urbana aponta para única e exclusiva causa de todas essas diferenças a disponibilidade de recursos financeiros para se investir nesse campo. Porém partindo para uma análise mais apurada, observa-se que em muitos casos além de possuir menos recursos financeiros os países em desenvolvimento não utilizam os mesmos da maneira mais correta. Isso se deve ao fato dos modelos de urbanização serem na sua maioria impostos aos países em desenvolvimento através da cópia dos modelos de outros países sem o devido questionamento.

Assim os países em desenvolvimento pagam uma conta mais alta. Um exemplo disso se observa nos edifícios comerciais construídos em Salvador nos últimos 20 anos: prédios hermeticamente fechados com centrais de ar condicionando e com iluminação artificial diurna em uma cidade tropical bem ventilada e muito bem iluminada; conseqüentemente



tem-se uma enorme quantidade de energia desperdiçada em um país que passou recentemente por um racionamento. Nesse exemplo, focalizando o escopo desse trabalho, a efficientização energética foi preterida nas discussões dos construtores.

Nessa linha coloca-se o **objetivo principal** dessa dissertação que é exatamente fomentar o questionamento dos modelos de desenvolvimento urbano, particularmente no que se refere a sua infra-estrutura necessária para distribuição de energia elétrica.

A **motivação** para o desenvolvimento desse tema reside na observação de que existe uma lacuna na legislação regulatória referente às definições de padrões de redes de distribuição primária. Abre-se nesse ponto um dilema em relação ao papel do poder concedente que se por um lado preconiza conceitos de segurança, confiabilidade e meio ambiente; por outro deixa pendente a existência de uma legislação que fundamente os direitos e deveres dos diversos atores envolvidos.

No entendimento do autor dessa dissertação, a melhor maneira de fazer essa abordagem é posicionar-se no ponto de vista do consumidor, destacando-se quatro aspectos julgados imprescindíveis: **confiabilidade, segurança, economia e meio ambiente.**

A **confiabilidade** da continuidade em níveis adequados é o aspecto mais visível da falta de qualidade no fornecimento de energia elétrica. “ Faltou luz ! ”. Essa expressão é citada instantaneamente por alguém quando se percebe a interrupção no fornecimento. “...Deu uma queda e voltou muito forte...” é outra expressão muito comum quando os níveis de tensão inadequados trazem transtornos à vida moderna. Será visto no item 2.2. desse trabalho que a legislação reguladora é severa quando trata do assunto. Portanto a evolução tecnológica deve caminhar no sentido de melhorar a confiabilidade na continuidade em níveis de tensão adequados. Nesse aspecto esse trabalho tem bastante aderência com essa preocupação, porque segundo a ABRADDEE - Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica – (ref.12) em média no Brasil um consumidor está sujeito a falta de energia elétrica adequada em 12 horas por ano (dados do ano 2.000).



Desse total **70%** são provocadas por problemas que surgem na rede primária urbana. Essa taxa de falhas na rede primária pode ser uma consequência da falta de regulamentação para os padrões de rede.

A **segurança** é outra preocupação latente ao consumidor. Mesmo os mais desavisados sabem que a exposição à eletricidade é perigosa e pode matar. Nesse caso o perigo está presente em dois fenômenos resultantes da passagem da corrente elétrica pelo corpo humano. Primeiramente quando essa corrente tem um valor muito alto (na faixa de dezenas de ampères) ela tem a capacidade de queimar os tecidos do corpo humano. Outro aspecto é que a corrente elétrica, mesmo com um valor pequeno (50mA) passando pelo coração pode provocar uma parada cardíaca através da arritmia .

A racionalidade **econômica** também é um fator relevante, pois os investimentos em confiabilidade e segurança têm que estar otimizados para serem compatíveis com a capacidade de pagamento dos consumidores. Evidentemente que dentro de qualquer processo de evolução tecnológica objetivando a melhoria estará sempre presente o dilema *custos x benefícios*. Porém no dilema econômico tem-se que fazer 02 considerações:

1. custos x benefícios tangíveis – são aqueles onde se pode com facilidade definir valores pecuniários que traduzem os custos e benefícios de cada padrão de rede. Por exemplo, investir em padrões de redes mais arrojados para diminuir as perdas técnicas.
2. Custo x benefícios intangíveis – são aqueles onde não se pode com facilidade definir valores pecuniários que traduzem os custos e benefícios de cada padrão de rede. Por exemplo, investir em padrões de redes mais arrojados para diminuir o número de acidentes com vítimas fatais.

Por fim , o **meio ambiente** é o elemento harmonizador na qualidade de vida do homem, pois antes de precisar de energia elétrica ele precisa dos recursos naturais para sobreviver, sendo esse aspecto também devidamente considerado na análise proposta pelo trabalho.



1.2. Estrutura do texto

Para alcançar o objetivo principal essa dissertação pretende primeiramente evidenciar alguns conceitos importantes no capítulo 1.3. para os leitores desse trabalho que **não têm formação técnica em eletricidade**.

Em seguida no capítulo 2 apresentar uma cronologia de implantação na distribuição de energia em áreas urbanas (2.1.) investigando uma ligação entre a história das concessionárias no Brasil e os modelos tecnológicos de distribuição adotados. Porque não foi adotado outro modelo e porque agora existe um questionamento no sentido de melhorar o padrão da distribuição. Nessa parte do texto (2.2.) será dada ênfase a legislação que é concernente ao setor, com os comentários devidos, já que no final desse trabalho será proposto um modelo de regulação que deve estar sintonizado com a legislação vigente.

No capítulo 3 serão apresentadas as tecnologias disponíveis para distribuição com a utilização de linhas aéreas. Serão analisados três aspectos: o técnico (3.1), o econômico (3.2) e o ambiental (3.3). Dentro dessas análises serão comparados custos e benefícios tangíveis e intangíveis dentro das preocupações apresentadas em 1.1.

Em seguida no capítulo 4 apresentar e divulgar as tecnologias disponíveis para distribuição com a utilização de linhas subterrâneas. Serão analisados três aspectos: o técnico (4.1), o econômico (4.2) e o ambiental (4.3). Dentro dessas análises serão comparados custos e benefícios dentro da proposição voltada para o fornecimento de energia (1.2). Esse capítulo será o mais rico de todos no sentido da divulgação de novas tecnologias de distribuição. Isso porque a distribuição subterrânea recente é a vanguarda na evolução de produtos e procedimentos: serão apresentados principalmente artigos técnicos sobre as novas aplicações que vêm otimizando cada vez mais as instalações subterrâneas. Essa diminuição do custo através do ganho em escala também será amplamente abordada.



A seguir, no capítulo 5 será elaborado um estudo de casos de duas cidades em países desenvolvidos e duas no Brasil . Esse estudo apresenta-se como a tarefa mais trabalhosa dessa dissertação por conter um contexto difuso e eventualmente intangível em muitos aspectos. A preocupação colocada para comparar os países desenvolvidos aos subdesenvolvidos nessa parte do trabalho visa temperar a discussão colocada na introdução sobre a formação de uma cultura de desenvolvimento urbano.

Contempla-se então no início do capítulo 6 a proposição, baseado nos casos estudados, de um modelo de regulação para o setor. Essa proposição também contempla um posicionamento do autor assim como ponderações feitas por especialistas nos temas apresentados.

No final do capítulo 6 serão apresentadas as conclusões do trabalho e a sua aderência com os objetivos propostos.



1.3. Conceitos relacionados ao tema

No Século XX, a partir da utilização prática dos fenômenos elétricos como a iluminação e a força eletromotriz, a energia elétrica é eleita como um recurso indispensável na vida moderna. No final do Século XX e começo do Século XXI o uso da energia sob forma de eletricidade é vital para quase todas as atividades do homem. Não se imagina daqui para frente a vida sem os benefícios da energia elétrica. O aproveitamento da conversão da energia elétrica para produzir iluminação artificial muda completamente os hábitos noturnos da humanidade. A conversão da energia elétrica em força eletromotriz através dos motores traduz um mundo novo nas relações de trabalho.

Esse conforto está disponível ao consumidor a partir de um sistema elétrico de potência que consiste em **três** elementos principais: as centrais **geradoras** (que convertem a energia disponível de outras fontes em energia elétrica), as linhas de **transmissão** (que elevam e abaixam a tensão do sistema permitindo o transporte de grandes blocos de energia) e as subestações de **distribuição** (que permite que cada consumidor esteja diretamente ligado ao sistema).

As centrais geradoras são as usinas de conversão de algum tipo de energia na forma em que se encontram em energia elétrica. Portanto a central geradora é o **coração** de um sistema elétrico de potência.

Depois que a energia é convertida da sua forma original em energia elétrica ela precisa ser transportada. Porém a quantidade de energia a ser transportada obedece as seguintes expressões da Física:

2

$$[1] \text{ Potência Elétrica Transportada} = \text{Tensão Elétrica} \times \text{Corrente Elétrica}$$

$$[2] \text{ Potência Elétrica Dissipada} = \text{Impedância da Rede} \times (\text{Corrente Elétrica})$$



Portanto para que as linhas de transmissão possam deslocar blocos de energia (potência elétrica) cada vez maiores, a partir da análise da expressão [1] conclui-se que é possível com o aumento da tensão elétrica ou com o aumento da corrente elétrica. Porém o aumento da corrente elétrica traz um complicador, pois por outro lado existe uma perda ou desperdício de potência resultante do movimento dos elétrons no condutor que é traduzida pela expressão [2].

Assim a única solução para o transporte de blocos de energia na forma de eletricidade em quantidades cada vez maiores só existe com um aumento da tensão elétrica da rede de transmissão. E de fato observando a **figura 1** (ref.35) verifica-se que isso é feito com o auxílio de transformadores elevadores de força que se encontram logo na saída. As linhas de transmissão são as grandes **veias** do sistema.

Continuando essa trajetória a energia sob forma de eletricidade chega aos centros consumidores. Nesse ponto do sistema elétrico de potência as tensões das redes de transmissão precisam ser novamente reduzidas, pois em níveis muito alto as tensões elétricas podem comprometer a segurança do ambiente. Assim são necessários as subestações abaixadoras e os transformadores de distribuição. Nesse ponto os níveis de tensão estão aceitáveis para serem utilizados pelos consumidores. As redes de distribuição são os vasos **capilares** do sistema.

Os sistemas elétricos de potência constituem-se na sua maioria redes bastante complexas. A geração, transmissão e distribuição de energia não seguem necessariamente a ordem colocada na explanação anterior. Conforme ilustra a **figura 1** o sistema pode atender a consumidores industriais diretamente a partir da linha de transmissão ou como é mais comum aos consumidores residenciais e comerciais a partir das redes de distribuição urbana que fornecem energia em baixa tensão depois que os ramais alimentadores passam pelos transformadores instalados próximos aos pontos de entrega onde normalmente as tensões estão abaixo de 1.000 Volts.



A tarefa de um Engenheiro de Sistemas de Potência não é das mais fáceis. Ele precisa conhecer profundamente cada detalhe das três partes do sistema para compor um todo, pois todas elas são intrinsecamente interligadas. Ele parte do princípio de que toda a unidade consumidora tem que ser atendida e portanto os ramais de distribuição devem estar perfeitamente projetados para suportar essa e outras cargas supervenientes. Os condutores e os transformadores não devem contribuir para o consumo da energia que se pretende entregar. Por outro lado as linhas de transmissão também devem estar bem dimensionadas para suportar as correntes e altas tensões necessárias ao deslocamento de grandes blocos de energia. Enfim as unidades geradoras estarão preparadas para fornecer energia atendendo a demanda de potência requerida pelos consumidores, que tecnicamente varia com a época do ano e com horários diários. Eventualmente o sistema estará na sua ponta – horário de maior consumo do conjunto.

As empresas de distribuição fazem estudos de como serão as previsões de comportamento da carga e as demandas que devem ser atendidas. Ao mesmo tempo solicitam da empresa que está fornecendo energia os níveis de qualidade necessários a serem repassados para o consumidor.

As empresas de transmissão entram com os menores ativos, porém são muito exigidas tanto pelas empresas de distribuição quando pelas empresas de geração que estão dos dois lados de seu sub-sistema. Em muitos países, a exemplo do Brasil, a transmissão ganha uma enorme importância quando diferentes sistemas são **interligados**. A interligação é recomendada para melhorar os níveis de continuidade e maior homogeneidade no fluxo de energia tornando o fornecimento mais confiável. Porém a interligação exige procedimentos complexos que são inerentes aos sistemas trifásicos de corrente alternada como a sincronia entre as fases, o controle do fluxo de potência e a proteção contra sobrecargas.

As empresas de geração entram com os maiores ativos, recebem das empresas transmissoras e distribuidoras as demandas que devem ser atendidas. Devem estar



preparados a longo, médios, curtos e curtíssimos prazo para atender essas demandas, pois nesse ponto reside o risco de racionamento. No caso dos sistemas interligados um operador nacional¹ auxilia as geradoras nessa tarefa.

A rede primária de distribuição de energia elétrica – **objeto desse estudo** - compreende os ramais de condutores elétricos e seus acessórios que capilarizam a entrega da energia elétrica da subestação entre as inúmeras ruas até os transformadores de força. Para o leigo esse aspecto da infra-estrutura urbana deveria passar despercebido se não fossem na maioria das ruas a imensa quantidade de postes, cabos, transformadores, disjuntores, chaves, isoladores, cruzetas, amarradores e outra infinidade de elementos que compõem esse sistema.

As redes de distribuição foram inicialmente projetadas para transmitir energia elétrica de forma eficiente. As redes elétricas são usualmente classificadas em três níveis: alta tensão, média tensão e baixa tensão; cada qual adaptado para o interligar diferentes distâncias. Os níveis de tensão são interconectados por meio de transformadores, projetados de forma a proporcionar a menor perda possível operando nas frequências da rede (50 ou 60Hz).

- **Alta-tensão**

Utilizado para interligar os centros de geração aos centros de consumo, geralmente percorrendo grandes distâncias, este nível de tensão é marcado principalmente pelas perdas por efeito Joule, pelas descargas oriundas do efeito corona (que também introduzem componentes de alta frequência na rede) e por capacitâncias e indutâncias parasitas. Faixa de operação a partir de 35 KV.

- **Média-tensão**

Responsáveis pela interligação das subestações com os centros distribuídos de

¹ No Brasil essa operação é feita pelo O N S. Operador Nacional do Sistema.



consumo, este nível de tensão pode também ser utilizado no fornecimento de energia elétrica a consumidores de maior porte como indústrias ou prédios. Faixa de operação entre 1kV e 35kV.

- **Baixa-tensão**

Este é o nível de tensão que efetivamente chega a maioria das unidades consumidoras derivando do secundário do transformador de redução. Nesse ponto as cargas são inseridas e removidas da rede. Faixa de operação abaixo de 1kV.

A **Figura 2** apresenta um exemplo típico da topologia da rede elétrica de distribuição com os valores de tensão para cada nível. Observa-se nessa figura como os elementos de distribuição estão dispostos. Depois que a energia elétrica é transportada da central geradora em grandes distâncias ela chega a uma primeira subestação abaixadora (a tensão é novamente baixada pelos transformadores). Essas subestações têm normalmente também os elementos necessários para fazer a proteção do sub-sistema de transmissão contra as sobrecargas assim como as operações de manobra e chaveamento. Em seguida a energia elétrica é distribuída dentro dos centros urbanos nas subestações de menor porte. Nesse ponto a energia é tratada com mais precisão, pois para a concessionária é na subestação urbana onde são feitas diversas medições para apuração da qualidade de energia, controle (algumas vezes através da telemetria) e despacho das demandas de carga. Muitas subestações urbanas são automatizadas.

Nas saídas das subestações urbanas estarão os vários ramais de distribuição que seguirão pelas ruas através de alguns quilômetros para atender os vários consumidores energia que se enquadram na categoria de **média tensão** assim como atender aos ramais de distribuição de baixa tensão que se formam a partir da saída secundária de cada transformador. Esses ramais são conhecidos também como **alimentadores**. Nesse trecho a distribuição de energia não poderia ser possível em baixa tensão, pois a potência dissipada só permitiria a distribuição por algumas dezenas de metros. Nessa figura os



elementos de distribuição estão representados através de um diagrama unifilar – maneira simplificada de apresentar os três condutores que compõem as três fases das correntes do sistema.

As **Figuras 3 e 4** apresentam fotos de exemplos típicos de ramal aéreo de distribuição em média tensão em área urbana.

As linhas de distribuição urbana em média tensão têm que serem concebidas de tal maneira que não ofereçam **riscos** de descargas elétricas. A descarga elétrica em média tensão pode causar sérios prejuízos materiais ou danos físicos às pessoas próximas. As linhas típicas são de dois tipos:

- **Aéreas** – quando utilizam postes (em torno de doze metros) para criar uma distância suficiente em relação ao solo e que não traga riscos a quem circula no local. São também denominadas aéreas porque o AR é o elemento isolante entre as fases de condutores.
- **Subterrâneas** – quando utilizam cabos elétricos isolados e enterrados e que são dispostos em uma canaleta ou vala diretamente no solo. As linhas subterrâneas são bem mais confiáveis do que as linha aéreas, porém o custo de instalação é em média de 5 vezes maior, conforme será visto nos capítulos posteriores.

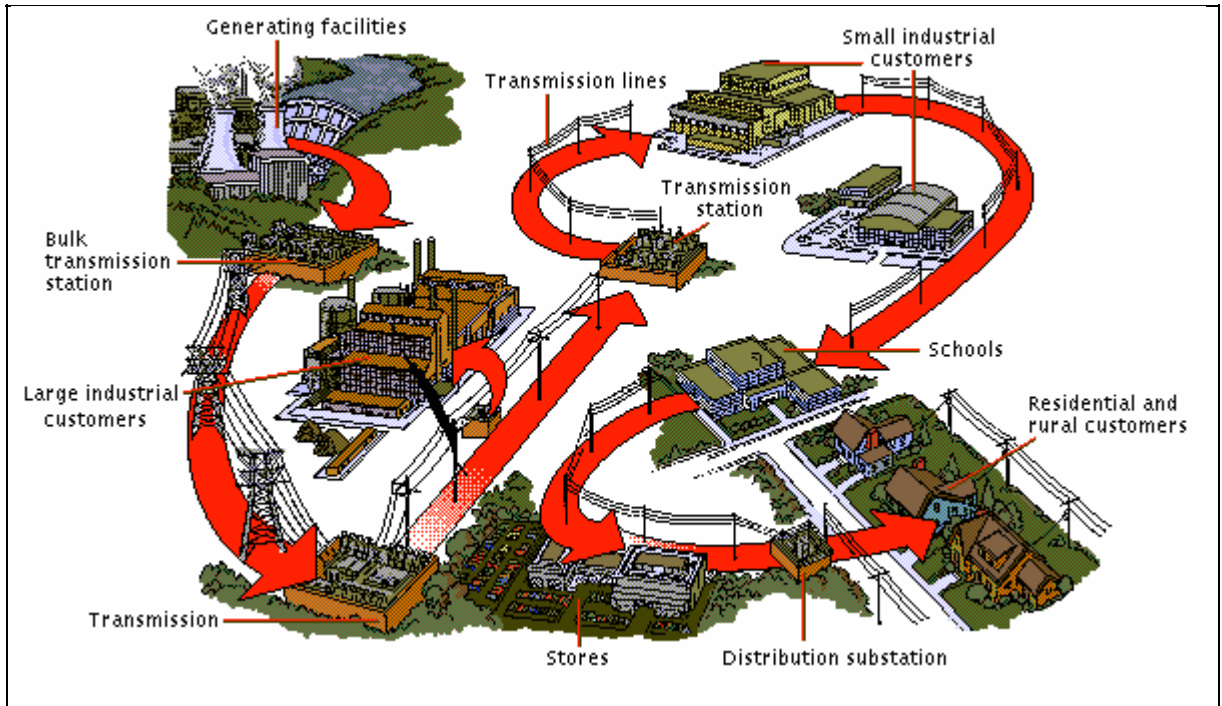


Figura 1: Topologia de um Sistema Elétrico de Potência. Fonte Enciclopédia Encarta Microsoft 1996.

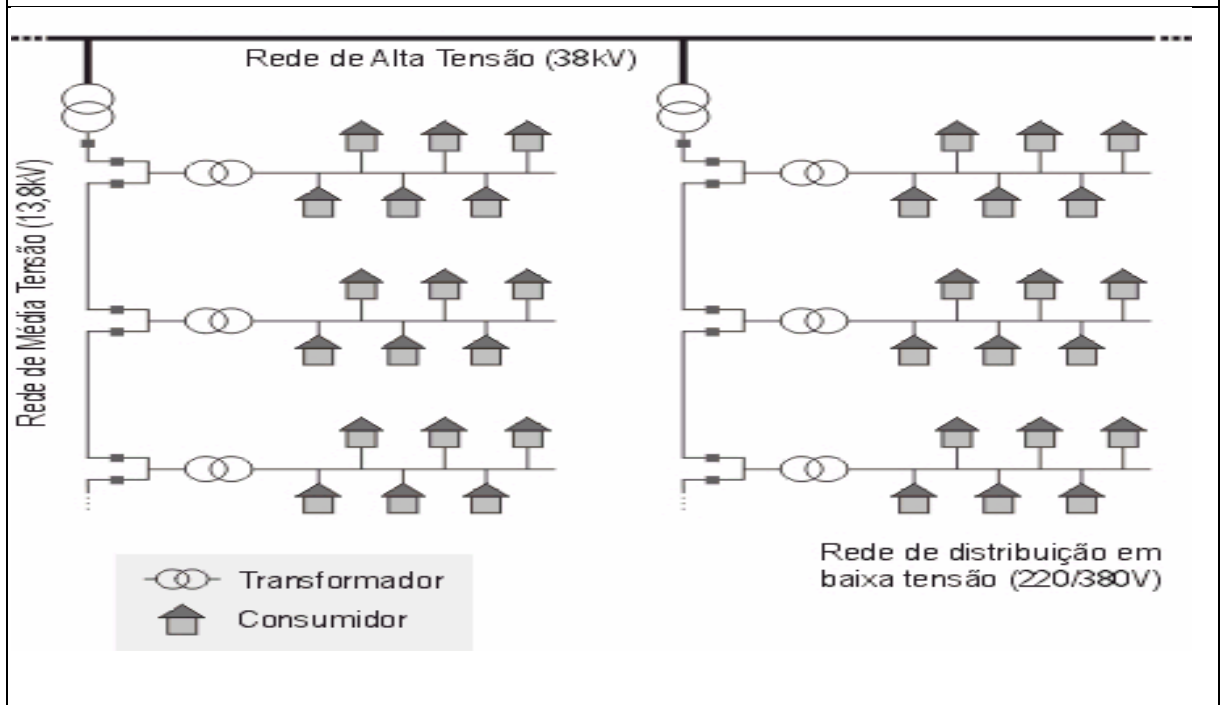


Figura 2: Topologia genérica da rede elétrica de distribuição. Fonte Normas Técnicas da CPLF.



Figura 3: Foto de uma linha de distribuição urbana convencional. Fonte www.inbrac.com.br.



Figura 4: Foto de uma linha de distribuição urbana convencional. Fonte www.inbrac.com.br.



Figura 5: Impacto das podas em árvores causado pela rede primária. Fonte www.inbrac.com.br.



Figura 6: Praça Santos Dumont, Rio de Janeiro. Linha aérea X linha subterrânea. Cortesia da LIGHT.



Capítulo 2

Histórico da distribuição de energia elétrica no Brasil

2.1. Formação da cultura nas empresas de eletricidade

Conforme sugerido pelo autor em 1.1. 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 vai-se observar que no Brasil isso não ocorreu, porque até recentemente (antes das privatizações) o setor elétrico brasileiro tinha uma postura distanciada da sociedade. (ref. 8).

Na formação da cultura do setor elétrico, foi-se sedimentando um conjunto de 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 melhor, desde que foi concebido (ref. 18)

A história da eletricidade no País é semelhante à história da eletricidade de outros países atrasados economicamente. No começo do Século XX os Estados Unidos e Europa lideravam a revolução industrial e apostaram em um modelo de controle de marcas registradas. Assim o importante não era a primeira venda isoladamente, mas principalmente a dependência em relação à manutenção e a expansão (ref. 18).



Desde 1879 quando houve a primeira demonstração pública da lâmpada elétrica de Edson no Brasil, ficou claro que aquele era o começo de uma grande dependência de importação de tecnologia. Enquanto a Europa estava paralelamente investindo no desenvolvimento de novas técnicas, os países sem estrutura e cultura de pesquisa importavam modelos prontos.

Em 1899 ocorreu a criação em Toronto (Canadá) da São Paulo Railway, Light and Power Company Limited que confere uma nova e importante utilização da eletricidade como bem de consumo no Brasil. Registrando-se o domínio das multinacionais nesse início da indústria da energia no país.

Nesse ponto é bom destacar que até essa data a utilização principal da eletricidade era iluminação. Daí a utilização dos postes de ferro que serviam também como apoio à distribuição. Com a entrada dos bondes elétricos, começou a existir uma proliferação muito maior de postes espalhados pelas grandes capitais. Os postes agora serviam para sustentar os cabos que forneciam energia elétrica para os bondes. Enquanto na Europa esse tipo de transporte recebia um tratamento mais restrito, devido às interferências no ambiente, no Brasil a proliferação das linhas pelas ruas não considerou devidamente aspectos de **segurança e estética**.

Ainda em relação aos postes utilizados para alimentação dos bondes, vale lembrar que mesmo atualmente (2003), ainda na cidade de São Paulo, grandes trechos de transporte urbano são feitos pelos “trolebus” – ônibus com motor elétrico. Muitas ruas do centro histórico estão dotadas com linhas de fornecimento de energia para esses veículos.

Também exemplificando essa assunto foi fundada em 1904 no Rio de Janeiro Tramway, Light and Power Company Limited. Vinda de Toronto no Canadá (tecnologia americana).



Segundo Eduardo Tanure, em seu trabalho sobre regulação, nota-se então que o começo da indústria da energia elétrica no Brasil caracterizou-se pela presença das multinacionais (ref. 38).

No ano de 1903 aprovado pelo Congresso Nacional, o primeiro texto de lei disciplinando o uso de energia elétrica no país.

No ano de 1912 é também criada em Toronto (Canadá), a Brazilian Traction, Light and Power Empresa Cliente Ltda que unificou as empresas do Grupo Light, solidificando ainda mais a presença de multinacionais no setor elétrico.

Em 1927 A American and Foreign Power - AMFORP iniciou suas atividades no país adquirindo o controle de dezenas de concessionárias que atuavam no interior de São Paulo. Nessa época a indústria da eletricidade estava em franca expansão, consolidando a segunda revolução industrial. A consolidação de várias concessionárias em um grupo americano pode ser um indício da adoção de vários padrões técnicos vindos dos EUA com a imposição dessa cultura tecnológica por várias décadas. Foram-se tornando normas as características técnicas dos transformadores, cabos e sistemas de potência importados.

Até os anos 30 não se encontra na regulação – em qualquer nível legislativo – nenhuma indicação em relação ao ordenamento das linhas de distribuição, embora outros aspectos relacionados à energia já estivessem sendo tratados (ref. 38).

A legislação, por exemplo, já tratava das tarifas e das multas por falta no fornecimento de energia. Dava desconto de 20% para o Poder Público e preços máximos para força elétrica. Já se usava inclusive o termo contrato de concessão que seria declarado caduco em caso de falhas sistemáticas na iluminação pública. Mas nada era citado a respeito de disciplina de distribuição ou quanto à segurança.



Mas em 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.

Em 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.

Em 1956 foi criada para administrar o programa energético do estado do Espírito Santo, a Escelsa, empresa posteriormente federalizada e que passou a fazer parte do Grupo Eletrobrás. A década de 50 caracteriza-se para o setor elétrico como uma retomada do Estado como investidor e um processo forte de estatização.

Em 1961 durante a presidência de Jânio Quadros foi criada a Eletrobrás, constituída em 1962 pelo Presidente João Goulart para coordenar o setor de energia elétrica brasileiro.

Em 1965 foi criado o Departamento Nacional de Águas e Energia, encarregado da regulamentação dos serviços de energia elétrica no país.

Em 1973 é criado o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL para desenvolver tecnologia em equipamentos e em sistemas elétricos.

No ano de 1979 depois de sessenta e sete anos sob o controle estrangeiro, foi nacionalizada a Light Serviços de Eletricidade S.A. Nesse ano a importação dos padrões de rede de distribuição deixou de ser impositiva, porém continuou sendo orientativa, pois muitos equipamentos estavam atrelados aos padrões existentes (ref. 25)

Em 1985 é constituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, com o objetivo de incentivar a racionalização do uso da energia elétrica.



Em 1988 foi criada a Revisão Institucional de Energia Elétrica - REVISE, embrião das alterações promovidas no setor de energia elétrica durante a década de 1990.

Em 1990 foi sancionada a Lei n.º 8.031 criando o Programa Nacional de Desestatização – PND, mas somente em 1995 as empresas controladas pela Eletrobrás foram incluídas no Programa Nacional de Desestatização que orientava a privatização dos segmentos de geração e distribuição.

Nesse período é realizado o leilão de privatização da Escelsa, inaugurando nova fase do setor de energia elétrica brasileiro em consonância com a política de privatização do Governo Federal. Inicia-se uma nova época para o setor elétrico Brasileiro com um cenário de empresas privadas controladas pelo poder concedente.

Em 1997 é constituído o novo órgão regulador do setor de energia elétrica sob a denominação de Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Esse marco histórico, de concessionárias privatizadas reguladas por uma agência nacional é que cria um ambiente propício à revisão dos conceitos relacionados aos padrões de redes primárias de distribuição. Do começo da indústria da energia até os anos 50, esse ambiente não era possível devido à imposição de padrões tecnológicos das multinacionais assim como uma indefinição sobre o poder concedente e regulação incipiente. Dos anos 50 até os anos 90, quando predominou o modelo de empresas estatais, observa-se um insulamento tecnológico típico de ambientes corporativos. 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.



2.2. Análise da legislação pertinente ao tema

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

Como foi visto no item 2.1. a regulação da indústria da energia elétrica ocorre desde a sua implantação no Brasil, embora de maneira incipiente no começo e apagada no período das estatais (ref.38). Atualmente o fornecimento de energia elétrica constitui-se um serviço essencial conforme a Constituição Federal de 1988 ² em seu artigo 175 regulamentado pela Lei Complementar 8.987 de 13 de Fevereiro de 1995.

Será analisado se o poder concedente, através da legislação, tem uma visão coincidente com a visão do consumidor proposto no capítulo 1.1. que enfoca basicamente quatro aspectos:

- **Da confiabilidade** – continuidade no 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 investimentos adequados aos custos operacionais que não venham a inviabilizar a atividade.
- **Ambiental** – na preservação dos recursos disponíveis.

² O Brasil teve diversas Constituições Federais que na prática formalizavam a vontade dos que estavam no Poder. Mas a última e atual Constituição de 1988 foi considerada a mais democrática de todas porque foi escrita por uma Assembleia Constituinte formada por deputados eleitos diretamente. Em função desse caráter democrático ela foi batizada de Constituição Cidadã.



2.2.1. A Constituição Federal da República do Brasil.

*“ Art. 175 **Incumbe ao Poder Público**, na forma da lei, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, sempre através de licitação, a prestação de serviços públicos.*

Parágrafo único. A lei disporá sobre:

I - o regime das empresas concessionárias e permissionárias de serviços públicos, o caráter especial de seu contrato e de sua prorrogação, bem como as condições de caducidade, fiscalização e rescisão da concessão ou permissão;

II - os direitos dos usuários;

III - política tarifária;

IV - a obrigação de manter serviço adequado..”

O Poder Público Federativo é a instância incumbida da prestação do serviço público. Portanto esse é o fórum concedente e responsável por todos os atos relativos ao segmento. Assim quando for questionada a segurança das instalações de linhas primárias em área urbana, o Poder Público Federal é a pessoa jurídica a ser acionada, mesmo que naquele instante esteja sendo representada por uma pessoa jurídica cessionária.

Sendo que a lei disporá sobre as condições de fiscalização para manter os direitos dos usuários e a obrigação de manter um serviço adequado.

Nas linhas primárias, pode-se ainda inferir que os direitos dos usuários são difusos, pois não existe um contorno definido de qual usuário está sendo referenciado para alegar uma não-conformidade. Porém esse aspecto não invalida a sua importância e aplicabilidade, ao contrário reforça as colocações por considerar que um conjunto de pessoas está sendo afetadas direta ou indiretamente. Nesse sentido a legislação não discrimina no serviço público o que é cidadão e o que é consumidor.

Ainda nessa análise, pode-se dizer que a legislação infraconstitucional deverá definir melhor os contornos dos direitos dos usuários no detalhamento do que seria a obrigação



de manter um serviço adequado. Ao contrário da linha de interpretação do Direito Civil em outros países que é interpretativa, no Brasil prevalece o chamado Direito Positivo – em que vale o que está escrito, mesmo que o bom senso técnico indique o contrário.

Na situação em que uma linha primária está perigosamente próxima a área de circulação de pessoas (**figura 8**) a interpretação da prestação do serviço público não deve fazer distinção quando definir padrões de segurança se aplicados ao consumidor ou ao cidadão ou a quem quer que seja.

2.2.2. Lei complementar 8987 – das concessões.

“Art. 1º As concessões de serviços públicos e de obras públicas e as permissões de serviços públicos reger-se-ão pelos termos do art. 175 da Constituição Federal por esta lei, pelas normas legais pertinentes e pelas cláusulas dos indispensáveis contratos.

Parágrafo único. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios promoverão a revisão e as adaptações necessárias de sua legislação às prescrições desta lei, buscando atender as peculiaridades das diversas modalidades dos seus serviços.

Art. 2º Para os fins do disposto nesta lei, considera-se:

I - poder concedente: a União, o Estado, o Distrito Federal ou o Município, em cuja competência se encontre o serviço público, precedido ou não da execução de obra pública, objeto de concessão ou permissão;

II - concessão de serviço público: a delegação de sua prestação, feita pelo poder concedente, mediante licitação, na modalidade de concorrência, à pessoa jurídica ou consórcio de empresas que demonstre capacidade para seu desempenho, por sua conta e risco e por prazo determinado;

III - concessão de serviço público precedida da execução de obra pública: a construção, total ou parcial, conservação, reforma, ampliação ou melhoramento de quaisquer obras de



interesse público, delegada pelo poder concedente, mediante licitação, na modalidade de concorrência, à pessoa jurídica ou consórcio de empresas que demonstre capacidade para a sua realização, por sua conta e risco, de forma que o investimento da concessionária seja remunerado e amortizado mediante a exploração do serviço ou da obra por prazo determinado;

IV - permissão de serviço público: a delegação, a título precário, mediante licitação da prestação de serviços públicos, feita pelo poder concedente à pessoa física ou jurídica que demonstre capacidade para seu desempenho, por sua conta e risco.

*Art. 3º As concessões e permissões **sujeitar-se-ão à fiscalização** pelo poder concedente responsável pela delegação, com a cooperação dos usuários.*

Art. 4º A concessão de serviço público, precedida ou não da execução de obra pública, será formalizada mediante contrato, que deverá observar os termos desta lei, das normas pertinentes e do edital de licitação.

Art. 5º O poder concedente publicará, previamente ao edital de licitação, ato justificando a conveniência da outorga de concessão ou permissão, caracterizando seu objeto, área e prazo.”

A legislação no inciso II do artigo 2º que afirma que o concessionário demonstre capacidade para seu desempenho, por sua conta e risco e por prazo determinado. Portanto quando a sociedade exige segurança nas linhas de transmissão primária em área urbana, não merece receber das concessionárias explicações que imputem a terceiros responsabilidades. É, portanto incorreto, quando se constata que as linhas de condutores nus estão perigosamente próximas de área de circulação de pessoas, que o concessionário alegue uma “herança” da empresa estatal anterior. Por ocasião da licitação da concessão, está implícito no termo capacidade de desempenho aquele relacionado com a condição de modernização das redes em modelos mais seguros.



“Art. 6º Toda concessão ou permissão pressupõe a prestação de serviço adequado ao pleno atendimento dos usuários, conforme estabelecido nesta lei, nas normas pertinentes e no respectivo contrato.

§ 1º Serviço adequado é o que satisfaz as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas.

§ 2º A atualidade compreende a modernidade das técnicas, do equipamento e das instalações e a sua conservação, bem como a melhoria e expansão do serviço.”

Chama atenção no texto também o artigo 7 do capítulo III descrito abaixo que a Lei 8.078/90 não sofre prejuízo pelas disposições contidas nesse texto. A Lei 8.078/90 mais conhecida como CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR com todas as suas implicações, conforme está destacado abaixo.

“Art. 7º Sem prejuízo do disposto na Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, são direitos e obrigações dos usuários:

I - receber serviço adequado;

II - receber do poder concedente e da concessionária informações para a defesa de interesses individuais ou coletivos;

III - obter e utilizar o serviço, com liberdade de escolha, observadas as normas do poder concedente;

IV - levar ao conhecimento do poder público e da concessionária as irregularidades de que tenham conhecimento, referentes ao serviço prestado;

V - comunicar às autoridades competentes os atos ilícitos praticados pela concessionária na prestação do serviço;



VI - contribuir para a permanência das boas condições dos bens públicos através dos quais lhes são prestados os serviços.”

Outro ponto a ser destacado ainda na análise dessa lei é o fato da manutenção dos chamados “bens reversíveis” para o poder concedente. Importante interpretar que por ocasião da licitação, o poder concedente entrega ao concessionário bens que fazem parte da infra-estrutura necessária para o funcionamento do sistema. No caso do sistema elétrico de distribuição estão inclusos as subestações, as linhas de sub-transmissão e as linhas de distribuição primária e secundária.

Assim toda a distribuição, fisicamente falando, está sob a responsabilidade da concessionária enquanto a concessão existir. Ao final esses bens serão revertidos ao poder concedente. Esses bens não poderão retornar dentro de um estado de depreciação inaproveitável, ao contrário devem estar em boas condições de uso e principalmente dentro dos padrões e normas técnicas que enquadrem os mesmos aos padrões de qualidade mínimos.

Enquanto isso o Poder Concedente deve realizar fiscalizações para verificar constantemente o estado desses bens; e de fato essa é uma das características mais atuantes da fiscalização. No nosso caso estudado as linhas de distribuição primária são constantemente monitoradas para que seja averiguado o estado de manutenção e operação. Isso está no seguinte texto.

“Art. 18. O edital de licitação será elaborado pelo poder concedente, observados, no que couber, os critérios e as normas gerais da legislação própria sobre licitações e contratos e conterá, especialmente:...



... X - **a indicação dos bens reversíveis;**

XI - as características dos bens reversíveis e as condições em que estes serão postos à disposição, nos casos em que houver sido extinta a concessão anterior;...”

As fiscalizações para verificar constantemente o estado desses bens ficam a cargo das agências reguladoras, cuja legislação será vista adiante. Mas cabe aqui uma nova ênfase que é dada a responsabilidade do concessionário em relação aos bens reversíveis – **incluindo as linhas de distribuição** – dessa vez adicionando as necessidades de alteração para modernização, aperfeiçoamento e ampliação dos equipamentos e instalações, conforme os incisos do artigo 23 do capítulo VI abaixo:

“Art. 23. São cláusulas essenciais do contrato de concessão as relativas:

... V - aos direitos, garantias e obrigações do poder concedente e da concessionária, inclusive os relacionados às previsíveis necessidades de futura alteração e expansão do serviço e conseqüente modernização, aperfeiçoamento e ampliação dos equipamentos e das instalações;

*VI - aos **direitos e deveres** dos usuários para obtenção e utilização do serviço;*

VII - à forma de fiscalização das instalações, dos equipamentos, dos métodos e práticas de execução do serviço, bem como a indicação dos órgãos competentes para exercê-la;...”

*... X - **aos bens reversíveis;**...”*

O Poder Concedente investiga também os chamados “ **projetos de melhoria de redes** ” que contemplam os pontos abordados nos itens anteriores. Esses projetos de melhoria podem ser realizados por terceiros desde que alcançados os seus objetivos.



“Art. 25. Incumbe à concessionária a execução do serviço concedido, cabendo-lhe responder por todos os prejuízos causados ao poder concedente, aos usuários ou a terceiros, sem que a fiscalização exercida pelo órgão competente exclua ou atenua sua responsabilidade...”

O Poder Concedente também tem encargos diretos que contemplam os aspectos sugeridos para o consumidor, entre eles a “preservação do meio ambiente” que é explicitada no inciso X do artigo 29 apresentado a seguir.

“Art. 29. Incumbe ao poder concedente:..

...VII - zelar pela boa qualidade do serviço, receber, apurar e solucionar queixas e reclamações dos usuários, que serão cientificados, em até trinta dias, das providências tomadas;...

*X - estimular o aumento da qualidade, produtividade, **preservação do meio ambiente e conservação;**...”*

O Poder Concedente deve realizar fiscalizações para verificar constantemente o estado desses bens e para isso pode solicitar a concessionária um registro que deixe mais acessível a evolução da modernização das linhas de distribuição primária.

“Art. 31. Incumbe à concessionária:

*I - prestar serviço adequado, na forma prevista nesta lei, **nas normas técnicas aplicáveis e no contrato;***

*II - **manter em dia o inventário e o registro dos bens vinculados à concessão;***

III - prestar contas da gestão do serviço ao poder concedente e aos usuários, nos termos definidos no contrato;



IV - cumprir e fazer cumprir as normas do serviço e as cláusulas contratuais da concessão;

V - permitir aos encarregados da fiscalização livre acesso, em qualquer época, às obras, aos equipamentos e às instalações integrantes do serviço, bem como a seus registros contábeis;

...VII - zelar pela integridade dos bens vinculados à prestação do serviço, bem como segurá-los adequadamente; e

Parágrafo único. As contratações, inclusive de mão-de-obra, feitas pela concessionária serão regidas pelas disposições de direito privado e pela legislação trabalhista, não se estabelecendo qualquer relação entre os terceiros contratados pela concessionária e o poder concedente.”

A reversão dos bens ao Poder Concedente está explicitada nos artigos 35 e 36 do capítulo abaixo.

“Art. 35. Extingue-se a concessão por:...

*...§ 1º **Extinta a concessão, retornam ao poder concedente todos os bens reversíveis, direitos e privilégios transferidos ao concessionário conforme previsto no edital e estabelecido no contrato...***

*§ 2º **Extinta a concessão, haverá a imediata assunção do serviço pelo poder concedente, procedendo-se aos levantamentos, avaliações e liquidações necessários.***

*§ 3º **A assunção do serviço autoriza a ocupação das instalações e a utilização, pelo poder concedente, de todos os bens reversíveis.***

2.2.3. Lei 9.427/96 – de criação da ANEEL.



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

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 vista anteriormente.

A ANEEL através de suas resoluções dita as normas e procedimentos para o fornecimento de energia elétrica conforme trecho abaixo.

“Art. 1 o É instituída a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, autarquia sob regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, com sede e foro no Distrito Federal e prazo de duração indeterminado

*Art. 2 o A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL tem por finalidade regular e fiscalizar a produção, transmissão, **distribuição** e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal.*

Art. 3 o Além das incumbências prescritas nos arts. 29 e 30 da Lei n o 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, aplicáveis aos serviços de energia elétrica, compete especialmente à ANEEL:

II - promover as licitações destinadas à contratação de concessionárias de serviço público para produção, transmissão e distribuição de energia elétrica e para a outorga de concessão para aproveitamento de potenciais hidráulicos;

IV - celebrar e gerir os contratos de concessão ou de permissão de serviços públicos de energia elétrica, de concessão de uso de bem público, expedir as autorizações, bem como fiscalizar, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões e prestação dos serviços de energia elétrica...”

2.2.4. Resolução 024/00 – sobre continuidade do fornecimento.



A resolução número 024 de 27 de Janeiro de 2000 estabelece as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica para as unidades consumidoras, destacando-se nesse ponto as definições de **DEC**, **FEC**, **DIC** e **FIC** que serão vistas a seguir.

Essas definições são de importância para o tema “análise regulatória de redes primárias em áreas urbanas” e por isso uma parte da resolução está transcrita abaixo e nos anexos referidos.

“Art. 1o Estabelecer, na forma que se segue, as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica, nos seus aspectos de duração e frequência, a serem observadas pelas concessionárias e permissionárias de serviço público de energia elétrica às unidades consumidoras.

*Art. 2o A continuidade da distribuição de energia elétrica deverá ser supervisionada, avaliada e controlada **por meio de indicadores** coletivos que expressem os valores vinculados a conjuntos de unidades consumidoras, bem como indicadores individuais associados a cada unidade consumidora...*

IV - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC)

Intervalo de tempo que, em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica.

V - Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC)

Intervalo de tempo que, no período de observação, em cada unidade consumidora ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica.

VI - Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora (DMIC) Tempo máximo de interrupção contínua, da distribuição de energia elétrica, para uma unidade consumidora qualquer.

VII - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) Número de interrupções ocorridas, em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado.



VIII - Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC)

Número de interrupções ocorridas, no período de observação, em cada unidade consumidora.

IX - Indicador de Continuidade

Representação quantificável do desempenho de um sistema elétrico, utilizada para a mensuração da continuidade apurada e análise comparativa com os padrões estabelecidos.

XV - Metas de Continuidade

Valores máximos estabelecidos para os indicadores de continuidade, a serem observados: mensal, trimestral e anualmente nos períodos correspondentes ao ciclo de revisão das tarifas, conforme resolução específica.

As definições de índice acima detalhadas tem uma importância **crucial** quando associada a análise das linhas de distribuição em áreas urbanas.

Sendo o **DEC** a duração equivalente de interrupção, é um 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 no concerto, motivada pela falta de estrutura operacional ou dificuldades intrínsecas àquele tipo de linha. Nesse caso ainda pode-se associar basicamente a problemas em elementos da rede primária (ref. 12).

Sendo o **FEC** a frequência com que ocorrem as interrupções, é um índice que expressa basicamente quantas vezes está havendo falha naquele conjunto de consumidores. Assim podemos concluir que quanto maior esse índice, pior é a qualidade da rede primária, já que atinge um número grande de consumidores.

Sendo o **DIC** a duração de interrupção individual, podemos associar o mesmo a demora do concerto. Nesse caso ainda pode-se vislumbrar basicamente a problemas em elementos da rede secundária, já que atinge somente um consumidor.



“Art. 4o Os indicadores de continuidade deverão ser apurados por meio de procedimentos auditáveis e que contemplem desde o nível de coleta de dados das interrupções até a transformação desses dados em indicadores.

*§ 1o Os dados das interrupções de longa duração e os indicadores deles provenientes deverão ser mantidos na concessionária por **período mínimo de 5 (cinco) anos**, para uso da ANEEL, bem como dos consumidores...*

§ 4o A partir de 1o de janeiro de 2004 esses dados deverão estar disponíveis em meio magnético ou óptico e relacionados ao código de identificação de cada unidade consumidora.”

Estando esses índices devidamente registrados e acessíveis ao órgão fiscalizador, eles servirão de **sinalizadores** ao estado de conservação das redes de distribuição e subestações associadas.

“Art. 5o

§ 3o A partir de janeiro de 2005, para todas as concessionárias, os indicadores de continuidade a serem apurados e enviados à ANEEL deverão contemplar todas as interrupções com duração maior ou igual a 1 (um) minuto, quando deverão ser estabelecidos novos padrões de continuidade considerando-se os dados disponibilizados nas concessionárias.”

A resolução 024/00 foi aperfeiçoada em 13 de fevereiro de 2003 através da resolução 075/2003, nessa época já sinalizando que os padrões estarão cada vez mais rígidos.

2.2.5. Resolução 505/01 – sobre a conformidade do fornecimento.

A resolução número 505 de 26 de Novembro de 2001 estabelece de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente.

“Art. 1o Estabelecer, na forma que se segue, as disposições atualizadas e consolidadas relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente, a serem



observadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica.

As definições de índice acima detalhadas tem uma importância crucial quando associada a análise das linhas de distribuição em áreas urbanas. Isso se deve ao fato de que quase sempre a tensão inadequada de fornecimento está associada a um mal dimensionamento nas linhas de distribuição primária ou secundária.

Em outros países onde a tecnologia de distribuição está mais desenvolvida (ref. 21) os índices correspondentes àqueles previstos na legislação brasileira são menores. Assim conclui-se que o monitoramento da qualidade do fornecimento de energia passa necessariamente pelo monitoramento da qualidade das linhas primárias de distribuição.



2.3. Estruturação atual da concessão e da regulação.

A análise da estruturação atual da concessão e da regulação no Brasil em breve comparação com estruturas em outros países deve ser feita para o melhor entendimento do setor.

Na **Europa** não existe uniformização quanto as tipologias das concessões e regulações. Enquanto na França, Itália e Grécia existem uma única empresa estatal nacional, com regulação feita por departamentos internos do poder executivo; na Alemanha, Inglaterra e Espanha existem muitas empresas concessionárias.

Nos **EUA** a distribuição é realizada por empresas estaduais. Como a Constituição americana permite a independência legislativa de cada estado, a regulação é feita por agências estaduais independentes e não por uma agência nacional.

No **Brasil** atualmente a concessão no Brasil é heterogênea, passando por empresas multinacionais, grupos consorciados ou estatais. A maioria das empresas estaduais foram privatizadas, mas algumas ainda são estatais estaduais a exemplo da CEMIG.

Segundo Balbi (ref.) deve haver cada vez mais um processo de descentralização da fiscalização da ANEEL para as agências estaduais no sentido de aproximar o órgão regulador do consumidor. E de fato isso vem ocorrendo, pois através da resolução 296/98 a ANEEL estabeleceu procedimentos para essa descentralização.



Figura 7: Linha convencional oferecendo risco de vida. Fonte relatório de fiscalização AGERBA 2003.



Figura 8: Rede primária perigosamente próxima à área de circulação. Fonte AGERBA. Relatório 2003.



Capítulo 3

Novas tecnologias de distribuição urbana em redes aéreas

3.1. Aspecto técnico

3.1.1. Introdução

Nessa etapa da dissertação serão abordados os aspectos técnicos e o **desempenho** do padrão convencional de distribuição de energia elétrica em redes primárias de áreas urbanas assim como sua comparação com as alternativas existentes. Esse exercício será feito no sentido de fomentar a discussão sobre o tema, principalmente em relação ao termo 'atualidade' descrito na legislação vista em 2.2.

No Brasil, em função da influência dos fabricantes de equipamentos e demais aspectos relacionados a custos adotou-se o padrão de distribuição aérea em 13,8 KV (tensão entre fases) feita através de cabos de alumínio nus sustentados por isoladores em cruzetas de madeira conforme já foi referenciadas as **figuras 3 e 4**. Entretanto esse modelo convencional apresenta desvantagens em relação a alternativas mais modernas como será visto a seguir.

Primeiramente o modelo convencional apresenta uma **saturação tecnológica** ; entendendo-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 (Brasil) para serem de cimento armado, mas as cruzetas que se usam ainda são de madeira em muitos casos. Em outras linhas os isoladores continuam sendo de vidro ou de cerâmica, sendo que somente nessa década passaram a ser utilizados com frequência isoladores de material polimérico³. Os cabos continuam sendo de alumínio nu e a manutenção feita com o auxílio de escadas.

Em relação as 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 (ref. 18).

O modelo convencional de distribuição primária de energia elétrica está exposto a todas as intempéries do ar livre (tempestades, raios, ventania, acumulação de poeira, excesso de umidade, depósito de salitre em ambiente litorâneo, etc.) e por esse motivo apresenta **elevada taxa de falhas**. Segundo dados da ABRADÉE⁴ 90% (noventa por cento) em média das causas de interrupções nas linhas primárias, são ocorrências nas redes convencionais de distribuição aérea (ref. 36)

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 melhora 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. Tanto que os projetos de melhoria de

³ O isolador polimérico é construído a partir de uma resina plástica extremamente dura e resistente a danos elétricos.

⁴ ABRADÉE é a associação brasileira de distribuidoras de energia elétrica.



redes que contemplam as áreas mais nobres dentro de um conjunto de consumidores são na sua maioria alternativas à rede convencional.

Outro grande problema da linha convencional é a **interferência crítica no meio ambiente**. Essa interferência está presente principalmente na poda de um grande número de árvores que estão na mesma direção da faixa de passagem⁵ conforme pode ser visualizado na **figura 5**. Além desse aspecto de intervenção extrema que priva o ambiente de sombra e outros benefícios da vegetação retirada; podemos incluir como agressão ao meio ambiente diferença de estética das ruas conforme pode ser feito na comparação da **figura 6** onde as linhas de distribuição aéreas foram substituídas por linhas subterrâneas.

De fato analisando isoladamente esse aspecto, percebemos em todo mundo, que uma grande parte da beleza das cidades é realçada pela presença de linhas de distribuição alternativas ao padrão aéreo convencional, a exemplo de Paris e Nova York (capítulo 5).

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 a construção caminha paralelamente a rede, conforme pode ser visto na **figura 7 e 8**, a proximidade leva a situações de extremo risco. E de fato não é raro acidentes com linhas primárias sendo elas instaladas em postes ou quando ocorre rompimento de cabo energizado.

Todas essas desvantagens têm por consequência um **elevado custo de manutenção preventiva e corretiva** que, conforme será visto na análise econômica, compensam os investimentos em redes mais modernas.

Já foi dito que a divulgação de algumas alternativas já existentes é um dos objetivos dessa dissertação. Assim serão apresentadas algumas soluções tecnológicas que visualizam a

⁵ Faixa de passagem é o espaço tridimensional necessário para instalação da rede aérea.



melhoria da qualidade do fornecimento de energia, o aumento da segurança do pessoal, a preservação da arborização e a redução dos custos operacionais.

Essas **soluções de alternativas** a rede convencional já estão sendo largamente usadas nos Estados Unidos, na Europa, no Japão, na Austrália e na América do Sul. Uma delas está sendo largamente utilizada pela COELBA⁶ no Brasil. (cap. 5).

a) Armless: Cabos cobertos + braço fibra vidro + isolador de pino

Conforme pode ser visualizado na **figura 9**, essa alternativa tem como características:

- posteação elevada
- contato c/ árvores reduzido
- cabo coberto CA 70⁰C⁷
- Apoio lateral aplicado no cabo
- sustentação com material polimérico
- isolador porcelana com proteção

b) Spacer Cable: Cabos cobertos + espaçadores

Conforme pode ser visualizado nas **figuras 10 e 11**, essa alternativa tem como características:

- posteação idêntica a rede convencional
- contato c/ árvores reduzido através da diminuição da faixa de passagem

⁶ COELBA Cia de Eletricidade do Estado da Bahia. Distribuidora Brasileira que será analisada nessa dissertação no item estudo de casos.

⁷ Nesse caso o cabo não está isolado, mas somente protegido através de uma camada de material termoplástico com classe de temperatura de 70 graus.



- cabo coberto em XLPE⁸
- Apoio através de um cabo mensageiro neutro
- sustentação com um espaçador em forma de losângulo (spacer) feito de material polimérico
- isolador demais elementos em material polimérico nos postes.

c) ABC : Cabos isolados multiplexados expressos

Conforme pode ser visualizado nas **figura 12 e 13**, essa alternativa tem como características:

- posteação idêntica a rede convencional
- contato c/ árvores nulo através da isolação da faixa de passagem
- cabo coberto em XLPE ou EPR⁹
- Apoio através de um cabo mensageiro neutro nu ou isolado.
- sustentação com cabo mensageiro
- isolador demais elementos em material polimérico ou termofixo nos postes.

d) BLX / PAS : Cabos cobertos + cruzeta metálica + isol. pino + APD

Conforme pode ser visualizado na **figura 14**, essa alternativa tem como características:

- posteação maior que a rede convencional recomendada para vãos longos.
- contato c/ árvores reduzido através da diminuição da faixa de passagem

⁸ O XLPE é o nome comercial do polietileno reticulado, material termofixo usado como isolante em redes compactas de distribuição primária.

⁹ O EPR é o nome comercial do epropreno reticulado, material termofixo a base de borracha usado também em redes isoladas de distribuição primária.



- cabo coberto em material termoplástico.
- Apoio através de isoladores simetricamente espaçados
- sustentação com uma cruzeta (80cm) metálica localizada no poste.
- isolador demais elementos em material polimérico .

Nesse ponto da explanação é importante a definição de alguns termos usados no jargão dos fabricantes de equipamentos e distribuidoras de energia no Brasil.

RDA é o termo que referencia a rede de distribuição aérea convencional – essa rede é composta conforme foi visto de condutores de alumínio¹⁰ nu separados em cruzetas fixadas em postes. Já comentado, A RDA apresenta inúmeras desvantagens em relação a alternativas já existentes e conforme será visto mais adiante ela não seria mais recomendável para distribuição urbana, servindo apenas como alternativa para distribuição rural. Na distribuição rural admite-se ainda que a RDA tenha outros tipos de arranjos como, por exemplo, a distribuição radial monofásica com retorno por terra.

RDP é o termo que referencia a rede de distribuição aérea protegida – essa rede é composta conforme foi visto de condutores de alumínio protegidos por material termofixo. A RDP não isola um condutor do outro. Se houver contato haverá curto-circuito. Porém a proteção, conforme será enfatizado posteriormente, diminui sensivelmente as interrupções por problemas de contato assim como a interferência no meio ambiente. A RDP está sendo recomendada pela ABRADÉE como o padrão mínimo de rede urbana (ref. 36). Os motivos dessa recomendação serão vistos nas considerações de análises econômicas e ambientais que serão apresentadas.

RDI é o termo que referencia a rede de distribuição aérea isolada – essa rede é composta conforme foi visto de condutores isolados por material termofixo. A RDI isola um condutor

¹⁰ Nas redes de distribuição aérea os condutores quase sempre são de alumínio em função do mesmo ser um metal leve e maleável, entretanto admite-se a utilização de condutores de cobre ou ainda variações de alumínio com condutor de aço para reforçar a resistência mecânica.



do outro. Se houver contato não haverá curto-circuito. A isolação, conforme será enfatizado posteriormente, torna nula as interrupções por problemas de contato assim como a interferência no meio ambiente. A RDI está sendo recomendada pela ABRADÉE para projetos especiais. Os motivos dessa recomendação serão vistos nas considerações de análises econômicas e ambientais que serão apresentadas assim como estudo de casos.

Na análise técnica de redes alternativas a redes aéreas serão abordados três pontos principais descritos a seguir:

3.1.2. Características eletromecânicas

A utilização de alternativas para distribuição em rede primária aérea passa pela quebra de alguns paradigmas que são apresentados a seguir.

Um desses é o **uso de materiais poliméricos** como isolantes. 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.

Na utilização de alternativas também se deve repensar a **ausência de religadores**¹¹ automáticos nas saídas dos alimentadores das subestações – como na **figura 17**. Nesse caso o religador passa a ser um elemento indesejável já que se supõe que no caso de cabos protegidos ou isolados as falhas que provocam os desligamentos não são fortuitas e que por isso devem ser analisadas antes do religamento.

¹¹ Os religadores funcionam como disjuntores com um religamento automático. Após um curto-circuito qualquer, independente da causa, o alimentador é novamente ligado supondo-se que a maioria das causas são temporárias.



Nas alternativas mais modernas de distribuição também devem ser revistos os conceitos de **manutenção preventiva e de manutenção corretiva**. A podagem 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 frequentes.

Outro critério novo válido para os cabos protegidos ou isolados é que a **capacidade de condução de corrente** passa a ser um elemento importante no dimensionamento. De fato no caso de condutores de alumínio nu o critério predominante era o de queda percentual de tensão. No caso de condutores cobertos ou isolados os valores máximos permissíveis de corrente estão limitados pelas temperaturas máximas que a cobertura e a isolação estarão sujeitas, passando nesse caso a ser o critério predominante no dimensionamento.

A utilização de alternativas pressupõe **acessórios bem mais sofisticados** para fazer as interconexões e derivações – como na **figura 16**. Por isso nesses casos deve haver maior investimento em treinamento de pessoal.

No caso de redes protegidas o cabo mensageiro funciona como elemento de sustentação mecânica, contra queda de galhos e objetos e elétrica, na atenuação de descargas atmosféricas.

Os espaçadores poliméricos (espaçamento de 8 a 13 cm) terá 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.

Com condutores operando a 90^oC (XLPE ou EPR) a rede será mais econômica para a mesma capacidade MVA em relação aos condutores operando a 70^oC (PVC ou PE), embora nesse aspecto a rede convencional supere as alternativas já que o critério de capacidade de corrente praticamente não se aplica.



A compactação da rede diminui a impedância mútua (redução ΔV 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 sistemas mais confiáveis.

As redes isoladas ainda apresentam-se muito caras, sendo recomendada para projetos especiais onde ela é a solução entre a rede aérea convencional e a rede subterrânea embutida. 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.

Nas redes isoladas 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.

Nas RDIs existe a redução dos custos operacionais já que a taxa de falhas reduzidíssima (próxima de uma rede subterrânea). Nas RDIs a configuração é super compacta com melhor regulação da linha.

Na comparação de desempenho entre a RDA a RDP e a RDI está a **tabela 1** com a comparação de maneira isônoma entre os três tipos.



3.1.3. Especificação de materiais

A observância da homogeneidade do composto, teor de impurezas, presença de aditivos e anti-oxidantes, assim com o novo processo de extrusão, associados a ocorrências nos fenômenos elétricos constituem aspectos fundamentais para a obtenção de produtos isolantes de alta qualidade e eficácia.

Os ensaios e modelos experimentais utilizando processos de envelhecimento e de degradação acelerados possibilitam avaliar o comportamento das características intrínsecas destes materiais ao longo de sua vida.

Os materiais poliméricos constituem o grupo de dielétricos mais moderno e de menor custo para fabricação de cabos isolados e acessórios para uso em sistemas elétricos, em substituição aos meios isolantes tradicionais como ar, óleo, papel, madeira e cerâmica; porém como desvantagem ao meio ambiente os poliméricos do tipo termofixo não são recicláveis.

Todos os acessórios utilizados nas redes protegidas e isoladas são fabricados a partir de bases poliméricas com características mecânicas típicas de sua aplicação, porém com semelhantes comportamentos dielétricos e físico-químicos.

3.1.4. Desempenho de campo

Conforme pode ser observado nas **figuras 19 e 20** no caso das redes protegidas ou ainda na **figura 18** no caso de redes isoladas; as novas tecnologias de distribuição aérea preservam muito mais as árvores presentes na faixa de passagem. Porém alguns aspectos negativos em relação a rede convencional podem ser lembrados no desempenho dessas redes no campo.



Um exemplo é o surgimento do trilhamento elétrico que acontece devido a circulação de uma corrente elétrica produzida por uma diferença de potencial aplicada entre dois pontos dessa superfície.

Além disso existe a degradação do material protetor ou isolante do cabo provocados a partir do intemperismo a que estão expostos, que no caso das RDA não existiam. Por isso em algumas áreas de alta salinidade esse tipo de rede não pode ser instalado, conforme a **figura 27**.

Mesmo assim essas ocorrências acontecem num tempo muito mais longo do que as eventuais podagens e interrupções provocadas por galhos de árvores.

De fato, conforme pode ser visto no **gráfico 3**, a COPEL¹² fez uma avaliação do comportamento do DEC na medida em que trechos de um alimentador foram sendo substituídos de RDA para RDP (ref. 12). Em 08 anos (de 1992 a 2000) os índices diminuíram, justificando os investimentos.



3.2. Aspecto econômico

Assim como em todos os aspectos relacionados a projetos, nas redes aéreas serão analisadas suas vantagens e suas desvantagens, sendo feita uma segmentação dessas comparações nos aspectos técnico, econômico e ambiental no que se refere às alternativas para distribuição aérea.

A análise econômica de alternativas para distribuição de energia elétrica em áreas urbanas não é uma tarefa fácil, porque a comparação não pode ser feita para projetos de distribuição diferentes. Assim pela existência de muitas variáveis, já que cada rua da cidade representa um projeto de distribuição, não existe parâmetros confiáveis para se generalizar uma comparação de alternativas.

Não se pode responder de pronto se as redes RDA são uma opção sempre viável do ponto de vista econômico mesmo que ela seja em termos de custos a mais barata. Até quando se está analisando um projeto de distribuição específico existem as hipóteses do mesmo ser uma expansão da rede ou somente uma reforma. Algumas considerações adicionais têm que serem feitas para se chegar a conclusões menos difusas. O método apresentado abaixo foi **escolhido** entre alguns pesquisados e que melhor se enquadrava na abordagem sugerida.

Primeiramente a comparação econômica de alternativas deverá contemplar o custo total do empreendimento e não somente o valor inicial investido. Assim:

$$\text{CUSTO TOTAL} = \text{INVESTIMENTO INICIAL} + \text{CUSTO DA OPERAÇÃO}$$

¹² Concessionária distribuidora de energia elétrica do Paraná.



De fato não se deve analisar somente comparando o valor investido já que em redes de distribuição o custo da operação é na maioria das vezes maior que o investimento.

O investimento inicial contemplará vários segmentos do projeto:

$$INVEST\ INC = CUSTPROJ + MAT + EQUIP + CUSTCONST + CUSTADM$$

CUSTPROJ – é o custo do projeto relacionado a consultoria de engenharia

MAT – são os materiais que precisam ser adquiridos

EQUIP – são os equipamentos que farão parte do sistema

CUSTCONST – é o custo da construção da linha

CUSTADM – é o custo administrativo inerente a obra

O projeto pode ser elaborado por terceiros ou pela própria concessionária, sendo nesse caso mais difícil especificar o seu valor.

Os materiais são adquiridos a preços de mercado, sendo que os condutores elétricos quase sempre representam a parte mais onerosa, seguido dos transformadores e dos postes.

Os equipamentos estarão colocados na própria linha ou ainda dentro da subestação como as chaves seccionadoras, as chaves de manobra ou religadores.

O custo de construção da linha assim como o custo administrativo inerente a obra dependerão do fato da obra ser terceirizada ou executada pela própria concessionária.

As concessionárias normalmente têm em seu banco de dados levantamentos detalhados do custo inicial de implantação de uma nova rede de distribuição. Os valores variam muito (de US\$ 300 a US\$ 700 por poste). A literatura especializada no assunto (ref. 9) sugere um



valor médio para projetos de linha de distribuição aérea em torno de US\$ 500 / estrutura – postes afastados em torno de 20 metros – nos casos de RDA.

Por sua vez o custo de operação contempla diversos fatores.

$$CUSTO DA OPERAÇÃO = FAVPL \text{ anual } \{ (MP + MC + LC + DPR) / \text{ano} \}$$

O FAVPL seria o fator de atualização para um valor presente líquido. Ou seja como os custos de operação são tempestivamente deslocados, tem-se que considerar que a operação só irá consumir recursos no horizonte previsto de funcionamento daquele alimentador. Dessa maneira terá que ser considerada para esse cálculo uma taxa de remuneração que traga para o valor presente os desembolsos que ocorrerão com o passar do tempo. A taxa de remuneração para o cálculo do FAVPL normalmente é a mesma utilizada para outros projetos relacionados ao setor que compara com investimentos conservadores do mercado.

O MP corresponde ao custo de manutenção preventiva. No caso de redes aéreas a manutenção preventiva contempla diversas atividades:

$$MP = ITV + MLV + IE + MLM + MB + SP + RO$$

ITV - inspeção nas linhas primárias através da termovisão (pontos quentes)

MLV – manutenção primária com a linha viva (sem desligamento)

IE – inspeção das estruturas (com equipes de apoio preventivo)

MLM – manutenção primária com a linha morta (com desligamento)

MB – manobras operacionais (chaves e alimentadores)

SP – serviços de poda (de galhos de árvores próximos a rede)

RO – serviços de retirada de objetos das redes (em linha viva ou morta)

O MC corresponde a manutenção corretiva que pode ser assim explicada:



$$MC = REST + MAT + MAN$$

REST – serviço de reestabelecimento com a equipe / terceiro de plantão

MATS – materiais a serem substituídos na rede

MAN – serviço de manobra de alimentadores para reestabelecimento.

O LC corresponde ao lucro cessante que a concessionária tem porque deixou de faturar energia naquele período. O lucro cessante pode estar diretamente associado com os fatores de DEC e FEC analisados anteriormente. Porém o lucro cessante do consumidor e outros prejuízos imputáveis ao desligamento são intangíveis no escopo desse trabalho.

A DPR corresponde a depreciação da linha de distribuição. Normalmente as concessionárias consideram um período entre 20 e 25 anos, mas na prática essa consideração é somente teórica já que os diversos materiais da rede têm diferentes períodos de vida útil. Enquanto os condutores nus podem durar até 40 anos, os transformadores dificilmente passam dos 20 anos.

Todos esses parâmetros variam muito de concessionária para concessionária e até mesmo em regiões diferentes da mesma concessão. Muitos desses fatores são terceirizados e sujeito a inúmeros reajustes com o tempo. Isso reforça o pensamento de que a análise econômica é de fato difusa e imprecisa, sendo os seus resultados apenas genericamente conclusivos.

Mas para se apresentar uma idéia comparativa serão analisados os **gráficos 1 e 2** assim como as **tabelas 3 e 4** resultantes dos cálculos que o fabricante de equipamentos “ INBRAC ” (ref. 22) fez a partir das seguintes considerações :

- Projetos reais com condutores de bitola comercial largamente empregada.
- Taxa de remuneração de 6% a 14% ao ano sobre o investimento.



- Taxa de depreciação linear de 4% ao ano num horizonte total de 25 anos sem reaproveitamento da linha instalada.
- Investimentos atualizados na data da consulta.
- Custos de operação fornecidos pela CEMIG
- Valores em reais
- Mesmo número de consumidores e densidade de carga
- Carregamento do equipamento em 56%
- Custos unitários a partir de estruturas (por poste)

No **gráfico 1** as considerações foram feitas fixando-se o tempo de vida em 25 anos e variando-se a taxa de retorno desde 6% (valor conservador) até 14% (pior hipótese). Desse gráfico pode-se tirar uma conclusão importante.

Para taxas conservadoras a RDA é a mais cara de todas, sendo condenada do ponto de vista econômico. Somente com taxas muito acirradas – acima de 14% - é que as redes RDA começam a fazer sentido do ponto de vista econômico. Isso é natural, pois não somente aos investimentos no setor elétrico, mas em qualquer outro, quando as taxas de remuneração do mercado de papeis são muito altas, ou seja atraentes para o investidor, elas desestimulam os investimentos em ativos. Considerando as atuais taxas praticadas no mercado brasileiro ¹³ conclui-se que as concessionárias não estão estimuladas economicamente a fazerem a atualização nas redes de distribuição.

No **gráfico 2** as considerações foram feitas fixando-se uma taxa em 14% e variando-se o tempo de utilização da rede para comparar o retorno (“pay back”). Nesse caso observa-se que no terceiro ano a RDA já tem um custo total idêntico a RDP e que a partir desse ponto ela se torna mais cara.

¹³ A SELIC é a taxa de remuneração dos papeis do Governo Federal e que baliza quase todas as aplicações do mercado financeiro. Em Abril de 2003 a SELIC estava em 26,5 % ao ano.



No **gráfico 1** as considerações foram feitas fixando-se a taxa de retorno em 6% e o tempo de depreciação da linha em 25 anos linear. Também foi considerado que as obras a serem executadas têm as características de extensão da rede. Nesse caso observa-se que a RDP é 74% do custo total da RDA e a RDI é 101% do custo da RDA.

No **gráfico 2** as considerações foram feitas também fixando-se a taxa de retorno em 14% e o tempo de depreciação da linha em 25 anos linear. Mas foi considerado que as obras a serem executadas têm as características de reforma da rede já existente. Assim existe o aproveitamento do posteamento, infra-estrutura e acessórios já existentes. Nesse caso observa-se que a RDP é 56% do custo total da RDA e a RDI é 101% do custo da RDA.

O estudo econômico feito por esse fabricante, conclui ainda que:

- As **RDA**s são inviáveis economicamente para projetos de longo prazo.
- As **RDP**s são plenamente viáveis do ponto de vista econômico, independentemente do tipo de obra e de outros fatores variantes quando os projetos forem com prazos superiores a mais de três anos, o que contempla a quase totalidade deles.
- As **RDI**s não são viáveis economicamente, sendo sempre um projeto mais caro nas diversas análises feitas. Sua sustentabilidade econômica só seria admitida a partir de aspectos não abordados nesse capítulo.



3.3. Aspecto ambiental

Não foi citada até agora a distribuição de energia elétrica em áreas rurais, até mesmo porque ela foge ao tema abordado. Porém é importante uma breve citação da mesma para lembrar que em áreas rurais **a linha de distribuição aérea convencional**¹⁴ é o único padrão de rede presente.

De fato a primeira e mais razoável das explicações para adoção desse modelo único é o econômico. O faturamento nunca justificaria a instalação de redes mais modernas do tipo RDP ou subterrânea, pois as análises geralmente desprezam na distribuição rural os custos de operação. Mas outro aspecto bastante importante a ser lembrado é o fato do meio ambiente estar menos sacrificado em ambientes rurais. Nos ambientes urbanos, principalmente naqueles com alta densidade populacional, o meio ambiente já está severamente comprometido por outras interferências feitas pelo homem.

Como a alta densidade populacional está normalmente associada a uma alta densidade de carga elétrica pode-se associar esse como um possível parâmetro de decisão e/ou regulação de linhas de distribuição.

A observação da **figura 20** traduz de maneira convincente a agressão das linhas de distribuição convencionais. Pelo fato dos condutores serem nus, o ar é o isolante entre as fases e por isso deve haver pleno espaço disponível. Na passagem transversal por cada árvore a RDA destrói um grande número de galhos – a norma NBR 5434, prevê um afastamento de 1 metro a partir da linha - quando não compromete toda a árvore. Isso sem considerar que essa interferência será indelével enquanto existir a rede no local.

¹⁴ Na distribuição primária rural, as linhas aéreas são o único modelo presente. Porém ela admite variações: linhas trifásicas com circuitos simples, linhas trifásicas com circuitos duplos, linhas bifásicas com distribuição balanceada ou ainda a famosa linha monofásica com retorno pela terra, a RDP.



Já a RDP exige uma poda bem menor que a RDA. Esse espaço reduzido não agride a árvore a ponto de comprometer sua existência, ao contrario a convivência é pacífica mesmo quando folhas e galhos começam a encostar-se aos condutores. Isso porque o elemento isolante nesse caso não é somente o ar, mais também a proteção de XLPE que envolve o metal.

A rigidez dielétrica do ar permite que em 13.8kv (tensão entre fases) os condutores estejam afastados em apenas 1cm (ref. 9) , porém não é viável esse tipo de construção, pois a qualquer movimento do conjunto haveria interrupção da rede. Mas os espaçadores assim colocados conforme a **figura 15** permitem que se operem com distâncias entre as fases em torno de 15 cm. Esse sem dúvida é um espaço bem mais enxuto que os exigidos pelas cruzetas de madeira que estão em torno de 2 metros de ponta a ponta.

Já a RDI praticamente não causa nenhuma agressão às arvores. Por ser totalmente isolada não é influenciada pelo contato dos galhos em sua estrutura. As RDIs são recomendadas para ambientes onde não possa haver interferências ou onde outros riscos estão envolvidos, justificando-se o custo total mais elevado.

Embora o aspecto ambiental seja intangível (conforme colocado no capítulo 1.1.), muitas considerações podem ser feitas sugerindo uma regulação a partir dessa abordagem:

A redução drástica do nível das podas é sem dúvida o aspecto mais visível. Além da economia discutida no capítulo é válido lembrar que no Brasil o equivalente a 250.000 árvores são ceifadas por ano em podas de liberação da faixa de passagem (ref. 36).

As discussões a respeito da lei 9.605 (lei dos crimes ambientais) assim como o decreto 3.179 (regulamentação dos crimes ambientais) podem subsidiar a preservação do meio ambiente urbano.



É importante lembrar que os novos tempos soprados a partir da Constituição de 1988 já não admite o isolamento inerente aos agentes do setor elétrico na época das estatais, que ignoravam o meio ambiente e o respeito a preservação da vida – inclusive a do homem.

No Brasil, segundo a ABRADÉE, cerca de 400 pessoas morrem por ano vítimas de acidentes com linhas primárias (muitas do próprio setor elétrico). Esse é um aspecto intangível e que não contempla os interesses econômicos dos atuais grupos controladores das concessões. Po isso a regulação nesse aspecto é justificada e urgente.

E de fato quando se fala em ambiente além da preservação da natureza, esta se discutindo também a qualidade de vida dos cidadãos. A preservação ambiental passa também pela preservação da estética e da segurança. Nesse ponto o setor elétrico brasileiro copiou o modelo americano de maneira irregular e irresponsável. Além da poda criminosa de árvores seculares é comum o freqüente risco a que são expostas as pessoas que têm suas varandas e janelas perigosamente próximas a redes de média tensão com cabos nus.

Uma forte regulação seguida de mudança de cultura traria um melhor relacionamento com prefeituras, ONGs e sociedade além de uma valorização difusa e abrangente do espaço urbano.

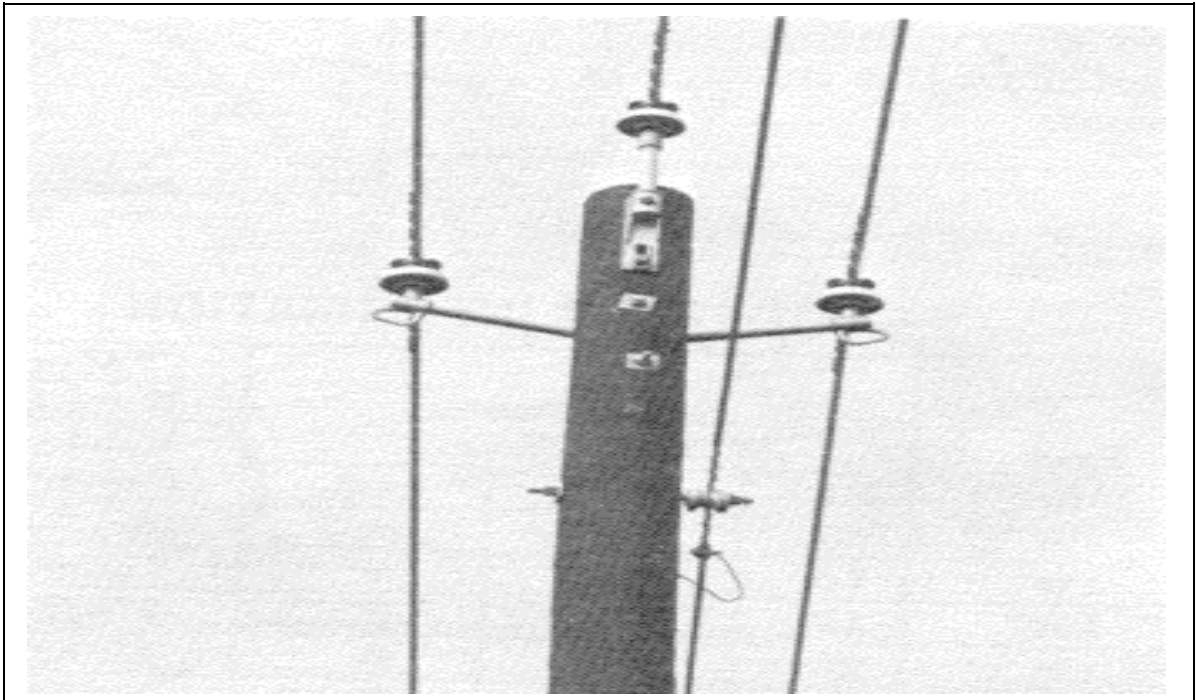


Figura 9: Exemplo de alternativa de rede compacta. Fonte www.inbrac.com.br.



Figura 10: Exemplo de condomínio residencial com rede compacta. Fonte www.inbrac.com.br.



Figura 11: . Exemplo de área urbana com rede compacta. Fonte www.inbrac.com.br.



Figura 12: . Exemplo de área urbana com rede isolada. Fonte www.inbrac.com.br.



Figura 13: . Exemplo de área urbana com rede isolada. Fonte www.inbrac.com.br.



Figura 14: . Exemplo de área urbana com rede compacta usando braços. Fonte www.inbrac.com.br.



Figura 15: Saída de subestação com quatro alimentadores compactos. Fonte www.pirelli.com.br



Figura 16: Foto de acessórios para derivação de rede isolada. Fonte www.pirelli.com.br



Figura 17: Disposição de religadores na saída da subestação. Fonte AGERBA. Relatório 2003.



Figura 18: Exemplo de rede isolada em área densamente arborizada. Fonte www.inbrac.com.br



Figura 19: Rede em Vila Serra - MG. Região de preservação ambiental. Fonte www.inbrac.com.br

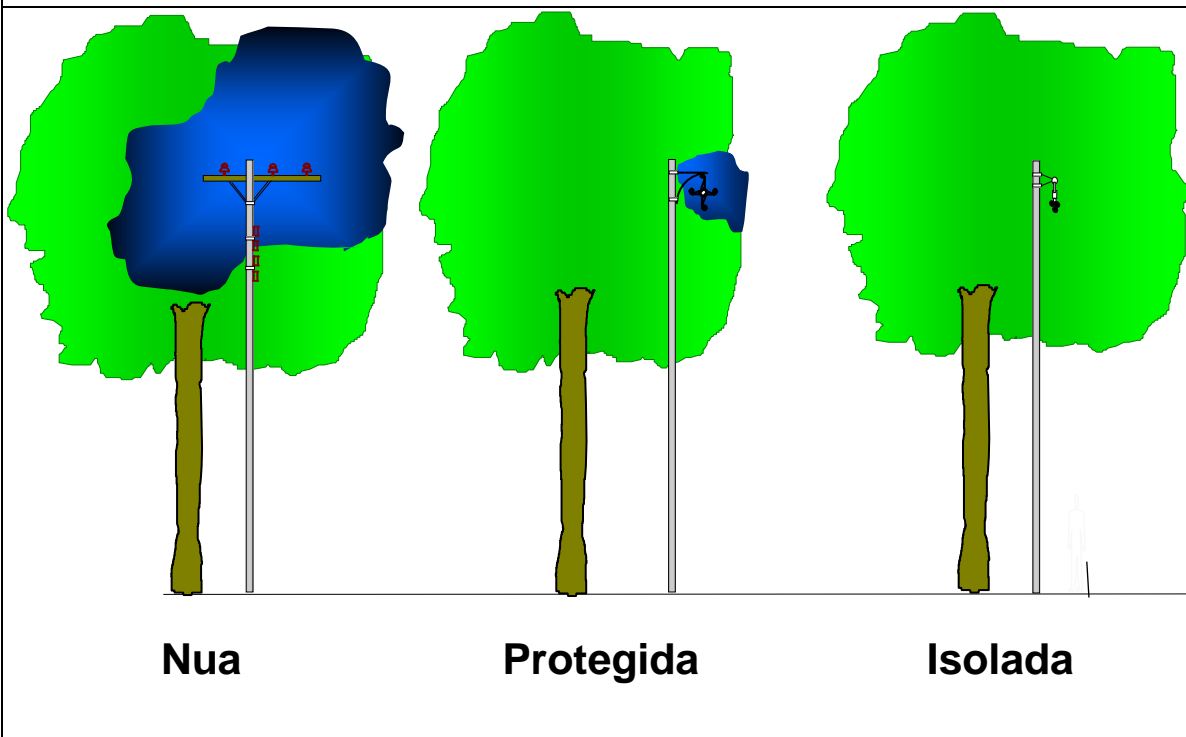


Figura 20: Desempenho da rede compacta em área arborizada. Fonte www.inbrac.com.br

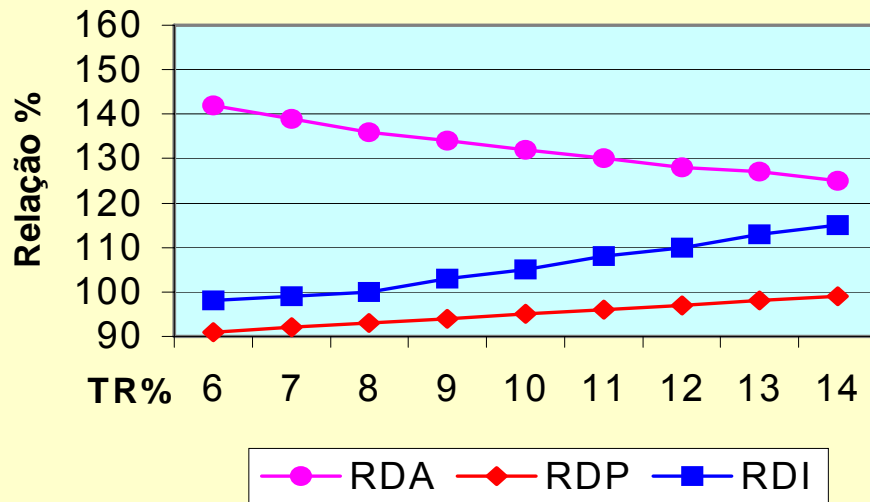


Gráfico 1: Comparação econômica entre os diversos tipos de redes em função da taxa de remuneração.

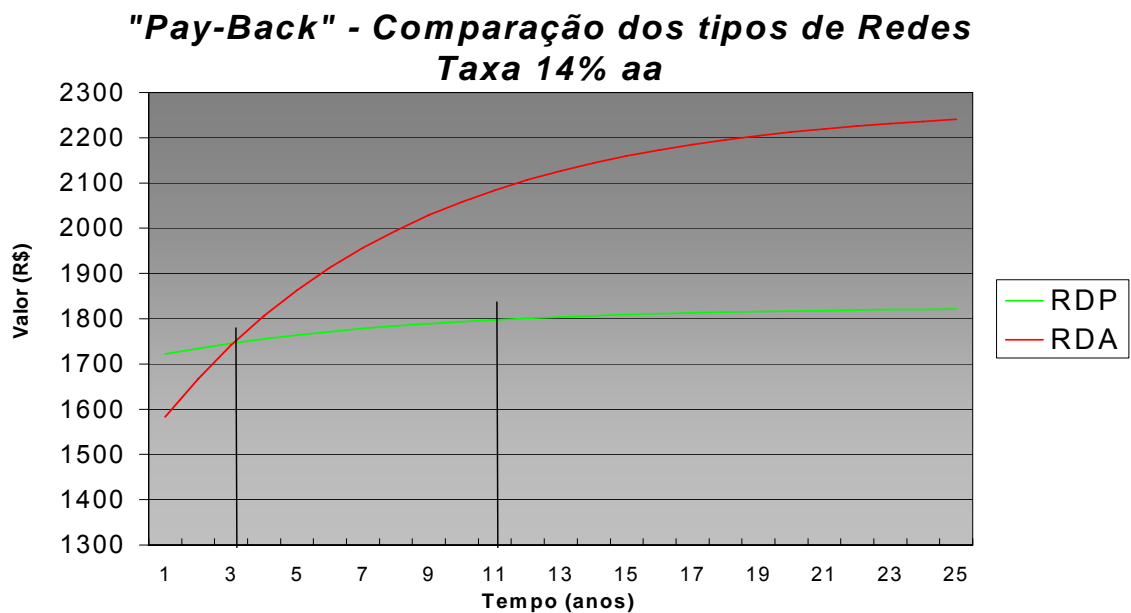


Gráfico 2: Evolução dos custos totais dos diversos tipos de redes em função do tempo de vida útil.



Gráfico 3: COPEL: Diminuição do DEC com a alteração dos trechos do alimentador de RDA para RDP.

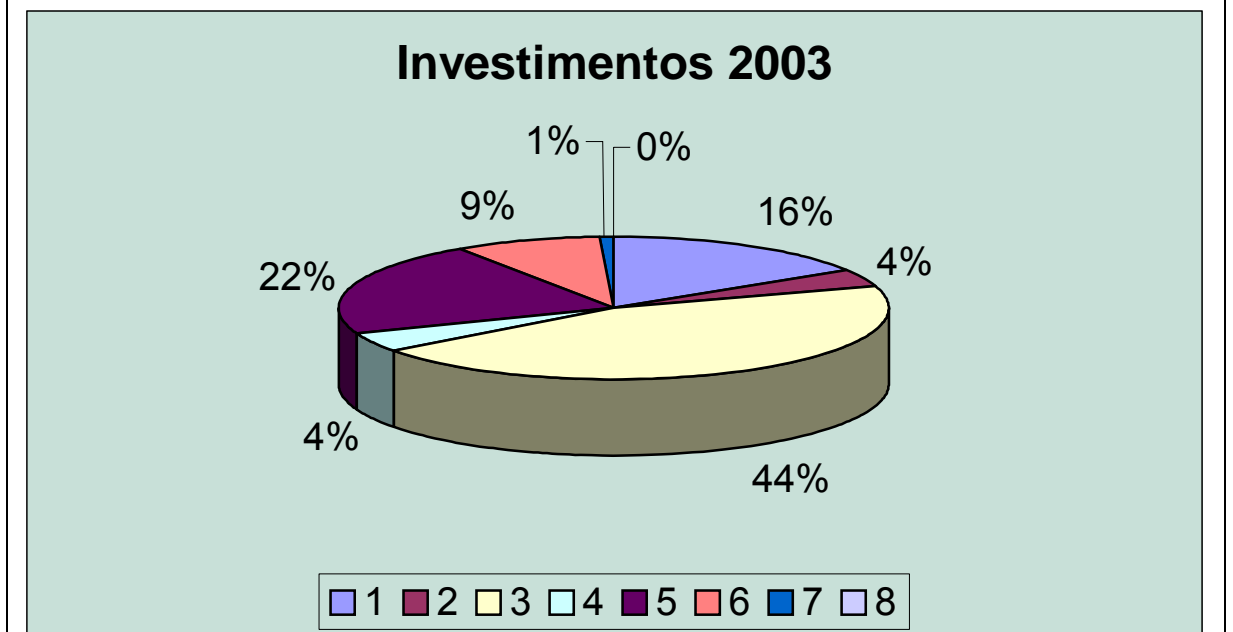


Gráfico 4: COELBA: Percentuais aplicados aos diversos tipos de investimentos no sistema de distribuição.



Capítulo 4

Novas tecnologias de distribuição urbana em redes subterrâneas

4.1. Aspecto técnico

4.1.1. Introdução

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.

De um modo geral, se pensa que as redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica eram caras demais para serem instaladas, por isso a escolha comum era sempre pelas redes aéreas. Contudo, se por um lado as redes aéreas são mais baratas de instalar, por outro elas têm um custo de manutenção e de operação elevado depois de instaladas. Isso sem contar que elas também são bem menos seguras e que estão constantemente sendo danificadas pelas ações do meio ambiente.

No Brasil os técnicos e engenheiros já estão repensando a opção sistemática pelas redes aéreas. Os novos projetos considerados modernos e seguros já estão utilizando as redes subterrâneas de distribuição de energia (**RDS**), uma tendência que está sendo adotada considerando um estudo mais apurado dos custos.



Os cabos que passam pelas redes aéreas ficam diretamente expostos ao contato com as árvores. É preciso podá-las sempre para que a rede elétrica não acabe sendo desligada por elas, interrompendo o fornecimento de energia. Podar uma árvore custa cerca de 10 dólares (ref. 22). Uma vez que os cabos ficam expostos, as intervenções para consertos também precisam ser freqüentes. Os danos são causados por acidentes com veículos que atingem os postes, raios (descargas atmosféricas), chuvas, contaminação ambiental (poluição, salinidade), ventos e pássaros.

No aspecto **confiabilidade**, as redes subterrâneas são mais eficientes porque não sofrem interferências. Por estarem enterradas, elas ficam a salvo do 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 (lados), deixando apenas parte da rede desconectada em caso de queda do sistema (**fig. 28**)

Atendendo a distribuição desde baixas até médias tensões (35 KV), as redes subterrâneas de energia são mais seguras porque utilizam cabos isolados, ou seja, o campo elétrico fica confinado dentro deles.

Desse modo, 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 de árvores, da interrupção do fornecimento de energia, dos custos sociais, da falta de segurança e da não-produção, fica mais fácil notar que ao longo do tempo as redes subterrâneas são vantajosas, tanto para quem instala quanto para quem as utiliza. Um exemplo disso está na **figura 26** que refere-se a um condomínio que optou pelas instalações subterrâneas. Nota-se que existe uma explícita valorização do patrimônio que supera de longe o investimento feito. Outra demonstração dessas vantagens está nas comparações feitas na **tabela 2**.



Mas então se as redes subterrâneas apresentam tantas vantagens, a explicação para que as mesmas ainda não estejam tão difundidas reside no seu custo inicial. De fato, conforme será visto no próximo item desse capítulo, o custo inicial de uma distribuição subterrânea em comparação com uma distribuição aérea pode chegar a cerca de 5 vezes. Em países onde a poupança é escassa esse tipo de diferença desestimula o investimento para recuperação futura.

Essa enorme diferença de custo inicial se deve principalmente ao condutor elétrico, que na média tensão passa a desenvolver uma filosofia de construção completamente diferente. Na linha aérea de distribuição de energia o ar é utilizado como isolante pois possui uma alta rigidez dielétrica. Os condutores estão localizados em uma altura inacessível para os transeuntes.

Já na instalação subterrânea o isolante passa a ser o material sintético em volta do cabo. Por isso ele deverá ter uma espessura suficiente para suportar os esforços do campo elétrico até o aterramento. Esses esforços tem que ser uniformes, porque como o espaço é pequeno poderia haver rompimento do dielétrico ou trilhamento¹⁵. Outro problema apresentado é que os cabos podem estar localizados a uma distância próxima aos transeuntes e assim os campos eletromagnéticos criados ao redor do condutor induziriam correntes perigosas no ambiente. Por isso os cabos de média tensão isolados precisam ser blindados e aterrados para confinar o campo elétrico no seu interior. Essa blindagem é de difícil construção, conforme será mostrado abaixo, e ela tem que ser feita em toda a extensão da rede o que leva ao seu encarecimento.

¹⁵ O trilhamento é um fenômeno comum que ocorre na isolação dos cabos de média tensão. A partir de falhas microscópicas geradas na ocasião de construção do cabo, as correntes de fuga vão penetrando e abrindo caminhos de passagem cada vez maiores até que ocorre o rompimento dielétrico e o curto-circuito resultante.



Os cabos de potência isolados para redes subterrâneas (ref.30) apresentam a seguinte configuração básica: condutor, blindagem do condutor, isolação, blindagem da isolação e cobertura. Conforme pode também ser observado na **figura 22**.

Condutor

O condutor é normalmente constituído por uma corda do tipo redonda compactada (classe 2 de encordoamento, conforme NBR 6880). Este tipo de corda apresenta algumas vantagens que se traduzem na redução do seu diâmetro externo e em uma superfície externa mais uniforme. O cobre ou alumínio é recozido (têmpera mole).

Blindagem do condutor

Sobre o condutor é extrudada uma camada de material semicondutor, com as seguintes finalidades:

- uniformizar a distribuição do campo elétrico - A camada semi condutora, devido à sua condutibilidade, pode ser considerada como parte integrante do condutor, convertendo, do ponto de vista elétrico, sua superfície irregular em uma superfície praticamente cilíndrica e lisa. Com isto, minimizam-se substancialmente as concentrações de campo elétrico na isolação.
- eliminar a ocorrência de descargas parciais - A superfície da camada semi condutora fica em íntimo contato com a da isolação, promovido pela extrusão simultânea, eliminando a existência de espaços vazios responsáveis pelos efeitos nocivos de descargas parciais.

Isolação



A isolação é aplicada por extrusão, sobre a camada semi condutora, por um processo contínuo e simultâneo, de tal modo que a interface semicondutora / isolação seja isenta de espaços vazios. Os materiais usados na isolação (HEPR, EPR, XLPE e EPR 105) são os responsáveis pelas diferenças básicas que distinguem os cabos extrudados existentes, principalmente quanto às características fundamentais, tais como: rigidez dielétrica, dispersão da rigidez, perdas dielétricas, classe térmica e resistência às descargas parciais.

Blindagem da isolação

A blindagem da isolação é constituída de uma parte semi condutora e uma parte metálica: A parte semi condutora, aplicada sobre a isolação, permite uma distribuição uniforme e radial do esforço elétrico na isolação, evita a presença de espaços vazios ionizáveis entre a isolação e a blindagem metálica e confina o campo elétrico à isolação. A parte metálica, formada por fios de cobre ou alumínio, tem como função dar ao cabo as seguintes características:

- Proteção: desde que convenientemente aterrada, permite maior segurança, eliminando perigos de choques elétricos em caso de contato direto ou com a cobertura do cabo.
- Condução da corrente capacitiva.
- Condução da corrente de curto-circuito fase-terra: cria um caminho de baixa impedância para retorno da corrente, em condição de curto-circuito, devido ao baixo valor de resistência ôhmica.

Cobertura

A cobertura é aplicada sobre a blindagem da isolação, por extrusão, e tem como finalidade a proteção mecânica do núcleo do cabo. O material utilizado na cobertura dos cabos é o



PVC¹⁶. A identificação do tipo de cabo, seu número de condutores e seção, tensão de isolamento, etc. é feita por meio de gravação na cobertura, conforme prescrevem as Normas Brasileiras.

Armação

Quando necessários os cabos são protegidos com uma cobertura de PVC, tornando-os adequados para instalações usuais como bandejas, canaletas, dutos subterrâneos ou ao ar livre, etc. Contudo, existem instalações sujeitas a solicitações mecânicas acidentais e que podem danificar os componentes dos cabos. Nestas instalações recomenda-se a utilização de cabos providos de uma proteção adicional, metálica ou não, que absorvendo os esforços de tração, compressão ou impacto, garantam a integridade física dos componentes e portanto maior vida útil.

Proteção contra esforços longitudinais

Quando necessário pode-se também fazer uma armação constituída por uma ou mais coroas de fios de aço galvanizado ou fitas aplicadas em hélice com passo longo. Este tipo de armação é, normalmente, aplicada sobre uma capa não metálica e sob uma cobertura para proteção contra corrosão.

Novas técnicas aplicáveis a redes subterrâneas:

Já existem alguns tipos de instalações de redes subterrâneas mais simples, que possibilitam a melhoria do desempenho do sistema com menos investimentos.

Normalmente se costumava instalar as redes subterrâneas em bancos de dutos: primeiro se construíam os dutos, depois os cabos são puxados por eles. Se fosse necessário trocar

¹⁶ PVC é a denominação comercial do cloreto de polivinila.



os cabos, esta técnica permitiria retirar os mesmos sem ter que abrir o solo ou fazer novas obras. Os dutos oneram bastante o custo de instalação, pois envolve um custo de engenharia civil inerente a quebra de rua, construção de valas, assentamento de solo, escoamento de água e reconstrução.

Utilização de cabos diretamente enterrados - esta técnica, muito empregada na Europa, se elimina o banco de dutos, reduzindo o custo da instalação inicial. Nos últimos anos os cabos passaram por grandes evoluções e estão mais resistentes aos impactos e à umidade. A construção moderna dos cabos permite que eles durem pelo menos 30 anos, dispensando a construção de dutos ou outros recursos de proteção mecânica.

A “Trenchless”, também conhecida como perfuração guiada ou método não-destrutivo, é uma solução que permite instalar a rede sem a abertura de valas. Pode ser encontrada principalmente nas travessias de rodovias ou em áreas de grande adensamento de estruturas; e sua grande vantagem é não causar o congestionamento das áreas por onde passa. Nesse método uma máquina de perfuração escava de maneira direcionada por baixo das instalações do solo um túnel guia que depois é ampliado e pelo qual se passam os cabos.

Na utilização do “Arado” ou “Valetadeira” a técnica consiste de um trator que reboca uma bobina de cabos. A mesma máquina faz a abertura do solo, a colocação do cabo e o recobrimento, em uma única operação, barateando a instalação e diminuindo o tempo de interrupção de tráfego sobre o solo.

Também é válido comentar que na mesma instalação de linha podem ser usadas técnicas diferentes: uma hora se usa o arado para determinado trecho e depois se usa o método não destrutivo para fazer uma travessia. Novamente volta-se à utilização do arado até o ponto final.



Podem também dentro da mesma linha de distribuição conviverem trechos de linhas aéreas (nas faixas de passagem onde isso é permitido) com trechos de linhas subterrâneas (naqueles pontos em que se fizerem necessários).

Já em relação às caixas de emendas, as redes subterrâneas exigem a colocação de pontos acessíveis para emendas de cabos, pois na maioria dos casos a distância da linha de distribuição (acima de 200m) não permite a fabricação de lances únicos. Hoje existem estruturas prontas, moldadas em concreto ou fibra de vidro, que facilitam a instalação, eliminando a necessidade de se construir caixas de emendas.

E em relação às emendas nos condutores propriamente ditas já existem os acessórios desconectáveis que (como o próprio nome indica) podem ser usados com maior flexibilidade de operação.

Já em relação aos equipamentos, esses podem ser montados acima do solo - também chamada “pad-mounted” – porque essa técnica evita a necessidade de se construir grandes caixas enterradas para abrigar equipamentos de transformação e seccionamento. Com ela economiza-se os custos com a construção da caixa e a utilização de equipamentos submersíveis (estanques à água).

Os fabricantes nacionais já possuem em estoque cabos especiais isolados de baixa e de média tensão para uso enterrado diretamente no solo, além de acessórios desconectáveis e emendas contráteis a frio, que são totalmente pré-fabricadas, resistentes a umidade e adequadas para esse tipo de aplicação.

Para os circuitos de distribuição os cabos podem ser tanto de cobre quanto de alumínio; isolados em PVC, EPR ou XLPE; para instalação em dutos, canaletas ou diretamente enterrados. Há também os novos cabos Air Bag, que são altamente resistentes a impactos mecânicos provenientes da compactação do solo.



Esses avanços reforçam a idéia de que as instalações elétricas subterrâneas já encontram-se com opções bastante avançadas, diminuindo a diferença do investimento a ser feito se comparada com a linha convencional de distribuição aérea.

4.1.2. Características eletromecânicas

As redes subterrâneas de distribuição de energia de média tensão utilizadas podem ser divididas em dois tipos distintos: *radial* e *reticulado*, conforme pode ser visualizado na **figura 28**.

O sistema radial com recurso de manobra é considerado o mais simples e oferece grande confiabilidade na operação. Trata-se de uma configuração de rede primária, em que os transformadores são derivados de alimentadores diferentes dispostos em anel, por meio de chaves seccionadoras.

Já o sistema reticulado, também chamado de “ network ”, é mais sofisticado e possui recursos para a administração e o controle do fornecimento de energia. Ele é formado por diversos cabos alimentadores de média tensão interligados a uma grande malha de baixa tensão e utiliza transformadores de 500 KVA. Nesse sistema, mesmo que dois cabos alimentadores, alguns transformadores ou até trechos da malha de baixa tensão saiam de operação, isso não causará a interrupção do fornecimento de energia, pois a rede reticulada possui diversos pontos alimentadores para servir os seus consumidores.

Esse sistema segue o mesmo conceito das redes instaladas nas grandes cidades de países desenvolvidos. Na cidade do Rio de Janeiro, estão em operação mais de 40 redes subterrâneas reticuladas, que foram instaladas de forma pioneira pela Light no Brasil na década de 30 (ref. 25).



Conforme já foi comentado também para linhas aéreas do tipo RDP ou RDI, as soluções mais modernas, como é o caso também das redes subterrâneas, não recomendam o uso de religadores (“reclosers”); pois as causas de desligamentos normalmente não são fortuitas e os religadores poderiam causar perdas materiais irreversíveis.

4.1.3. Especificação de novos materiais

a) Quanto aos cabos condutores elétricos a serem utilizados

Um dos problemas enfrentados na construção das redes RDS é o custo elevado da construção de dutos para a passagem dos cabos, já que os cabos convencionais não podem ser diretamente enterrados em situações de grande esforço mecânico, como por exemplo na travessia subterrânea de uma via congestionada. Nesse caso os fabricantes de cabos elétricos em parceria com as concessionárias de energia desenvolveram um tipo de proteção mecânica que promete ser uma solução largamente utilizada. Essa proteção mecânica elaborada com um custo reduzido para os padrões de cabos de média tensão permite a utilização de construção de linhas com cabos diretamente aterrados, mesmo quando os esforços mecânicos apresentarem-se muito severos. Os cabos construídos com essa proteção receberam o nome comercial de “*air bag*”.

O sistema é composto por uma camada especial de material plástico protetor que pode ser aplicada a diversos tipos de cabos elétricos. Os cabos podem ser unipolares ou tripolares, com condutores em cobre ou em alumínio, e o sistema pode ser usado sem qualquer restrição nos mais diversos tipos de ligações elétricas.



Em geral as instalações com os cabos Air Bag também custam menos do que aquelas com cabos armados com aço¹⁷. O lançamento desta tecnologia representa um passo importante para a modernização das redes de distribuição de energia, pois ela permite que os cabos sejam enterrados a um custo menor.

A técnica de instalar cabos diretamente enterrados é bem mais econômica que as demais. Porém, ela exige que o cabo apresente uma proteção extra, pois ele vai estar exposto diretamente ao contato com o terreno e suas irregularidades, pedras e a todo tipo de impactos.

Este sistema pode ser aplicado tanto nos cabos para média quanto para baixa tensão. Por não utilizarem aço em sua camada protetora, mas sim um material plástico especial, os cabos Air Bag são mais leves. A redução de peso pode chegar a 40% em relação aos cabos armados com aço (ref. 29).

Essa qualidade também permitiu aos fabricantes aumentar o lance de cabos em cada bobina sem alterar o peso final delas, tornando o seu transporte e manuseio mais fácil. Uma grande vantagem, já que com cabos mais leves ganha-se na velocidade de instalação e também no menor número de emendas que se precisa fazer.

A camada polimérica de proteção do Air Bag não está sujeita às perdas de energia causadas por correntes induzidas, como acontece com os cabos armados com aço. Essas propriedades permitem o uso do sistema inclusive nos cabos unipolares.

Segundo o Eng. Loureiro (ref.25), os cabos unipolares não podem receber a armação de aço porque nesses condutores a proteção metálica causa o superaquecimento, que também leva à perda de energia.

¹⁷ Apesar dessa ser uma afirmação vinda do fabricante do cabo, ela apresenta uma verdade pois a comparação dos preços dos cabos convencionais com os cabos do tipo airbag são pequenas, sendo que o segundo dispensa a construção de dutos.



Testes de fabricantes mostraram que o sistema Air Bag oferece proteção superior à da armação em aço. Quando o cabo recebe um impacto (o tipo de acidente mais danoso aos cabos elétricos), a camada Air Bag atua como um colchão, ou seja, deforma-se para absorver essa força, dissipando o impacto de forma que este não seja transferido para a parte sensível do cabo (a isolação). Depois de absorver o impacto, a camada polimérica do Air Bag volta ao seu formato original ¹⁸.

Já com os cabos armados metálicos é diferente. A armação de aço resiste ao impacto até um certo limite; depois disso ela cede e se deforma permanentemente, transferindo então o impacto para a isolação. Com a isolação danificada o cabo induz correntes de fuga que irão formatar um trilhamento e conseqüentemente um furo na isolação acarretando o curto-circuito.

Por ser robusto em relação aos cabos convencionais, pode ser montado em valas relativamente rasas, de 60 a 80 cm de profundidade.

O sistema apresenta um desenho que absorve a energia cinética dos impactos mais intensos e agudos por meio de sua própria deformação. Desta forma, não sobra energia residual capaz de danificar as partes internas mais importantes do cabo, como a isolação e a blindagem. O nível de proteção alcançado aumenta a confiabilidade do sistema de distribuição.

A primeira instalação desse tipo de condutor para distribuição em média tensão foi feita na Itália, pela ENEL ¹⁹ na cidade de Milão, que desejava substituir os cabos isolados em papel por uma alternativa mais econômica e que oferecesse melhor confiabilidade para o seu sistema. Como os cabos a serem substituídos eram caros e a troca significava um

¹⁸ Esse teste demonstrativo está no filme em VHS de lançamento do produto por um fabricante de cabos de média tensão e que foi apresentado em um seminário de distribuição no X ENIE (Encontro Nacional de Instalações Elétricas).

¹⁹ ENEL Empresa Nazionale de Elettricità. Estatal detentora do monopólio de distribuição de energia na Itália.



investimento alto, a empresa buscava uma opção que representasse um conceito novo para a operação. No Brasil as primeiras aplicações foram feitas na cidade do Rio de Janeiro.

b) Quanto a instalação dos transformadores :

Um dos aspectos técnicos mais importantes quando são estudadas as soluções para distribuição subterrânea se refere a localização dos transformadores e as derivações para os consumidores. Como foi colocado no capítulo 1 desse trabalho, os transformadores de distribuição estão localizados no poste com a função de transformar para baixa tensão o nível de voltagem a ser entregue aos consumidores.

Os transformadores de distribuição são equipamentos pesados (em torno de 100kg) e que ocupam um volume grande (em torno de 1 m³) sendo também um elemento do sistema elétrico que recebe energia em média tensão e por isso mesmo perigoso para os transeuntes.

Com todas essas nuances a engenharia de distribuição tem procurado soluções que busquem a alocação desses equipamentos nas ruas, pois no caso de instalações subterrâneas não estarão mais disponíveis os postes para sua fixação.

A solução mais comum é a construção de câmaras de subterrâneas onde são colocados os transformadores e os barramentos de distribuição. Porém esse tipo de construção trás alguns problemas na sua utilização:

- Em primeiro lugar a sua construção normalmente é dispendiosa e aumenta a relação entre os custos comparativos, desestimulando a modernização da rede.
- A construção também terá que prevê um espaço destinado a movimentação futura dos técnicos o que aumenta a necessidade de espaço físico.



- O acesso em dias de pouca luminosidade ou chuva intensa é dificultado pelo fato de estar abaixo do nível do solo.
- Quando não existe solução de escoamento de água, essas câmaras acumulam o fluxo pluvial trazendo risco de interrupção do sistema.
- Por estarem abaixo do nível do solo podem, através da abertura de ventilação, captar dejetos e lixo em seu interior.

Por esses e outros motivos intangíveis é que está se utilizando a construção de “pedestais” protegidos e acima do nível do solo para abrigar esses “centros de transformação” ; conforme pode ser visto na **figura 23**.

Esses centros de transformação que podem abrigar o transformador de distribuição e seus acessórios é uma solução prática, segura e econômica para redes de distribuição de média tensão embutidas, pois elimina as inconveniências das câmaras antigas.

Este tipo de solução de rede não necessita de condições especiais para a sua instalação, sendo aplicável em qualquer localidade. Um dos motivos da popularização deste sistema é o investimento das empresas que atuam neste segmento, que resulta na oferta de alternativas e tecnologias econômicas para diminuir o custo.

Desenvolvidos para uso em redes subterrâneas, eles são compostos por um envoltório de concreto pré-moldado para armazenar uma subestação compacta, formada por um equipamento de manobra em média tensão, transformador(es) e painéis de comando de baixa tensão. As “subestações” são indicadas para uso geral e não somente para as concessionárias de energia.

Fabricados em concreto armado e em estrutura de ferro toda soldada, os envoltórios são planejados conforme a norma IEC 1330 e estão disponíveis em diversos tamanhos e formas de instalação. A escolha depende das necessidades de capacidade e espaço de cada local.



Uma das vantagens destes centros de transformação é a economia de tempo e de recursos, uma vez que os equipamentos já vêm montados, instalados e testados de fábrica, com garantia de qualidade uniforme. Assim não há gastos com mão-de-obra e o trabalho de instalação fica reduzido, pois não existe a necessidade de se fazer uma vala.

Também são seguros e projetados com ventilação adequada para o correto funcionamento dos equipamentos, controlando a dissipação de energia. Além disso, são estrategicamente desenvolvidos para minimizar o impacto visual e se adaptar esteticamente a qualquer ambiente, ocupando o mínimo de espaço. Vários tipos e modelos já encontram-se disponíveis :

- Centro Monobloco Tipo Subestação (PFU) é um centro de manobra interna que comporta até dois transformadores de potência máxima de 1.000 KVA cada. Pode atender tensões até 36 KV
- Centro Compacto Semi-Enterrado (MiniBLOK) é um centro de manobra externa para redes de até 24 KV e um transformador de 225, 300 ou 500 KVA, próprio para espaços limitados.
- Centro Compacto Subterrâneo (MiniSUB) é um centro de manobra interna para redes de até 24 KV e um transformador de 225, 300 ou 500 KVA, próprio para quando não se deseja ocupar o espaço da superfície (como locais de passagem) ou para quando se quer eliminar o impacto visual.
- Centro Compacto Terminal (OrmaBAT): Centro de manobra externa para redes de até 24 KV e um transformador de até 150 KVA.
- Centro Compacto Terminal: comporta um transformador de até 150 KVA, conforme as **figuras 24 e 25**.

c) Quanto aos acessórios de ligação:



Um dos aspectos tecnológicos mais desestimulantes na instalação de RDS residia na dificuldade encontrada pelos projetistas de especificar acessórios de derivações para as redes. Conforme explicado anteriormente, o condutor de média tensão precisa necessariamente estar em todo o seu trajeto blindado e aterrado para evitar que os intensos campos elétricos escapem ao ambiente. Os acessórios eram o ponto fraco na construção desses sistemas, pois as tecnologias não permitiam um equipamento seguro, pequeno e acessível economicamente.

Com o desenvolvimento de novos materiais poliméricos assim como borrachas produzidas a partir de um processo de alto grau de limpeza²⁰ permitiram a fabricação de acessórios leves e compactos que poderiam ser inclusive desconectáveis, conforme pode ser visto na **figura 16**.

Os acessórios desconectáveis são as terminações para 200 e 600 ampères que facilitam a ligação dos cabos, aumentando a agilidade e a confiabilidade dos serviços de manutenção, pois ao invés das demoradas e indelévels emendas as ligações nos cabos passam a serem feitas no sistema de “ **plug-in** ” como se fossem simples tomadas. Assim esses terminais também simplificam as manobras de expansão das redes.

Os itens têm isolamento à prova d’água e acompanham kit com todos os elementos necessários para sua instalação. Para fazer o mesmo trabalho com emendas convencionais, seria preciso cortar uma parte do cabo e talvez até mesmo trocar todo um lance do condutor.

Mas até mesmos as emendas já estão sendo desenvolvidas com uma nova filosofia: pré-montadas. As novas gerações dispensam o uso de maçaricos para soldagem ou

²⁰ O UCP (ultra clean process) refere-se a um método de fabricação de isolante de borracha com um baixíssimo grau de impurezas, o que confere a essa mesma borracha uma alta rigidez dielétrica e conseqüentemente uma menor espessura para isolar o mesmo range de voltagem.



termocontração. A partir somente da união das pontas preparadas dos cabos de média tensão, as novas emendas permitem a instalação à frio e de maneira rápida e econômica .

4.1.4. Desempenho de campo

Uma das mais importantes colocações feitas em relação a associação entre a legislação do setor e as linhas de distribuição primária são os índices de DEC e FEC que afetam os conjuntos de consumidores alimentados pela aquela rede.

Sendo o **DEC** a duração equivalente de interrupção, é um índice que expressa basicamente quanto tempo a partir da ocorrência da falta do fornecimento, a concessionária demorou em restabelecer a normalidade. Como já foi dito antes, quanto maior esse índice, maior foi a demora no concerto, motivada pela falta de estrutura operacional ou dificuldades intrínsecas àquele tipo de linha. No caso da rede primária subterrânea existe um dilema a ser considerado, pois se a RDS substituir a rede primária na forma radial, estará expondo o índice de DEC a um valor muito alto, já que normalmente as causas de interrupção em redes subterrâneas não são fortuitas e além disso têm uma identificação e reparação muito mais complexa que as RDA.

Assim normalmente para áreas mais densamente povoadas ou com consumidores do grupo A²¹ os sistemas com RDS tem formato de anel ou reticulado com manobras disponíveis para um rápido reestabelecimento.

²¹ Os consumidores do grupo A são definidos assim pela resolução 456/00 da ANEEL que classifica nesse grupo os consumidores atendidos em média tensão e com grande importância comercial, como por exemplo um Shopping Center.



Sendo o FEC a frequência com que ocorre as interrupções, é um índice que expressa basicamente quantas vezes está havendo falha naquele conjunto de consumidores. Assim podemos concluir que quanto maior esse índice, pior é a qualidade da rede primária, já que atinge um número grande de consumidores. No caso das RDS esses índices costumam ser muito inferiores aos índices das RDAs, pois conforme já foi dito, as redes subterrâneas estão isentas de diversas interferências do ambiente.

4.1.5. Critérios técnicos de utilização

Na moderna construção civil, os “melhores” cabos elétricos são aqueles que não se vê. O maior conforto, segurança e confiabilidade que as obras estão conseguindo obter com a adoção das redes subterrâneas de distribuição de energia têm sido bem recebidos pelo mercado.

Sem deixar de avaliar a relação custo/benefício – que será mais bem discutida no próximo item - os empreendedores estão notando que vale a pena optar pela solução tecnologicamente mais avançada se comparada à infinidade de vantagens que o sistema possibilita.

Os custos de instalação das redes subterrâneas baixaram nos últimos anos em função das inovações apresentadas no item anterior. Não existem mais dificuldades para se projetar ou construir redes enterradas, pois essa tecnologia já está totalmente disponível. É por isso que esta solução está sendo cada vez mais usada nos condomínios horizontais – principalmente nos loteamentos de alto padrão.

As redes subterrâneas resolvem mais do que a instalação elétrica. Uma vez aberta a vala técnica, pode-se unir ali média tensão, baixa tensão, fiação para telefonia, TV a cabo e iluminação pública, respeitando-se as distâncias exigidas pelas normas. Os fabricantes de



equipamentos estão ganhando experiência e desenvolvendo tecnologias de compatibilização. Isso está fazendo com que os custos caiam, aumentando a procura por esta solução também entre os condomínios verticais.

Numa hipótese onde dois loteamentos apresentassem o mesmo padrão de acabamento, mas apenas um deles possuísse fiações enterradas, corretores de imóveis²² estimam que o preço final de mercado deste último seria no mínimo 10% maior em relação àquele que estivesse equipado com rede aérea convencional (ref.25).

4.1.6. Construção de vala técnica

Embora não esteja diretamente ligada a distribuição de energia elétrica, a distribuição telefônica aproveita a posteação existente para fazer também a sua distribuição quanto se trata de linhas aéreas.

A companhia telefônica, em todos os casos no Brasil, paga um aluguel por utilização individual de cada poste, comprometendo-se a preservar sua estrutura.

Dessa feita um dos elementos que poderiam ser questionados, quando sugerido a substituição de um ramal aéreo de distribuição por um ramal subterrâneo, seria o que fazer em relação a distribuição da telefonia e as implicações de custos envolvidos.

No caso, cessado o contrato de aluguel do poste à empresa telefônica, ou ainda providenciada a sua indenização, ficaria a concessionária de energia elétrica isolada desse problema. Conforme a **figura 30**.

²² Essa avaliação foi informada por uma entrevista a um instalador em São Paulo por revista especializada.



Analisando o interesse da sociedade, não haveria problemas para o assinante da linha telefônica, pois os cabos telefônicos já contam com tecnologia desenvolvida para que seja providenciada também as suas instalações embutidas.

Da mesma maneira que atinge os cabos de energia, a umidade presente nas canaletas e caixas de passagens subterrâneas é o principal problema que as instalações enfrentam. No caso da telefonia, os cabos são preenchidos com uma pasta geleada que tornam estanques os cabos a penetração longitudinal e radial de água.

Finalmente pode-se dizer também que, conforme já afirmado nos capítulos anteriores, a vala que é aberta para a passagem dos cabos de energia podem também servir de passagem para outros tipos de serviços, a exemplo da telefonia, água, gás, TV a cabo etc. Esse inclusive é um padrão de construção de condomínios muito adotado no Canadá (ref. 13) e copiado parcialmente na cidade de Brasília²³.

²³ O centro da cidade de Brasília é atendido por rede RDS e alguns condomínios utilizam valas de serviços.



4.2. Aspecto econômico

Todos os aspectos relacionados a projetos apresentam suas vantagens e suas desvantagens, no estudo de redes de distribuição está sendo feita uma segmentação dessas comparações nos aspectos técnico, econômico e ambiental no que se refere às alternativas para redes de distribuição subterrânea.

Conforme já comentado, a análise econômica de alternativas para distribuição de energia elétrica em áreas urbanas não é uma tarefa fácil, porque a comparação não pode ser feita para projetos de distribuição diferentes. Assim pela existência de muitas variáveis, já que cada rua da cidade representa um projeto de distribuição, não existem parâmetros absolutos para se generalizar uma comparação de alternativas.

Visto que as redes subterrâneas se resumem a um só tipo (cabos de média tensão isolados e seus acessórios) , a análise econômica será feita a partir de uma comparação generalista (já que existem várias técnicas de instalação das redes RDS) com as redes aéreas convencionais (RDA).

a) Benefícios econômicos tangíveis na utilização do subterrâneo

Nesse capítulo a análise econômica comparativa entre as redes subterrâneas e as redes convencionais levará em conta apenas os aspectos tangíveis e mensuráveis da comparação. Nessas análises os custos sociais e ambientais foram excluídos.

Dentre os diversos estudos econômicos de comparação entre aéreo e subterrâneo, o autor adotou aquele que melhor se adaptou a proposta desse trabalho. O método desenvolvido por Gorham (ref.21) foi procurar os relatórios publicados e não publicados em vários países da Europa que comparam os custos de linhas aéreas e de linhas subterrâneas



considerando o custo inicial da instalação somado ao custo de operação previsto, conforme também foi feito na análise econômica das redes aéreas. Porém, diferentemente da linha aérea (que não depende de muitas variáveis relacionadas com o local da instalação) a instalação subterrânea têm uma relação estreita com cada linha individualizada de distribuição que se trata, pois muitas são as variáveis que podem influir no custo final: tipo de terreno, construções adjacentes etc. Assim as análises são feitas a partir da extrapolação de linhas de um gráfico que resume casos semelhantes.

Segundo Gorham, alguns pontos estudados são utilizados para se extrapolar uma reta que define o custo total da linha de distribuição num período de 30 anos. O custo está mensurado em 1.000 US\$ / km de linha para se obter uma comparação linear. No momento da implantação (ano 0) o custo total da linha é igual ao custo de instalação. Nesse momento pode-se definir uma taxa comparativa entre a linha subterrânea e a linha convencional dividindo-se um valor pelo outro – assim obtém-se a razão inicial. Já no final da vida útil da linha (ano 30) pode-se definir uma outra taxa comparativa entre as linhas subterrânea e a linha convencional - assim obtém-se a razão final.

A vantagem dessa metodologia de análise econômica é traduzir no tempo uma comparação entre os investimentos como elemento de tomada de decisão. As análises de custo foram obtidas das seguintes fontes:

- concessionárias européias individuais
- associação comercial de serviço público
- departamentos de governo
- entrevistas diretas com executivos

Os estudos são independentes e foram feitos por Gorham e outros em **1995** a pedido da International Copper Association.²⁴



Os dados de custos levantados destas fontes foram postos em um formato padrão para assegurar a compatibilidade da comparação. O detalhamento desses custos - com dados levantados - é mostrado na **tabela 7**.

Os custos levantados com as redes subterrâneas são divididos em duas categorias principais: custos da instalação e custos de operação da rede atualizados ao valor presente, como nos exemplos da **tabela 3**.

Os custos de instalação contemplam:

- custos materiais (cabos, linhas e todos os acessórios)
- custos de projetos de engenharia
- os custos de montagem

Os custos de operação trazidos para o valor presente contemplam:

- o custo de perdas técnicas
- os custos da manutenção e do reparo

Somando-se os da instalação com os custos da operação tem-se o custo total da vida da rede. Conforme já mencionado as comparações de custos são para um quilômetro do circuito da linha aérea contra o cabo subterrâneo (na linha aérea tinha-se anteriormente levantado o custo por estrutura). Os custos foram expressos em milhares de dólares por quilômetro. Para cada país, as comparações detalhadas entre custos de redes subterrâneas foram feitas em referência a uma tensão de operação específica, expressada em quilovolt.

²⁴ Conhecido no Brasil como PROCOBRE.



Para cada exemplo detalhado, as comparações foram feitas de custos da instalação e de custos totais da vida útil da linha de distribuição. Os custos da instalação foram categorizados como segue:

- condutor e/ou cabo
- outros materiais
- montagem.

Os condutores aéreos são nus e os condutores subterrâneos são cabos singelos. Outros custos dos materiais associados com os artigos tais como pólos para linhas, caixas de junção para cabos, e transformadores aéreos. Os custos de montagem refletem os custos atribuídos o trabalho e a maquinaria : os escavadores mecânicos, “ trenching “ e máquinas perfuradoras, materiais de enchimento, coordenadores de planeamento e a equipe de funcionários.

Os custos de liberação da obra refletem os custos administrativos para obter a permissão construir as redes. Estes custos aos incluirão o tempo e os recursos usados pela equipe de funcionários do planeamento e do projeto de rede, assim como pagamentos as autoridades locais e os latifundiários para se ter o direito de distribuir a rede.

Os custos são expressados em termos absolutos que supõe que a instalação é inteiramente paga na conclusão da obra.

As perdas de energia foram calculadas usando uma fórmula de Ohm $L = 3 \times R \times I^2$ e onde: I = o carregamento máximo (MVA) e o R = a resistência.

Os custos das perdas de potência foram calculados usando a fórmula $C = L \times p \times h$; onde p é o preço pago por quilowatt hora (kwh) pelo distribuidor ao gerador.

As perdas dielétricas foram consideradas, mas são somente significativas acima de 100kV.



Os custos da manutenção e do reparo refletem todo o trabalho de manutenção preventiva e corretiva realizado ou a ser realizado nos sistemas, por exemplo corte da árvore para proteger linhas aéreas, ou posição e reparo dos cabos subterrâneos danificados que solicitaram uma escavação.

As considerações sobre vida útil das instalações subterrâneas varia muito de país para país:

- Bélgica 25 anos
- Dinamarca 15
- França 40
- Grécia 25 – 30
- Holanda 25
- Irlanda 25 – 30
- Israel 20
- Itália 25 – 40
- Japão 22 – 28
- Luxemburgo 25
- Noruega 30
- Portugal 30
- Escócia 30 – 60
- Espanha 40
- Suécia 30 – 35

Para comparações generalistas desse estudo, foi assumido um tempo de vida útil de 30 anos tanto para as instalações aéreas quanto para as instalações subterrâneas.

Sendo impossível prever taxas para tal período de tempo foi estipulado uma taxa de juros reais de 4,5% ao ano para todas as comparações.



As conclusões principais da análise de custo feita por Gorham são:

- Na faixa de tensão de 10 a 30kV a rede subterrânea é extremamente competitiva, sendo em quase todos os casos mais barata que as redes convencionais. Mesmo nessa faixa de nível de tensão pode ser percebida uma grande variação de valores. No custo inicial desde 1,06 (Suécia) até 2,78 (Espanha). No custo final total desde 0,83 (Áustria e Suécia) até 1,42 (No Reino Unido) conforme pode ser visto na **tabela 10**. Nessa faixa de tensão estão 30% da extensão da rede de distribuição da Europa.
- A decisão a favor de uma instalação subterrânea está intimamente ligada ao nível de voltagem da distribuição. Quanto mais alto, mais desfavorável. Conforme a **tabela 7**.
- Dentro das mesmas faixas de tensão, as diferenças são significativas quanto aos custos da instalação pois o tipo de terreno e a especificação de sistema mudam completamente o valor final.
- Em todos os casos examinados os custos de operação e manutenção das linhas subterrâneas são menores que os das linhas aéreas convencionais.
- Os cabos de média e alta tensão isolados custam entre 5 e 10 vezes mais que o condutor nu que têm a mesma capacidade de condução.
- Em todos os casos analisados existe uma **desmistificação** do custo total da rede subterrânea em comparação com a rede aérea tradicional, pois no final as diferenças tendem a diminuir.
- Em muitos casos, principalmente na faixa de tensão de 10 a 30 KV, a rede subterrânea é **efetivamente** mais barata que a rede convencional.



- Nos países onde já existem muitos investimentos em redes subterrâneas, o custo é menor devido ao ganho de economia de escala que já está sedimentado. Como por exemplo nos Países Baixos onde **96%** das linhas de distribuição de média tensão são embutidas ou na França onde está sedimentado que todas as novas linhas urbanas serão subterrâneas.

b) Benefícios econômicos intangíveis na utilização do subterrâneo

Na seção anterior ficou evidente a partir de uma análise de pontos tangíveis que uma política de valorização da distribuição com rede subterrânea é benéfica como uma política de longo prazo. Na faixa de distribuição de tensão de 10 a 30 KV em muitos países o custo final é menor que o custo das linhas convencionais.

Nessa seção será enfatizado que há vantagens indiretas não mensuráveis (conforme citado em 1.2.), porém significativas na concessão da distribuição de energia em áreas urbanas que resultam diretamente de se promover uma rede subterrânea. Estes benefícios suportam a estratégia que muitas concessionárias no mundo estão perseguindo hoje de oferecer a qualidade mais elevada do serviço aos clientes com menos custos.

Uma dessas vantagens é a redução da equipe de funcionários de manutenção e custos operacionais. Uma cultura de desenvolvimento que combina rede aérea com rede subterrânea não é saudável porque promove um aumento de custos quando se tem a necessidade de se formar equipes treinadas nos dois tipos de instalações. Esta segregação também reflete na compra dos equipamentos e acessórios para cada tipo de rede.



Para a maioria das concessionárias da Europa²⁵, o investimento em redes subterrâneas melhorará a eficiência organizacional reduzindo custos através da redução de uma estrutura pesada que está de prontidão aguardando os acontecimentos fortuitos da rede convencional.

Outra vantagem indireta na substituição ou opção pela rede subterrânea é a redução das perdas técnicas nos condutores, em função da nova especificação dos condutores elétricos. Enquanto nas redes aéreas o condutor (e conseqüentemente a sua bitola) era especificado basicamente em função da queda de tensão da rede, nas redes subterrâneas o condutor é especificado basicamente em função da capacidade de condução de corrente.

Isso faz com que quase sempre um condutor da rede subterrânea tenha uma bitola superior²⁶ ao condutor que seria usado na rede aérea. Lembrando o que foi dito no capítulo 1 desse trabalho, as perdas técnicas na distribuição de energia estão relacionadas com a fórmula:

$$\text{Perdas} = (\text{resistência ôhmica dos condutores}) \times \text{corrente}^2$$

A resistência ôhmica por sua vez tem uma relação diretamente inversa à bitola do condutor. Por isso quanto mais grosso for o condutor, menor será a perda técnica que será absorvida pela concessionária. Como os condutores substitutos são na sua maioria mais grossos nas instalações subterrâneas, então nelas também serão menores as perdas técnicas.

As perdas também serão mais baixas porque além do cálculo técnico, o condutor da rede subterrânea obedece a um critério adicional de dimensionamento que é a folga técnica

²⁵ Como por exemplo a EWE na Alemanha que reduziu em 50% os custos com equipes de manutenção e operação depois que adotou uma política de investimento em subterrâneo .

²⁶ Normalmente os cabos de rede subterrânea que substituem o seu equivalente na rede aérea, tem uma bitola duas ou três vezes acima do condutor nu.



para as futuras demandas da rede. Ao contrário da rede aérea que leva em consideração uma especificação mais imediatista, a rede subterrânea bem dimensionada está com um carregamento baixo (geralmente em torno de 40 a 50 %). Isso faz com que no período em que essa folga não é contemplada, as perdas ôhmicas sejam menores ainda.

Os países com um nível elevado de redes subterrâneas têm perdas técnicas mais baixas. Evidentemente que uma parte das perdas técnicas são inevitáveis, entretanto, as perdas representam: energia elétrica desperdiçada e investimento desperdiçado na geração e na distribuição. As perdas estão embutidas nos preços finais pagos pelo consumidor.

Outro ganho não facilmente tangível é a melhoria na confiabilidade do fornecimento (melhores índices de DEC e FEC) que é talvez um dos mais importantes objetivos operacionais no gerenciamento das concessionárias.

Evidências estatísticas demonstram que o número de interrupções no suprimento de cada alimentador diminui consideravelmente quando uma linha convencional vai sendo substituída por linhas subterrâneas. Esse comportamento também é observado quando a linha convencional é substituída pela linha compacta ou isolada aérea (conforme o gráfico 3 com o exemplo da COPEL já comentado).

Um caso específico ocorre na Holanda, cuja experiência demonstra claramente a melhoria na confiabilidade do fornecimento através de uma política proativa de instalações subterrâneas. Embora não se pode negar que os cabos falham ocasionalmente - principalmente devido ao fenômeno do *water treeing*²⁷ - os resultados de falhas depois das instalações estarem embutidas são muito melhores que as redes convencionais.

²⁷ O fenômeno do *water treeing* - árvores de água - está relacionado com o comprometimento da isolação do cabo de média tensão a partir da penetração da umidade. Tanto no sentido radial quanto no sentido longitudinal, a água e umidade normalmente presentes nas canaletas e valas onde os cabos subterrâneos possam estar instalados vão paulatinamente provocando uma diminuição da rigidez dielétrica da isolação até que se provoque um curto circuito.



Outro ganho que se tem quando se opta por instalações elétricas subterrâneas é o aumento da lealdade dos clientes em relação a distribuidora ou ao produtor independente que lhe entrega energia. A medida que a indústria da eletricidade, através de suas concessionárias, torna-se cada vez mais competitiva, os clientes optarão sempre por aquela que ofereça melhores índices de qualidade no fornecimento. Uma política de fornecimento através de instalações embutidas aumenta o comprometimento daquele cliente com sua concessionária pois a opção por outras companhias seria onerosa tanto do ponto de vista de investimentos em novas instalações, quanto em relação aos lucros cessantes ocasionados em empresas de grande porte e produção contínua que acontecem quando existe interrupção no fornecimento. Isso diminuiria também os investimentos em eventuais grupos geradores para geração emergencial.

Outro importante ganho não diretamente mensurável na adoção de uma política de instalações elétricas primárias embutidas é a diminuição das indenizações por danos pessoais e materiais provocados por acidentes em redes de distribuição aérea. Evidentemente que essa é uma vantagem que já é obtida quando ao invés da RDA são usadas redes aéreas RDP ou RDI. Um dos objetivos desse trabalho é justamente propor uma legislação mais enérgica em relação a responsabilidade civil das concessionárias no que diz respeito aos acidentes em linhas RDA.



4.3. Aspecto ambiental

A extensão da utilização de linhas de distribuição embutidas na maioria das vezes são influenciadas não somente pelos seus aspectos de análise técnica e econômica. Foi visto no capítulo 4.1 que já existem várias alternativas de materiais e instalações que facilitam a opção por linhas embutidas. Foi visto também no capítulo 4.2 que as linhas embutidas tendem a ser economicamente mais vantajosas na exploração em longo prazo. Porém os aspectos intangíveis economicamente e principalmente os aspectos ambientais são aqueles que mais influenciam a opção por esse tipo de instalação nos países desenvolvidos (capítulo 5).

Conforme já foi abordado no capítulo 3.3. a substituição da rede RDA pelas redes RDP ou RDI já traz um ganho significativo em relação ao meio ambiente. Porém o ideal é a instalação das redes RDS pois elas eliminam qualquer tipo de interferência, inclusive de ordem eletromagnética.

Alguns fatores chaves relacionados com o meio ambiente são muito influentes na decisão por uma política de instalações embutidas a ser adotada pela concessionária.

Um desses fatores é o estagio de desenvolvimento urbano. Em países com um desenvolvimento urbano mais antigo, com economia forte e com empresas de eletricidade de longo prazo normalmente existe a opção pelas instalações embutidas. Isso porque essas empresas são fortes economicamente e podem substituir as redes convencionais sem problemas de fluxo de caixa. Além disso as redes convencionais existentes são antigas sendo assim de difícil manutenção e operação.

Quando existe um desenvolvimento urbano intenso a instalação de redes convencionais enfrenta muitos obstáculos, pois as construções civis já estão prontas e as árvores e outros



elementos do meio ambiente já estão definitivamente implantados. Isso não acontece por exemplo em regiões onde existe um baixo desenvolvimento urbano, pois nesses lugares os serviços de infra-estrutura (incluindo aí o fornecimento de energia elétrica) chegam primeiro, não encontrando muitos obstáculos para sua instalação.

O tipo desenvolvimento urbano também influencia as decisões, pois nos lugares onde existe muito espaço disponível (a exemplo das cidades americanas e sul-americanas) a instalação de redes RDA são menos prejudiciais. Nas cidades europeias o espaço disponível é pequeno por fatores históricos de formação das cidades.

A propriedade da concessão da distribuição de energia também é um fator que influencia uma política mais ambientalista ou mais tecnicista. Nas concessionárias estatais com uma área de influencia muito grande tendem a não optar por instalações embutidas isso porque:

- a análise técnica imediatista prevalece sobre as análises de longo prazo em função de se haver internamente uma cobrança difusa sobre o assunto.
- As concessões estatais de grande porte tendem a ignorar os apelos locais da comunidade por uma política ambientalista particularizada.

Na França, Itália e Grécia onde a distribuição de energia é feita por uma única estatal a extensão das redes embutidas é pequena (19% na EDF Francesa, 23% na ENEL Italiana e 7% na empresa Grega) em contraste com a Alemanha, Reino Unido e Suécia onde a extensão das redes embutidas são maioria (63 % na Alemanha, 59% no Reino Unido e 53% na Suécia). (ref. 40).

A fragmentação das concessionárias de energia tendem a torná-las mais vulneráveis a uma pressão localizada do que uma pressão nacional difusa.



Conforme foi visto no capítulo 2.3. a estruturação atual da regulação no Brasil favorece a implantação de políticas de distribuição de redes regionalizadas, apesar da extensão territorial de alguns estados.

Será visto no capítulo 5.3 por exemplo que a concessionária do Rio de Janeiro já está adotando uma política de vanguarda na utilização de redes embutidas, enquanto em São Paulo por exemplo isso não é feito.

A adoção de políticas regionalizadas também é fonte de inspiração e de exemplo para pressionar outras empresas a adotarem a mesma atitude.

Um outro fator que influencia decisões sobre o desenvolvimento de redes urbanas no mundo é o tipo de solo e a topografia do terreno. Esse tipo de variável influencia de maneira muito forte nos custos iniciais da instalação embutida. (ref. 21)

Quanto mais plano for o terreno, mais econômica será a instalação. Em terrenos com grandes declividades e sujeitos a ocorrência de montanhas os custos de construção de valas e de dutos de passagem irão mudar muito. Além disso a própria colocação dos cabos de média tensão pode-se tornar uma operação de engenharia extremamente cara e economicamente incompatível com a carga que a mesma vai alimentar.

O tipo de solo também influencia diretamente. Se a instalação for feita em terreno com solo sedimentar, a remoção ou a perfuração será uma operação fácil. Porém se o solo tiver uma composição rochosa a remoção e a perfuração podem torna-se uma tarefa extremamente difícil ou até mesmo impossível de ser realizada, restando somente a opção pela instalação aérea.

Nota-se que o grau de dificuldade crescente associado às obras de instalação estão diretamente ligadas a agressão que o meio ambiente irá sofrer. Na remoção de rochas e



perfuração de terrenos irregulares uma grande quantidade de material é deslocada assim como o tipo de agressão que é feita nas faixas de passagem.

A densidade populacional é um fator extremamente relevante para a adoção de uma política mais ambientalista. Nas cidades com alta densidade populacional as interferências antropológicas já trouxeram muita interferência em relação ao ambiente original. Assim a colocação de redes aéreas trariam mais uma influência perversa.

Será demonstrado no capítulo 6.1 que a densidade populacional afeta também a decisão técnica pelo tipo de instalação, porém ela deveria influenciar mais fortemente através da regulação a decisão relacionada com a agressão ao meio ambiente.

Tipicamente isso já vem ocorrendo, pois em países com uma alta densidade populacional em média tem um percentual maior de redes embutidas, conforme pode ser visto na **tabela 9**. O Japão entretanto apresenta-se como uma notória exceção.

Pode-se afirmar também que em relação ao aspecto ambiental a decisão por instalações embutidas é efetivamente realizada quando existe uma legislação municipal ou ambiental explicitamente homologada.

Um exemplo disso é a França, embora em todo país o nível de subterrâneo ainda seja baixo, em cidades turísticas como Paris as linhas aéreas estão banidas.

Em várias instâncias (bairro, local, municipal ou regional) podem ser feitos acordos com os concessionários em favor de uma rede embutida. Caso isso não seja possível, deve-se então partir para as instâncias legislativas de regulamentação.

Salvador por exemplo, que será discutida no capítulo 5.3, é uma cidade turística com um alto grau de redes aéreas. Depois de alguns anos é que em seu centro histórico passou-se a adotar as redes subterrâneas.



As autoridades locais poderão sempre capitalizar politicamente a adoção de linhas subterrâneas no momento em que homologa uma consulta pública à sociedade e submete o resultado como instrumento de pressão para as concessionárias. No mundo todo algumas comunidades já adotaram essa postura. Na Áustria e na Suíça por exemplo homologou-se a legislação que proíbe a instalação de linhas aéreas em cidades com fluxo turístico (ref. 23).

No aspecto ambiental além da regulamentação existente na lei 9.605 (lei dos crimes ambientais) assim como o decreto 3.179 (regulamentação dos crimes ambientais) ou ainda as recomendações das normas brasileiras da ABNT, a lei deveria estar municipalizada, contemplando as nuances de cada estado, cidade ou até bairro e rua.

Além da evidente e chocante exposição ao perigo de descarga elétrica que ocorre quando as redes convencionais estão perigosamente próximas a circulação de pessoas, existe hoje estudos que enfatizam a crescente preocupação de que a proximidade dos campos magnéticos e elétricos possa causar sérias doenças a quem reside perto das redes (ref. 35). Os cabos isolados das redes subterrâneas reduzem sensivelmente os campos magnéticos e eliminam por completo os campos elétricos do sistema.

RDA - 3Ø ee = 1,35 m			RDP- 3Ø ee = 0,193 m			RDI - 3Ø ee = d _c		
AWG MCM	MVA 70°C	MVA x km %	mm ²	MVA 90°C	MVA x km %	mm ²	MVA 90°C	MVA x km %
1/0	4,8	0,411	50	5,0	0,379	50	3,9	0,368
4/0	7,2	0,268	-	-	-	120	6,8	0,181
336	10,2	0,212	150	10,0	0,187	185	8,9	0,153

Tabela 1: Comparação da capacidade de transmissão de cada tipo de rede aérea. Fonte www.inbrac.com.br

COMPARAÇÕES ENTRE REDES ELÉTRICAS		
	AÉREA convencional	SUBTERRÂNEA
Confiabilidade	Baixa	Muito alta
Segurança	Baixa	Muito alta
Interferências com arborização	Muito alta	Nenhuma
Derivações	Simples	Complexas
Resistência a Descargas Atmosféricas	Baixa	Alta
Localização de falhas	Fácil	Difícil
Campo elétrico	Aberto	Confinado
Campo magnético	Médio	Baixo
Investimento inicial	100	180 a 500

Tabela 2: Conceitos de profissionais do setor sobre tipos de redes de distribuição. Cortesia Pirelli Cabos



OVERHEAD AND UNDERGROUND INSTALLATION AND LIFETIME COST ANALYSES: 1 - 30KV RANGE						
US\$ 000'S per km		UK 11kV	Sweden 11kV	Spain 10-15kV	Denmark 10kV	Germany 1kV
Terrain MVA Specification	O/h U/g	Rural 1 Al150 Al185	Rural ● FeAl99 PEX95/50/25	Rural/Rocky ● Al 110/145 Al 240/400	Stony 2.8 ● PEX95+25	Average 0.2 Al170 Al150
Conductor/Cable Cost	O/h U/g	6 25	19 18	8 20	7 15	1 12
Other Material Costs	O/h U/g	4 1	4 7	6 14	1 2	5 3
Installation/Engineering	O/h U/g	17 19	* *	9 30	22 35	30 128
Wayleave	O/h U/g	* *	* * 1
Total	O/h U/g	27 45	23 24	24 64	30 53	36 143
Installation Cost Ratio		1.69	1.06	2.67	1.77	3.97
Losses	O/h U/g	0.4 0.1	0.09 0.07	4 2	3.0 1.9	0.1 0.1
Maintenance/Repair	O/h U/g	0.1 0.2	0.74 0.3	2 1	1.0 0.3	1.8 1.4
Life in Years		30	30	30	30	30
Net Interest Rate		4.5%	4.5%	4.5%	4.5%	4.5%
Cost Adjustment Factor		16.29	16.29	16.29	16.29	16.29
Total Operating Costs over 30 years	O/h U/g	8 4	14 6	98 49	65 36	31 24
Total Lifetime Cost	O/h U/g	35 50	37 30	122 113	95 89	67 167
Lifetime Cost Ratio		1.42	0.83	0.93	0.93	2.50
\$ Rate - Local Curr to US\$	\$	0.636	0.1285	125.38	5.9921	5.9921

Tabela 3: Análise de custo de instalação e vida útil de alimentadores de MT. Fonte Inter Cable Federation.

COUNTRY	1984				1994				% CHANGE 10 YEAR	
	O/H	%	U/G	%	O/H	%	U/G	%	O/H	U/G
AUSTRIA	49,641	76%	15,704	24%	51,819	72%	19,916	28%	4%	27%
BELGIUM	77,718	55%	62,758	45%	84,022	45%	103,377	55%	8%	65%
DENMARK	95,354	63%	54,918	37%	63,422	39%	97,341	61%	-33%	77%
FINLAND	281,726	87%	41,386	13%	306,350	83%	64,124	17%	9%	55%
FRANCE	934,847	86%	158,409	14%	935,065	77%	283,851	23%	0%	79%
W.GERMANY	468,957	42%	641,084	58%	383,938	31%	845,271	69%	-18%	32%
GREECE	125,250	94%	8,690	6%	159,500	93%	12,141	7%	27%	40%
HOLLAND	11,803	6%	200,100	94%	9,394	4%	224,630	96%	-20%	12%
ITALY	698,184	83%	139,585	17%	759,837	75%	256,341	25%	9%	84%
NORWAY	204,376	78%	57,965	22%	213,000	70%	90,000	30%	4%	55%
PORTUGAL	95,290	90%	10,630	10%	140,870	85%	25,330	15%	48%	138%
SPAIN	376,678	88%	51,256	12%	500,898	84%	93,528	16%	33%	82%
SWEDEN	259,414	68%	120,112	32%	229,238	56%	181,335	44%	-12%	51%
UK	285,867	43%	377,326	57%	290,934	41%	414,653	59%	2%	10%

Tabela 4: Evolução na utilização de redes embutidas na Europa de 84 a 94. Fonte Inter Cable Federation.



	OVERHEAD	%	UNDERGROUND	%
U.S.A.	28,000,000	82%	6,000,000	18%
CANADA	861,000	92%	76,000	8%
JAPAN	3,684,103	98.4%	60,351	1.6%
INDONESIA	ca.200,000	87%	ca.30,000	13%
MALAYSIA	ca.130,000	76%	ca.40,000	24%
TAIWAN	68,321	87%	10,394	13%
THAILAND	200,577	~100%	735	neg
<i>EUROPE</i>	<i>3,739,549</i>	<i>60%</i>	<i>2,518,362</i>	<i>40%</i>

Tabela 5: Percentuais de uso de redes embutidas em diversas regiões do mundo. Cortesia PROCOBRE.

<u>UTILITIES' BUSINESS PRIORITIES?</u>					
	<u>USA</u>	<u>JAPAN</u>	<u>INDONESIA</u>	<u>MALAYSIA</u>	<u>TAIWAN</u>
Reduction in Network Management and Maintenance Costs	Moderate	Moderate	Low	Low	Low
Improved Network Reliability	Low	Moderate	High	High	High
Manpower Reduction	Variable	Low	Low	Low	Low
Speed of Customer Connection	Low	Low	High	High	Moderate
<u>UTILITIES' POTENTIAL TO UNDERGROUND</u>					
Acceptance of "Lifetime" Costing Methods	Low	High	Low	Low	Moderate
Degree of Utility Cable Expertise	Average	High	Low	Low	Average
Competitive Pressure	Low	Average	Neg.	Neg.	Neg.
Strong Balance Sheets	Variable	Yes	No	No	No
Top Management Interest in Undergrounding	Low	Moderate	Low	Low	Moderate

Tabela 6: Conceitos de diversas regiões do mundo em relação a redes embutidas. Cortesia PROCOBRE.

SAMPLE INSTALLATION AND LIFETIME COST RATIOS - 10-225kV							
kV level	225k V	110k V	66kV	50kV	30kV	20kV	12kV
Installation Ratio	5.07	5.60	3.28	2.44	1.37	1.14	1.06
Lifetime Ratio	2.45	1.91	1.81	1.71	0.83	0.97	0.83

Tabela 7: Relação entre custo de instalação e custo total nas redes RDA e RDS. Fonte Inter Cable Federation.

Overhead & Underground Circuit Lengths - All kV Levels			
KEY WORLD REGIONS			
Regions	Overhead %	Underground %	Total Length (Kms)
Europe	60%	40%	7,947,226
N. America	83%	17%	35,240,289
E. Asia ¹	97%	3%	4,594,623
Total	81%	19%	47,782,138

Tabela 8: Extensão da rede primária na Europa, América do Norte e Ásia ocidental. Cortesia PROCOBRE.

Country	Population per km ²	% of Total Network Length Underground
Hong Kong	5,599	76%
Singapore	4,407	76%
Netherlands	366	96%
Japan	327	1%
Belgium	323	34%
UK	234	59%
Germany	217	63%
Italy	189	23%
France	102	19%
Greece	78	7%
Spain	78	13%
USA	27	17%
Sweden	19	53%

Tabela 9: Relação entre densidade populacional e utilização de subterrâneo. Fonte Inter Cable Federation.

INSTALLATION AND LIFETIME COST RATIOS - 10-30kV								
Country ¹ kV level	A 30kV	SU 20kV	D 20kV	F 20kV	B 11.5kV	UK 11kV	E 15kV	S 12kV
Installation Cost Ratio	1.37	1.45	1.38	1.14	1.29	1.69	2.78	1.06
Lifetime Cost Ratio	0.83	0.95	1.05	0.97	0.99	1.42	0.93	0.83

Tabela 10: Relação entre o custo de instalação e custo total de redes na Europa. Fonte Inter Cable Federation.



Figura 21: Av. com alta densidade de carga e linha aérea convencional em São Paulo. Fonte CPLF.



Figura 22: Exemplos de condutores isolados de média tensão. Catálogo 2002. Cortesia do fabricante Pirelli.



Figura 23: Foto de um centro de transformação compacto 1.000 kVA. Fonte www.ormazabal.com.br



Figura 24: Foto de um centro de transformação compacto 150 kVA. Fonte www.ormazabal.com.br



Figura 25: Foto de um centro de transformação compacto 150 kVA. Fonte www.ormazabal.com.br



Figura 26: Condomínio horizontal em São Paulo com rede embutida. Cortesia da Pirelli Cabos via e-mail.



Figura 27: Av. Oceânica em Salvador. O salitre impede a instalação de redes compactas. Fonte AGERBA

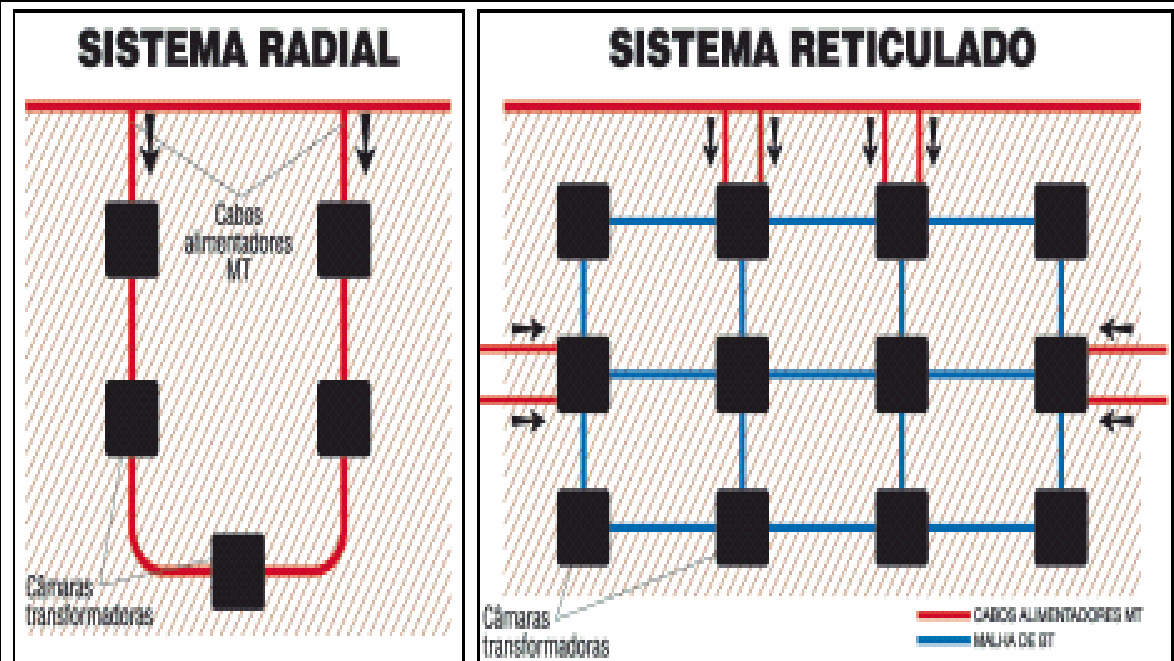


Figura 28: Configurações típicas de redes subterrâneas. Fonte www.pirelli.com.br



Figura 29: Bairro de Itapuã em Salvador BA. A linha compacta em área não arborizada. Fonte AGERBA.



Figura 30: Rua Ruben Berta em Salvador. As redes telefônicas prejudicam a estética. Fonte AGERBA.



Capítulo 5

Distribuição urbana - estudo de casos

5.1. Análise da tendência mundial

Não se pode afirmar que atualmente já existe uma convergência a nível mundial para uma opção tecnológica única ou mais moderna de distribuição primária urbana.

Na Europa, por exemplo, pode-se observar através da análise da **tabela 4**, fornecida pela Federação Internacional de Fabricantes de Cabos, que é evidente uma migração uniforme para os sistemas subterrâneos. Nessa análise, foram comparados vários países entre os anos de 1984 e 1994 e verificado que o crescimento da rede subterrânea foi bem maior em média que o crescimento da rede aérea. Portugal é o exemplo mais forte de investimentos com essa tendência com um incremento de 138%. Os países que menos cresceram em subterrâneo foram aqueles que já tinham uma grande rede embutida.

Em geral na Europa, onde as redes subterrâneas de distribuição já ultrapassam na média os 40% do total de redes elétricas instaladas, conforme pode ser visto na **tabela 8**, (podendo chegar a quase 100% nas grandes cidades turísticas), o custo ao longo do tempo de vida do sistema tende a ser bem menor do que o custo inicial da instalação. Na **tabela 10**²⁸ observa-se que na Áustria, Finlândia, França, Bélgica, Espanha e Suécia o custo total do subterrâneo é **menor** que o aéreo. Já na Alemanha o custo é levemente maior. Somente no Reino Unido o custo apresentado é cerca de 42% maior que o da rede aérea.

²⁸ As iniciais dos nomes na tabela 10 estão nos idiomas originais, assim:

A = AUSTRIA
B = BELGICA

SU = FINLANDIA D = ALEMANHA
UK = REINO UNIDO E = ESPANHA

F = FRANÇA
S = SUÉCIA



Não existe também uma aderência entre renda per capita e grau de utilização das opções de rede.

Aliás não somente na Europa, mas também em **outras regiões** do mundo, verificasse que a renda per capita e o nível de consumo não tem uma relação direta com a opção do tipo de rede de distribuição; conforme pode ser deduzido das **tabelas 5 e 6** que apresenta a comparação de extensões de rede assim como também a **tabelas 8 e 9** anexas. Concluindo-se aí que existe também um forte fator cultural a favor ou contra a instalação de redes embutidas.

No **Japão**, por exemplo, comprova-se que a utilização de redes mais modernas não está ligada somente a disponibilidade de recursos. Sendo o segundo país mais rico do mundo²⁹, com uma alta densidade populacional e território pequeno, o Japão aparentemente tem todas as condições para optar pela distribuição subterrânea; entretanto 98% da distribuição da energia primária ainda é feita por redes aéreas (ref.)

Nos **Estados Unidos**, a rede embutida representa 17% do total. Sendo um país muito grande, observa-se que mesmo dentro dele não existe uma hegemonia em relação ao assunto. Enquanto que na Costa Leste já existe uma cultura bem marcante a favor da rede subterrânea e muito fortemente a compacta; na Costa Oeste e no centro ainda persistem as antigas redes aéreas convencionais, sendo possível inclusive encontrar postes de madeira em alguns estados.

Na **América do Sul**, na **Ásia** e no continente **Africano** predomina o modelo de distribuição convencional. Mas justamente essa associação entre a renda per capita e a opção por redes mais modernas está um dos aspectos não efetivamente comprovados nesse trabalho.

²⁹ A economia Japonesa (US\$ 4 trilhões de PIB) corresponde a aproximadamente metade da economia americana. Em terceiro lugar está a economia da Alemanha, que corresponde aproximadamente a 1/8 da economia americana.



5.2. Em países desenvolvidos

5.2.1. Paris. Concessionária EDF.

Conforme visto no capítulo 5.1, a França tem uma baixa taxa de redes de distribuição subterrânea em relação a outros países da Europa: **19%** das redes primária e secundária segundo o PROCOBRE. Nesse país **não** existe resistência cultural para aceitação generalizada da instalação de redes mais modernas; pelo contrário há uma forte cobrança nesse sentido. Isso se deve principalmente a uma fortíssima vocação do povo Francês pela estética. Não é gratuitamente que Paris é conhecida como a cidade mais bela do mundo construída pelo homem (comentário do autor).

A solução de rede compacta **não** é comumente encontrada na França. Os investimentos caminham todos eles na direção de uma construção de uma rede totalmente embutida. Segundo um estudo feito pela Federação internacional de fabricantes de cobre, de 1984 a 1994 as instalações embutidas das redes primárias saltaram de **14%** para **23%**. Nesse mesmo período não houveram instalações novas com redes convencionais.

A estrutura institucional do Estado Francês³⁰ contribui muito para um consenso em relação a regras para distribuição. Outros aspectos também são relevantes. Um deles é que **85%** da energia elétrica é proveniente de usinas nucleares, sendo assim uma energia escassa. Uma rede que tenha menores perdas técnicas, como a subterrânea, será sempre muito bem vinda.

A regulação sobre os serviços públicos tem uma forte influência da sociedade local, embora a estrutura regulatória seja bem diferente de outros países do mundo, como será

³⁰ Ao contrário dos Estados Unidos e do Brasil, na França não existem Estados com independência política e administrativa. Portanto não é uma república federativa, sendo toda a população sujeita às regras do poder central.



comentado. Isso faz com que não exista espaço para questionamentos em relação a utilização de redes convencionais aéreas.

Vale a pena comentar sobre **Paris**, conforme visto nas **figuras 39 e 40**, os únicos postes que existem servem para iluminação pública. Não são admitidos no centro da cidade postes para distribuição aérea de energia ou de telefonia e note-se que Paris não é uma cidade pequena; uma das maiores da Europa e do mundo. No centro da cidade moram cerca de 2 milhões de pessoas e na região metropolitana 9,8 milhões³¹.

Evidentemente, assim como acontece nos grandes centros, existe a saturação de carga que não permite mais uma distribuição aérea. Mas no caso de Paris essa tendência também foi reforçada por uma forte vocação como pólo turístico.

O setor elétrico Francês tem um arranjo bastante particular. Depois da Segunda Guerra Mundial o governo decidiu pelo **monopólio** estatal intransferível. Em 1946 foi constituída a Eletricité de France (EDF) para controlar a transmissão e distribuição de energia sobre todo o território nacional.

Para se ter uma idéia do que isso representa a França tem um território de 550.000 km² (quase o tamanho do estado da Bahia) e 58 milhões de habitantes servidos pela EDF. Isso faz da empresa a maior distribuidora de energia elétrica do mundo em número de clientes e em extensão de redes: 1,2 milhões de km de redes primárias³². No ano de 2001 o faturamento anual chegou a Eu\$ 11,7 bilhões.

Um dado importante associado ao nosso estudo é uma forte tendência a utilização de subterrâneo, que pode ser analisada através de três aspectos distintos:

³¹ Dados fornecidos pela home page oficial da prefeitura de Paris.

³² Correspondente a 8,5 vezes a rede da Coelba.



- econômico – os dados revelam uma riqueza econômica que permite o investimento em sistemas mais elaborados. Além disso, as cidades francesas possuem alto grau de urbanização em função de serem cidades antigas.
- regulatório – muitas regras são definidas dentro dos setores de normatização da própria empresa, facilitando a adoção de políticas nacionais.
- cultural – a pressão pública pela estética e preservação do meio ambiente são fortemente enraizadas no povo francês, principalmente o parisiense.

A estatal Francesa EDF está sujeita à regulação da *Comission de Regulation de l' Energie*, **CRE**, instituto nacional de regulação do setor energético, que está associado ao *Conseil of European Energy Regulator* – **CEER**, que congrega as centenas de empresas européias e é responsável pela administração técnica de sua complexa rede.

A capital francesa sempre teve uma vocação muito forte pelos sistemas embutidos, a exemplo do famoso “esgoto de Paris” ou do seu complicadíssimo sistema de distribuição de gás. Mas as outras cidades francesas não seguiram historicamente essa linha. Por isso apostando num menor custo em longo prazo a EDF resolveu a partir de 1990 promover o sistema subterrâneo. Em 1992 a empresa firmou com o Governo Central um protocolo de intenções para favorecer a compra de cabos isolados através de políticas financeiras em troca dos benefícios indiretos³³ promovidos pelas novas redes.

O resultado dessa política pode ser resumido em alguns números:

- a meta estabelecida em 1992 foi de aumentar em 50% a extensão das redes embutidas em substituição às redes convencionais (ref. 15).



- Em 10 anos já foi registrada uma queda no índice de falhas³⁴ por 100 km de redes de 14 para 11.
- As perdas técnicas foram reduzidas de 7,6 % para 7,3 %.
- O número de empregados da EDF diminuiu de 122.278 pessoas para 117.965 pessoas, sendo a maioria das dispensas na área de manutenção de redes.

As pesquisas de desenvolvimento de novos produtos aplicados à modernização das redes de distribuição e transmissão são feitos pela própria EDF que tem que se adaptar **constantemente** aos requisitos municipais.

Aliás, essa é mais uma particularidade, senão a mais importante, do modelo adotado pelo setor elétrico francês. Segundo o decreto **365 / 2001** que regulamenta a lei federal de **10 de fevereiro de 2000** a EDF detém o monopólio de fornecimento na distribuição de energia através da obrigatoriedade de disponibilizar em todo o território nacional as redes públicas de transmissão (63kv, 250kv, 400kv) e distribuição (10kv, 15kv, 20kv). Mas a concessão pública se dá através das comunidades locais conforme o texto **traduzido** abaixo:

*“ A rede pública de distribuição gerenciada pela EDF deverá estar disponível para as comunidades locais. As concessões serão objetos de **convenções**, assinadas entre as comunidades locais e a EDF, especificando as condições do exercício da utilidade pública de distribuição de energia em cada concessão em questão.”*

³³ Benefícios econômicos intangíveis, conforme visto no capítulo 1.2.

³⁴ Além dos índices correspondentes ao DEC e FEC brasileiros, a concessionária também é avaliada pela qualidade das suas linhas de distribuição através do índice de frequência de falhas por 100 km de rede.



Está aí posto que a comunidade local³⁵ (correspondente ao poder público municipal) tem um poder de decisão exclusivo sobre a conciliação com as **demais aspirações** daquela comunidade e não somente o fornecimento de energia.

5.2.2. Nova York. Concessionária Edison Company co.

Conforme visto no capítulo 5.1, os Estados Unidos têm uma baixa taxa de redes de distribuição subterrânea: **18%** segundo a Federação Internacional dos Fabricantes de Cabos de Cobre. Nesse país existe uma resistência cultural para aceitação generalizada da instalação de redes mais modernas conforme apresentado na **tabela 6** (sobre as oportunidades de mercado para redes embutidas). Segundo essa apresentação é baixa a aceitação da idéia de que ao longo da vida o alimentador isolado custa menos que o alimentador aéreo.

Já foi dito que dentro dele não existe uma hegemonia em relação ao assunto. Enquanto que na Costa Leste já existe uma cultura bem marcante a favor da rede subterrânea e muito fortemente a compacta; na Costa Oeste e no centro ainda persistem as antigas redes aéreas convencionais. Em parte isso pode ser explicado pela própria estrutura institucional de um país formado por 50 Estados com autonomia e independência política.

De fato lá a regulação sobre os serviços públicos tem uma forte influência da sociedade local, do poder público municipal e vagamente do órgão regulador federal. As agências reguladoras estaduais têm muito mais força no sentido legislativo do que a agência nacional em função de aspectos institucionais.

É o caso, por exemplo, de **Nova York**, que será analisada nesse capítulo, evidenciando os aspectos presentes a uma cidade com um arrojado sistema de distribuição.

³⁵ No Brasil essas comunidade poderiam ser representadas pelos municípios e o sistema seria de subconcessão.



Na região da grande Nova York vivem cerca de 18 milhões de habitantes³⁶ que são atendidos em grande parte pela Edson Company (cerca de 9 milhões de pessoas representadas por 3.100.000 consumidores. Esses são responsáveis pelo faturamento anual do correspondente a R\$ 60 bilhões (US\$ 20 bi).

Um dado importante associado ao nosso estudo é dentro da Edson Company uma forte tendência a utilização de subterrâneo (cerca de 72%) representados por 145.600 km de rede embutida num total de 202.000 km, que pode ser analisada através de três aspectos distintos:

- econômico – os dados revelam uma riqueza econômica que permite o investimento em sistemas mais elaborados. Para se ter uma idéia comparando com a concessionária COELBA na Bahia, que tem um número semelhante de consumidores, a Edson Company tem uma rede subterrânea maior que toda a rede da COELBA³⁷ e um faturamento cerca de 40 vezes maior.
- regulatório – as sinalizações dadas pela Agência Local para uma alta confiabilidade e obrigatoriedade do subterrâneo em determinados pontos definidos pela prefeitura.
- cultural – a partir da pressão de uma sociedade que tem em suas atividades principais uma altíssima dependência ao fornecimento contínuo de energia e a necessidade de um ambiente estético voltado ao turismo.

Destinchando esses aspectos, pode-se concluir que o fator cultural a partir da discussão e consciência dos consumidores é o fator mais relevante.

³⁶ Dados apresentados no “general data bank” da home page do Estado de Nova York.

³⁷ Que será um dos casos a ser posteriormente estudado.



O órgão regulador federal (Federal Electric Regulatory Commission - **FERC**) indica em vagas linhas sobre o sistema de distribuição (aéreo ou subterrâneo), mas é bastante incisivo quanto a qualidade do fornecimento. Delegando indiretamente a obrigação de investimentos em redes. O órgão regulador estadual (New York Independent Systems Operator - NISO) também segue a mesma linha.

Evidentemente, assim como acontece nos grandes centros, existe a saturação de carga que não permite mais uma distribuição aérea. Mas no caso de Nova York essa tendência também foi reforçada por uma forte vocação como centro financeiro e pólo turístico da cidade. Isso levou a empresa a investir num sistema extremamente confiável principalmente nas mais de 600 quadras que compõem o centro da cidade.

Conforme a consultoria PA Consulting Group em 2002 a confiabilidade do sistema de distribuição da empresa é cerca de **10** vezes maior que a confiabilidade média dos Estados Unidos. Segundo essa consultoria, no centro do sistema reticulado a probabilidade de interrupção do fornecimento é de uma em 100 anos. Essa confiabilidade foi atestada no ataque terrorista³⁸ de 11 de setembro de 2001, onde o restabelecimento de energia ocorreu com menos de 24 horas³⁹.

Essa confiabilidade é atestada nos ensaios que apontam para o sistema reticulado subterrâneo como o mais seguro em termos de continuidade do fornecimento. Nesse caso também tem que haver mais de uma subestação além de equipamentos de proteção e manobras inteligentes.

A Edson Company foi fundada há 80 anos sempre incorporando as aspirações da sociedade Nova Iorque. Por seus investimentos já recebeu diversas vezes prêmios de excelência como empresa de energia do ano.

³⁸ Em 11 de setembro de 2001 um ataque aéreo destruiu o complexo do World Trade Center no coração financeiro da cidade. Esse complexo era alimentado por duas subestações e uma rede reticulada subterrânea com várias possibilidades de manobras.

³⁹ Dados institucionais divulgados na home page da Edson Company Co.



Nos últimos 5 anos os investimentos em modernização do sistema de distribuição foram de US\$ 3 bilhões. Recentemente um desses investimentos foram feitos na construção de um centro de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia de distribuição junto com a EPRI (Electric Power Research Institute).

Esse centro está quase que exclusivamente voltado ao desenvolvimento de produtos ligados a redes subterrâneas e seus acessórios. Um dos equipamentos é a câmara de simulação de variações climáticas e outros fatores de envelhecimento dos condutores. Os resultados são divulgados para todas as concessionárias americanas.

Uma das principais linhas de estudo é a melhoria da performance dos cabos isolados de média tensão em condições adversas, pois conforme já dito uma interrupção em rede isolada apesar de menos provável é muito mais longa de ser identificada.

E sem dúvida o desenvolvimento e investimento em cabos isolados de média tensão é um dos aspectos que movem uma poderosa indústria. Na **figura 33**, por exemplo, está visualizado um enorme caminhão com uma entrega de cabos isolados. Na **figura 34** é vista uma cena freqüente na cidade: a instalação de novos alimentadores. Na **figura 35** um operário providencia o envelopamento de um troco de subtransmissão.

Na **figura 36** é ilustrado um bairro popular, onde verificasse que mesmo em regiões com uma densidade de carga baixa já existe uma preferência por redes embutidas.

Portanto conclui-se que a opção por redes subterrâneas é uma conjunção de fatores: disponibilidade financeira, indicadores regulatórios⁴⁰ e forte pressão da sociedade.

⁴⁰ As normas técnicas que regulam a distribuição no Estado de NY foram gentilmente cedidas por Lisa Mann da Edson Company.



5.3. Em países em desenvolvimento

5.3.1. Rio de Janeiro – concessionária LIGHT

A visualização de uma arquitetura moderna, sem a interferência nociva dos cabos e postes nas ruas, pode ser encontrada em diversos pontos da cidade do Rio de Janeiro. Desde a privatização da empresa em 1996 a concessionária vêm adotando uma filosofia proativa em favor das redes subterrâneas. Responsável pelo abastecimento de mais de 9 milhões de consumidores, a Light investe em novas tecnologias para suas redes primária e secundária de distribuição de energia.

A empresa vem desenvolvendo e aplicando novas tecnologias para a modernização de suas redes de distribuição de energia seguindo a filosofia da sua nova matriz a EDF Francesa. Nos seus últimos trabalhos de recuperação e expansão das linhas, a Light tem optado pelas redes de distribuição subterrâneas (RDS).

Essa atuação da Light no campo do desenvolvimento está sintonizada com a preocupação da empresa com a sua imagem, que foi muito sofrida nos primeiros anos da privatização. Assim no sentido de melhorar os seus padrões de confiabilidade, está se optando por redes mais seguras.

As redes reticuladas – que conforme foi apresentado no capítulo 4.1 são as mais confiáveis para a continuidade do fornecimento - representam 30% do total de instalações subterrâneas , enquanto os sistemas radiais cobrem os restantes 70% delas (ref. 13).



A LIGHT é responsável pelo fornecimento de energia elétrica dos 31 municípios do Estado do Rio de Janeiro, incluindo a capital – onde está sendo adotada a política de instalações embutidas - e o Vale do Paraíba.

A empresa chegou ao Rio de Janeiro em 1905 – conforme visto no capítulo 2.1 - , inicialmente com capital americano e canadense. Em quase um século de atuação, influenciou em muito a história da capital fluminense. Inicialmente através dos serviços de bondes elétricos que marcaram época e os serviços de distribuição de gás e telefonia.

Depois da década de 60, a empresa concentrou seu trabalho na prestação de serviços de energia. Privatizada em junho de 1996, nos últimos quatro anos a Light investiu mais de 1,2 bilhão de reais na modernização e expansão de suas redes de distribuição de energia elétrica.

Nos dois primeiros anos após a privatização, a empresa tratou de aumentar a confiabilidade da rede elétrica. Nos últimos dois anos, os investimentos têm sido direcionados para as novas tecnologias capazes de modernizar o fornecimento. Entre outras ações importantes, foram inauguradas 12 novas subestações de grande porte, enquanto 40 foram ampliadas, o que representou um aumento de 25% na sua capacidade de distribuição de energia, sempre direcionando esforços para a linhas serem embutidas.

Além disso, foram acrescentados 15 mil novos transformadores de distribuição aos cerca de 50 mil existentes em sua rede aérea e subterrânea, e a adoção das redes aéreas compactas RDP. Sempre que possível, a empresa tem substituído as redes aéreas pelas subterrâneas, especialmente nos locais de grande densidade populacional ou em outros pontos considerados estratégicos.

Após a privatização⁴¹, a LIGHT adotou padrões internacionais de qualidade. Por isso que as redes subterrâneas têm ganhado destaque entre os investimentos da companhia. Elas



passaram a usar novos equipamentos compactos – conforme visto no capítulo 4.1 - , isolados a gás SF₆, que permitem a redução dos espaços necessários para a sua instalação. Os transformadores e equipamentos de manobras também começaram a ser instalados em cabines de superfície, substituindo as tradicionais câmaras enterradas, que são mais caras na montagem e na manutenção. De toda a sua rede (primária e secundária), cerca de 20% das instalações da Light já são subterrâneas.

Segundo a Divisão de Tecnologia da Distribuição da Light, a distribuição subterrânea é a solução mais indicada para os pontos de consumo onde é preciso obter mais confiabilidade no fornecimento, onde exista alta densidade de carga e também nos pontos onde a rede aérea instalada esteja apresentando limitações na sua capacidade de carga.

Para a instalação de suas novas redes subterrâneas, a Light está usando a técnica dos cabos diretamente enterrados. Esta opção foi adotada porque, quando comparada com a forma tradicional de instalação de cabos em dutos envelopados em concreto, ela se mostrou mais econômica, permitindo uma construção mais rápida, em uma área menor, e também provocando menos distúrbios para o tráfego de pedestres e veículos na superfície. Os cabos diretamente enterrados também apresentam um aumento na capacidade de condução de corrente, já que proporcionam uma melhor troca de calor com o meio ambiente diminuindo dessa maneira as perdas técnicas.

O sistema de distribuição subterrâneo da Light não é uma realização nova. Na verdade, ele existe desde o início do século XX, quando os primeiros cabos foram instalados sob as ruas do Rio de Janeiro. Na época pretendia-se dar a capital brasileira os mesmos ares da capital francesa. Hoje o sistema subterrâneo da Light é o maior do Brasil e um dos maiores da América Latina, atendendo mais de 600.000 consumidores que estão situados principalmente no Centro e na zona sul da cidade – incluindo aí a famosa avenida Atlântica de Copacabana.

⁴¹ A concessionária foi comprada em 1996 pela estatal francesa EDF.



O sistema subterrâneo da Light é composto de mais de 1.500 km de cabos subterrâneos de média e baixa tensão, existem mais de 3 mil câmaras transformadoras e mais de 20 mil caixas de inspeção. Além disso, ainda são usados milhares de transformadores de até 1.000 KVA e milhares de chaves de manobra, sendo que as antigas a óleo estão sendo substituídas gradualmente pelas modernas chaves a gás SF₆.

Os principais sistemas utilizados na distribuição subterrânea do Rio são o Sistema Radial e o Sistema Reticulado. O primeiro é empregado em áreas de menor densidade de carga, enquanto o segundo, devido ao alto grau de continuidade e confiabilidade que oferece, é o que está presente nas regiões com maior densidade de carga, como o Centro e a orla marítima.

Na orla 100% das redes de energia são subterrâneas. As instalações dessa região (que incluem as praias de Ipanema, Copacabana, Botafogo, Flamengo e outras) passaram por uma grande reforma ainda na década de 70. Em toda a zona sul da cidade, já não se utiliza mais o conceito de redes aéreas em nenhuma instalação nova. Outras áreas da cidade que também estão crescendo de forma rápida, como a Barra da Tijuca, o Recreio dos Bandeirantes e o bairro de Jacarepaguá, também serão 100% subterrâneos, conforme os planos da empresa até 2005.

Um exemplo dessa aplicação de filosofia é a Praça Santos Dumont, na zona sul da capital (conforme a **figura 6**), que teve sua antiga rede aérea de energia substituída por uma nova, subterrânea. A praça reúne edificações de vários tipos, com consumidores bem distintos. Há residências, prédios comerciais, teatro, restaurantes, escolas e até prédios tombados por seu valor histórico. Foi por causa dessa diversidade de consumo que a Light escolheu este local para a aplicação das novas técnicas de instalação e operação de redes, com cabos subterrâneos. Esta técnica contribuiu também para a preservação do aspecto estético e arquitetônico da praça. Três postos de transformação foram instalados na praça. A partir deles, a energia é levada, também por baixo da terra, até as caixas de derivação modular (C.D.M.) instaladas na fachada dos prédios consumidores ou em pedestais na



calçada. A vantagem de não precisar mais construir câmaras enterradas para abrigar os transformadores representou uma economia de dois terços nos custos de implantação desses equipamentos, segundo a empresa.

Segundo a empresa tem ocorrido uma forte redução da diferença que existe entre os preços de implantação das redes subterrâneas em relação às aéreas. No passado recente as redes subterrâneas chegavam a custar até **10 vezes** mais do que as aéreas, hoje, com a criação das novas tecnologias de montagem em ambos os sistemas, essa diferença ficou bem menor, podendo chegar a algo em torno de **3 ou 4 vezes**.

A Light registrou que todas as inovações técnicas obtidas se transformam em maior competitividade e em melhores índices de aprovação do consumidor aos serviços prestados. Nesse ponto, frisando novamente o objetivo dessa dissertação, verifica-se que as ações da concessionária não são motivadas por nenhuma norma regulatória. Elas são o reflexo de uma tendência de filosofia de trabalho.

Em suas redes subterrâneas de distribuição, a Light padronizou a utilização de cabos diretamente enterrados em valas, deixando o uso de cabos em dutos restrito a pequenos trechos de travessia de vias públicas. A empresa procurou a padronização máxima possível para conseqüentemente diminuir os custos de implantação. No caso das redes de média tensão, o cabo padronizado já estava dimensionado para este tipo de instalação (diretamente enterrado), mas nas redes de baixa tensão foi necessário alterar o padrão existente. Desde abril de 2000, a concessionária passou a empregar nas redes de baixa tensão o cabo armado de alumínio. Também foram padronizados novos acessórios, tais como emendas resinadas, enfitadas ou com molde, tanto para aplicação em conexões retas como em conexões de derivação.

Também no sentido de se promover a padronização, alguns conectores tipo luva, para conexões retas, tiveram que ser redesenhados, e outros tiveram que ser desenvolvidos, de



modo que todos os conectores de alumínio passassem a ser compatíveis com o processo de compressão conhecido como “identação profunda”.

Quanto aos conectores de derivação, foram adotados dois tipos distintos, o de aperto mecânico e o de perfuração, dispondo de parafusos torquimétricos para garantir a aplicação correta do torque necessário a um bom contato elétrico entre os cabos. Os conectores de derivação apresentam uma importante característica: são bimetálicos (podem ser empregados tanto em cabos de cobre como em cabos de alumínio).

O emprego desses tipos de conectores é fundamental para o desempenho das linhas enterradas, pois dessa maneira não é mais necessária a solda nas conexões. A soldagem era um ponto fraco nas instalações embutidas porque além de frágeis mecanicamente as soldas têm uma temperatura de derretimento baixo (cerca de 160 graus) .

Além da padronização a empresa está firmemente investindo em outras ações que tornem as instalações embutidas cada vez mais competitivas. Uma delas é influenciar as demais concessionárias a adotarem o mesmo procedimento, visto que quanto maior for a quantidade de cabos e acessórios subterrâneos consumidos em todo País, mais em conta serão os preços unitários.

De fato um dos pontos curiosos a serem observados é que enquanto em Países como a Itália, Alemanha e França os cabos e acessórios subterrâneos já são itens de estoque dos fabricantes, no Brasil praticamente todas as compras referentes a esse tipo de instalação são feitas sob encomenda encarecendo bastante os custos unitários.

5.3.2. Salvador – concessionária COELBA



A COELBA é a concessionária responsável pelo atendimento na distribuição de energia em quase todo o Estado da Bahia (uma parte é atendida pela concessionária de Sergipe). Até a data da criação da empresa, o Estado da Bahia era servido de energia elétrica através dos departamentos de estrutura das prefeituras ou através de empresas isoladas.

Em 28 de março de 1960, era criada a COELBA. Ao longo de sua trajetória, a empresa foi incorporando os serviços prestados pelas prefeituras e as demais concessionárias existentes, a exemplos da Companhia Elétrica Rio de Contas - CERC e a Companhia de Energia Elétrica do Estado da Bahia – A famosa C.E.E.B.

No primeiro ano de existência, a COELBA atendia 21 localidades. Hoje a concessionária está presente em todos os 417 municípios espalhados em mais de 500.000 km² de área.

Segundo dados da empresa do ano de 2001, a COELBA possui uma geração própria de 126.850 MWh / ano, para uma potência instalada própria de 20,2 MW.

Em relação a linhas de transmissão, a concessionária conta com 5.134 km de LT em 69kV, 2.500 km de LT em 138 KV e 170 km de LT em 230kV.

Especificamente falando de linhas de distribuição urbana, objeto dessa dissertação, a concessionária conta com 144.825 km⁴² de redes MT em 13,8 KV ou 34,5 KV. Nessas redes estão instalados 2.909 MW em transformação para BT.

No dia 26 de Maio de 2003 foi feita uma visita na concessionária de distribuição de energia do Estado da Bahia – A COELBA – com o objetivo de entender os critérios utilizados pela empresa para discriminar os investimentos em estruturas físicas, que correspondem aos

⁴² A título de comparação, conforme visto no capítulo 5.2.2 a cidade de Nova York tem 145.600 km de rede subterrânea.



bens reversíveis da concessão. Particularmente àquelas estruturas referentes aos investimentos aplicados em distribuição urbana de energia – as redes primárias.

O planejamento dos investimentos em redes de distribuição urbana está lotado na Diretoria de Gestão de Ativos (DGA). Essa diretoria engloba as atribuições do planejamento técnico do sistema elétrico (que analisa os aspectos estritamente físicos da distribuição de energia) com o planejamento econômico e financeiro (que analisa as disponibilidades e as prioridades a serem atendidas).

Nesse ponto da visita ficou evidenciado um aspecto importante da abordagem à concessionária. Existirá sempre uma possibilidade de melhoria técnica do sistema elétrico desde que os recursos sejam ilimitados. Como os recursos são limitados, haverá sempre uma prioridade a ser atendida em detrimento a outros investimentos menos urgentes.

A COELBA passa por um processo de revisão de procedimentos desde quando o grupo GUARANIANA (consórcio constituído pela empresa espanhola IBERDROLA, PREVI e BB Investimentos) arrematou também as concessionárias dos estados de Pernambuco (CELPE) e do Rio Grande do Norte (COSERN). A partir desse momento criou-se dentro do planejamento dos investimentos da empresa a chamada função compartilhada, ou seja, que serviriam para serem aplicadas nas três empresas do grupo.

Outra modificação importante, que está relacionado com o tema, é a fragmentação da empresa original (COELBA) numa série de empresas controladas pelo grupo. A exemplo da TRACOL – que é responsável por manutenção -, a GAMESA – responsável por montagens e a IBEMBRASIL – responsável pelos projetos de construções.

Dessa maneira os custos apropriados no planejamento dos investimentos de melhoria dos bens reversíveis estão sendo contabilizados de maneira fragmentada entre as empresas e estão também em algumas situações sendo terceirizado.



Segundo o engenheiro responsável pelo setor a GPI assumiu as funções de planejamento junto com a administração financeira dos recursos, avaliando sempre a relação:

Prioridades do sistema elétrico X Volume de recursos destinados a redes

Assim no nível macro do planejamento é definido pela diretoria as várias frentes de investimentos da empresa, detalhados no chamado plano 1:

- 1) Fim de vida útil
- 2) Áreas arborizadas
- 3) Intervenção de emergência
- 4) Intervenção de segurança
- 5) Melhoramentos
- 6) Obras de interesses de terceiros
- 7) Aquisição de equipamentos especiais de distribuição
- 8) Nível de tensão inadequado a resolução 505.

Após estarem definidos os percentuais a serem aplicados em cada linha de investimentos da empresa⁴³, é feito o planejamento a nível regional pela distribuição dos recursos para as unidades da empresa na Bahia, a saber:

- 1) Regional Metropolitana – sede em Salvador
- 2) Regional Norte – sede em Juazeiro
- 3) Regional Centro – sede em Feira de Santana
- 4) Regional Sudoeste – sede em Vitória da Conquista
- 5) Regional Sul – sede em Itabuna
- 6) Regional Oeste – sede em Barreiras

⁴³ No **gráfico 4** estão expressos os percentuais para o ano de 2003. Não estão divulgados os valores absolutos por questão de sigilo empresarial preservado pelo autor.



Dentro de uma regional e com os recursos definidos para cada segmentação de investimento, é feito um planejamento de desembolso de recursos. O objetivo é que durante todo o ano os investimentos sejam equilibrados e coerentes com as reais necessidades da empresa.

Uma dessas frentes de aplicação de recursos, conforme já citado anteriormente são os investimentos em redes de distribuição urbana. Estão aí contempladas as redes primárias e as redes secundárias.

Porém cabe destacar um aspecto importante: nas redes primárias os investimentos são normalmente motivados pela necessidade de expansão da capacidade de transmissão de potência associada aos alimentadores a partir do crescimento das cargas instaladas; já nas redes secundárias os investimentos são normalmente motivados pela necessidade de correções na qualidade do fornecimento de energia (resolução 505 e resolução 024 da ANEEL). Essas correções em grande parte não são controle interno da empresa. Elas são identificadas a partir de reclamações dos consumidores.

Para se definir exatamente em qual rede investir e o tipo de investimento, a concessionária conta agora com uma poderosa ferramenta de auxílio no diagnóstico da performance do sistema elétrico de distribuição: são os programas simuladores ENG66 (usado na capital) e SSP (usado no interior). Essas ferramentas de informática fazem um tratamento dos dados físicos da rede elétrica (disponíveis em outros programas já utilizados pela empresa) e simulam, a partir dos critérios definidos pelo analista, o fluxo de carga de cada trecho da distribuição.

O fluxo de carga (discriminado por alimentador de cada subestação) apresenta um relatório completo da performance elétrica do sistema. No resultado estão apresentadas as perdas técnicas, o consumo reativo ou indutivo, a simulação do crescimento e a capacidade de condução entre outros parâmetros. Um dos resultados mais importantes é o índice de



carregamento do alimentador e da subestação, que quando esta perto da saturação demanda investimentos urgentes.

Nessa etapa, o analista de desenvolvimento de rede pode simular vários diagnósticos a partir da alteração de alguns elementos do circuito (condutor, bancos de capacitores, reatores, reguladores de tensão, transformadores, perfil e localização das cargas) ou ainda na substituição do circuito completo (rede convencional por rede compacta ou subterrânea).

A partir de idiosincrasias de cada trecho de rede de distribuição, o analista considera as restrições que não podem deixar de existir. Por exemplo, uma construção que impede a passagem de uma nova faixa de rede ou uma determinação ambiental anterior a análise do projeto de melhoria. Nesse ponto é interessante salientar que as normas ambientais assim como os impedimentos legais são pré-requisitos no planejamento das redes primárias de distribuição, mas não são efetivamente nenhuma política de atuação da empresa. Nesse ambiente também não se criou uma nova cultura que se considera a estética e a segurança como padrões da concessionária.

A parte mais relevante do trabalho está na análise econômica das alternativas de investimentos. Por exemplo, quando se identifica a necessidade de uma construção de um novo alimentador para um bairro que está com um carregamento quase saturado, são apresentadas as várias alternativas técnicas para resolução do problema.

O recondutoramento, a construção de um circuito duplo, o entroncamento com outra subestação, a rede compacta, o circuito duplo compacto, o circuito isolado ou a rede subterrânea são exemplos de alternativas a serem analisadas.

A análise econômica comparativa das alternativas considera principalmente as perdas técnicas, o valor da energia e dos equipamentos elétricos naquele ano; assim como a



atualização para um VPL (valor presente líquido) considerando a vida útil prevista do alimentador/rede de distribuição e uma taxa de retorno do investimento de 15% ao ano.

A decisão por um projeto de melhoria específico obedece ao método dos custos mínimos adotado pela concessionária. Nesse ponto é importante lembrar novamente que o critério adotado é somente o técnico-financeiro, não estando presentes aspectos culturais ou gerais que influenciassem um outro tipo de decisão.

Uma vez aprovado, o projeto passa a ser contemplado no planejamento de investimentos da empresa para o próximo período. O relatório de investimentos da concessionária é feito para um período total de 03 anos, embora seja revisto anualmente.

Esse relatório é de grande importância para órgão regulador já que o volume de recursos destinado a investimentos em projetos de melhoria de rede serve como um dos parâmetros importantes na determinação da revisão tarifária e no acompanhamento do equilíbrio econômico-financeiro da concessão.

Em relação aos projetos destinados a investimentos em redes de distribuição primária, vale registrar algumas práticas que vem sendo efetuadas pela concessionária:

- Nas áreas densamente arborizadas estão sendo usadas as redes compactas, pois o custo final (investimento + manutenção) em algumas bitolas é inferior ao custo de redes convencionais, segundo a concessionária. Ref. **figura 32**.
- Nas áreas pouco arborizadas e no interior ainda estão sendo usadas as redes aéreas convencionais, sendo comum o cabo 4/0 CAA e o 50mm² CA.
- Nos troncos de alimentadores de subestação, a rede compacta na bitola de 3 x 185mm² AL / XLPE está sendo adotada em substituição a rede convencional 3 x 336,4 mcm CAA nu (mesmo em áreas de baixa arborização – como na figura X),



pois segundo a COELBA o custo é inferior mesmo considerando a eliminação da despesa com poda de árvores.

- A rede subterrânea não faz parte da cultura da empresa, sendo usada somente em situações onde existe um impedimento na utilização de rede aérea. Nesses casos o tronco do alimentador é feito com cabo isolado do tipo 300 mm² CU 20 KV e os ramais com cabos de 70 mm² ou 50 mm².
- A concessionária prefere que o incorporador adote por conta própria os custos da rede embutida que são incentivadas nos condomínios. Ref. **figura 31**.
- Toda bitola de tronco alimentador é dimensionada para suportar 400 Ampères de corrente, embora o carregamento médio seja em torno de 130 Ampères.

O baixo carregamento que está sendo adotado para as linhas novas e as linhas reformadas estão permitindo que os troncos e ramais dos alimentadores das subestações estejam cada vez mais interligados – através de chaves de manobras NF e NA. Essa é uma técnica importantíssima para a redução dos índices de DEC e FEC nos conjuntos que compõem a RMS.

Para exemplificar na COELBA numericamente o que significa estar com uma rede de distribuição exposta às intempéries, em um dia chuvoso em Salvador saem a mais de operação cerca de 200 transformadores de distribuição (ref. 39).

Na empresa a utilização de redes convencionais continua produzindo acidentes e situações inusitadas, como as mostradas nas **figuras 37 e 38**.



Figura 31: Loteamento Pituba Ville em Salvador. Ausência de redes aéreas. Fonte AGERBA.



Figura 32: Av. Manoel Dias da Silva em Salvador. Solução intermediária com a rede BLX. Fonte AGERBA.



Figura 33: NY. 56.000 km de cabos subterrâneos fomentam uma indústria pesada. Fonte Co. Edison.



Figura 34: NY. As linhas subterrâneas demandam uma intervenção constante na cidade. Fonte NYCH.



Figura 35: NY. Operário reconstrói as linhas subterrâneas que alimentavam o WTC. Fonte NYCH.



Figura 36: NY. Mesmo em bairros populares as linhas de distribuição são embutidas. Fonte NYCH.



Figura 37: Rede de distribuição no centro da cidade de Ipiaú BA. Fonte relatório fiscalização AGERBA.



Figura 38: As redes convencionais sujeitas a intervenções inusitadas. Fonte relatório fiscalização AGERBA.



Figura 39: Rua em Paris. Postes somente para iluminação pública. Fonte: www.paris.org.fr



Figura 40: Av Champs Elises de Paris. Muito da beleza se deve a ausência de postes. Fonte: www.paris.org.fr



Capítulo 6

Propostas e conclusões

6.1. Situação atual

Segundo o Instituto Brasileiro do Cobre (ref. 40) no ano de 2002 no Brasil apenas 3% das redes elétricas de distribuição instaladas eram subterrâneas, muito menor do que a média de alguns países desenvolvidos. Foi visto no capítulo 5.1. que a disponibilidade de recursos financeiros é um grande motivador na utilização de redes mais modernas, porém não é o único. Nesse ponto está a motivação das discussões apresentadas nessa dissertação.

Basicamente, como a legislação praticamente não aborda nenhuma regulação em relação a distribuição primária, pois somente são consideradas as normas técnicas da ABNT, as concessionárias estão desimpedidas de fazer todas as considerações abordadas nesse trabalho: técnica, econômica e ambiental.

Dando continuidade a uma cultura herdada no planejamento do sistema elétrico, são feitas pelas concessionárias distribuidoras as análises de ordem técnica e as análises de ordem econômica (com considerações que precisam ser revistas), mas quase sempre não são feitas análises de ordem ambiental.

No planejamento do sistema de distribuição recomendado pelos manuais da Eletrobrás (ref. 9) é analisada primeiramente a confiabilidade que se quer dar a carga ou demanda a ser atendida. Os graus de continuidade são parâmetros que orientam na definição dos



elementos de proteção do sistema e que são regulados pela portaria 046/78 do antigo DNAEE. Esse planejamento ainda não considera as alternativas de padrão de distribuição que vêm se desenvolvendo nos últimos 20 anos, conforme mostrado nos capítulos 3, 4 e 5.

O planejamento técnico tradicional consiste na previsão de carga a ser suportada nos anos de vida útil do equipamento a ser instalado. Além das técnicas disponíveis, deve-se contar com profissionais experientes e com pessoas que conheçam profundamente os aspectos gerais de desenvolvimento econômico da localidade.

O dilema que se observa nessa fase é a relação entre o custo e o benefício, passando pelo atendimento ao consumidor de acordo com as normas. Um sistema excessivamente dimensionado resulta em um ônus irrecuperável para a concessionária ao passo que um outro subestimado resulta numa qualidade de atendimento ruim para o consumidor o que, a luz da legislação, demanda investimentos supervenientes.

O planejamento tradicional nos manuais de distribuição da Eletrobrás sempre propõe a rede convencional (RDA) até o ponto em que a densidade de carga inviabiliza a instalação aérea de equipamentos. Esse parâmetro é o único que recomenda a partir do valor encontrado a adoção de redes subterrâneas.

Considerando-se por exemplo uma região composta de quadras com **150 m X 120 m** de dimensão⁴⁴, levantar-se ia as possibilidades em que a rede aérea não tem mais condições de transportar mais potência.

Um alimentador convencional normalmente transporta 6 MVA de carga. Outro ponto limitante é que o transformador de poste de maior potência está na faixa de 225 KVA. Assim considerando que cada quadra terá no máximo 10 postes⁴⁵ em volta com transformadores desse tipo e que cada um deles terá um transformador, temos uma carga

⁴⁴ 150 m x 120 m = 0,018 km²

⁴⁵ Os postes estão com um afastamento de 30 metros.



total por quadra de 2.250 KVA. Nesse caso a densidade de carga máxima de rede aérea seria de 125 MVA / km².

Porém com essa densidade, um alimentador só iria suprir 2,6 quadras. Para uma região composta por exemplo de 100 quadras (10 quadras X 10 quadras) a partir de 01 quadrante de uma subestação, teríamos uma carga total de 225.000 KVA a ser suprida com aproximadamente 38 alimentadores partindo de cada eixo.

Sendo esse número completamente impraticável, se reduz para um máximo de quatro alimentadores por eixo. Isso resulta numa potência de 24 MVA para uma super quadra de 1750 m x 1450 m⁴⁶. Ou seja uma densidade limitante de 9,458 MVA / km².

Para se comparar a um exemplo real, pode-se considerar a tabela da Agerba (ref. 34) descreve uma zona típica de alta densidade de carga como sendo de 14,702 MVA. Considerando uma taxa de pico de 50% da potência instalada, chega-se a um valor de 7,351 MVA em uma quadra preenchida por 12 prédios.

Conclui-se que mesmo sob essas condições a rede aérea ainda é possível. Ela só é realmente limitada por fatores técnicos em regiões comerciais densamente carregadas, a exemplo de grandes centros financeiros. Isso posto, não se deve esperar que as redes embutidas irão espontaneamente aflorar pelas grandes cidades a partir de decisões respaldadas em limitações físicas.



6.2. Propostas de regulação e de estudos futuros

No acompanhamento e execução das atividades de energia elétrica feitas pela AGERBA⁴⁷, particularmente no que se refere à fiscalização das linhas primárias de distribuição, é observado que existem muitos aspectos concernentes ao padrão técnico de distribuição de redes primárias de distribuição que não são regulados.

Essa **lacuna** deixada pela legislação em relação ao que deve ser considerado em cada caso fiscalizado e qual a não-conformidade observada torna o trabalho do agente fiscalizador bastante penoso, pois este têm que basear os seus pareceres em termos difusos presentes na legislação supra regulatória (cap.2.2), como por exemplo “*serviços adequados*”. Por outro lado a concessionária fica a mercê de uma interpretação mais contundente ou mais condescendente do fiscal responsável. Na sua interpretação “serviço adequado” pode ser uma simples colocação de aviso, um redirecionamento dos postes na linha primária ou até a sua remoção completa.

Assim, após todas as considerações feitas nos capítulos anteriores e sendo inconteste a lacuna na legislação referente ao assunto, serão explanadas abaixo as sugestões para uma melhor regulamentação do setor:

Revisão urgente da NBR 5434 / 1982

A norma a que se refere a construção de linhas de distribuição primária foi revisada há mais de 20 anos. Nessa época as novas tecnologias de distribuição urbana ainda não

⁴⁶ Considerando ruas com 25 metros de largura. Isso resulta em 2,5375 km².

⁴⁷ AGERBA Agência Estadual de Regulação de serviços públicos concedidos, conveniada da ANEEL para fiscalização dos serviços de eletricidade na Bahia.



estavam muito difundidas. Ainda não existiam também as exigências em relação a prestação de um serviço adequado e o direito básico a segurança do consumidor. Esses aspectos só viriam a ganhar força com a constituição de 1988 – o resgate da cidadania - , com as leis referentes a concessão dos serviços públicos e com o código de defesa do consumidor. Portanto nessa época também não eram rígidas as cobranças legais nesse sentido.

Verificando-se na norma ABNT, por exemplo, que a distância que um condutor nu de 13.8 kV pode ficar da sacada de uma janela é de até 150 cm. Ou seja na extensão de qualquer objeto condutor nessa ordem de grandeza o perigo é iminente.

A ABNT deve participar de maneira mais intensa na sua postura em relação a padrões de distribuição aérea mais modernos, como por exemplo a rede compacta. A promoção de um fórum para rever as distâncias entre rede e edifícios é uma recomendação desse trabalho.

Revisão urgente do papel órgãos de ordenamento do uso do solo urbano

Nos ambientes urbanos, principalmente naqueles com alta densidade populacional, o meio ambiente já está severamente comprometido por outras interferências feitas pelo homem. Como a alta densidade populacional está normalmente associada a uma alta densidade de carga elétrica podemos associar esse como um **possível** parâmetro de decisão para o padrão de rede de distribuição de energia.

Como o órgão de ordenamento do uso do solo urbano verifica, ou deveria verificar, todos os aspectos e interesses do município em relação à utilização daquele espaço físico, a partir da densidade populacional de cada bairro, alguns padrões de redes poderiam ser adotados a partir de uma matriz de parâmetros definidas para cada bairro.



Norma da ANEEL delegando poderes aos órgãos municipais

Foi visto no capítulo 5.1. que na França apesar da exclusividade da EDF em relação a distribuição de energia elétrica, o poder concedente delega a cada comunidade local a autonomia do disciplinamento da distribuição urbana.

A ANEEL poderia emitir uma resolução que generalizasse alguns aspectos da distribuição urbana de energia no sentido de delegar a cada órgão municipal competente sua autonomia para atender a especificidades do município.

Evidentemente que essa resolução antes de ser emitida passaria por uma consulta pública onde estivessem sendo consideradas todas as implicações, inclusive as de ordem jurídica e constitucional.

Por exemplo: “cabará a cada poder executivo municipal a atribuição de solicitar diretamente a concessionária de energia local que utilize outra tecnologia de distribuição de energia em logradouros de relevante interesse público”.

Banimento da rede aérea convencional através de resolução da ANEEL

Considerando todos os aspectos apresentados no capítulo 3, a ANEEL já poderá emitir uma resolução onde não seja mais permitida a construção de novas redes aéreas que não sejam no mínimo no padrão RDP. As RDAs ficariam restritas somente a distribuição rural de energia.

Essa sugestão passaria antes pela homologação das várias metodologias de análise econômica de comparação entre as redes RDA e RDP. Mas o resultado não seria surpresa, visto que algumas concessionárias, a exemplo da Coelba, já estão adotando o padrão compacto de rede mesmo em regiões de baixa arborização (**figura 29**).



Quanto a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias.

A revitalização do PROQUIP (Programa de Qualificação de Materiais e Equipamentos de Distribuição) que surgiu de ações desenvolvidas pela Comissão de Materiais e Equipamentos do CODI junto ao Cepel e a Eletrobrás, é uma esperança dos técnicos das concessionárias em sistematizar e dar continuidade às pesquisas que visam o desenvolvimento e qualificação dos materiais e equipamentos de distribuição.

Ações isoladas desenvolvidas por concessionárias e fabricantes mostram-se ineficazes para equacionar o assunto. Tanto que no Brasil as práticas em relação a construção de linhas primárias são completamente distintas. A melhoria de qualidade do fornecimento de energia aos consumidores que vem sendo conseguida anualmente é fruto do desenvolvimento de novas tecnologias de distribuição.

No PROQUIP não está contemplado ainda um grupo de estudos de desenvolvimento em redes de distribuição. Uma conclusão desse trabalho é que esse poderia ser o melhor fórum para a sistematização dos estudos inerentes ao tema abordado.

Quanto ao envolvimento institucional dos profissionais do setor

O envolvimento e participação voluntária na discussão do assunto deveria ser fomentada não somente pelos fabricantes de materiais que beneficiam-se com o uso de novas tecnologias de redes primárias.

Esse envolvimento deveria ser um compromisso dos profissionais que trabalham na área, pois eles também serão beneficiados por essa mudança de filosofia de distribuição de energia, já que a mesma exige projetos mais elaborados e com maior demanda de estudos técnicos.



Quanto a tarifação como incentivo a modernização das redes:

A resolução 456/00 da ANEEL sobre condições gerais de fornecimento de energia elétrica sinaliza em um dos seus artigos que pode haver uma diferenciação na cobrança de tarifas e taxas de energia em função do sistema escolhido pelo cliente ser aéreo ou subterrâneo. Isso porque o sistema subterrâneo tem um custo de manutenção menor que o aéreo.

A legislação poderia avançar nesse sentido detalhando as normas que regularizam o fornecimento através de um sistema subterrâneo aplicado a todas as concessionárias. Essas normas seriam norteadas para beneficiar pecuniariamente àqueles que optarem por redes embutidas, como foi feito na EDF na França.

Quanto a valorização do patrimônio e quotização entre os consumidores :

Outro motivo favorável a opção pelas redes subterrâneas é o aumento da construção de condomínios residenciais ou comerciais fechados. Neste tipo de empreendimento, a rede subterrânea valoriza muito o condomínio, com uma diferença de custo inicial acessível.

Em condomínios verticais⁴⁸ essa diferença é ainda menor porque as distâncias das linhas de distribuição são bem menores e a densidade de carga é bem maior, abaixando os custos unitários. A maioria dos dados pesquisados mostram que a adoção de uma rede subterrânea representa um investimento inferior a 1% do custo do imóvel e valorização comercial igual ou maior que 10% com os ganhos estéticos e de segurança.

⁴⁸ A exemplo do condomínio "Pituba Ville" em Salvador – conforme as figuras 31 – cuja valorização de cada unidade excedeu em muito o investimento nas redes embutidas.



6.3. Conclusões finais

Evidentemente esse trabalho não foi o primeiro nem será o último que aborda os impactos das diversas tecnologias de distribuição. Mas teve somente a pretensão de fomentar a divulgação e discussão através da proposição de um modelo regulatório que discipline melhor as práticas do setor.

Assim essa dissertação consegue atingir o objetivo principal proposto na medida em que estimula a discussão sobre distribuição urbana de energia. Discussão essa presente no cotidiano de todos, como é comum as manchetes de Jornais referindo-se a mortes com acidentes em redes primárias (ref. 20).

No capítulo 1 é enfatizada a necessidade de questionamento do papel do poder concedente em definir de maneira mais clara e objetiva a utilização de cada padrão de rede primária de distribuição e suas implicações. Nesse sentido o texto propõe a discussão em quatro aspectos: confiabilidade, segurança, economia e meio ambiente.

No capítulo 2 essa discussão se desenvolve principalmente a partir da análise da aderência entre o que está prescrito na legislação e o que ocorre nas concessionárias assim como os conceitos relacionados. Chegando-se às seguintes conclusões:

- na história da indústria da eletricidade no Brasil, inicialmente as empresas eram multinacionais num ambiente de regulação incipiente. Em seguida houve um período de isolamento tecnocrático na época das estatais. Atualmente o ambiente de empresas privatizadas reguladas por uma agência é bastante propício a discussão sobre regulação dos padrões de rede.



- A legislação do setor elétrico evolui no sentido de ser cada vez mais exigente, mas contraditoriamente não define os contornos dos direitos e deveres da concessionária em relação aos aspectos tecnológicos.
- Os índices de confiabilidade no fornecimento estarão cada vez mais acirrados, forçando os padrões tecnológicos de rede a evoluírem nesse sentido.
- O serviço adequado nas condições que é sugerido na Lei 8987 não é contemplado nos itens de segurança e atualidade (figura 21).

No capítulo 3 são discutidos os aspectos técnicos, econômicos e ambientais; esclarecendo melhor alguns temas relacionados com as redes aéreas. Destacando-se os ganhos ambientais e estéticos com as linhas compactas de distribuição. Concluindo-se que:

- inicialmente os custos menores de investimentos foram os motivadores da proliferação de redes aéreas do tipo RDA.
- O padrão tradicional de rede aérea apresenta uma série de desvantagens como a elevada taxa de falhas em relação a rede RDP, a interferência crítica no ambiente, a excessiva exposição ao perigo e o elevado custo de manutenção corretiva.
- As redes compactas são uma alternativa a rede convencional que apresenta ganhos do ponto de vista de segurança, estética, confiabilidade e meio ambiente.
- As redes compactas têm um custo muito menor que as redes subterrâneas.
- As redes isoladas aéreas só se aplicam a projetos especiais.



- Alguns aspectos tecnológicos das redes compactas ainda precisam ser melhorados, conforme o desempenho atestado por algumas concessionárias.
- No aspecto econômico, as concessionárias não estão estimuladas para fazer investimentos em redes, sendo necessária a regulação.

No capítulo 4 são discutidos os aspectos técnicos, econômicos e ambientais; esclarecendo melhor alguns temas relacionados com as redes subterrâneas. Destacando-se a desmistificação de alguns conceitos econômicos e tecnológicos. Concluindo-se que:

- Embora as redes subterrâneas não sejam conceitualmente recentes, houve nos últimos anos um grande avanço nas tecnologias de instalação das RDS, assim como nos acessórios poliméricos para cabos de média tensão e nos cabos isolados a seco.
- A confiabilidade da RDS é grande, porém ocorrendo a falha, o restabelecimento é demorado a depender do tipo de rede que se adote: radial ou reticulada.
- Os custos iniciais são altos em função do custo unitário dos cabos isolados e das obras de instalação.
- Novas técnicas de fabricação de cabos assim como de instalação estão baixando cada vez mais os custos da rede RDS.
- Alguns estudos já atenuaram a diferença de custos entre as RDA e RDS.
- A diluição dos custos pode ser ampliada com a abertura de valas técnicas.
- Estudo feito com concessionárias européias desmistificam o custo da rede subterrânea, chegando a sugerir na faixa de até 30 kV como sendo mais baratas.



No capítulo 5 são apresentados estudos de casos de cidades de países desenvolvidos e em desenvolvimento no sentido de endossar a motivação ao trabalho explicitada no capítulo 1, ou seja o questionamento do poder concedente; analisando a tendência mundial e o que acontece em países desenvolvidos e em países em desenvolvimento. Chegando-se às seguintes conclusões:

- Não existe uma convergência a nível mundial em relação a padrões de rede.
- Não existe aderência entre renda per capita e custo do padrão de rede.
- Não existe aderência com a extensão territorial.
- Os aspectos intangíveis são os que mais influenciaram os países ou regiões na adoção do padrão subterrâneo ou compacto.
- Na França a opção pela estética foi o fator mais relevante, sendo que a delegação da definição do padrão ao município junto com uma tradição cultural levou a adoção de rede RDS em cidades como a capital.
- Nos EUA não existiu padronização em todo o território, sendo que em cidades onde o município exigiu uma grande confiabilidade no fornecimento houve a adoção de redes do tipo RDS, como Nova York.
- No Rio de Janeiro a Light está investindo muito no padrão subterrâneo, em parte influenciada pela sua incorporação a EDF. A adoção de tecnologias modernas tem reduzido em muito a relação do custo inicial: de 10 vezes para 3 a 4 vezes segundo a empresa.



- A Coelba está investindo a renovação dos ativos de distribuição de rede fortemente tendenciosa ao padrão compacto. Acredita na economia em longo prazo.

Finalmente no capítulo 6 é apresentado um questionamento do modelo de planejamento ainda adotado e as considerações julgadas pertinentes ao tema; sendo assim sugerido alguns novos procedimentos e estudos futuros elencados abaixo:

- **Revisão urgente da NBR 5434 / 1982**
- **Revisão urgente do papel órgãos de ordenamento do uso do solo urbano**
- **Norma da ANEEL delegando poderes aos órgãos municipais**
- **Banimento da rede aérea convencional através de resolução da ANEEL**
- **Quanto a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias**
- **Quanto ao envolvimento institucional dos profissionais do setor**
- **Quanto a tarifação como incentivo a modernização das redes**
- **Quanto a valorização do patrimônio e quotização entre os consumidores**



Referências Bibliográficas:

1. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica; Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro, Livro I, Dispositivos Constitucionais, Leis, Decretos e Portarias. CF 1988 Art. 175, disponível na INTERNET via URL: [http : / www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). (2.2)
2. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica; Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro, Livro I, Dispositivos Constitucionais, Leis, Decretos e Portarias. Lei Complementar 8.987/95, disponível na INTERNET via URL: [http : / www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). (2.2)
3. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica; Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro, Livro I, Dispositivos Constitucionais, Leis, Decretos e Portarias. Lei Complementar 9.427/96 , disponível na INTERNET via URL: [http : / www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). (2.2)
4. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica; Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro, Livro I, Dispositivos Constitucionais, Leis, Decretos e Portarias. Resolução 024/2.000, disponível na INTERNET via URL: [http : / www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). (2.2)
5. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica; Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro, Livro I, Dispositivos Constitucionais, Leis, Decretos e Portarias. Resolução 505/2001, disponível na INTERNET via URL: [http : / www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). (2.2)
6. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica; Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro, Livro I, Dispositivos Constitucionais, Leis, Decretos e Portarias. Resolução 456/2.000, disponível na INTERNET via URL: [http : / www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). (2.2)



7. ANEEL. Despacho 278 de 19/05/2003. Sobre a aplicação de recursos para pesquisa e desenvolvimento da COELBA no ciclo 2002/2003. Arquivo em PDF. Disponível na AGERBA. (5.3)
8. Balbi, André L. L. Avaliação da Função Fiscalização na Estrutura Organizacional das Agências Estaduais de Regulação. 2002. 117f. Dissertação de Mestrado. Universidade Salvador. UNIFACS. (2.3)
9. Cipoli; José Adolfo. Engenharia de Distribuição. Rio de Janeiro. Editora Quality Mark. 1993. 340p. (1.3)
10. COELBA; Cia de Eletricidade do Estado da Bahia; ' O grupo Iberdrola no Brasil ' . 2003. Disponível na INTERNET via URL : [http : / www.coelba.com.br](http://www.coelba.com.br) (5.3)
11. COELBA; Cia de Eletricidade do Estado da Bahia; ' Planejamento dos Investimentos em Distribuição ' ; 2003. Entrevista com o departamento de distribuição da empresa. Relatório de Fiscalização 05/2003 da AGERBA. (5.3)
12. COPEL; Comportamento do DEC de um alimentador com rede compacta. Artigo técnico publicado no encontro das concessionárias distribuidoras de energia elétrica. 2002. Disponível na ABRADDEE. (1.1)
13. CPFL; Cia Paulista de Força e Luz. Tecnologias em redes de distribuição. Arquivo técnico. 2003. Disponível na INTERNET via URL : [http : / www.cpfl.com.br](http://www.cpfl.com.br) (1.3)
14. CPFL; Cia Paulista de Força e Luz; Procedimentos para Construção de Redes Primárias de Distribuição. Norma Técnica. Edição Revista em 2001. (1.3)



15. EDF. Eletricité de France; Le Groupe EDF em France; Resultats e Rappports 2002. Disponível na INTERNET via URL: [http: / www.edf.com.fr](http://www.edf.com.fr) (5.2)
16. EDF. Eletricité de France; The Current Thecnical or Economic Situation for Overhead lines versus Underground Cable. Report by EDF. France. 1992. (5.2)
17. Edson Company; ‘ Energy Company of the Year ‘ ; 2002. disponível na INTERNET via URL: [http: / www.coned.com](http://www.coned.com) (5.2)
18. ELETROBRAS; Centrais Elétricas Brasileiras. Memória da Eletricidade no Brasil. Cronologia da história da energia elétrica no Brasil. 2003. Disponível na INTERNET via URL : [http : / www.elektrobras.gov.br](http://www.elektrobras.gov.br) (2.1)
19. ELETROBRAS; Centrais Elétricas Brasileiras. Mercado de Energia Elétrica no Brasil. 2003. Disponível na INTERNET via URL : [http : / www.elektrobras.gov.br](http://www.elektrobras.gov.br) (2.1)
20. Folha de São Paulo. Artigo sobre mortes provocadas por cabos elétricos partidos por temporal. Publicação de 25 de Janeiro de 2003. (6.3)
21. Gorham and Partners, A anaysis of the Economics of Underground in the European Eletricity Sector. Report by the International Cooper Association. London. 1995. (4.2)
22. INBRAC; Redes de distribuição RDA. 2003. Disponível na INTERNET via URL : [http : / www.inbrac.com.br](http://www.inbrac.com.br) (3.1)
23. La regulation de L’energie en Europe. Comission de regulation de L’energe. Disponível na INTERNET via URL : [http : / www.cre.fr](http://www.cre.fr) (5.1)
24. LIGHT; ‘ O grupo EDF no Brasil ‘ ; 2003. Disponível na INTERNET via URL : [http : / www.light.com.br](http://www.light.com.br) (5.2)



25. Loureiro; Carlos Alberto de Barros. Tecnologia de Redes Subterrâneas. 2000. Artigo técnico publicado no 1º. encontro sobre redes embutidas. LIGHT. (5.3)
26. New York City Hall; ' Dados Gerais da Cidade de Nova York ' . 2003. disponível na INTERNET via URL: [http: / www.ny.gov](http://www.ny.gov) (5.2)
27. New York Independent Systems Operator; ' Reliability on Underground Network ' . 2003. disponível na INTERNET via URL: [http: / www.nyiso.com](http://www.nyiso.com) (5.2)
28. Ormanzabal; Catálogo de Centros de transformação Compactos; 2001. Cortesia do fabricante. (4.1)
29. Pirelli Cabos S.A ; Alternativas em Redes de Distribuição. Arquivo Técnico.2003. Disponível na INTERNET via URL : [http : / www.pirelli.com.br](http://www.pirelli.com.br) (4.1)
30. Pirelli Cabos S.A ; Catálogo de Acessórios de Média Tensão. 2002. Cortesia do fabricante.(3.1)
31. Pirelli Cabos S.A ; Catálogo de Condutores Elétricos de Média Tensão. 2002. Cortesia do fabricante. (4.1)
32. Planejamento de Sistemas de Distribuição. Centrais Elétricas Brasileiras- Eletrobrás. 2ª. Edição. Rio de Janeiro. Editora Campus. 1986. Coleção Distribuição de Energia Elétrica; volume 1. (6.1)
33. Prefeitura de Paris; Dados Gerais da Cidade de Paris; 2003. Disponível na INTERNET via URL: [http: / www.paris.gov.fr](http://www.paris.gov.fr) (5.2)



34. Relatório de Fiscalização de Inspeção de Redes de Distribuição da COELBA. Primeiro Trimestre de 2003. Disponível na AGERBA. (6.2)
35. Sistema Elétrico de Potência. Artigo técnico . Enciclopédia Encarta. Edição 1996. (1.3)
36. Soares, Maurício. Tecnologia para Redes Protegidas. Apresentação técnica em Seminário. Governador Valadares. 2000. (3.2)
37. Soares, Serpa. Metodologia para Determinação, Análise e Otimização de Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição. Apostila do curso de Perdas Técnicas. 2003. ANEEL. (3.1)
38. Tanure, Eduardo. Regulação da Indústria de Energia Elétrica. Apostila do Curso de Mestrado. 2001. Universidade Salvador. UNIFACS. (2.1)
39. Tribuna da Bahia. Artigo sobre falta de Energia em Salvador. Publicação de 12 de Março de 2003. (5.3)
40. Worldwide Potential for Cablemakers as European Utilities reduce overheads. Report by the International Cablemakers Federation. NY. 1994. (4.3)



Lista de Figuras

Figura 1: Topologia de um Sistema Elétrico de Potência. Pág. 20.

Figura 2: Topologia genérica da rede elétrica de distribuição. Pág. 20.

Figura 3: Foto de uma linha de distribuição urbana convencional. Pág. 21.

Figura 4: Foto de uma linha de distribuição urbana convencional. Pág. 21.

Figura 5: Impacto das podas em árvores causado pela rede primária. Pág. 22.

Figura 6: Praça Santos Dumont, Rio de Janeiro. Linha aérea X linha subterrânea. Pág. 22.

Figura 7: Linha convencional oferecendo risco de vida. Pág. 43.

Figura 8: Rede primária perigosamente próxima à área de circulação. Pág. 43.

Figura 9: Exemplo de alternativa de rede compacta. Pág. 64.

Figura 10: Exemplo de condomínio residencial com rede compacta. Pág. 64.

Figura 11: Exemplo de área urbana com rede compacta. Pág. 65.

Figura 12: Exemplo de área urbana com rede isolada. Pág. 65.

Figura 13: Exemplo de área urbana com rede isolada. Pág. 66.



Figura 14: Exemplo de área urbana com rede compacta usando braços. Pág. 66.

Figura 15: Saída de subestação com quatro alimentadores compactos. Pág. 67.

Figura 16: Foto de acessórios para derivação de rede isolada. Pág. 67.

Figura 17: Disposição de religadores na saída da subestação. Pág. 68.

Figura 18: Exemplo de rede isolada em área densamente arborizada. Pág. 68.

Figura 19: Rede em Vila Serra - MG. Região de preservação ambiental. Pág. 69.

Figura 20: Desempenho da rede compacta em área arborizada. Pág. 69.

Figura 21: Av. com alta densidade de carga e linha aérea em São Paulo. Pág. 112.

Figura 22: Exemplos de condutores isolados de média tensão. Pág. 112.

Figura 23: Foto de um centro de transformação compacto 1.000 KVA. Pág. 113.

Figura 24: Foto de um centro de transformação compacto 150 KVA. Pág. 113.

Figura 25: Foto de um centro de transformação compacto 150 KVA. Pág. 114.

Figura 26: Condomínio horizontal em São Paulo com rede embutida. Pág. 114.

Figura 27: O salitre impede a instalação de redes compactas. Pág. 115.

Figura 28: Configurações típicas de redes subterrâneas. Pág. 115.



Figura 29: Salvador BA. A linha compacta em área não arborizada. Pág. 116.

Figura 30: As redes telefônicas prejudicam a estética. Pág. 116.

Figura 31: Loteamento Pituba Ville em Salvador. Ausência de redes aéreas. Pág. 140.

Figura 32: Salvador. Solução intermediária com a rede BLX. Pág. 140.

Figura 33: NY. 56.000 km de LT subterrâneas fomentam uma indústria pesada. Pág. 141.

Figura 34: As linhas subterrâneas demandam uma intervenção constante. Pág. 141.

Figura 35: Operário reconstrói as linhas subterrâneas que alimentavam o WTC. Pág. 142.

Figura 36: Mesmo em bairros populares as linhas de distribuição são embutidas. Pág. 142.

Figura 37: Rede de distribuição no centro da cidade de Ipiaú BA. Pág. 143.

Figura 38: As redes convencionais sujeitas a intervenções inusitadas. Pág. 143.

Figura 39: Rua em Paris. Postes somente para iluminação pública. Pág. 144.

Figura 40: Paris. Muito da beleza se deve a ausência de postes. Pág. 144.



Lista de Tabelas

Tabela 1: Comparação da capacidade de transmissão de cada tipo de rede aérea.

Tabela 2: Conceitos de profissionais do setor sobre tipos de redes de distribuição.

Tabela 3: Análise de custo de instalação e vida útil de alimentadores de MT.

Tabela 4: Evolução na utilização de redes embutidas na Europa de 84 a 94.

Tabela 5: Percentuais de uso de redes embutidas em diversas regiões do mundo.

Tabela 6: Conceitos de diversas regiões do mundo em relação a redes embutidas.

Tabela 7: Relação entre custo de instalação e custo total nas redes RDA e RDS.

Tabela 8: Extensão da rede primária na Europa, América do Norte e Ásia ocidental.

Tabela 9: Relação entre densidade populacional e utilização de subterrâneo.

Tabela 10: Relação entre o custo de instalação e custo total de redes na Europa.