



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GLT/01
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA À GESTÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO
LOCALIZADAS EM ÁREAS DE OCUPAÇÃO IRREGULAR DE FAIXAS DE PASSAGEM**

**Souza, A. C. V. (*)
Chesf**

RESUMO

O crescimento desordenado das cidades, a especulação imobiliária nos grandes centros urbanos aliado aos graves problemas sociais brasileiros traz um sério problema às empresas transmissoras de energia elétrica: a ocupação irregular das faixas de passagem das linhas de transmissão.

Este trabalho visa aplicar conceitos da MCC na gestão de linhas de transmissão localizadas em áreas de grande concentração urbana e com ocupação irregular de faixa de passagem com o intuito de evitar os modos de falhas em componentes que possam resultar em danos a segurança de pessoas nestas áreas.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de Transmissão, Confiabilidade, Áreas de Invasão, Manutenção, Segurança

1. INTRODUÇÃO

Verifica-se que a população mundial, a partir de da década de 70, principalmente nos países em desenvolvimento, tem crescido a uma taxa média de 3,8% ao ano, na contramão do crescimento da renda per capita e em valores muito superiores a urbanização, sendo este o principal fator para um elevado déficit de moradia, pois enquanto 6% da população dos países desenvolvidos vivem em favelas, este número é elevado para 78,2% da população, fato que obriga a cerca de um bilhão de pessoas a habitarem em condições precárias de moradia (DAVIS, 2006).

A realidade econômica e social brasileira leva o país a possuir a terceira maior população de moradores em favela, só ficando atrás de Índia e China. (DAVIS, 2006). O IBGE, no censo de 2010, afirma que o país possui 6.329 aglomerados subnormais (assentamentos irregulares conhecidos como favelas, invasões, grotas, baixadas, comunidades, vilas, ressacas, mocambos, palafitas, entre outros) em 323 dos 5.565 municípios brasileiros, os quais concentram 6,0% da população brasileira (11.425.644 pessoas), distribuídos em 3.224.529 domicílios particulares ocupados (5,6% do total).

Verifica-se que as cidades de Salvador e Recife figuram entre as cidades no Brasil com maior concentração de Domicílios Particulares Ocupados em Aglomerados Subnormais, sendo as cidades com maiores problemas no assunto na região Nordeste conforme detalhes ver Tabela 01 e a Figura 01.

TABELA 1 – distribuição da população em aglomerados subnormais fonte IBGE Censo de 2010

	População Total	População residente em domicílios em favelas	Proporção entre a população total e a população residente em favelas

RM São Paulo	19.611.862	2.162.368	11,0
RM Rio de Janeiro	11.793.174	1.702.073	14,4
RM Belém	2.097.287	1.131.268	53,9
RM Salvador	3.564.343	931.662	26,1
RM Recife	3.676.067	852.700	23,2
RM Belo Horizonte	5.392.938	489.281	9,1
RM Fortaleza	3.608.442	430.207	11,9

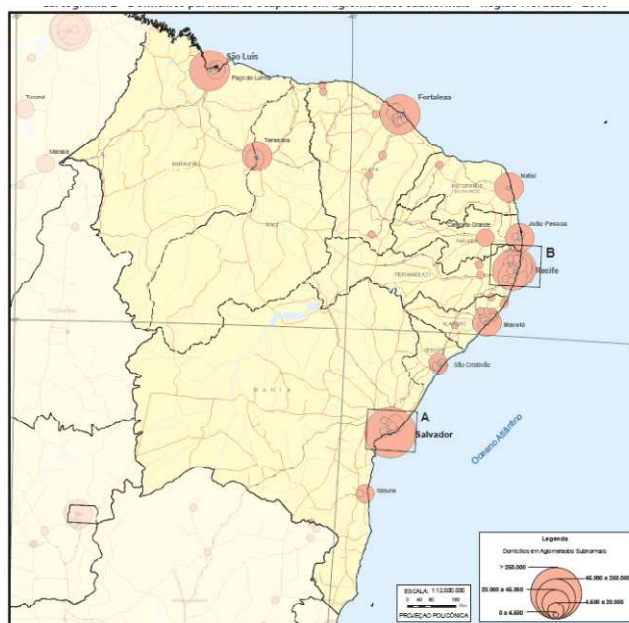


FIGURA 1 – Formações de favelas no NE. Fonte IBGE Censo de 2010

Entre os anos 40 e 50, o complexo hidro elétrico de Paulo Afonso ampliou a oferta de energia elétrica para o consumo industrial no Nordeste, as obras da primeira usina do complexo hidrelétrico foram iniciadas em 1949, após a criação efetiva da CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco, em 1948, e a entrada em operação das primeiras turbinas ocorreu em 1954, assegurando-se, a partir de então, mediante sucessivas ampliações, o abastecimento de Recife e Salvador (CARVALHO, 2004).

Diante deste cenário, as áreas responsáveis pela manutenção das linhas de transmissão convivem com a necessidade de manter estes ativos, atendendo aos requisitos de disponibilidade contratados, além de garantir a segurança das pessoas que ocupam estas áreas. Em função disto, o objetivo deste estudo é a aplicação de conceitos da MCC para a redução de riscos de falhas em componentes que possam provocar acidentes pessoais à população residente nestas áreas.

2. LINHAS DE TRANSMISSÃO DA CHESF LOCALIZADAS EM FAVELAS

Devido às necessidades crescimento do sistema elétrico e políticas de expansão imobiliária, o problema agravou-se no Nordeste nas cidades de Salvador e Recife, motivando a aplicação do estudo nas linhas de transmissão localizadas nestas capitais, sob a gestão da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – Chesf.

Os esforços para regularização das faixas de passagem de linhas de transmissão em áreas urbanas de grande densidade demográfica apresentam alto custo financeiro com indenizações e construções de benfeitorias e demandam grande esforço político das empresas nas negociações com as comunidades.

As linhas de transmissão da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – Chesf que cruzam as áreas ocupadas por favelas, nas quais existem moradias sob as faixas de servidão destes ativos, foram identificadas e classificadas totalizando 32,03 km de áreas ocupadas irregularmente por residências ver Tabela 2.

TABELA 2 – LTs localizadas em favelas em SSA e REC. Fonte: Sistema Gestão Integrada de Ativos/Chesf

LT	Km de Estruturas invadidas	Cidade
CAMACARI-MATATU, 230 KV, C1	3,00	Salvador
CAMACARI-PITUACU, 230 KV, C1	1,15	Salvador
CAMACARI-PITUACU, 230 KV, C2	1,15	Salvador
COTEGIPE-MATATU, 230 KV, C1	6,43	Salvador
MATATU-PITUACU, 69 KV, C1	6,62	Salvador
MATATU-PITUACU, 69 KV, C2	6,62	Salvador
PITUACU-COTEGIPE, 69 KV, C1	1,24	Salvador
BONGI-ACONORTE, 230 KV, C1	0,78	Recife
RECIFE II-JOAIRAM, 230 KV, C1	2,9	Recife
JOAIRAM-BONGI, 230 KV, C2	0,42	Recife
JOAIRAM-BONGI, 230 KV, C3	1,72	Recife

A Figura 2 mostra exemplo claro de ocupação irregular em faixas de passagem de linhas de transmissão onde se demonstra claramente os riscos a que estas populações estão submetidas.



FIGURA 2 – Ocupação irregular de faixa em Salvador.

3. MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A manutenção centrada na confiabilidade – MCC teve sua origem nos Estados Unidos da América na década de 70, para atender a exigências da indústria aeronáutica, principalmente quando da entrada em produção do *Boeing 747*, que possuía níveis pioneiros de automação. Os benefícios da MCC foram rapidamente percebidos por outras áreas, como as indústrias elétrica e nuclear, em seguida o uso da metodologia foi incorporada pela marinha americana desde 1978. (SIQUEIRA, 2002) e (MOUBRAY, 1992).

A MCC pode ser definida como um programa que reúne uma série de técnicas de engenharia para assegurar que um processo ou componente continue realizando as funções que a este foi determinado. Os programas de MCC têm sido reconhecidos como a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção, permitindo o alcance da excelência nas atividades de manutenção e garantindo a disponibilidade dos equipamentos, com redução de custos associados e acidentes, defeitos, reparos e substituições (FOGLIATTO, 2009).

Segundo Moubrey (1992), existem sete questões básicas a serem respondidas no emprego da metodologia MCC, sendo a oitava complementada por Siqueira (2012):

- i) Quais são as funções e os respectivos padrões de desempenho desejados para os ativos no atual contexto operacional (Funções)?
- ii) De que formas eles podem falhar e deixar de cumprir suas funções (Falhas Funcionais)?
- iii) Quais são as causas de cada falha funcional (Modos de Falha)?

- iv) O que acontece quando a falha ocorre (Efeitos da Falha)?
- v) Quais são os encargos derivados da ocorrência da falha (Conseqüências da Falha)?
- vi) O que deve ser feito para predizer ou bloquear a falha (Tarefas Pró-ativas e Periodicidades)?
- vii) O que deve ser feito se uma tarefa de bloqueio adequada não puder ser definida (Ações Compensatórias)?
- viii) Quais as freqüências ideais das tarefas?

A implementação da metodologia se dá através da adoção de uma seqüência estruturada, composta de sete etapas, assim denominadas (SIQUEIRA, 2012):

- i) Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
- ii) Análise de Modos de Falha e Efeitos;
- iii) Seleção das Funções Significantes;
- iv) Seleção de Atividades Aplicáveis;
- v) Avaliação da Efetividade das Atividades;
- vi) Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
- vii) Definição da Periodicidade das Atividades.

Neste estudo os conceitos da MCC foram aplicados nos componentes, em que as falhas apresentam danos severos à segurança dos ocupantes destas áreas e são, portanto, considerados componentes críticos.

3.1 Identificação dos componentes críticos das LTs localizadas em áreas de invasão

Os componentes das linhas de transmissão que o efeito de uma eventual falha pode ser catastrófico, pois podem causar sérios segurança a terceiros, são:

- i) Isoladores
- ii) Cabos Condutores e seus componentes
- iii) Cabos Guarda e seus componentes;

3.2 Manutenção de Linhas de Transmissão

A política de manutenção das linhas de transmissão no sistema elétrico brasileiro é feita de forma preventiva com base na condição dos componentes destes ativos. O marco inicial da manutenção de linhas de transmissão é a inspeção e sua importância é fundamental na determinação da confiabilidade e dos custos da manutenção do sistema elétrico.

O processo de inspeção é feito de forma periódica e padronizada, onde o objetivo é a detecção de defeitos em campo a partir da comparação com padrões estabelecidos em normativos e transportados para uma base de dados, para em seguida ser processada a sistemática de programação de modo a eliminar os defeitos antes de sua evolução de forma a evitar a falha destes componentes.

A Chesf classifica os tipos de Inspeção em: Minuciosa, Expedita, de Patrulhamento, Analítica e Aérea.

INSPEÇÃO MINUCIOSA: Tem por Objetiva aferir o estado dos componentes da estrutura, faixa de servidão, vegetação, estradas de acesso, cadeia de isoladores, cabos condutores e sistema de proteção (cabos pára-raios, fios terra e contrapeso). É realizada escalando-se todas as torres da linha de transmissão e visa à detecção de defeitos que comprometem a vida útil da LT, a curto, a médio e longo prazo.

INSPEÇÃO EXPEDITA: Objetiva identificar o estado geral da instalação no que tange principalmente a: integridade das cadeias de isoladores, estabilidade das estruturas, situação dos estais, altura da vegetação, possibilidade de queimadas e invasões da faixa de servidão. É realizada sem a obrigatoriedade de escalar todas as torres. Visa à detecção de defeitos que comprometem a confiabilidade da LT, em curto prazo.

INSPEÇÃO DE PATRULHAMENTO: Objetiva identificar interferências de terceiros, tais como: vandalismo, invasões e plantios. É realizada em trechos da linha de transmissão. Pode ser realizada com o uso de helicóptero e se caracteriza por não requerer instrumentação especial de apoio ao inspetor.

INSPEÇÃO ANALÍTICA: É realizada com o propósito específico de analisar a presença de determinado tipo de defeito (oxidação de grelhas, estado de parafusos de sustentação de cadeias, danificação de condutores internos a grampos de suspensão ou espaçadores, danificação de isoladores de pedestal, etc.). Quando a inspeção analítica visa observar o centelhamento em isolamentos, ela é denominada de inspeção noturna.

INSPEÇÃO AÉREA: É a inspeção que se utiliza do helicóptero para detecção de defeitos do tipo: quebra de isoladores, invasão de faixa, queimadas, rompimento de cabos condutores/pára-raios, estais, etc.

3.2 Failure Mode and Effects Analysis – FMEA

A FMEA é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: o reconhecimento e avaliação das falhas potenciais em produtos ou processos, identificar e tomar ações que possam eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência destas falhas e documentar o estudo de forma a referenciar e auxiliar revisões e desenvolvimentos futuros do processo ou projeto. O FMEA pode ser classificado em FMEA de Projeto e FMEA de Processo, onde o sucesso da aplicação do FMEA está na localização temporal em que os estudos foram realizados, pois devem ser feitos antes do evento e não após a ocorrência da falha (FOGLIATTO, 2009).

A aplicação da metodologia nos componentes selecionados resultou em valor para risco, definido como NPR, que é definido como o produto entre (S) severidade, (O) ocorrência e (D) detecção de cada modo de falha, conforme expressão abaixo:

$$NPR = S * O * D$$

A partir deste valor foram tomadas ações no processo de manutenção, de forma a reduzir os valores de S, O, e D, dentre estas ações, destacam-se: alterar a frequência da inspeção das linhas, introdução de novas técnicas de inspeção, como radiografia digital, termovisão com uso de aeronave e *gimbal*, uso de câmeras de alta resolução para processamento de imagens, assim como se verifica a necessidade de mudanças nos projetos de linhas de transmissão nestas áreas, através dos reforços de pontos de fixação, mudanças no isolamento, introdução de retaguarda mecânica em pontos de fixação.

Ver na Figura 03 a 06 os FMEAS para os componentes: cadeia de isoladores, cabos condutores e cabos pararraios.

FIGURA 03 – Formulário FMEA para as cadeias de isoladores

Cadeia de Isoladores												
Função	Modos de Falha Potencial	Efeitos Potenciais da Falha	S E V E R	Causas Potenciais das Falhas	O C O R	D E T E C	N P R	Ações recomendadas	Resultado das			
									S e v e	O c o r	D e t e	N P R
Sustentar os cabos condutores	Não Sustentar os cabos condutores	Queda de cabo ao solo	10	Quebra do pino do isolador por oxidação	3	4	120	Inspeção Minuciosa	9	1	2	18
			10		3	4	120	Duplicação da cadeia	8	2	4	64
			10		3	4	120	Substituição por cadeia mais resistente a oxidação - poliméricos	9	1	4	36
			10	Desatrelamento por erro de montagem	3	4	120	Verificação após montagem	9	1	1	9
			10	Quebra das ferragens de fixação por oxidação	3	2	60	Inspeção Minuciosa	9	2	1	18
Isolar eletricamente os cabos condutores	Não isolar eletricamente os cabos condutores	Energização indesejada da torre de transmissão	10	Poluição	3	5	150	Inspeção Noturna	9	2	2	36
			10	Poluição	3	5	150	Substituição por cadeia mais resistente a poluição - poliméricos	9	1	2	18
			8	Quebra do isolador por vandalismo	4	2	64	Inspeção Patrulhada	9	1	1	9

FIGURA 05 – Formulário FMEA para os cabos condutores

Cabos Condutores												
Função	Modos de Falha Potencial	Efeitos Potenciais da Falha	S E V E R	Causas Potenciais das Falhas	O C O R	D E T E C	N P R	Ações recomendadas	Resultado das			
									S e v e	O c o r	D e t e	N P R
Transporte de Energia Elétrica	Não Transportar Energia Elétrica	Queda de cabo ao solo	10	Quebra do cabo por vibração eólica	3	4	120	Inspeção Minuciosa	9	1	2	18
			10		3	4	120	Instalação de Grampos AGS e Amortecedores de Vibração	9	1	4	36
			10	Quebra do condutor por oxidação da alma	1	5	50	Inpeção por raio x	9	2	1	18
			10	Quebra do cabo por NCT	3	4	120	Inspeção Termográfica	9	1	1	9

FIGURA 06 – Formulário FMEA para os cabos pararraios

Cabos Pararraios												
Função	Modos de Falha Potencial	Efeitos Potenciais da Falha	S E V E R	Causas Potenciais das Falhas	O C O R	D E T E C	N P R	Ações recomendadas	Resultado das			
									S e v e	O c o r	D e t e	N P R
Blindagem elétrica	Não realizar a blindagem elétrica	Queda de cabo ao solo	10	Quebra do cabo por vibração eólica	3	4	120	Inspeção Minuciosa	9	1	2	18
			10		3	4	120	Instalação de Grampos AGS e Amortecedores de Vibração	9	1	4	36
			9	Quebra do condutor por oxidação	1	5	45	Inspeção Minuciosa	9	1	1	9
			9	Oxidação das ferragens de fixação	3	4	108	Inspeção Minuciosa	9	1	1	9

4.3 Análises de Custos e Riscos

Dentre os efeitos da ocorrência de falhas em linhas de transmissão, está a penalização na receita da empresa por efeito da PVI - Parcela Variável por Indisponibilidade, implantada através da resolução 270 da ANEEL, cuja fórmula de cálculo é dada pela expressão abaixo:

$$PVI = \frac{PB}{1440D} Kp \left(\sum_{i=1}^{NP} DVDPi \right) + \frac{PB}{1440D} \left(\sum_{i=1}^{NO} KOiDVODi \right)$$

Onde,

PB – Pagamento base da LT

$\sum DVDP$ e $\sum DVDO$ – Somatórios da duração verificada de desligamento programado e de outros desligamentos da Função Transmissão – FT.

Kp – Fator Multiplicador para desligamentos programados = 10

Ko – Fator Multiplicador para outros desligamentos =150

D – número de dias da ocorrência

Np – número de desligamentos programados e ocorridos da FT corrida ao longo do mês

Np – número de outros desligamentos ocorridos da FT corrida ao longo do mês

Verifica-se que a penalização por indisponibilidade de FTs não programada é muito superior aos demais casos, e no caso de LTs localizadas em áreas de invasão, são tratadas como LTs de alto risco e, neste caso, têm seus religadores automáticos desativados, só sendo permitida uma nova tentativa de reenergização após realização de inspeção patrulhada nos vãos em que ocorrem invasões de faixa. Devido à localização destas LTs em áreas urbanas com trechos de difícil acesso, esta inspeção tem sua duração muito maior que uma inspeção em trechos normais, penalizando ainda mais a PVI da transmissora.

Considerando os dados médios de MTTR= 4h (tempo de inspeção) e taxa de falhas = 0,71 falha/100km*ano para desligamentos transitórios para as LTs em estudo, excluindo-se as LTs não pertencentes que a rede básica, em 10 anos a provável perda de receita é dada na Tabela 03:

TABELA 03 – Perda de receita em 10 anos

LT	Comprimento	PVI - OD	Custo Provável em 10 anos
CAMACARI-MATATU, 230 KV, C1	47 km	R\$ 11.949,47	R\$ 334.585,16
CAMACARI-PITUACU, 230 KV, C1	39,2 km	R\$ 2.082,01	R\$ 49.968,24
CAMACARI-PITUACU, 230 KV, C2	39,2 km	R\$ 5.205,23	R\$ 124.925,52
COTEGIPE-MATATU, 230 KV, C1	30 km	R\$ 11.992,13	R\$ 239.842,60
RECIFE II-JOAIRAM, 230 KV, C1	7,4 km	R\$ 5.159,35	R\$ 41.274,80
JOAIRAM-BONGI, 230 KV, C2	7,4 km	R\$ 5.419,79	R\$ 43.358,32
JOAIRAM-BONGI, 230 KV, C3	7,4 km	R\$ 5.159,35	R\$ 41.274,80
CUSTO TOTAL			R\$ 875.229,44

A aplicação de ações que possam reduzir os riscos de falhas catastróficas pode ser levada em consideração na tomada de decisão de se permitir um primeiro religamento automático destas LTs e com isto reduzir o MTTR, possibilitando redução nos custos com PVI em caso de ocorrências nestas áreas.

Outro custo associado à falha de LTs em áreas de ocupação irregular de faixa é o custo com indenizações por danos causados a terceiros, como acidentes pessoais, perdas de patrimônio e outros danos previstos na esfera jurídica, os quais são impossíveis de serem calculados e neste caso, a MCC aplicada a gestão de manutenção de LTs nestas áreas atuaria na redução dos riscos de falhas em componentes que podem ter efeitos catastróficos.

4. CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia aos componentes das LTs selecionados para o estudo apresenta resultados satisfatórios, inicialmente através da análise qualitativa dos riscos de falhas por meio das ações verificadas após o desenvolvimento dos FMEAs, assim como, apresenta uma possibilidade de redução de custos por indisponibilidade das LTs nestas áreas, fato que já nos dá subsídios para garantirmos o sucesso na implantação da metodologia na gestão da manutenção de linhas de transmissão em áreas de ocupação irregular de faixa, pois poderemos obter a previsão de retorno para os investimentos necessários, além da real possibilidade da redução de riscos de acidentes a terceiros, que é o objetivo maior do estudo.

Os próximos passos do estudo será a conclusão das análises dos demais componentes das LTs através da metodologia FMEA, selecionar e introduzir novas atividades, definir periodicidade e introduzir as mudanças no programa de manutenção.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – Chesf. **IM-MN-LT-M-055 - INSPEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO E BARRAMENTOS DE SUBESTAÇÕES ENERGIZADAS**. Recife, 2012.
- (2) Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – Chesf. **NM-MN-LT-M-002 - MANUTENÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO E BARRAMENTOS ENERGIZADOS**. Recife, 2009.r
- (3) DAVIS, Mike. **Planeta Favela**: Tradução de Beatriz Medina - São Paulo: Boitempo Editora. 2006.
- (4) FOGLIATTO, F. S.; DUARTE, J. L. **Confiabilidade e manutenção industrial** – Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- (5) IBGE. CENSO Demográfico 2010: **Aglomerados subnormais - Primeiros resultados** - Rio de Janeiro, p.1-259, 2010.
- (6) IBGE. **CENSO Demográfico 2010: Base territorial: manual de delimitação dos setores** - Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 60 p.
- (7) MOUBRAY, John: **Reliability-centered maintenance** – New York: Industrial Press INC. 1992.
- (8) Planilha de FMEA de processo, coleta na url: <http://www.siqueiracampos.com/downloads/FMEA.xls> em 28 de abril de 2013.
- (9) SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação** - Rio de Janeiro: Qualimark Editora. 2012.

6. DADOS BIOGRÁFICOS

Antonio Carlos Vieira de Souza, natural de Feira de Santana, Bahia – Nascido em 03/11/1971

Formação: Engenharia Elétrica Opção Eletrotécnica – UFBA/1996, Especialista em Gestão de Recursos Humanos pela Unifacs/2004, Especializando em Gestão de Manutenção pela Unifacs, Mestrando em Engenharia Elétrica pela UFCG.

Engenheiro Eletricista na Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, desde 2004, atua como gerente do Serviço de manutenção de Linhas de Transmissão desde 2009.