

XIV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

**METODOLOGIA DE ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA VISANDO A
OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS**

CLARICE ITOKAZU
ALEX SILVEIRA
ANTONIO SÉRGIO CASANOVA
NELSO ISAO SUZUKI
WILSON HIRAKAWA

ELEKTRO – ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A.

Palavras-chave: tipo de rede; otimização de sistemas; metodologia.

Foz do Iguaçu, 19 a 23 de novembro de 2000.

1. INTRODUÇÃO

No cenário energético atual, os consumidores e os órgãos fiscalizadores têm exigido das Concessionárias de Energia Elétrica, sistemas com confiabilidade e serviços cada vez melhores. Assim sendo, a duração e a frequência das interrupções, a preservação ambiental; segurança para os colaboradores e consumidores e a imagem da empresa perante a sociedade, têm sido considerados pontos de destaque dentro das Empresas.

Os padrões atualmente utilizados (redes aéreas com condutores nus), pela sua própria concepção e performance não têm atendido satisfatoriamente os requisitos e exigências do mercado altamente competitivo. Aliado à saturação tecnológica que estas redes apresentam, observa-se que para obter-se ganhos significativos nos indicadores de qualidade é necessário um investimento muito alto, e que muitas vezes não agrega uma melhoria significativa. Convém notar que qualquer investimento que ultrapasse as expectativas das empresas sem um retorno promissor não é condizente com a realidade atual e, portanto, não é visto como um investimento atrativo.

Por este motivo, uma melhora na qualidade destes indicadores pressupõe uma mudança na modalidade de construção de rede de distribuição de energia elétrica.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia, desenvolvida pela Elektro, de análise técnico-econômica para definição da modalidade de rede a ser implantada em sua área de concessão, visando a otimização de recursos, qualidade de energia requerida e satisfação dos consumidores.

Este trabalho foi proposto tendo em vista a diversidade de regiões atendidas pela Elektro: áreas litorâneas, cidades de pequeno e médio porte, extensas áreas rurais com densidades mínimas de cargas e regiões com características de relevo bem diferenciadas.

A metodologia servirá de subsídio para tomada de decisão quanto à escolha da melhor alternativa da modalidade de rede a ser utilizada, considerando-se os requisitos básicos exigidos pela Empresa e Sociedade no que diz respeito à excelência dos serviços prestados.

Esta metodologia contempla as redes novas e as existentes e foram considerados os seguintes fatores para elaboração da análise técnico-econômica: investimento inicial, desempenho do sistema atual, principais causas de desligamentos, características locais, satisfação dos consumidores, otimização dos custos operacionais (manutenções preventiva e corretiva) e retorno do investimento.

3. MODALIDADE DE REDES AÉREAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3.1. Rede aérea com condutores nus (Rede Nua)

As redes aéreas primárias de distribuição de energia elétrica no Brasil, cuja padronização contempla o uso de condutores nus, fixados em isoladores, instalados em cruzetas de madeira, foram desenvolvidos há cerca de 60 anos, baseadas nos padrões da Rural Electrification Administration EUA (REA).

A susceptibilidade destas redes a defeitos, principalmente aqueles ocasionados pelo meio ambiente e terceiros, representam uma quantidade significativa de ocorrências que se traduzem em altos custos para a Empresa.

É importante salientar que todos estes valores constituem gastos periódicos e que não guardam nenhuma relação com investimentos para melhoria das redes. Acrescenta-se ainda o fato de que essas redes apresentam saturação tecnológica face aos níveis de exigência de qualidade e de confiabilidade requeridos pela sociedade, além dos aspectos de segurança, necessidade primordial de preservação do meio ambiente e da diminuição dos custos operacionais.

3.2. Rede Protegida em Cruzetas

Esta modalidade de rede de distribuição padroniza o uso de condutores cobertos, fixados em isoladores, instalados em cruzetas de madeira e utilizada principalmente em locais onde os desligamentos são em grande parte devido a problemas de arborização e terceiros.

É uma modalidade de rede vantajosa quando a rede é existente e não existem problemas de espaçamentos, ambientes agressivos e restrições severas dos órgãos ambientalistas quanto a podas de árvores.

Benefícios

- a) Diretos
 - Diminuição das ocorrências devido ao contato acidental de objetos estranhos com a rede;
 - Aumento da segurança com terceiros;
 - Redução dos indicadores (DEC, FEC);
 - Diminuição dos recursos gastos com podas de árvores;
- b) Indiretos
 - Possibilidade de melhor aproveitamento das turmas para realizar manutenções preventivas e corretivas, pela diminuição das ocorrências acidentais;
 - Melhoria da imagem da empresa.

3.3. Rede Protegida Compacta

Esta modalidade de rede de distribuição padroniza a utilização de um cabo mensageiro de aço, onde são instalados os espaçadores losangulares poliméricos que sustentam os condutores cobertos. Esta rede é indicada principalmente onde:

- a) São constantes os desligamentos devido ao contato eventual de objetos estranhos (galhos de árvores, arames, etc.) com a rede de distribuição;
- b) Há a necessidade de instalação de mais de um circuito numa mesma estrutura;
- c) Existem áreas densamente arborizadas;
- d) As ruas são estreitas com tráfego intenso ou existam edifícios ou fachadas próximos à rede de distribuição de energia;
- e) Há a possibilidade de queda de galhos e árvores sobre a rede.

Benefícios

- a) Diretos
 - Diminuição / eliminação das ocorrências devido ao contato acidental de objetos estranhos com a rede;
 - Aumento da segurança com terceiros;
 - Redução dos indicadores (DEC, FEC);
 - Minimização dos recursos gastos com podas de árvores;
 - Possibilidade de utilização de mais de um circuito na mesma estrutura, devido à sua menor faixa de ocupação, em substituição ao uso do cabo isolado AT (custo mais elevado).
- b) Indiretos
 - Possibilidade de melhor aproveitamento das turmas para realizar manutenções preventivas e corretivas, pela diminuição das ocorrências acidentais;
 - Melhoria da imagem da empresa.

3.4. Rede Isolada

Esta modalidade de rede de distribuição padroniza a utilização de cabos pré-reunidos isolados multiplexados ao redor de um mensageiro que serve de sustentação da rede.

É a melhor configuração existente para rede de distribuição aérea, com confiabilidade e performance que se aproxima das redes de distribuição subterrânea, porém com um custo bastante inferior. Esta rede é indicada para atender os mesmos problemas citados nas Redes Protegidas em Cruzetas e Compacta.

Por utilizar cabos isolados com blindagem metálica, é possível sua instalação em ambientes agressivos, tais como locais com alto índice de poluição ou próximo à orla marítima, além de locais que tenham contatos permanentes com arborização ou preservação ambiental.

Benefícios

- a) Diretos

- Diminuição / eliminação das ocorrências devido ao contato acidental de objetos estranhos com a rede;
 - Aumento da segurança com terceiros;
 - Redução dos indicadores (DEC, FEC);
 - Minimização dos recursos gastos com podas de árvores;
 - Possibilidade de utilização de mais de um circuito na mesma estrutura, devido à sua menor faixa de ocupação.
- b) Indiretos
- Possibilidade de melhor aproveitamento das turmas para realizar manutenções preventivas e corretivas, pela diminuição das ocorrências acidentais;
 - Melhoria da imagem da empresa.

Por possuir um custo elevado se comparado com as outras modalidades de redes, torna-se vantajosa quando há a necessidade de se obter índices de qualidade com os menores valores possíveis (mais próximos dos da rede subterrânea) e em áreas que possuam densidade de carga ou consumidores de renomada importância e que exijam excelência na qualidade dos serviços prestados pela Empresa.

4. CAUSAS QUE INFLUENCIAM NA MODALIDADE DE REDE A SER UTILIZADA

São apresentadas, no quadro a seguir, as principais causas de desligamentos que normalmente ocorrem nas redes aéreas de distribuição com condutor nu e os tipos de redes atualmente existentes na Elektro.

Tabela 1 - Matriz modalidade de rede x causas de desligamento

CAUSAS DE DESLIGAMENTO \ MODALIDADE DE REDE	DA	MAV	MAO	T	FPR	FI	OC	PA	S
	Rede Protegida em Cruzetas	D	D/E	D/E	D/E	-	-	D	D
Rede Protegida Compacta	D	D/E	D/E	D/E	D	D/E	D	D	D
Rede Isolada	D/E	E	D/E	D/E	D	E	D	D	D/E

Sendo:

- DA – Descarga Atmosférica;
- MAV – Meio Ambiente Vegetal;
- MAO – Meio Ambiente Outros;
- T – Terceiros;
- FPR – Falha de pára-raios;
- FI – Falha de isolador;
- OC – Outras causas;
- PA – Poda de árvores;
- S – Segurança;
- D – Diminui;
- E – Elimina

4.1. Desligamentos devido à ação do meio ambiente vegetal

Os desligamentos provocados pela ação do meio ambiente vegetal sobre as redes de distribuição de energia elétrica, normalmente são motivados pela:

- Ocorrência de curto-circuito devido ao contato de galhos de árvores com as fases da rede primária energizada;
- Ocorrência de curto circuito provocado pela queda de galhos sobre a rede primária.

Quando um galho de árvore entra em contato com uma única fase da rede de AT energizada, devido à altíssima impedância para a terra da árvore, excetuando-se algumas árvores com baixa impedância como o bambu, tem-se a ocorrência de baixas correntes de curto-circuito fase e terra e conseqüentemente não ocorre desligamento. Por outro lado, quando se tem a queda de galho sobre os condutores energizados das

redes de AT, ou quando galhos de árvores entram em contato com mais de um condutor, a impedância fica limitada somente ao trecho do galho entre as duas fases. Nesta situação normalmente tem-se a ocorrência de curto-circuito fase-fase com elevadas correntes e conseqüentemente tem-se a ocorrência de desligamento.

A solução do problema é, portanto evitar que galhos de árvores entrem em contato com os condutores das redes. Com este intuito é que são gastos periodicamente recursos com as atividades de limpeza de faixa e com poda de árvores. Convém ressaltar que os recursos gastos com estas atividades são periódicos e constantes e não representam investimentos para melhoria da rede. Além disso, atualmente as podas de árvores têm sido restritas, pois tem ocorrido intervenção intensa dos órgãos ambientalistas.

4.2. Os desligamentos devido à ação de terceiros

Os desligamentos provocados pela ação de terceiros sobre a rede são motivados normalmente pela:

- Ocorrência de curto-circuito entre as fases, devido a objetos lançados sobre a rede;
- Ocorrência de curto-circuito fase e terra, provocado pela perda da isolação da rede motivada normalmente pela quebra de isoladores por tiro ou pedradas.

As redes protegidas e as isoladas podem minimizar e até mesmo eliminar este tipo de ocorrência. Devido às suas características construtivas evitam a ocorrência de curto-circuito quando de um eventual contato dos condutores energizados com a arborização, ou com algum outro objeto aterrado, evitando-se assim o desligamento.

Além dos ganhos operacionais pode-se obter também economia substancial de recursos, devido à possibilidade de se espaçar a periodicidade de podas de árvores, maior segurança de todos (eletricistas e terceiros), quando de um eventual toque acidental.

5. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO TÉCNICA

5.1. Considerações Gerais

Os desligamentos acidentais que acontecem nas redes aéreas convencionais de distribuição de energia elétrica com condutores nus, são normalmente motivados pela ocorrência de curto-circuito entre a(s) fase(s) e a terra, com a conseqüente atuação de algum dispositivo de proteção de sobrecorrente (disjuntor da S/E, RL, SL, chave fusível, etc.).

Se, por um lado a visualização da atuação destes dispositivos é uma tarefa relativamente fácil, o mesmo não se pode afirmar quanto a tarefa de se diagnosticar a causa real do desligamento. Esta dificuldade deve-se ao fato de que uma quantidade significativa dos desligamentos que normalmente ocorrem nas redes aéreas de distribuição são motivados por problemas transitórios e, portanto, sem causa aparente.

Tomemos como exemplo quando nossos eletricitistas, ao percorrerem um trecho de rede que apresentou desligamento, não encontram nada de anormal. Nesta situação, a interpretação da possível causa do desligamento fica a cargo, da sensibilidade e experiência da pessoa que apontou o defeito. Normalmente se o tempo está chuvoso, apontam a descarga atmosférica com sendo a responsável pelo desligamento. Por outro lado, se o tempo está bom, porém está ventando e próximo à rede há árvores, apontam o meio ambiente vegetal como sendo o responsável pelo defeito.

O fato é que se o eletricitista ao percorrer um trecho de rede que apresentou defeito e fisicamente não encontrar nenhum dano na rede e/ou objeto sobre a mesma, fica difícil elaborar um diagnóstico preciso que possibilite a tomada de decisão quanto às ações a serem tomadas para a sua não repetição.

Com base neste aspecto, como é possível propor ações efetivas para a não repetição desses desligamentos se não conhecemos a real causa do desligamento? O que se tem feito normalmente é conhecer quais são as solicitações que podem gerar desligamentos em um determinado padrão de rede quando instalado em uma região e através disso, promover as alterações necessárias ou projetá-la para que melhor as suportem.

Utilizando-se dos recursos tecnológicos atualmente disponíveis, pode-se projetar uma rede com o nível de confiabilidade desejado. Porém como os recursos financeiros são limitados, é importante que se faça uma ponderação entre os recursos disponíveis e o nível de confiabilidade que é possível obter dentro deste contexto.

Diante do exposto, podemos concluir que para melhor gerenciarmos os escassos recursos disponíveis, é extremamente importante que conheçamos as adversidades que uma rede pode estar sujeita no campo em função das agressividades ambientais existentes no local previsto para sua instalação e as alterações viáveis que podem ser incorporadas para torná-la menos vulnerável.

5.2. Rede Existente

Para análise da melhor modalidade de rede a ser utilizada em determinada situação, quando do planejamento de melhoria, os seguintes procedimentos devem ser seguidos:

- a) Elaborar um resumo de interrupções, visando identificar os sistemas que estão com um histórico de desligamentos elevados e passíveis de multas.
- b) Identificado o alimentador ou trecho de rede, realizar um levantamento detalhado das interrupções, segregando-as por causa.
- c) Verificar as informações obtidas com os operacionais que atuam nesta área
- d) Realizar uma inspeção nos trechos indicados de forma a confrontar com as informações coletadas, a fim de minimizar erros de interpretação.
- e) A última etapa consiste em realizar um anteprojeto, baseando-se na matriz modalidade de rede x causas de desligamentos verificando sua viabilidade econômica.

5.3. Rede Nova

Para análise da melhor modalidade de rede a ser utilizada em determinada rede, quando do planejamento de construção de rede nova, os seguintes procedimentos devem ser seguidos:

- a) Elaborar um diagnóstico de uma rede existente, situada o mais próximo possível do local previsto para implantação da nova rede e da mesma classe de tensão desta, identificando suas principais causas de desligamentos.
- b) Realizar uma inspeção do local previsto para a instalação da rede de forma a se verificar o melhor traçado para a mesma, identificar eventuais barreiras físicas existentes, por exemplo: arborização, restrição no espaço físico, locais com riscos de ação de terceiros sobre a rede (proximidade com favelas, desníveis da rede com relação à rua), etc.

5.4. Definição da Modalidade de Rede de Distribuição Aérea

Para adotarmos a tecnologia a ser aplicada, estabelecemos alguns parâmetros, que deverão ser analisados conforme cada sistema (região):

- a) A rede é existente?
- b) O local de aplicação sofre influência de arborização?
- c) Existe incidência de vandalismo nesta região?
- d) Existe previsão de circuitos múltiplos?
- e) Há problemas quanto às distâncias de segurança da rede a edificações?
- f) Existe previsão de multas no sistema?
- g) A Rede fica a menos de 300 metros da orla marítima?

Com base nos dados técnicos fornecidos é possível verificar qual a melhor alternativa de rede a ser implantada. Para ilustrar o exposto, vamos adotar um sistema que não se encontra em ambientes agressivos (próximo à orla marítima ou zonas com alto índice de poluição) e tem como característica relevante um alto índice de desligamento devido à ação do meio ambiente e terceiros, bem como existe previsão de pagamento de multas.

Caso a rede fosse existente e houvesse a necessidade de se fazer uma melhoria, poder-se-ia substituir esta rede por uma rede protegida em cruzetas, havendo somente a necessidade de substituir os condutores e acessórios. Assim, haveria uma redução significativa nos valores aplicados na melhoria do sistema. Agora, se por outro lado, além dos problemas anteriormente citados, houvesse a previsão de circuitos múltiplos, a Rede Protegida Compacta seria a melhor opção.

Caso a rede fosse nova, a modalidade especificada seria a Rede Protegida Compacta.

Agora, se adotássemos um outro sistema com os mesmos problemas de desligamentos anteriormente citados, porém próximo a ambientes altamente agressivos, a melhor solução seria a Rede Isolada, que mesmo tendo um investimento inicial alto teria um retorno interessante para a Empresa, levando-se em consideração todos os aspectos envolvidos (custos operacionais, confiabilidade do sistema, etc.)

6. ANÁLISE ECONÔMICA

6.1. Considerações Gerais

- A etapa de análise econômica consiste na determinação de valores que possibilitem estabelecer comparações entre os custos das diversas modalidades de redes. Estão divididos em duas parcelas: uma associada às características intrínsecas de cada modalidade de rede e imputados diretamente a Elektro e uma outra referente às implicações que os desligamentos acidentais causam às atividades produtivas e que recaem diretamente sobre os consumidores.
- Para esta análise, adotou-se o horizonte de 25 anos para todas as modalidades de rede, valor este estabelecido como sendo a vida útil de uma rede aérea de distribuição de energia elétrica utilizando postes de concreto.
- Para as redes existentes, passíveis de aplicação de multas, foi acrescentada uma parcela adicional (correspondente a uma parte do valor previsto de multa) na análise do retorno de investimento.
- Levou-se também em consideração a rentabilidade de cada local onde o sistema está inserido a fim de verificar se o investimento a ser aplicado, de forma global, trará benefícios para a Empresa e Sociedade com um todo.

6.2. Determinação dos Investimentos Iniciais

O investimento inicial é composto dos custos agregados à construção das redes novas, obtidos a partir do banco de dados da Elektro (sistema SAP R/3).

Para redes existentes foram considerados os custos de retirada da rede antiga e construção da nova.

6.3. Determinação dos Custos Operacionais

Os custos operacionais anualizados são divididos em duas parcelas:

- Manutenção Preventiva que correspondem às manutenções realizadas pelas turmas de linha viva e linha morta, visando manter a integridade das instalações e a continuidade do fornecimento de energia elétrica.
- Manutenções Corretivas que correspondem àquelas realizadas pelas equipes de restabelecimento para normalização do sistema durante uma interrupção acidental.

6.3.1. Manutenção Preventiva

6.3.1.1. Inspeção de Rede

a) Rede Urbana

- Custo da Equipe de Inspeção Urbana (c_{eiu})

$$c_{eiu} = n_e \times prod_u \times c_{me} \quad [\text{R\$/km}] \quad (1)$$

Sendo:

n_e = nº de eletricitas;

$prod_u$ = produtividade da equipe na área urbana [h/km];

c_{me} = custo médio [R\$/Hh]

- Custo do Veículo de Inspeção de Rede Urbana (c_{viu})

$$c_{viu} = c_{mvi} \times prod_u \quad [\text{R\$/km}] \quad (2)$$

Sendo:

c_{mvi} = custo médio do veículo de inspeção [R\$/h];

$prod_u$ = produtividade da equipe [h/km]

- Custo Total da Inspeção Urbana (c_{tiu})

$$C_{tiu} = C_{eiu} + C_{vi} \text{ [R\$/km]} \quad (3)$$

b) Rede Rural

- Custo da Equipe de Inspeção Rural (c_{eir})

$$c_{eir} = n_e \times prod_r \times c_{me} \text{ [R\$/km]} \quad (4)$$

Sendo:

n_e = nº de eletricitistas;

$prod_r$ = produtividade da equipe [h/km];

c_{me} = custo médio [R\$/Hh]

- Custo do Veículo de Inspeção de Rede Rural (c_{vir})

$$c_{vi} = c_{mvi} \times prod_r \text{ [R\$/km]} \quad (5)$$

Sendo:

c_{mvi} = custo médio do veículo de inspeção [R\$/h];

$prod_r$ = produtividade da equipe [h/km]

- Custo Total da Inspeção Rural (c_{tir})

$$c_{tir} = c_{eir} + c_{vi} \text{ [R\$/km]} \quad (6)$$

c) Custo Total de Inspeção de Rede (C_{ti})

O custo total de inspeção de rede é dado pela somatória das parcelas referentes às inspeções urbana e rural.

$$C_{ti} = c_{tiu} + c_{tir} \text{ [R\$/km]} \quad (7)$$

6.3.1.2. Inspeção com Termovisão

a) Rede Urbana

- Custo da Equipe de Inspeção com Termovisão Urbana (c_{etvu})

$$c_{etvu} = n_e \times prod_u \times c_{me} \text{ [R\$/km]} \quad (8)$$

Sendo:

n_e = nº de eletricitistas;

$prod_u$ = produtividade da equipe [h/km];

c_{me} = custo médio [R\$/Hh]

- Custo do Veículo de Inspeção com Termovisão Urbana (c_{vtvu})

$$c_{vtv} = c_{mvtv} \times prod_u \text{ [R\$/km]} \quad (9)$$

Sendo:

c_{mvtv} = custo médio do veículo de inspeção com termovisão [R\$/h];

$prod_u$ = produtividade da equipe [h/km]

- Custo do Equipamento de Termovisão Urbana ($c_{equiptotvu}$)

$$c_{equiptotvu} = c_{equiptotv} \times prod_u \text{ [R\$/km]} \quad (10)$$

- Custo Total da Inspeção com Termovisão Urbana (c_{ttvu})

$$c_{ttvu} = c_{etvu} + c_{vtvu} + c_{equiptotvu} \text{ [R\$/km]} \quad (11)$$

b) Rede Rural

- Custo da Equipe de Inspeção com Termovisão Rural (c_{etvr})

$$c_{etvr} = n_e \times prod_r \times c_{me} \text{ [R\$/km]} \quad (12)$$

Sendo:

n_e = nº de eletricitistas;

$prod_r$ = produtividade da equipe [h/km];

c_{me} = custo médio [R\\$/Hh]

- Custo do Veículo de Inspeção com Termovisão (c_{vtvr})

$$c_{vtvr} = c_{mvtv} \times prod_r \text{ [R\$/km]} \quad (13)$$

Sendo:

c_{mvtv} = custo médio do veículo de inspeção com termovisão [R\\$/h];

$prod_r$ = produtividade da equipe [h/km]

- Custo do Equipamento de Termovisão Rural ($c_{equiptotvr}$)

$$c_{equiptotvr} = c_{equiptotv} \times prod_r \text{ [R\$/km]} \quad (14)$$

- Custo Total da Inspeção com Termovisão Rural (c_{ttvr})

$$c_{ttvr} = c_{etvr} + c_{vtvr} + c_{equiptotvr} \text{ [R\$/km]} \quad (15)$$

c) Custo Total de Inspeção com Termovisão (C_{ttv})

O custo total de inspeção de rede é dado pela somatória das parcelas referentes às inspeções urbana e rural.

$$C_{ttv} = c_{ttvu} + c_{ttvr} \text{ [R\$/km]} \quad (16)$$

6.3.1.3. Podas de Árvores

a) Rede Urbana

- Custo de Poda de Árvores Urbano (c_{pau})

$$c_{pau} = n_{ma} \times c_{um} \text{ [R\$/km]} \quad (17)$$

Sendo:

n_{ma} = nº médio de árvores por km;

c_{un} = custo unitário [R\$/un]

b) Rede Rural

- Custo de Poda de Árvores Rural (c_{par})

$$C_{par} = n_{ma} \times C_{un} \quad [\text{R\$/km}] \quad (18)$$

Sendo:

n_{ma} = nº médio de árvores por km;

c_{un} = custo unitário [R\$/un]

c) Custo de Poda de Árvore Total (C_{tpa})

$$C_{tpa} = c_{pau} + c_{par} \quad [\text{R\$/km}] \quad (19)$$

6.3.2. Manutenção Corretiva

O custo de manutenção corretiva é dado pelo número de interrupções acidentais e do tempo de restabelecimento das interrupções nas áreas urbanas e rurais e executados pelas equipes de linha viva e linha morta, acrescido dos materiais substituídos nestas interrupções.

6.3.2.1. Custo de Manutenção Corretiva com Linha Viva

- Custo da Equipe de Linha Viva (c_{elv})

$$c_{elv} = n_e \times c_{me} \quad [\text{R\$/h}] \quad (20)$$

Sendo:

n_e = nº de eletricitas [H];

c_{me} = custo médio [R\$/Hh]

- Custo do Veículo de Linha Viva (c_{vlv})

$$c_{vlv} = \frac{C_{alv}}{8 \times 365} \quad [\text{R\$/h}] \quad (21)$$

Sendo:

c_{alv} = custo anual do veículo de linha viva

- Custo Total de Manutenção Corretiva com Linha Viva (c_{tlv})

$$c_{tlv} = c_{elv} + c_{vlv} \quad [\text{R\$/h}] \quad (22)$$

6.3.2.2. Custo da Manutenção Corretiva com Linha Morta

- Custo da Equipe de Linha Morta (c_{elm})

$$c_{elm} = n_e \times c_{me} \quad [\text{R\$/h}] \quad (23)$$

Sendo:

n_e = nº de eletricitas [H];

c_{me} = custo médio [R\$/Hh]

- Custo do Veículo de Linha Morta (c_{vlm})

$$c_{vlm} = \frac{c_{alm}}{8 \times 365} \text{ [R\$/h]} \quad (24)$$

Sendo:

c_{alm} = custo anual do veículo de linha morta

- Custo Total de Manutenção Corretiva com Linha Morta (c_{tlm})

$$c_{tlm} = c_{elm} + c_{vlm} \text{ [R\$/h]} \quad (25)$$

a) Rede Urbana

- Custo Total de Manutenção Corretiva Urbana (c_{tmcu})

$$c_{tmcu} = [(c_{tlm} \times \%_{lm}) + (c_{tlv} \times \%_{lv})] \times t_{rest} \times \left(\frac{n_{int}}{ext_u} \right) \text{ [R\$/km]} \quad (26)$$

Sendo:

c_{tlm} = custo total da manutenção corretiva com linha morta [R\$/h];

$\%_{lm}$ = parcela referente aos trabalhos executados com linha morta;

c_{tlv} = custo total de manutenção corretiva com linha viva [R\$/h];

$\%_{lv}$ = parcela referente aos trabalhos executados com linha viva;

t_{rest} = tempo médio de restabelecimento;

$$t_{restu} = \frac{DEC_u}{FEC_u} \text{ [h/int]} \quad (27)$$

n_{intu} = nº de interrupções urbanas

$$n_{intu} = n_{intt} \times \frac{FEC_u}{FEC_t} \quad (28)$$

ext_u = extensão de rede urbana [km]

b) Rede Rural

- Custo Total de Manutenção Corretiva Rural (c_{tmcr})

$$c_{tmcr} = [(c_{tlm} \times \%_{lm}) + (c_{tlv} \times \%_{lv})] \times t_{rest} \times \left(\frac{n_{intr}}{ext_r} \right) \text{ [R\$/km]} \quad (29)$$

Sendo:

c_{tlm} = custo total da manutenção corretiva com linha morta [R\$/h];

$\%_{lm}$ = parcela referente aos trabalhos executados com linha morta;

c_{tlv} = custo total de manutenção corretiva com linha viva [R\$/h];

$\%_{lv}$ = parcela referente aos trabalhos executados com linha viva;

t_{rest} = tempo médio de restabelecimento;

$$t_{restr} = \frac{DEC_r}{FEC_r} \text{ [h/int]} \quad (30)$$

n_{intr} = nº de interrupções rurais;

$$n_{intr} = n_{intt} \times \frac{FEC_r}{FEC_t} \quad (31)$$

ext_r = extensão de rede rural [km]

c) Custo Total de Manutenção Corretiva (C_{tmc})

O custo total é dado pelo somatório das parcelas referentes às áreas urbanas e rurais.

$$C_{tmc} = c_{tmcu} + c_{tmcr} \text{ [R\$/km]} \quad (32)$$

6.4. Lucro Cessante

Após o restabelecimento de uma interrupção, as atividades produtivas não retornam a plena carga e, portanto existe uma perda no faturamento. E assim, há uma redução na demanda de energia que seria faturada caso não tivesse ocorrido nenhuma interrupção.

a) Rede Urbana

- Lucro Cessante Urbano (LC_u)

$$LC_u = f_r \times t_{mf} \times kWh_u \times \frac{n_{consu}}{ext_u} \times \frac{DEC_u}{h} \text{ [R\$/km]} \quad (33)$$

Sendo:

f_r = fator de redução;

t_{mf} = tarifa média de fornecimento de energia elétrica [R\$/kWh];

kWh_u = consumo médio urbano [kWh];

n_{consu} = nº de consumidores urbanos;

ext_u = extensão da rede urbana [km];

$h = 8760$ [h]

b) Rede Rural

- Lucro Cessante Rural (LC_r)

$$LC_r = f_r \times t_{mf} \times kWh_r \times \frac{n_{consr}}{ext_r} \times \frac{DEC_r}{h} \text{ [R\$/km]} \quad (34)$$

Sendo:

f_r = fator de redução;

t_{mf} = tarifa média de fornecimento de energia elétrica [R\$/kWh];

kWh_r = consumo médio rural [kWh];

n_{consr} = nº de consumidores rurais;

ext_r = extensão da rede rural [km];

$h = 8760$ [h]

c) Lucro Cessante Total (LC_t)

O Lucro Cessante Total é dado pelo somatório das parcelas referente aos lucros cessantes das áreas urbana e rural

$$LC_t = LC_u + LC_r \text{ [R\$/km]} \quad (35)$$

6.5. Custos Sociais decorrentes das interrupções

Quando ocorre uma interrupção quer seja acidental ou programada, o processo produtivo não retorna ao seu ritmo normal imediatamente, levando um tempo maior para atingir novamente sua plena capacidade produtiva. Assim sendo, verifica-se uma queda na atividade produtiva, caracterizadas pela perda na produção e materiais e que geram grandes transtornos e perdas para os consumidores da Elektro.

Estudos de confiabilidade de empresas de países desenvolvidos têm mostrado que o custo social do kWh interrompido pode ser estimado entre 50 e 100 vezes o preço médio do kWh faturado.

Neste trabalho foi considerado um fator igual a 50 vezes, devido às áreas atendidas pela Elektro estarem localizadas, na sua maioria, na região Sudeste que por sua vez se aproxima bastante do mercado dos países desenvolvidos.

a) Rede Urbana

- Custo Social Urbano (CS_u)

$$CS_u = f \times t_{mf} \times kWh_u \times \frac{n_{consu}}{ext_u} \times \frac{DEC_u}{h} \text{ [R\$/km]} \quad (36)$$

Sendo:

$f = 50$;

t_{mf} = tarifa média de fornecimento de energia elétrica [R\$/kWh];

kWh_u = consumo médio urbano [kWh];

n_{consu} = nº de consumidores urbanos;

ext_u = extensão da rede urbana [km];

$h = 8760$ [h]

b) Rede Rural

- Custo Social Rural (CS_r)

$$CS_r = f \times t_{mf} \times kWh_r \times \frac{n_{consr}}{ext_r} \times \frac{DEC_r}{h} \text{ [R\$/km]} \quad (37)$$

Sendo:

$f_r = 50$;

t_{mf} = tarifa média de fornecimento de energia elétrica [R\$/kWh];

kWh_r = consumo médio rural [kWh];

n_{consr} = nº de consumidores rurais;

ext_r = extensão da rede rural [km];

$h = 8760$ [h]

c) Custo Social Total (CS_t)

O Custo Social Total é dado pelo somatório das parcelas referente aos lucros cessantes das áreas urbana e rural

$$CS_t = CS_u + LC_r \text{ [R\$/km]} \quad (38)$$

7. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A título ilustrativo, são apresentadas a seguir algumas simulações para o Sistema de Franco da Rocha que apresenta como característica relevante um alto índice de desligamentos devido ao meio ambiente e ação de terceiros.

7.1. Considerações Gerais

- **Rede Nova**

Considerou-se a construção da rede utilizando cabo nu de bitola 02 AWG, cabo coberto de 50 mm² e cabo isolado de 3x1x50+70 mm² com blindagem metálica;

Para o cálculo do retorno de investimento foi considerado para a parcela referente ao investimento inicial os custos médios de construção das redes nua, protegida em cruzetas, protegida compacta e isolada e para a parcela dos custos operacionais os valores quantificados baseando-se em dados obtidos dos custos de manutenção de redes nuas com as mesmas características e extrapolados para as redes protegidas em cruzetas, protegida compacta e isolada.

- **Rede existente**

Considerou-se a mudança da bitola de 02 AWG para o cabo coberto de 50 mm² e o cabo isolado de 3x1x50+70 mm² com blindagem metálica.

Para o cálculo do retorno de investimento foi considerado para a parcela referente ao investimento inicial a soma dos custos médios de construção das redes protegida em cruzetas, protegida compacta e isolada e de retirada da rede existente e para a parcela referente aos custos operacionais os valores gastos com a manutenção da rede nua e extrapolados para as redes protegida em cruzetas, protegida compacta e isolada.

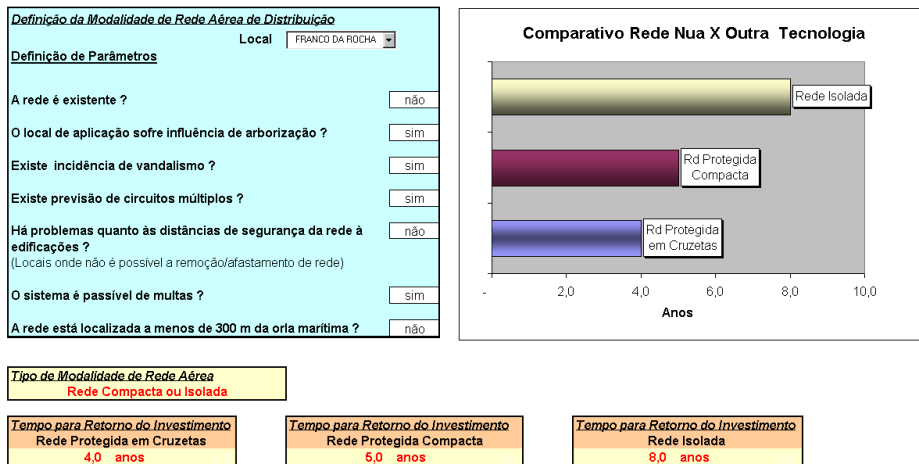


Figura 1 - Construção de uma rede nova com cabo de seção 50 mm² com previsão de circuitos múltiplos

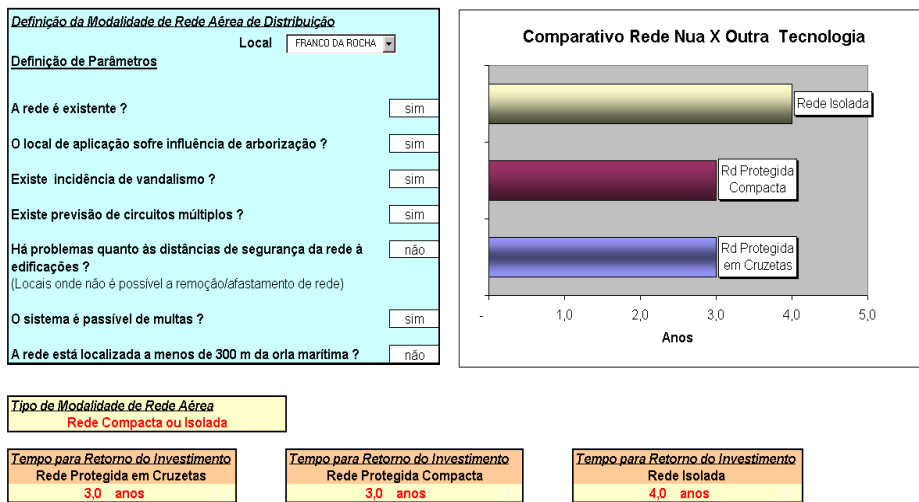


Figura 2 - Substituição de rede existente (02 AWG) por cabo 50 mm² com previsão de circuitos múltiplos

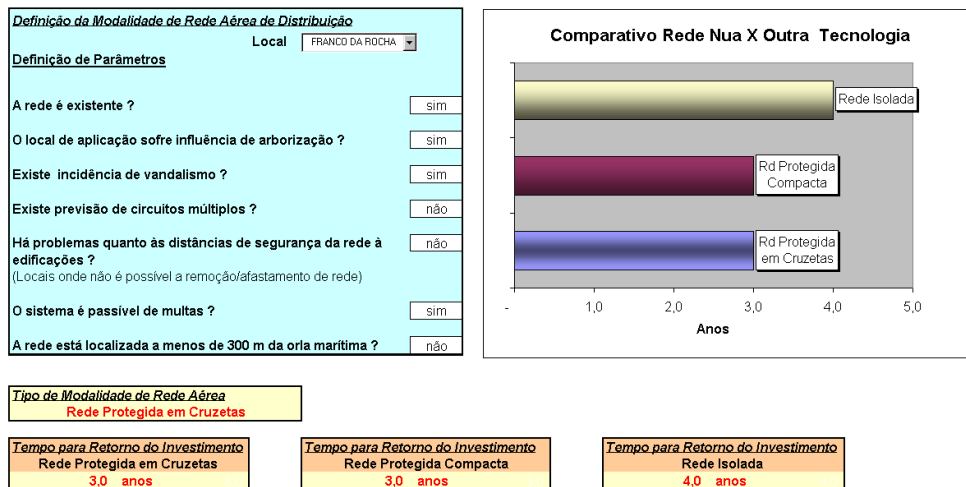


Figura 3 - Substituição de rede existente (02 AWG) por cabo 50 mm² sem previsão de circuitos múltiplos

8. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de novas tecnologias e as constantes mudanças no cenário energético tem requerido ações objetivando uma maior eficiência no sistema de distribuição de energia elétrica, tornando-se necessário a elaboração de procedimentos que pudessem auxiliar nas tomadas de decisões pelas áreas da Elektro a fim de otimizar os recursos aplicados.

Com a elaboração desta metodologia foi possível padronizar os procedimentos adotados, agilizar os processos, direcionar os investimentos e proporcionar uma visão mais ampla de cada modalidade de rede e as vantagens e desvantagens que cada escolha proporcionará a Elektro e a Sociedade como um todo, bem como oferecer à Empresa, bases para manter-se sempre competitiva e tecnologicamente atualizada face as constantes solicitações e mudanças exigidas pelo mercado e pelos seus colaboradores e consumidores.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8.1. Elektro

- a) Norma ND.21/1 – Projetos de Redes Aéreas Rurais de Distribuição de Energia Elétrica, São Paulo, Dezembro/1990
- b) Norma ND.22/1 – Projetos de Redes Aéreas Urbanas de Distribuição de Energia Elétrica, São Paulo, Dezembro/1990
- c) Norma ND.25/1 – Projetos de Redes Aéreas Isoladas e Cobertas de Distribuição de Energia Elétrica, São Paulo, Dezembro/1993
- d) Diretriz de Engenharia DE/079/TC – Indicador de Qualidade de Projetos, Dezembro/1995
- e) Estudo de Análise preliminar de atividades de serviços executados, São Paulo, Agosto/1998

8.2. Outros

- f) MASSAUD, A. Guagliard, J. A. - Eletrobrás, GCOI, CODI, CCON, FIA, FEA/USP, Relatório da Pesquisa sobre Custo de Interrupção no Fornecimento de energia Elétrica, São Paulo, Março/1991
- g) CEMIG: ED – 3.40 – Estudo de Distribuição, Viabilidade Econômica de Redes de Distribuição Protegidas, Belo Horizonte, dezembro/1998

10. CONTATOS

Elektro – Eletricidade e Serviços S.A

Gerência de Rede e Manutenção
Normalização e Tecnologia

End. Rua Seis, nº 3265 Jd. Alto Santana
Cep: 13504-022 Rio Claro – S.P.
Fone(s): (0 xx 19) 535-6115/6243
Fax: (0 xx 19) 535-6123