

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
RODRIGO LÚCIO DOS SANTOS

APLICAÇÃO DE INSPEÇÃO AÉREA EM REDE
DE DISTRIBUIÇÃO

Varginha
2016

RODRIGO LÚCIO DOS SANTOS

**APLICAÇÃO DE INSPEÇÃO AÉREA EM REDE
DE DISTRIBUIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Msc Prof. Eduardo Henrique Ferroni e coorientação do Prof. Esp. Adilson Amaro da Silva.

Varginha

2016

RODRIGO LÚCIO DOS SANTOS

**APLICAÇÃO DE INSPEÇÃO AÉREA EM REDE
DE DISTRIBUIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovada em / /

Prof. Msc Eduardo Henrique Ferroni

Prof. Esp. Adilson Amaro da Silva

Prof. Msc Hugo Vieira

OBS:

Dedico este trabalho aos meus pais Fábio Pires e Ângela Maria, a minha Esposa Carla Cristina e ao meu Sogro Roberto Fernandes por acreditarem em meu potencial e sem eles nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao autor da existência, aquele que permite que todas as coisas se concretizem, nosso único e verdadeiro Deus.

Em segundo lugar agradeço a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente, contribuíram para a construção dos meus valores: meus pais, meus familiares e aos mestres do passado e todos os que compartilharam um pouco do que sabem comigo e com os meus amigos nesta vida acadêmica.

Não vou deixar de agradecer a compreensão de pessoas especiais, quando minha presença não foi possível e quando minha preocupação e atenção pareciam se voltar exclusivamente para este trabalho, obrigado a minha esposa Carla, aos meus filhos Igor e Isabella, obrigado Pai e Mãe, obrigado ao meu Sogro Roberto Fernandes que sempre me apoiou durante a minha formação acadêmica, ao Prof. Msc Eduardo Henrique Ferroni, Engenheiro Eletricista Adilson Amaro da Silva e técnicos da concessionária CEMIG, que incansavelmente souberam passar as diretrizes para a elaboração deste trabalho.

Fica aqui registrado os meus sinceros agradecimentos.

*“Deus não escolhe os capacitados,
capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo
só depende de nossa vontade e perseverança.”*

Albert Einstein

RESUMO

Dentre as inúmeras oportunidades de trabalho para os engenheiros eletricitas, os segmentos envolvendo as áreas de geração, transmissão, distribuição, controle, P&D e gestão, se destacam. E nestes segmentos uma das oportunidades é a possibilidade de atuação como engenheiro de manutenção em empresas de distribuição.

Com o olhar neste nicho de mercado e com foco na manutenção das redes de distribuição, este trabalho traz à tona um tema de fundamental importância e relevância para o engenheiro eletricitista formado com ênfase em Sistema Elétrico de Potência (SEP) e eletrônica de potência.

Este trabalho tem em seus primeiros capítulos uma revisão bibliográfica sobre os tipos de redes de distribuição, seus principais componentes e os tipos de inspeções de redes bem como suas peculiaridades. Em seguida é feito um estudo de caso da aplicação de inspeção aérea em rede de distribuição, na busca de informações e dados, que possam validar ou não a viabilidade técnica e econômica da utilização de aeronaves em inspeções de redes, uma vez que esta prática já está consolidada em linhas de transmissão.

Nos capítulos finais são apresentados os dados acima mencionados, que puderam solidificar a conclusão sobre a viabilidade deste tipo de inspeção aplicada em redes de distribuição aérea.

Palavras-chave: Linhas de Transmissão, Rede de Distribuição, Manutenção e Inspeção Aérea.

ABSTRACT

Among the numerous job opportunities for electrical engineers, the segments involving the areas of generation, transmission, distribution, control, P & D and management stand out. Moreover, in these segments, one of the opportunities is the possibility of acting as a maintenance engineer in distribution companies.

Looking at this market niche and focusing on the maintenance of the distribution networks, this work brings up a theme of fundamental importance and relevance for the electrician engineer trained with emphasis on Electrical Power System (SEP) and power electronics.

This work has in its first chapters a bibliographical review on the types of distribution networks, their main components and the types of network inspections as well as their peculiarities. Then a case study of the application of aerial inspection in a distribution network, in the search for information and data, which may or may not validate the technical and economic viability of aircraft use in established network inspections, since this practice established in transmission lines.

In the final chapters, the data mentioned above are present, which could solidify the conclusion about the feasibility of this type of inspection applied in air distribution networks.

Keywords: Transmission Lines, Distribution Network, Maintenance and Air Inspection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Linhas de transmissão	15
Figura 2 – Rede de distribuição aérea convencional	17
Figura 3 – Rede de distribuição aérea compacta	18
Figura 4 – Rede de distribuição aérea isolada	18
Figura 5 – Rede de distribuição subterrânea	19
Figura 6 – Posteação urbano.....	20
Figura 7 – Posteação rural	21
Figura 8 – Cruzeta de madeira.....	22
Figura 9 – Cruzeta de fibra de vidro.....	22
Figura 10 – Cruzeta de concreto.....	23
Figura 11 – Cruzeta de aço galvanizado.....	23
Figura 12 – Isolador de porcelana	24
Figura 13 – Isolador de vidro	24
Figura 14 – Isolador polimérico	25
Figura 15 – Chave porta fusível	26
Figura 16 – Transformador.....	27
Figura 17 – Termografia de um alimentador.....	35
Figura 18 – Efeito corona	36
Figura 19 – Poste de madeira rachado.....	37
Figura 20 – Poste de madeira com fungos.....	37
Figura 21 – Poste de concreto trincado	38
Figura 22 – Deterioração da ponta da cruzeta	38
Figura 23 – Perda de madeira na face superior da cruzeta	39
Figura 24 – Subestação S/E Liberdade.....	41
Figura 25 – Interface de dados da S/E Liberdade.....	41
Figura 26 – Vista panorâmica do município de Liberdade	42
Figura 27 – Rede de distribuição do alimentador 01F4	43
Figura 28 – Rede de distribuição do alimentador 01F4	43
Figura 29 – Estrutura HT-N3-NBI 300KV com chave fusível	44
Figura 30 – Estrutura HTE-N-N3-NBI 300KV com chave fusível.....	44
Figura 31 – Sinalização da rede de distribuição em derivação.....	47
Figura 32 – Sinalização da rede de distribuição em ângulo	47

Figura 33 – Guimbal fixado na fuselagem do helicóptero	48
Figura 34 – Poste com anomalia no topo	49
Figura 35 – Cruzeta com apodrecimento na parte superior.....	49
Figura 36 – Cruzeta quebrada.....	50
Figura 37 – Planilha de duração de inspeção	51
Figura 38 – Planilha de custo	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SEP – Sistema Elétrico de Potência	12
ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica	12
Unis – Centro Universitário do Sul de Minas	12
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais.....	13
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.....	14
KV – Quilo Volt	15
SIN – Sistema Interligado Nacional	15
Km – Quilômetros	15
DIT – Demais Instalações de Transmissão.....	15
V– Tensão.....	16
AT– Alta Tensão	16
BT – Baixa Tensão	16
MT– Média Tensão	16
IP – Iluminação Pública.....	19
M – metros.....	20
NBR – Norma Brasileira	27
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.....	28
TPM – Manutenção Produtiva Total	28
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico	29
MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade	30
km ² – quilômetros quadrados	40
MVA– Mega Volts Ampère	40
NBI – Nível Básico de Isolamento	42
DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.....	45
FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Sistema elétrico de potência	14
2.2 Redes de distribuição.....	15
2.2.1 Tipos de rede.....	16
2.3 Componentes de rede de distribuição	19
2.3.1 Poste.....	20
2.3.2 Condutores	21
2.3.3 Cruzetas	22
2.3.4 Isoladores	23
2.3.5 Chave porta fusível	25
2.3.6 Transformador	26
2.4 Manutenção	27
2.4.1 Tipos de manutenção	31
2.5 Inspeção	33
2.5.1 Tipos de inspeção.....	34
2.5.2 Inspeção dos componentes de rede de distribuição	36
3 OBJETO DO ESTUDO.....	40
3.1 Linha específica.....	42
3.2 Característica da linha	42
4 METODOLOGIA.....	45
4.1 Planejamento da inspeção	45
4.1.1 Planejamento de inspeção aérea do alimentador 01F4	45
4.2 Execução da inspeção	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5.1 Comparativo entre inspeção terrestre versus aérea	50
6 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica, abrange centenas de concessionárias de energia elétrica, variando de grandes sistemas interligados, os quais atendem as grandes regiões, a pequenas empresas de energia, servindo pequenas comunidades e fábricas. Por causa dessa complexidade, existem inúmeras oportunidades para engenheiros eletricitas em diversos segmentos: Centrais elétricas (geração, transmissão, distribuição, pesquisa, aquisição de dados e controle de fluxo e óbvio o gerenciamento.

Com foco na manutenção das redes de distribuição, este trabalho traz à tona um tema de fundamental importância e relevância para o engenheiro eletricitista graduado pelo grupo Unis (Centro Universitário do Sul de Minas), uma vez que na cadeia de engenharia elétrica este profissional é formado com ênfase em Sistema Elétrico de Potência (SEP) e eletrônica de potência.

O tema em questão é a inspeção e com olhar mais clínico a inspeção aérea aplicada em rede de distribuição.

No Brasil a característica principal do sistema de distribuição de energia elétrica, é que em quase toda sua totalidade e na maioria das concessionárias (operadores da distribuição), ele é composto por redes de distribuição aéreas.

Para que se possa manter este sistema disponível para a operação do SEP, torna-se necessário que este ativo (rede de distribuição) seja mantido sobre um excelente processo de inspeção e manutenção.

Pode-se mencionar que o sistema de distribuição de energia é aquele que se confunde com a própria topografia dos municípios, ramificado ao longo de serras, montanhas, áreas de preservação permanente, regiões de difícil acesso, ruas e avenidas para conectar fisicamente o sistema de transmissão, ou mesmo unidades geradoras de médio e pequeno porte, aos consumidores finais da energia elétrica (ABRADEE,2016).

As distribuidoras de energia, são as responsáveis pela conexão, o atendimento e a entrega efetiva de energia elétrica ao consumidor do ambiente regulado. A energia distribuída, portanto, é a energia efetivamente entregue aos consumidores conectados à rede elétrica de uma determinada empresa de distribuição, podendo ser rede de tipo aérea (suportada por postes) ou de tipo subterrânea (com cabos ou fios localizados no sob o solo, dentro de dutos subterrâneos). Assim como ocorre com o sistema de transmissão, a distribuição é também composta por fios condutores, transformadores e equipamentos diversos de medição, controle e proteção das redes elétricas. Todavia, de forma bastante distinta do sistema de transmissão, o sistema de

distribuição é muito mais extenso e ramificado, pois deve chegar aos domicílios e endereços de todos os seus consumidores.

Como mencionado acima, em função da extensão, ramificação e importância das redes de distribuição, estas redes devem ser mantidas e manutenciadas com excelência. Na busca desta manutenção com excelência, o processo de inspeção torna-se fundamental, uma vez que se há uma inspeção com qualidade, sem dúvidas a possibilidade de uma manutenção com qualidade, também aumenta significativamente.

Este trabalho tem como objetivo principal, analisar através de um estudo de caso a aplicação de inspeção aérea em redes de distribuição e verificar a viabilidade técnica e econômica desta modalidade de inspeção quando comparada a inspeção terrestre, analisando custos envolvidos e resultados obtidos.

A rede escolhida para o estudo de caso foi o alimentador 01F4 da Subestação Liberdade pertencente a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), localizada no município de Liberdade. Este alimentador (rede de distribuição) é responsável pelo atendimento a 3 sedes municipais, 6694 consumidores, o que representa 25% dos consumidores e 14% da carga desta subestação. A localização desta rede de distribuição é bastante complexa, sendo em quase toda sua extensão cravada dentro de áreas de preservação permanente, acidentada, mata fechada, tornando assim a inspeção terrestre muito arriscada para os inspetores (inclusive com riscos de ataque de felinos) e com um valor elevado na aplicação de mão de obra e uma demanda de tempo também bastante expressiva.

A metodologia aplicada neste trabalho está estruturada em seis capítulos. Onde neste primeiro capítulo, foi descrito a introdução ao tema abordado. No segundo capítulo é feito um referencial teórico, com finalidade de apresentar vários tópicos importantes sobre o assunto, a fim de promover um embasamento e facilitar a compreensão das informações posteriores. A seguir, o capítulo 3 traz o objeto de estudo especificando a linha de Liberdade, as características dessa linha e sua topografia e o capítulo 4 menciona a metodologia do planejamento de inspeção para alcançar o objetivo pretendido E após, no capítulo 5 são expostos os resultados comparativos entre as metodologias de inspeção. Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões a respeito do trabalho desenvolvido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema elétrico de potência

O sistema elétrico de potência é dividido em 4 etapas, sendo a geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica. O sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que também fiscaliza as concessionárias de energia com objetivo de manter a qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica e investimentos necessários para expansão e melhoria no sistema elétrico nacional.

De acordo com Menezes (2015) a geração de energia pode ser realizada por distintos tipos de usinas: hidráulica, eólica, térmica, fotovoltaica, entre outros, até o ponto em que há a conversão na forma de eletricidade. Para conduzir a energia elétrica obtida dessas fontes até o limite dos sistemas de distribuição são utilizadas as linhas de transmissão. Além de transportar em elevadas tensões toda a energia gerada, estes componentes básicos do sistema elétrico de potência também têm a função de realizar a interligação de múltiplos sistemas de transmissão, possibilitando o intercâmbio de energia e permitindo a continuidade do fornecimento às cargas mesmo em casos de emergência.

As linhas de transmissão são basicamente constituídas por fios condutores metálicos suspensos em torres, também metálicas, por meio de isoladores cerâmicos ou de outros materiais altamente isolantes. Como os sistemas de potência são trifásicos, geralmente existem três conjuntos de cabos de cada lado das torres, acompanhados por um cabo mais alto, no topo, que é o cabo para-raios, ou também chamado de cabo guarda. As linhas de transmissão se estendem por longas distâncias, conectando também, além de usinas geradoras aos grandes consumidores, aqueles que adquirem energia em alta tensão, como fábricas e mineradoras, ou às empresas distribuidoras de energia, as quais vão se encarregar de transportar a energia aos consumidores de menor porte (ABRADEE,2016) (FIGURA1).

Figura 1- Linhas de transmissão



Fonte: Globo- G1 (2016).

No Brasil, as linhas de transmissão são classificadas de acordo com o nível de tensão de sua operação, mensurado em KV(quilovolt). Para cada faixa de tensão, existe um código que representa todo um conjunto de linhas de transmissão de mesma classe. São eles: A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV; A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV; A3 – tensão de fornecimento de 69 kV. Em termos organizacionais, a classe A1 é representativa do sistema de transmissão interligado, ou Sistema Interligado Nacional (SIN), também denominado rede básica. Na classe A1, existem 77 concessionárias dos serviços públicos de transmissão, responsáveis pela administração de mais de 100 mil Km (quilômetros) de linhas. As empresas transmissoras também operam instalações de tensão inferior a 230 kV, que são as chamadas Demais Instalações da Transmissão (DIT). As classes A2 e A3, quando não são de propriedade das transmissoras, representam as redes denominadas de sub-transmissão, que, ao contrário das redes de transmissão propriamente ditas, são administradas pelas empresas de distribuição (ABRADEE, 2016).

2.2 Redes de distribuição

No Brasil a geração de energia elétrica é aproximadamente 80% produzida a partir de hidrelétricas, 11% por termoeletricas e o restante por outros processos, na usina a energia é transformada em subestações elétricas e elevada a tensão, e transportada em corrente alternada

(60 Hertz) através de cabos elétricos, até as subestações rebaixadoras, delimitando a fase de transmissão (COGE, 2005).

A distribuição (11,9/13,8/23,1 kV) está localizada nos centros urbanos de consumo, a energia é tratada nas subestações, com seu nível de tensão rebaixado e sua qualidade controlada, sendo transportado por redes elétricas aéreas ou subterrâneas, constituídas por estruturas (postes, torres, dutos subterrâneos e seus acessórios), cabos elétricos e transformadores para novos rebaixamentos (110/127/220/380 Volts-(V)), e por fim entregue as unidades consumidoras industriais comerciais, de serviço e residenciais de tensão variáveis de acordo com a capacidade de consumo instalada de cada consumidor (COGE, 2005).

As redes de distribuição de energia elétrica alimentam consumidores industriais de médio e pequeno porte, consumidores comerciais e de serviços, até mesmo consumidores residenciais. Conforme (ABRADEE, 2016), as redes de distribuição são compostas por linhas de alta(AT), média(MT) e baixa tensão(BT). Como vimos acima, as linhas de transmissão com tensão igual ou superior a 230 kV constituem a chamada rede básica. Apesar de algumas transmissoras também possuírem linhas com tensão abaixo de 230 kV, as chamadas Demais Instalações da Transmissão (DIT), grande parte das linhas de transmissão com tensão entre 69 kV e 138 kV são de responsabilidade das empresas distribuidoras. Essas linhas são também conhecidas no setor como linhas de subtransmissão. Além das redes de subtransmissão, as distribuidoras operam linhas de média e baixa tensão, também chamadas de redes primária e secundária, respectivamente. As linhas de média tensão são(MT) aquelas com tensão elétrica entre 2,3 kV e 44 kV, e são muito fáceis de serem vistas em ruas e avenidas das grandes cidades, frequentemente compostas por três fios condutores aéreos sustentados por cruzetas de madeira em postes de concreto. Nas redes de distribuição de média tensão também são, frequentemente, encontrados equipamentos auxiliares, tais como capacitores e reguladores de tensão.

As linhas de baixa tensão, com tensão elétrica que pode variar entre 127 e 440 V, são aquelas que, também afixadas nos mesmos postes de concreto que sustentam as redes de média tensão, localizam-se a uma altura inferior. As redes de baixa tensão levam energia elétrica até as residências e pequenos comércios/indústrias por meio dos chamados ramais de ligação. Os supermercados, comércios e indústrias de médio porte adquirem energia elétrica diretamente das redes de média tensão, devendo transformá-la internamente para níveis de tensão menores, sob sua responsabilidade. Ambos são, frequentemente, utilizados para corrigir anomalias na rede, as quais podem prejudicar a própria rede elétrica ou mesmo os equipamentos dos consumidores.

2.2.1 Tipos de rede

a) Rede de Distribuição Aérea Convencional: É o tipo de rede elétrica mais encontrado no Brasil, na qual os condutores são nus (sem isolamento). Exatamente por isso, essas redes são mais susceptíveis à ocorrência de defeitos (curtos-circuitos), principalmente quando há contato de galhos de árvores com os condutores elétricos (FIGURA 2).

Figura 2: Rede de distribuição aérea convencional



Fonte: o autor

b) Rede de Distribuição Aérea Compacta: Surgidas no Brasil na década de 1990, estas redes utilizam cabos cobertos instalados em espaçadores. De acordo com a CEMIG, estas redes também denominadas Redes de Distribuição Protegidas, com tensões primárias de 7.967/13.800 volts, para utilização em áreas de baixa / média poluição. As redes compactas são muito mais protegidas que as redes convencionais, não somente porque os condutores tem uma camada de isolamento, mas porque a rede em si ocupa bem menos espaço, resultando em menor número de perturbações (FIGURA 3).

Figura 3: Rede de distribuição aérea compacta



Fonte: Lopesesilva

c) Rede de Distribuição Aérea Isolada: Esse tipo de rede é bastante protegida, pois os condutores são encapados com isolamento suficiente para serem trançados (FIGURA 4). As redes isoladas apresentam-se mais caras que as anteriores já citadas, portanto só são recomendadas para projetos especiais onde ela é a única solução. Aplicam-se, por exemplo, em indústrias onde a aplicação da rede convencional ou protegida é perigosa.

Figura 4: Rede de distribuição aérea isolada(baixa tensão)



Fonte: O autor

d) Rede de Distribuição Subterrânea: A rede subterrânea é aquela que proporciona o maior nível de confiabilidade e também o melhor resultado estético, dado que as redes ficam enterradas. No entanto, as redes subterrâneas são bem mais caras que as demais soluções, sendo comuns apenas em regiões muito densas ou onde há restrições para a instalação das redes aéreas (FIGURA 5).

Figura 5: Rede de distribuição subterrânea



Fonte: Encel eletricidade hidráulica

Com relação às redes de iluminação pública (IP), que também podem ser do tipo aéreo ou subterrâneo, são redes que derivam das redes de distribuição das concessionárias. Apesar disso, a operação e a manutenção das redes de IP são de responsabilidade das prefeituras municipais.

2.3 Componentes de rede de distribuição

Os principais componentes das redes de distribuição são: os postes, condutores, suportes (cruzetas), equipamentos de proteção, transformação e regulação, isoladores, sistema de aterramento, luminárias, lâmpadas.

2.3.1 Poste

Posteamento é um conjunto de postes que sustentam os equipamentos e cabos de uma rede de distribuição aérea de energia elétrica. São utilizados postes de concreto armado do tipo circular e seção duplo T, porém em algumas concessionárias é utilizado o poste de madeira (PRAZERES, 2008).

Os postes básicos utilizados são de 9 metros, 10 metros, 11 metros e 12 metros de comprimento que conforme sua altura são implantados nas seguintes situações:

- a) Os postes de 9m são utilizados em redes secundárias sem ter uma previsão de instalação futura de rede primária;
- b) Os postes de 10m são utilizados nas redes primárias e secundárias;
- c) Os postes de 11m são utilizado nas redes primárias e secundárias e também para fixação em especialmente em transformadores e chaves de operações;
- d) Os postes acima de 12m são comumente utilizados em travessias de rodovias e ferrovias, circuitos duplos de alta tensão e situações especiais onde os de 10m e 11m mostram ineficientes na rede.

Os postes deverão ser implantados nas áreas urbanas e rurais, na urbana eles devem ser instalados nas calçadas, com utilização de estruturas que afastem das edificações e galhos de árvores (FIGURA 6). Já no meio rural poderá ser implantados na rede, podendo passar por terrenos de terceiros, com a autorização de passagem do proprietário (FIGURA 7).

Figura 6: Posteação urbano



Fonte: Eletrocamp

Figura 7: Posteação rural



Fonte: Eletrobrás

2.3.2 Condutores

Os condutores na distribuição de energia elétrica, são lançados entre estruturas montadas nos postes, e por questões de segurança, mantendo-se uma altura mínima em relação ao solo, proporcional a tensão de operação do circuito. Basicamente, utilizam-se três tipos de materiais como condutores, na distribuição de energia elétrica:

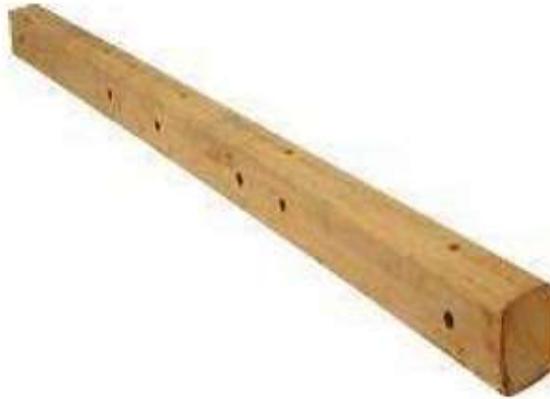
- a) Alumínio;
- b) Cobre;
- c) Aço;

Os condutores de alumínio, por apresentar razoável condutividade, baixo custo e baixo peso, são os mais utilizados. Nele é comum a baixa capacidade de sustentação mecânica, sejam dotados de um condutor de aço no seu encordoamento central, conhecido como alma de aço. Os condutores de cobre, apesar de apresentarem menor resistividade, são mais pesados e mais caros. Assim, sua utilização é indicada para regiões onde a atmosfera é agressiva e é causada pela constante de oxidação, já os condutores de aço apresentam baixa condutividade, quando comparados ao cobre e ao alumínio. Além das perdas em regime, interferem significativamente na atuação das proteções. Sua elevada impedância reduz significativamente os valores das correntes de curto-circuito (JEREMIAS, 2014).

2.3.3 Cruzetas

As cruzetas são peças de eixo retilíneo, sem emendas, destinadas a suportar condutores e equipamentos de redes aéreas de distribuição de energia elétrica. Os materiais mais utilizados para sua fabricação são madeira, fibra de vidro, concreto armado e aço galvanizado (FIGURAS 8, 9, 10 e 11). A fixação das cruzetas aos poste se dá através de ferragens galvanizadas, com cintas, selas e mão francesas para os postes circulares e com parafusos e mão francesas para postes duplo-T e madeira (JEREMIAS, 2014).

Figura 8: Cruzeta de madeira



Fonte: Média tensão

Figura 9: Cruzeta de fibra de vidro



Fonte: ASW Brasil

Figura 10: Cruzeta de concreto



Fonte: Concrefer

Figura 11: Cruzeta de aço galvanizado



Fonte: Média tensão

2.3.4 Isoladores

Os isoladores da rede de distribuição deve suportar todas as solicitações mecânicas e elétricas e apresentar também altas tensões de compressão, deve ser duro e ter uma superfície altamente polida (porcelana, vidro e polimérico) conforme (FIGURAS 12 ,13 e 14). Seu desempenho eletromecânico deve-se manter estável, mesmo na presença de umidade,

temperatura, chuva, neve, poeira, gases, etc. Sua escolha deve ser feita conforme a aplicação e a diferença de potencial entre a estrutura e os condutores do circuito (JEREMIAS, 2014).

Os isoladores mais utilizados na distribuição de energia elétrica são dos tipos:

a) Isolador de porcelana

Figura 12: Isolador de porcelana



Fonte: Germer

b) Isolador de vidro

Figura 13: Isolador de vidro



Fonte: Elo elétrico

c) Isolador polimérico

Figura 14: Isolador polimérico



Fonte: Celesp

2.3.5 Chave porta fusível

É um equipamento destinado à proteção de sobrecorrente de rede, desde o ponto de entrega de energia até o disjuntor geral da subestação. Seu elemento fusível, denominado de elo fusível, deve coordenar-se com os outros elementos de proteção do sistema da concessionária local. É constituída, na versão mais comum, de um corpo de porcelana, com dimensões adequadas à tensão de isolamento e à tensão suportável de impulso, e no qual está articulado um tubo, normalmente fabricado em fenolite ou fibra de vidro, que consiste no elemento fundamental que define a capacidade de interrupção da chave (FIGURA 15). Dentro desse tubo, denominado de cartucho, é instalado o elo fusível. Além das características nominais do sistema, a chave fusível deve ser dimensionada em função da capacidade da corrente de curto-circuito no ponto de sua instalação (JEREMIAS, 2014).

Figura 16: Chave porta fusível



Fonte: ATS elétrica

2.3.6 Transformador

Um transformador é um equipamento de operação estático que por meio de indução eletromagnética transfere energia de um circuito a outro, induzindo tensões, correntes mantendo a mesma frequência (FIGURA 16). Os transformadores trifásicos ou de potência são destinados a rebaixar ou elevar a tensão e conseqüentemente elevar ou reduzir a corrente de um circuito, de modo que não se altere a potência do circuito.

Transformador de distribuição esses tipos de transformador é utilizado para rebaixar a tensão para ser entregue aos clientes. São normalmente instalados em postes ou em câmaras subterrâneas.

Figura 16: Transformador de distribuição



Fonte: Ensa transformadores

2.4 Manutenção

Kardec e Nascif (2009, p. 23) definem o ato de manter ou a manutenção industrial como “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados”.

Segundo a NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994) a manutenção é indicada como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Portanto o termo manutenção engloba os conceitos de prevenção (manter) e correção (recolocar).

De acordo com Pinto (2001) a manutenção visa garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados.

A manutenção deve assegurar que os dispositivos continuem a fazer o que seu usuário quer que ele faça e independente de qual definição venha ser adotada, verifica-se que a ideia de manutenção está ligada às atividades e ações com propósito de manter a função de um sistema dentro de parâmetros estabelecidos (Petrilio, 2007).

Segundo Almeida (2000, p. 4) “trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e a efetividade global de nossas plantas industriais de manufatura e de produção”. Isso porque tal abordagem utiliza de ferramentas mais efetivas para obter a condição operativa real dos sistemas produtivos, ou seja, consegue fornecer dados sobre a condição mecânica de cada máquina, determinando o tempo médio real para falha. Portanto, todas as atividades de manutenção são programadas em uma base “conforme necessário”.

Baseada na conceituação de confiabilidade que tem sido empregada ao longo das décadas do século 20, pela grande maioria dos pesquisadores desse assunto. Tal conceito estabelece as leis do aparecimento de falhas nos produtos ou sistemas e os princípios e métodos que devem ser adotados nas fases de planejamento, projeto, fabricação, recepção, transporte e operação, de modo a assegurar-lhes o máximo de eficiência, segurança e economia. A Manutenção Produtiva Total (TPM) ou *Total Productive Maintenance* é a melhoria da estrutura da empresa em termos materiais, como máquinas, equipamentos, ferramentas, matéria-prima, produtos, entre outros; e, em termos humanos o aprimoramento das capacitações pessoais envolvendo conhecimentos, habilidades e atitudes. A meta a ser alcançada é o rendimento operacional global: *Bencharking* e *Benchmark*¹.

Segundo Cordeiro (2013) a manutenção de linhas de transmissão no terreno evita a interferência da vegetação local na instalação de transmissão de energia e deixa os acessos à torre em condições para o trânsito de veículos. Essa manutenção segue normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com relação à altura máxima da vegetação abaixo das linhas. Na torre deve ser feita para conservar a estrutura, contemplando aperto ou troca de parafusos, troca de isoladores, substituição de peças corroídas e retencionamento dos tirantes de aço que sustentam torres estaiadas. Nos isoladores e cabos condutores contemplam-se os isoladores e seus acessórios, os cabos para-raios e o correto funcionamento dos cabos condutores. Assim, corrigem-se os defeitos nos isoladores, espaçadores-amortecedores, cabos condutores e demais componentes da linha.

Outro fator que deve ser levado em consideração em relação à manutenção de linhas de transmissão é a sua realização em linhas vivas (energizadas). Não é necessária a interrupção do fornecimento de energia elétrica, mas as equipes que fazem esse tipo de manutenção devem ser bem treinadas e seguir procedimentos de segurança rígidos. Alguns acessórios são

¹ *Bencharking* - é o “processo de identificação, conhecimento e adaptação de práticas e processos excelentes de organizações, de qualquer lugar do mundo, para ajudar uma organização a melhorar seu desempenho”. *Benchmark* - é uma medida, uma referência ou um nível de desempenho, reconhecido como padrão de excelência para um processo de negócio específico. No caso, a manutenção de linhas de transmissão e subestações em alta tensão (SILVA, 2013).

fundamentais, como roupa metálica especial condutiva, bota condutiva, bastões e escadas feitos de fibra de vidro e resina epóxi. A roupa metálica do eletricitista é equipotencializada com a tensão da linha e se transforma numa gaiola de Faraday, garantindo o campo elétrico zero em seu interior, onde se encontra o técnico (Cordeiro,2013).

Conforme Rangel, Kienitz e Brandão (2009) de modo geral, as inspeções nas linhas de transmissão de alta voltagem são feitas de forma preventiva, regularmente e de forma visual. As inspeções buscam verificar a integridade física dos componentes das linhas, em termos de fissuras, corrosão e eventuais danos que venham a prejudicar o fornecimento de energia elétrica. Essas inspeções envolvem a integridade estrutural das torres, a condição dos isoladores, as conexões das linhas de transmissão, a fim de se verificar um eventual ponto de ruptura. Em alguns casos, através de uma câmera térmica, buscam-se futuros pontos de ruptura potencializados pelo aumento da resistência elétrica na linha, que resulta no aumento de temperatura pontual. Outros pontos a serem inspecionados envolvem as condições do terreno local onde as torres são instaladas, pois a vegetação deverá ser mantida numa distância mínima, tal que não ocorra nenhum contato entre a vegetação e as torres ou cabos de transmissão, evitando assim interferências no funcionamento da linha de transmissão. Além disso, é essencial a garantia de dispor-se de um terreno em condições de trânsito de veículos para o transporte do pessoal de manutenção, transporte de ferramentas, dentre outros fatores.

De acordo com Silva (2013) as atividades de manutenção em linhas de transmissão e subestações do Sistema Elétrico Brasileiro são regulamentadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico(ONS) e fiscalizadas pela ANEEL, através dos procedimentos de rede, no que se refere ao acompanhamento e padronização das operações e outros aspectos. Esta regulamentação visa proporcionar um serviço de transporte e fornecimento de energia elétrica, dentro dos níveis, padrões de qualidade e confiabilidade, requeridos pelos usuários. A manutenção em linhas de transmissão e subestações de alta tensão, com o grau de qualidade desejado e sem interrupção do fornecimento de energia elétrica aos consumidores é uma necessidade cada vez mais visível. Com as pressões por uma alta produtividade e competitividade do mercado, as empresas preocupam-se cada vez mais, em satisfazer seus clientes da melhor maneira possível, quer eliminando falhas e possíveis interrupções ou controlando a qualidade da energia fornecida. À medida que a demanda cresce e as cargas aumentam, a responsabilidade das empresas de energia elétrica aumenta proporcionalmente. Independentemente dos esforços desenvolvidos pelas empresas haverá sempre a necessidade de se realizar intervenções de manutenção. Em resumo, para garantir essa boa qualidade para o consumidor final da energia elétrica é indispensável que não haja variações de qualidade, ou

que sejam minimizadas as interrupções no fornecimento, tendo por base uma boa política de manutenção. Havendo variações e interrupções frequentes, a qualidade dos serviços será insatisfatória, e neste contexto entra o papel e a importância do órgão de manutenção.

Dentre os diversos métodos que buscam melhorar o desempenho da manutenção, destaca-se a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). A Manutenção Centrada em Confiabilidade surgiu na década de 60 nos Estados Unidos, com a proposta de uma ferramenta que possibilite tratar a cada tipo de falha, determinar métodos de manutenção de melhor custo-benefício e mais eficiente, buscando otimizar as atividades de manutenção (SILVA; RIBEIRO, 2009).

Segundo Lafraia (2001), a avaliação probabilística do risco de falha de um sistema ou produto caracteriza o aspecto fundamental da análise de confiabilidade conduzida pela MCC. Esse autor acrescenta que a MCC visa proporcionar um bom desempenho funcional com baixo índice de falha de um sistema.

Esclarece que o foco da MCC é preservar a função do sistema, e não restabelecer o item físico para uma condição ideal. Através da identificação de modos de falhas, a manutenção volta-se para as funções mais importantes do equipamento e, assim, contribui para a redução de custos (SILVA e RIBEIRO, 2009).

De acordo com Possamai e Nunes (2001) a Manutenção Centrada em Confiabilidade, de forma metodológica, discretiza os diferentes tipos de falha, em relação as suas consequências para o processo produtivo, para a segurança e para o meio ambiente.

Segundo Moubray (2000), a evolução histórica da manutenção e dos processos industriais é resumida no Quadro I (Expectativas crescentes das técnicas de manutenção), o qual considera 3 gerações distintas. A primeira geração representou a ênfase no conserto após a falha. A segunda geração, por sua vez, esteve associada ao surgimento de maiores exigências com relação à disponibilidade operativa e à vida útil dos equipamentos, a custos menores. Já a terceira geração, que se refere ao tempo atual, diz respeito aos requisitos característicos, como: maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil, com ausência de danos ao meio ambiente e pessoas e ainda com ações de manutenção eficazes em função dos custos envolvidos, monitoramento das condições e projetos de equipamentos visando à confiabilidade e a facilidade de manutenção e ferramentas de suporte às decisões (estudos sobre riscos, modos de falha e análise dos efeitos).

Quadro I: Expectativas crescentes das técnicas de manutenção.

Expectativa crescente das técnicas de manutenção							
					Terceira Geração		
					Maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos;		
					Análise dos efeitos e modos de falha;		
					Segunda Geração		
					Maior disponibilidade e vida útil dos equipamentos;		
Primeira Geração					Melhor planejamento das atividades de manutenções visando a confiabilidade;		
Conserto após avaria					Melhor eficácia dos custos;		
Custos menores					Maior segurança no trabalho		
1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico

Observa-se então, na terceira geração o desenvolvimento da chamada “Manutenção Centrada em Confiabilidade” (MCC), a qual enfatiza, em sua análise e aplicação, as funções dos equipamentos e sistemas, e também realiza uma criteriosa avaliação das consequências das falhas para a segurança, para o meio ambiente e para a produção, visando obter o máximo benefício com redução dos custos operacionais (NUNES, 2001).

2.4.1 Tipos de manutenção

Dentre os tipos destacam-se a manutenção corretiva, a preventiva, a preditiva, a detectiva, a produtiva e a proativa.

A manutenção corretiva é a forma mais simples e mais primitiva de manutenção. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002, p. 625) “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido.” Apesar de esta definição apontar para uma manutenção simplesmente entregue ao acaso, essa abordagem ainda se subdivide em duas categorias: planejada e não-planejada.

A manutenção corretiva não-planejada é a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado sendo realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior, aleatoriamente. Implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, já que gera ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis. A manutenção corretiva planejada ocorre quando a manutenção é preparada, pela decisão

gerencial de operar até a falha ou em função de um acompanhamento preditivo, ou seja, indica que tudo o que é planejado, tende a ficar mais barato, mais seguro e mais rápido, segundo Otani e Machado (2008, p. 4).

Ao contrário da manutenção corretiva a manutenção preventiva procura evitar e prevenir antes que a falha efetivamente ocorra. A definição da NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994) para a manutenção preventiva é “manutenção efetuada em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios prescritivos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”. Assim, a essência da manutenção preventiva é a substituição de peças ou componentes antes que atinjam a idade em que passam a ter risco de quebra. Esse tipo de manutenção também é chamada de manutenção baseada em intervalos/tempo.

A manutenção preditiva busca a prevenção ou antecipação da falha, medindo parâmetros que indiquem a evolução de uma falha de serem corrigidas. É a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo (OTANI e MACHADO, 2008).

A manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção ou comando buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Um exemplo clássico é o circuito que comanda a entrada de um gerador em um hospital, se houver falta de energia e o circuito tiver uma falha o gerador não entra. À medida em que aumenta a utilização de instrumentação de comando, controle e automação nas indústrias, maior a necessidade da manutenção detectiva para garantir a confiabilidade dos sistemas e da planta. Esse tipo de manutenção é nova e por isso mesmo pouco mencionada no Brasil (XAVIER, 2016).

Segundo Lima e Castilho (2006) a manutenção produtiva teve origem nos programas de qualidade surgidos após a segunda guerra mundial, em face da necessidade de produção em massa, de forma a suprir a demanda, numa conjuntura em que muitas nações industriais tinham sido destruídas pela guerra. Em função dos programas de qualidade, as manutenções seguiam programações pré-determinadas, desconsiderando a real necessidade de intervenções e ocorriam sem a participação dos operadores das máquinas. Em muitos casos a manutenção era desnecessária, acarretando em novos defeitos e aumento de custos. Como uma das características dos programas de qualidade era o controle dos defeitos na sua origem, os operadores passaram a participar e apontar os defeitos nas suas máquinas, para evitar falhas futuras. Surge assim, em meados da década de 70 do século XX, a manutenção produtiva. A

manutenção produtiva estimula a participação dos operadores num esforço de manutenção preventiva e corretiva, criando assim uma mentalidade de autogerenciamento do seu local de trabalho. O objetivo principal dessas ações é o aumento da eficiência dos equipamentos, com redução dos custos operacionais. A atuação não se dá apenas no reparo, mas também junto ao operador e na gestão do equipamento, visando eliminar todas as perdas.

Conforme Fitch (2013) a manutenção proativa tem recebido atenção mundial como o meio mais importante de alcançar economias inalcançáveis pelas técnicas de manutenção convencionais. A abordagem substitui a filosofia de manutenção de “falha reativa” pela de “falha proativa” evitando as condições subjacentes que levam a falhas e degradação da máquina. Ao contrário da manutenção preditiva/preventiva, a manutenção proativa cria ações conetivas que objetivam as causas da falha-raiz, não apenas sintomas. Seu objeto central é aumentar a vida da máquina mecânica ao invés de fazer reparos quando, em geral, nada está quebrado, aceitar a falha como rotina e normal substituindo a manutenção de falha de crise pela manutenção de falha programada. Enquanto as causas-raiz da falha são muitas, ou pelo menos se presume que são, é geralmente aceito que 10% das causas da falha são responsáveis por 90% das ocorrências. Na maioria dos casos, os sintomas da falha mascaram a causa raiz ou são eles próprios considerados como a causa.

2.5 Inspeção

A inspeção visa identificar as irregularidades e anomalias existentes no sistema de distribuição que, se não corrigidas a tempo, resultarão em falhas e interrupções ao fornecimento de energia elétrica (ELETROBRÁS; 1882, p. 74).

A função do inspetor de rede é detectar e avaliar o estado dos equipamentos, priorizando a troca dos que achar necessário, tendo assim um papel imprescindível do processo de manutenção.

Devido à necessidade de melhoria na qualidade do processo de inspeção de redes, tornou-se urgente e necessário o desenvolvimento do projeto de inspeção filmada, principalmente em virtude de algumas anomalias ocorridas envolvendo substituição indevida e prematura de componentes e estruturas, pela impossibilidade de visualização de cima e detalhada em inspeções terrestres sem subida. Nas inspeções detalhadas com subida nas estruturas, torna-se necessário a desenergização do circuito, impactando em índices de qualidade e continuidade de fornecimento de energia a clientes. A inspeção aérea, neste caso,

torna-se uma solução viável para as redes de distribuição rurais, devido às diversas facilidades de verificação e qualidade da inspeção.

2.5.1 Tipos de inspeção

a) Inspeção básica: consiste em uma inspeção visual em todos os equipamentos, condutores, estruturas, conexões e acessórios das linhas de distribuição na média tensão com o objetivo de identificar defeitos que possam comprometer o desempenho do sistema, a segurança de eletricitistas e terceiros(CEMIG,2011);

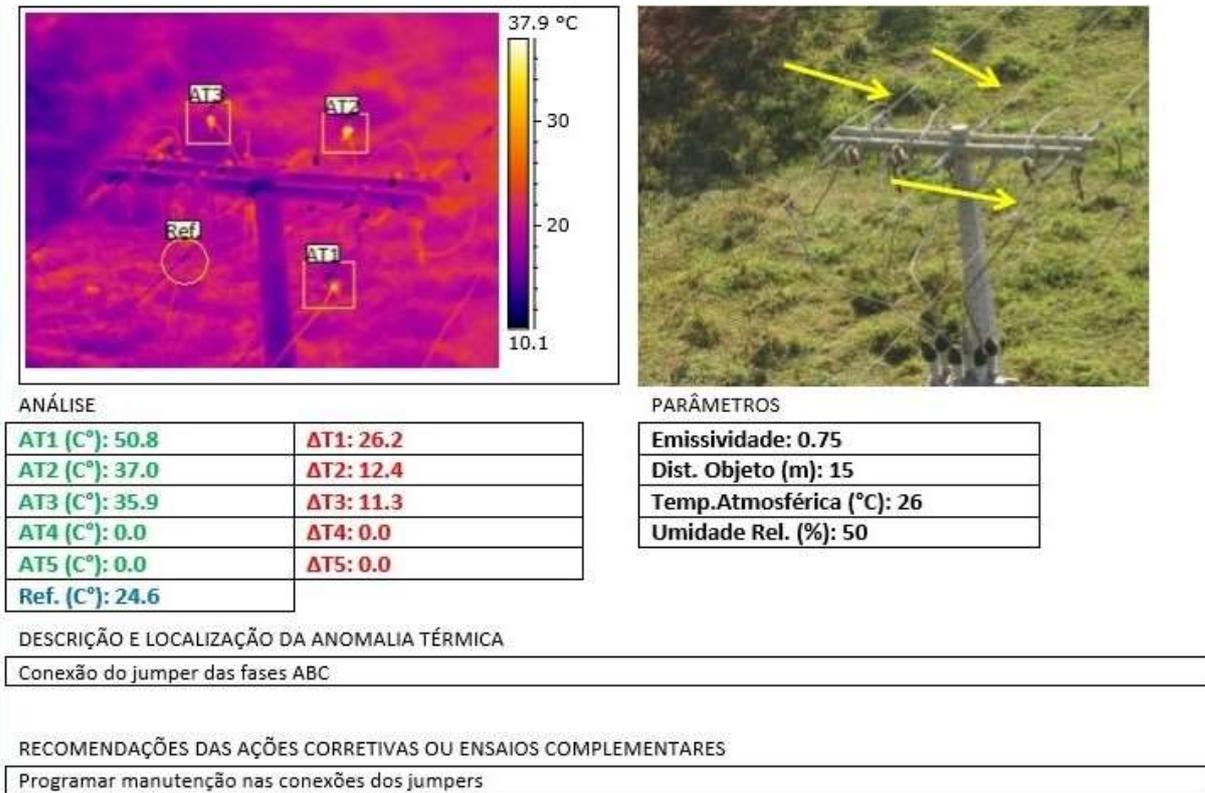
b) Inspeção por reincidências: consiste em uma inspeção visual, em todos os equipamentos, condutores, estruturas, conexões e acessórios das redes de distribuição média tensão e ou baixa tensão com o objetivo de identificar as causas de falhas transitórias e/ou permanente que estão comprometendo o desempenho do sistema(CEMIG,2011);

c) Inspeção especial: Consiste em uma inspeção visual e/ou instrumental, específica em determinados equipamentos, condutores, estruturas, conexões e acessórios das redes de distribuição (MT e/ou BT) e eventuais interferências externas ao sistema com o objetivo de atender necessidades especiais; (Exemplos: exposições, shows, eleições, vestibulares, retirada de taquara, pipas, liberação para instalação de placas, inspeções exclusivas para postes de madeira e concreto, inspeções exclusivas para BT; inspeção termográfica, levantamento de árvores para poda, etc.) (CEMIG,2011);

d) Inspeção termográfica: técnica de inspeção não destrutiva realizada com a utilização de sistemas infravermelhos, para a medição de temperaturas ou observação de padrões diferenciais de distribuição de calor, com o objetivo de propiciar informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo(FIGURA17). Segue abaixo alguns benefícios da inspeção termográfica:

- I) Detecção em fase inicial de falhas devido a anormalidades térmicas;
- II) Inspeção sem interrupção do processo produtivo;
- III) Verificações periódicas evitam paradas não programadas;
- IV) Processo rápido e de alto rendimento;
- V) Maximização da confiabilidade de equipamentos.

Figura 17: Termografia de um alimentador



Fonte: CEMIG

e) Inspeção corona: O efeito corona é um fenômeno relativamente comum em linhas de transmissão com sobrecarga. Devido ao campo elétrico muito intenso nas vizinhanças dos condutores, as partículas de ar que os envolvem tornam-se ionizadas e, como consequência, emitem luz quando da recombinação dos íons e dos elétrons. A detecção de corona por ultravioleta, é uma tecnologia de geração de imagem, não invasiva e não destrutiva que tem sido aplicada no setor elétrico como uma ferramenta de manutenção preditiva, com a grande vantagem de inspecionar os equipamentos em plena operação e a distâncias seguras. Embora seu nome dê a entender a possibilidade de apenas detectar o efeito corona, é possível detectar e visualizar outros fenômenos físicos que liberam radiação ultravioleta (FIGURA 18). A detecção do efeito corona, de descargas parciais e de arcos elétricos são particularmente importantes ao setor elétrico porque podem representar perdas de energia e/ou indicação de falha ao sistema. Em alguns casos, são motivo de ações judiciais contra a empresa responsável, por gerar alto ruído e interferências de rádio e televisão nas imediações da instalação elétrica.

Figura 18: Efeito corona



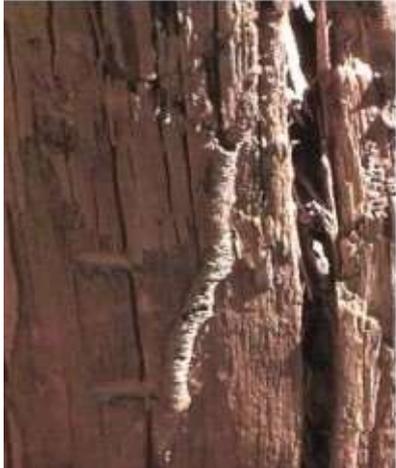
Fonte: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica

Basicamente estes tipos de inspeções definem, no conjunto, como e quando devem ser as intervenções da manutenção preventiva visando a continuidade efetiva do fornecimento de energia elétrica aos clientes. No caso da inspeção filmada, é um tipo de inspeção especial, pois propõe a utilização de instrumentos de vídeo e comunicação via wireless, para visualização imediata de possíveis anomalias em determinados equipamentos, condutores, estruturas, conexões e acessórios das redes de distribuição de média e baixa tensão e eventuais interferências externas ao sistema elétrico, com o objetivo de intervenção da manutenção preventiva antes da ocorrência de falhas e desligamentos. Devido à necessidade de padronização desta atividade, seguindo normas de segurança e eficiência operacional da empresa, torna-se imperativo o desenvolvimento da ferramenta de maneira profissional e padronizada para utilização corporativa.

2.5.2 Inspeção dos componentes de rede de distribuição

a) Poste: De acordo com a CEMIG (2011) a inspeção da sanidade dos postes de concreto e madeira tem por finalidade verificar o grau de deterioração do material e levantar a necessidade de manutenção de qualquer natureza (FIGURAS 19,20 e 21). A desagregação do concreto, o apodrecimento, ocos, rachaduras, fissuras e queimaduras em postes de madeira e os danos causados por descargas atmosféricas e abalroamentos podem levar a necessidade de intervenções ou substituições.

Figura 19: Poste de madeira rachado



Fonte: CEMIG

Figura 20: Poste de madeira com fungos



Fonte: CEMIG

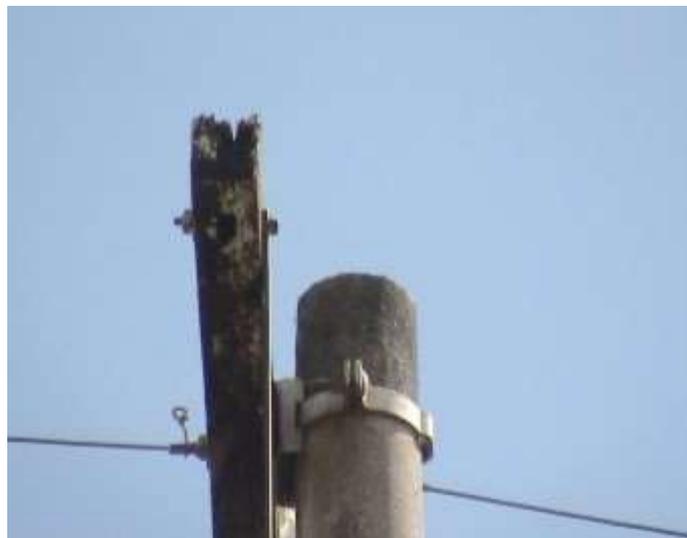
Figura 21: Poste de concreto trincado



Fonte: CEMIG

b) Cruzeta: Na inspeção da cruzeta deve-se observar toda sua extensão, nas suas extremidades, faces laterais e superior (FIGURAS 22 e 23). Avaliar a linearidade da cruzeta e dos acessórios nela instalados. Procurar por falhas como fendas, rachaduras, apodrecimentos e alterações significativas da superfície, como a coloração da madeira (CEMIG,2011).

Figura 22: Deterioração da ponta da cruzeta



Fonte: CEMIG

Figura 23: Perda de madeira na face superior da cruzeta



Fonte: CEMIG

3 OBJETO DO ESTUDO

Para a realização deste trabalho, será feito um estudo de caso, utilizando inspeção aérea em redes de distribuição aplicada pela CEMIG na região sul de Minas.

O Grupo Cemig é reconhecido pela sua dimensão e competência técnica, sendo a maior empresa integrada do setor de energia elétrica do Brasil. Em Minas Gerais, responde por 96% da área de concessão, com cerca de 8 milhões de consumidores em 774 municípios.

É também o maior fornecedor de energia para clientes livres do País, com 25% do mercado, o terceiro maior grupo gerador, o segundo maior transmissor e o maior grupo distribuidor do Brasil.

A Cemig é o maior grupo de distribuição de energia da América do Sul. Tem papel de destaque em Minas Gerais e Rio de Janeiro, por meio da Cemig Distribuição e Light, com atendimento a mais de 11 milhões de consumidores.

A área de concessão da Cemig Distribuição S/A (Cemig D) abrange 567,4 mil quilômetros quadrados (km²), aproximadamente 96% do Estado de Minas Gerais. São 774 municípios e 5.415 localidades - um atendimento de aproximadamente 20 milhões de habitantes.

Em extensão de rede, conta com 525.224 km de redes de distribuição (97,9 mil km de rede urbana e 359,6 km de rede rural).

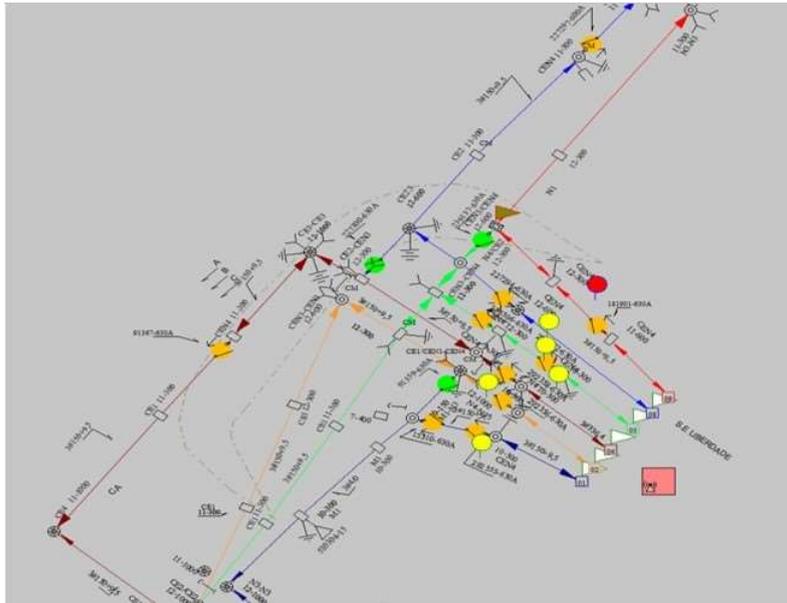
A CEMIG iniciou o projeto piloto de aplicação de inspeção aérea em redes de distribuição em 2007 na região de Itajubá.

Como citado anteriormente, a rede de distribuição que será analisada, pertence a S/E Liberdade (FIGURAS 24 e 25), a qual possui 06 alimentadores, alimentados por 01 transformador com a potência admissível de 17,3 Mega volt ampère(MVA), cuja a demanda total atual é de 10,142 MVA, e que atende 24.561 consumidores em 12 municípios com sede em:

- a) Liberdade;
- b) Andrelândia;
- c) Arantina;
- d) Santa Rita do Jacutinga;
- e) Bom Jardim de Minas;
- f) Passa Vinte;
- g) Bocaina de Minas
- h) Serranos;

- i) Seritinga;
- j) Carvalhos;
- k) Aiuruoca;
- l) Alagoa.

Figura 24: Subestação S/E Liberdade



Fonte: CEMIG

Figura 25: Interface de dados S/E Liberdade

Potência Admissível em kVA	17300
Estado de Operação	Em serviço
Fabricante	ASEA BROWN BOVERY
Tipo	Regulado
Tolerância (kV)	0
Resistência (P.U.)	0
Resistência (P.U.)	0

Fonte: CEMIG

3.1 Linha específica

A rede específica escolhida para o estudo de caso foi o alimentador 01F4 da Subestação Liberdade pertencente a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), localizada no município de Liberdade (FIGURA 26). Este alimentador (rede de distribuição) é responsável pelo atendimento a 3 sedes municipais (Santa Rita do Jacutinga, Bom Jardim de Minas, Passa Vinte), 6694 consumidores, o que representa 25% dos consumidores e 14% da carga desta subestação.

Figura 26: Vista panorâmica do município Liberdade



Fonte: Escritor Leandro Campos Alves

3.2 Características da linha

O alimentador 01F4 (rede aérea de distribuição) conforme (FIGURAS 27 e 28), tem uma extensão de 190 km composta por 80% de estruturas em poste de madeira (HT, HTE, HTT) com NBI (nível básico de isolamento) de 170KV conforme (FIGURAS 29 e 30), com condutores em alumínio CAA2/0 e cruzetas de madeira.

O referido alimentador em todo o seu trajeto passa por regiões montanhosas, com vegetação densa o que torna extremamente difícil sua inspeção terrestre.

Devido a sua importância para o sistema de distribuição, uma vez que ele é responsável pelo atendimento de sedes municipais bem como a interligação em regime/manobra, este

alimentador é classificado como prioridade A (inspecionado e mantido anualmente) em inspeção e manutenção.

Figura 27: Rede de distribuição Alimentador 01F4



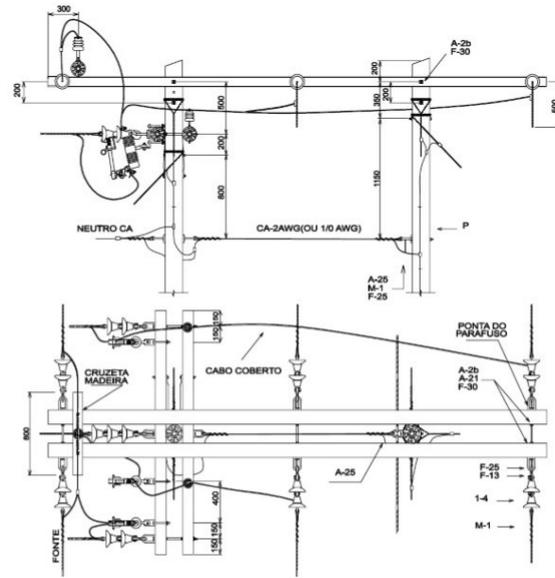
Fonte: CEMIG

Figura 28: Rede de distribuição Alimentador 01F4



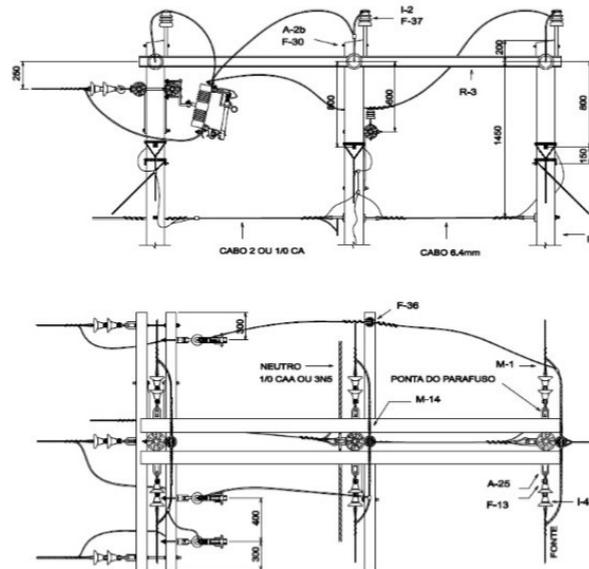
Fonte: CEMIG

Figura 29: Estrutura HT-N3 – NBI 300 kV com Chave Fusível



Fonte: CEMIG

Figura 30: Estrutura HTE-N-N3 – NBI 300 kV com Chave Fusível



Fonte: CEMIG

4 METODOLOGIA

Após um árduo levantamento do referencial teórico e de dados técnicos junto a CEMIG, foram feitas várias reuniões com o corpo técnico da referida empresa, para um melhor entendimento do planejamento e execução da inspeção aérea em rede de distribuição.

Nessas reuniões ficou claro a importância das várias etapas as quais estão inclusas no processo de inspeção área em redes de distribuição. A seguir veremos algumas delas:

4.1 Planejamento da inspeção

Nesta etapa fica claro a importância da sinergia entre as áreas de operação e manutenção sinergia essa que é aplicada de modo a priorizar as redes a serem inspecionadas. Nesta priorização é levado em consideração os seguintes itens:

- a) Performance (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora -DEC e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora -FEC) no período analisado;
- b) Importância para o SEP (número de consumidores e sedes municipais);
- c) Trajeto (topografia, vegetação, incidência de queimadas);
- d) Características técnicas (tipos de estruturas, número de equipamentos e nível de isolamento).

Após o ranqueamento, é definido o tipo de inspeção a ser aplicada.

O alimentador 01F4, recebeu classificação A em sua classificação conforme já visto em itens anteriores. E em função do seu trajeto foi definido que a inspeção aplicada será a inspeção aérea.

4.1.1 Planejamento de inspeção aérea do alimentador 01F4

Uma vez definida que a metodologia de inspeção aplicada no alimentador 01F4 seria a modalidade de inspeção aérea, entrou em discussão os seguintes pontos:

- a) Trajeto do voo- Neste momento é planejado o voo, onde são definidos rota, área de pouso e abastecimento e tripulantes;
- b) Característica da linha a ser inspecionada (quilometragem, detalhamento) conforme TABELA 1;
- c) Confirmação das placas de sinalização (FIGURAS 31 e 32);

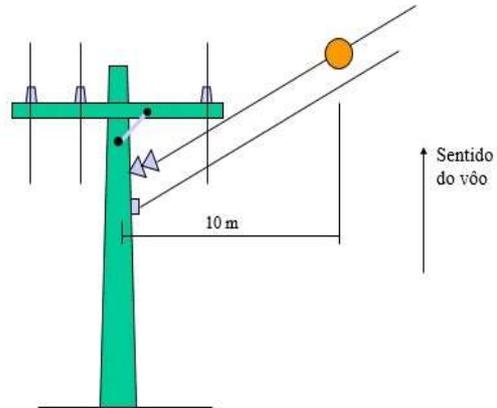
Tabela 1: Planilha de inspeção de quilometragem e detalhamento

INSPEÇÃO AÉREA EM RDR						
REGIÃO: Liberdade e Santa Rita da Jacutinga						
ALIM.	KM	TRECHO	CRUZAMENTO			Detalhes
			REDE	LINHA	RODOVIA/FERROVIA	
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Atenção relevo acidentado em todo o trajeto
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Iniciar a inspeção na S/E de Liberdade
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 15° com derivação monofásica em arrancamento na torre
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 45° à direita prox. A chave 74412
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 45° à esquerda prox. A chave 104043
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Atenção relevo acidentado em todo o trajeto
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 90°, ramal monofásico, pinheiros e casa proxima a rede
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 90° prox. A chave 15313, árvores, casa proxima a rede e relevo
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 90°
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 90° prox. A fazenda onde Sr didi e atenção com a casa
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 90° antes da extinta ch. 15315
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Atenção longo trecho de terreno aclone e declive e árvores
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 90° prox. A ponte onde houve desmatamento
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulo de 90° a esquerda prox. A entrada da Itaboca
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Ângulos ao longo do trecho
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Parar no banco de RT casa próxima a rede
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Iniciar no alto do morro após a casa
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Atenção morro, estrutura em arrancamento e casa proxima a rede
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	passar alto
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Parar antes do galpão da fabrica do homem bravo
01 f4	10,00	Liberdade/Santa Rita da Jacutinga	NT	NT	NT	Parar antes dos religador na entrada de Santa Rita

Fonte: CEMIG

Figura 31: Sinalização da rede de distribuição em derivação

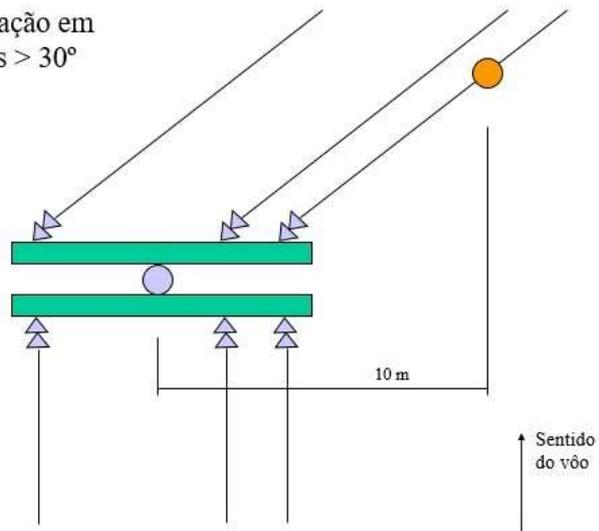
Sinalização em
derivações com
arrancamento



Fonte: CEMIG

Figura 32: Sinalização da rede de distribuição em ângulo

Sinalização em
ângulos $> 30^\circ$



Fonte: CEMIG

d) Definição do uso ou não de instrumentos conforme (FIGURA 33)

Figura 33: Guimbal fixado na fuselagem do helicóptero



Fonte: CEMIG

4.2 Execução da inspeção

Para a execução da inspeção aérea, é utilizado uma aeronave (helicóptero) tipo esquilo tripulado por um piloto e três eletricitas inspetores. Um dos eletricitas tem a função exclusiva de apoio ao piloto, orientando e informando sobre os obstáculos oferecidos pela rede inspecionada (cruzamento, elevação da linha, viradas da linha).

Os demais têm como atividade exclusiva, o apontamento de anomalias que por ventura fora apresentada pela linha inspecionada conforme (FIGURAS 34, 35 e 36). É importante ressaltar que a velocidade de voo aplicada durante a inspeção é de aproximadamente 45 km/h.

Figura 34: Poste com anomalia no topo



Fonte: CEMIG

Figura 35: Cruzeta com apodrecimento na parte superior



Fonte: CEMIG

Figura 36: Cruzeta quebrada



Fonte: CEMIG

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De posse do relatório emitido pelos agentes de inspeção, fica claro que com a aplicação da inspeção aérea, as anomalias apontadas, seria dificilmente observada em inspeção terrestre.

Outro ponto não menos importante, é a velocidade(tempo) em que as referidas anomalias são identificadas, registradas e despachadas para manutenção

O tempo de voo aplicado nesta inspeção foi de: 3:30 h

Custo do voo por hora: R\$ 5.400,00(aeronave+piloto)

Custos dos inspetores: R\$ 600,00 por hora.

Observação: Esta mesma inspeção realizada na modalidade terrestre não seria realizada em menos de 45 dias e agregado ainda o custo de hospedagem e alimentação.

5.1 Comparativo entre a inspeção terrestre versus inspeção aérea

Abaixo é apresentado duas planilhas comparativas entre os custos da inspeção terrestre e aérea aplicada em uma determinada concessionária de distribuição (FIGURAS 37 e 38).

Figura 37: Planilha de duração de inspeção

<u>DURAÇÃO DA INSPEÇÃO - TERRESTRE X AÉREA – ANO DE 2008</u>			
<u>Regional</u>	<u>Km Inspeccionados</u>	<u>Tempo Total (Terrestre)</u> (visual + termográfica)	<u>Tempo Total (Aérea)</u> (visual + termográfica)
DL/MS	600	96 dias	3,4 dias
DL/MM	560	89 dias	3,1 dias
DL/ML	1057	168 dias	5,5 dias
DO/MT	829	131 dias	3,2 dias
DO/MN	1400	223 dias	6,5 dias
DO/MO	229	36 dias	1,5 dias
DC/MC	270	43 dias	1,5 dias
Total	5082	786 dias	25 dias

Fonte: CEMIG

Figura 38: Planilha de custo

CUSTO DA INSPEÇÃO - TERRESTRE X AÉREA

<u>Regional</u>	<u>Km Inspeccionado</u>	<u>Custo Total (Terrestre)</u> (visual + termográfica)	<u>Custo Total (Aérea)</u> (visual + termográfica)
DL/MS	600	R\$ 246.275,83	R\$ 219.556,39
DL/MM	560	R\$ 225.007,09	R\$ 201.863,20
DL/ML	1197,6	R\$ 513.860,28	R\$ 340.996,51
DO/MT	829	R\$ 321.695,86	R\$ 234.032,98
DO/MN	1400	R\$ 621.709,74	R\$ 420.615,96
DO/MO	229	R\$ 88.944,83	R\$ 95.704,08
DC/MC	267	R\$ 91.445,40	R\$ 102.304,02
TOTAL	5082	R\$ 2.108.939,03	R\$ 1.615.073,14

Fonte: CEMIG

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou avaliar a viabilidade técnica e econômica na modalidade de inspeção aérea em rede de distribuição. Além disso nos permitiu entender o processo de planejamento da inspeção aérea e a importância da inspeção para obtenção do sucesso da manutenção. A relevância deste trabalho é despertar ao aluno recém formado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistema Elétrico de Potência, a possibilidade de atuação no mercado de trabalho como Engenheiro de Manutenção dentro as concessionárias.

Podemos verificar também em duas planilhas fornecidas pelo corpo técnico da concessionária local, cujos certos valores apontam maior tempo de inspeção. Isso se deve a situações adversas durante a inspeção como ponto de reabastecimento da aeronave, onde a aeronave deve se deslocar ao ponto inicial e outro fator muito importante seria a mudança de clima durante a inspeção, no caso de chuva, fazendo com que a inspeção em alguns pontos se torne maior em relação a pontos de menor quilometragem conforme apontado nas planilhas de custo. Sendo assim o objetivo geral do trabalho foi alcançado mediante ao estudo minucioso da inspeção aérea em rede de distribuição aplicada no alimentador 01F4 e também a análise de dados comparativos dos custos da inspeção aérea e terrestre. Através do levantamento de dados pode –se concluir que a inspeção aérea aplicada em redes de distribuição é técnica e economicamente viável, pois se torna uma inspeção assertiva. Podemos destacar algumas vantagens desta modalidade de inspeção como:

- a) Maior agilidade e rapidez no diagnóstico dos problemas, facilitando a priorização e o direcionamento dos recursos a serem aplicados;
- b) Possibilita a visualização das cruzetas e postes por cima, locais onde se inicia o apodrecimento;
- c) A inspeção aérea vai ao local de difícil acesso, meio de vãos, vales e outros, o que é impossível por terra na maioria das condições;
- d) Permite a realização simultânea da inspeção visual instrumentalizada;
- e) Permite o aumento da periodicidade da inspeção terrestre.

REFERÊNCIAS

ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. **Redes de energia elétrica.2016**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 29 jul. 2016.

ASW BRASIL. **Tecnologia em plásticos**. Disponível em: <<http://www.aswbrasil.com.br/cruzeta.php>>. Acesso em: 23 jan.2017.

ATS ELÉTRICA. **Soluções em fusíveis e energia**. Disponível em: <<http://www.atseletrica.com.br/media-tensao.php>>. Acesso em: 02 jan.2017.

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: confiabilidade e qualidade**. 2000. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: < www.aneel.gov.br >. Acessado em: 02 jan.2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro - RJ, 1994.

CELESP. **Materiais elétricos e iluminação**. Disponível em: <<http://www.celesp.com.br>>. Acesso em: 02 jan.2017.

CEMIG. Inspeção de cruzetas de madeira em redes urbanas e rurais. CEMIG, 2011.

CEMIG. Inspeção de postes em redes e linhas. CEMIG, 2011.

COGE, Fundação. 2005. **Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Manual de Treinamento – CNSP. Disponível em: <http://www.drsergio.com.br/nr10/ARQV/manuais/Manual%20NR-10.pdf>. Acesso em: 05/01/2017.

CONCREFER. **Poste padrão**. Disponível em: <<http://www.concrefer.com.br>>. Acesso em: 02 jan.2017.

CORDEIRO, J. H. **Linhas de transmissão de energia**. Terrenos, torres, isoladores e canos são os principais elementos da vistoria técnica desses equipamentos. Saiba quais procedimentos podem garantir uma adequada manutenção. 24 março 2013. Disponível em: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/24/artigo_2_77862-1.aspx>. Acesso em: 8 set. 2016.

ELETROBRÁS. **Energia para novos tempos**. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS293E16C4PTBRIE.htm>>. Acesso em: 02 jan.2017.

ELETROBRÁS. **Desempenho do Sistema de Distribuição**. Rio de Janeiro. Editora Campos. Volume 3. 74p. 1882.

ELETROCAMP. **Construções elétricas**. Disponível em: <<http://www.eletrocamp.com.br>>. Acesso em: 02 jan.2017.

ELO ELÉTRICO. **Produtos elétricos**. Disponível em: <<http://www.eloeletrico.com.br/portal/modules/rmms/>>. Acesso em: 02 jan.2017.

ENCEL. **Eletricidade hidráulica**. Disponível em: <<http://www.encel.com.br>>. Acesso em: 02 jan.2017.

ENSA TRANSFORMADORES. **Transformadores**. Disponível em: <<http://www.ensatransformadores.com.br/>>. Acesso em: 02 jan.2017.

ESCRITOR LEANDRO CAMPOS. **Vista panorâmica do município de Liberdade**. Disponível em: <<http://www.escriptor-leandro-campos-alves.com/products/municipio-de-liberdade-mg>>. Acesso em: 17 jan.2017.

FITCH, J. C. **Manutenção proativa pode economizar 10 vezes mais do que práticas de manutenção preditiva/preventiva convencionais**, 2013. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/seguranca/files/2013/12/Manuten%C3%A7%C3%A3o-proativa.pdf>>. Acesso em: 1 set. 2016.

GERMER. **Isoladores e Chave Religadora**. Disponível em: <<http://www.germerisoladores.com.br/Produtos.asp>>. Acesso em: 02 jan.2017.

GLOBO G1. **Linhas de transmissão**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2016/08/ons-diz-que-problema-no-tocantins-afetou-energia-eletrica-em-12-estados.html>>. Acesso em: 04 jan.2017.

JEREMIAS, Gladimir. **Proteção do Sistema Elétrico**. Curso de Eng. Elétrica. 8ª fase. 2014

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark - Petrobrás, 2009.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2001.

LIMA, F. A.; CASTILHO, J. C. N. **Aspectos da manutenção centrada na confiabilidade**. Dissertação (Graduação). Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação (FACE). Brasília – DF, 2006.

LOPES E SILVA. **Construções e infraestrutura**. Disponível em: <<http://www.lopesesilva.net.br/projetos-e-construcoes-de-rede-de-energia-subterranea/>>. Acesso em: 02 jan.2017.

MÉDIA TENSÃO. **Produtos e peças**. Disponível em: <<http://www.mediatensao.com.br>>. Acesso em: 02 jan.2017.

MENEZES, V. P. **Linhas de transmissão de energia elétrica: aspectos técnicos, orçamentários e construtivos**. 2015, 77p. Projeto (Graduação). Curso de Engenharia Elétrica - UFRJ - Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2015.

MOUBRAY, J. M. **Manutenção centrada na confiabilidade**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.

NUNES, E. L.; **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): Análise da Implantação em uma Sistemática de Manutenção Preventiva Consolidada**”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2008. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/4794064-A-proposta-de-desenvolvimento-de-gestao-da-manutencao-industrial-na-busca-da-excelencia-ou-classe-mundial.html>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

PETRILLO, F. S. **Manutenção em sistemas de transmissão: conceitos às estratégias adotadas no Brasil**. 2007, Monografia (Especialização). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PINTO, A. K. **Manutenção: Função Estratégia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

POSSAMAI, O.; NUNES, E. L. **Falhas ocultas e a manutenção centrada em confiabilidade**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis – SC, 2001. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2001_tr25_0390.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

PRAZERES, Romildo Alves dos. **Curso Técnico em Eletrotécnica**. Módulo 2. Livro 13: Redes de distribuição de energia elétrica e subestação. Curitiba. Base Didáticos. 2008.

RANGEL, R. K.; KIENITZ, K. H.; BRANDÃO, M. P. Sistema de inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica utilizando veículos aéreos não-tripulados. In: Workshop on Data Analysis & Flight Control, Setembro, 2009. S. J. Campos. **Anais...**São José dos Campos, 2009.

SANTOS, Laerte dos; FILHO, Marcelo de Oliveira M; SILVA, Rodolfo Vieira da. Tecnologia de detecção de corona por ultravioleta. In: XX SNPTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009, Recife. **Anais eletrônicos...** Recife: UFPE, 2009. Disponível em: <<http://www.cgti.org.br/publicacoes/wpcontent/uploads/2016/03/TECNOLOGIA-DE-%E2%80%9CDETECCO%3%87%3%83O-DE-CORONA-POR-ULTRAVIOLETA%E2%80%9D-%E2%80%93-MAIOR-CONFIABILIDADE-PARA-O-SETOR-EL%3%89TRICO-A-EXPERI%3%8ANCIA-DE-FURNAS.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2017

SILVA, R. L. **Introdução à manutenção de linhas de transmissão e subestações**. Material de treinamento – MT 001.012.006. Revisão 1. 10 março 2013. Disponível em: <<http://www.colunaengenharia.com.br/resources/MT%20-%20001.012.006%20-%20INTRODU%3%87%3%83O%20A%20MANUTEN%3%87%3%83O%20DE%20LINHAS%20DE%20TRANSMISS%3%83O%20E%20SUBESTA%3%87%3%95ES.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2016.

SILVA, A. V.; RIBEIRO, J. L. D. Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade para o desenvolvimento de um plano de manutenção em uma distribuidora de combustíveis. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão, 2009, Salvador. **Anais...** Salvador, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

XAVIER, J. N. **Manutenção:** tipos e tendências. Disponível em: <<http://tecem.com.br/site/downloads/artigos/tendencia.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.