



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GLT 26  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

### **GRUPO III**

#### **GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO – GLT**

##### **SISTEMA ROBOTIZADO PARA DETECÇÃO DE FALHAS EM CABOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO ATRAVÉS DE RADIOGRAFIA DIGITAL COM INSTALAÇÃO ENERGIZADA**

**Mário José Costa Pinheiro**

**Edmundo Acioli Lins**

**COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA**

**BB&E CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA**

### **RESUMO**

Uma manutenção e monitoramento, que seja economicamente efetiva de sistemas de transmissão de energia elétrica, e que garanta alta qualidade e confiabilidade para os consumidores, está se tornando hoje em dia, uma das mais significantes tarefas das concessionárias das redes de energia elétrica no país. É bem reconhecido que o conhecimento da estimativa de tempo de vida de milhares de quilômetros de cabos instalados pode prevenir a perda de receita das concessionárias da ordem de milhões de reais. Os esforços gastos no monitoramento do status do sistema, são justificados pela redução da ocorrência de falhas devido à interrupção do fornecimento de energia elétrica, danos a equipamentos e custos de reparação de emergência.

O presente artigo descreve a implementação de um sistema, que permita o monitoramento, em campo do estado dos cabos energizados nas linhas de transmissão de energia elétrica, de forma que periodicamente, seja possível uma monitoração a um custo reduzido, e com isso se realizar uma análise e detecção de possíveis falhas nos mesmos.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Radiografia Digital, Emenda, Cabo Condutor, Robô, Linha Viva

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

O monitoramento dos sistemas de transmissão de energia elétrica é uma das tarefas significativas das concessionárias das redes de energia elétrica do país, por permitir o diagnóstico do status do sistema, direcionando as ações de manutenção.

A técnica de radiografia digital é uma ferramenta que poderá ser adotada para monitorar linhas de transmissão energizada.

A radiografia é realizada utilizando um sistema de raios-X com intensificador de imagem que permite capturar a imagem radiográfica digital transferindo-a para um notebook via wireless onde a imagem é armazenada e tratada em software residente.

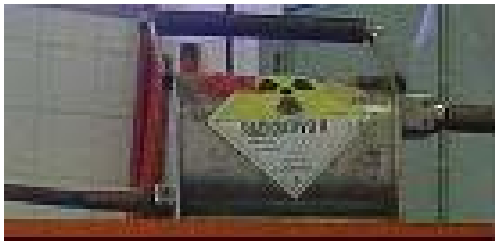
Para a implementação deste processo é utilizada Técnica de linha viva para colocar os equipamentos de raios-X e intensificador de imagem na instalação a ser monitorada.

## 2.0 - PROCESSO DE RADIOGRAFIA

A emenda em condutor no vão de linha é notadamente um ponto frágil na condução da corrente elétrica que é normalmente monitorada com o uso de termovisores pelas concessionárias de energia. Porém esta ferramenta não detecta os processos de deterioração da emenda ou condutor no seu estágio inicial e, em particular, não percebe falhas de origem mecânica causadas por fadiga do material. A radiografia digital, no entanto, pode detectar estas falhas, complementando as informações sobre o status das emendas.

### 2.1 Radiografia Digital

As primeiras imagens de emendas foram obtidas utilizando dispositivo mecânico que expõe uma fonte radioativa, através do acionamento manual de uma manivela, e imprime imagem radiográfica em uma placa de captura de fósforo, sensível a radiação, a qual é colocada num scanner de alta precisão resultando em uma imagem digital “estática” que pode ser tratada em software específico.



(a) – Cofre metálico da fonte radioativa



(b) – Película de captação



(c) – Caixas para colocação da película de captação



(d) – Leitora das películas de captação e, a direita, o contador Geiger (medidor de radiação)

FIGURA 1 – Imagens dos equipamentos utilizados no sistema de Raios-X Digital

### 2.2 Radiografias obtidas com Equipamentos Energizados

A vantagem do uso da tecnologia de raios-x digital torna-se maior se for possível empregá-la em equipamentos energizados. Com este objetivo, foram realizados estudos iniciais realizados com a BB&E e o CEPEL nos laboratórios da COELBA e, face aos resultados obtidos, foram realizados ensaios experimentais em instalações subterrâneas e aéreas energizadas da CEMIG, em uma linha de distribuição de 69kV da COELBA e em uma linha de transmissão de 230kV energizada da ELETRONORTE.

#### 2.2.1 Radiografias em laboratório

O objetivo dos ensaios realizados nos laboratórios da COELBA foi verificar se o campo elétrico proveniente de uma instalação energizada influenciaria na nitidez da imagem radiográfica. O primeiro passo foi desenvolver um meio de fixar a caixa da película de captação próximo ao equipamento que se deseja radiografar. Para tal, placa de material isolante foi fixada a um módulo de vara de manobra, utilizada para trabalho em linha viva, com duas presilhas que permitiam a fixação ao condutor energizado do barramento do laboratório alimentado por um Transformador de potencial (TP) de 115kV.

Na outra extremidade da vara foi instalado uma braçadeira para fixar o bico emissor para onde é deslocada a fonte radioativa saindo do cofre metálico através do acionamento por manivela localizada no final da mangueira de conexão ao cofre.

A Figura 2 mostra detalhes do arranjo de ensaio preparado, com a colocação do cofre metálico da partícula radioativa sobre uma estrutura isolante e, a manivela de acionamento para a abertura do cofre e exposição da partícula radioativa.



(a) – Detalhe das estruturas isolantes utilizadas e manivela de acionamento da abertura do cofre      b) – Detalhe do bico emissor de Raio-X

FIGURA 2 – Imagens do arranjo de ensaio no laboratório da COELBA



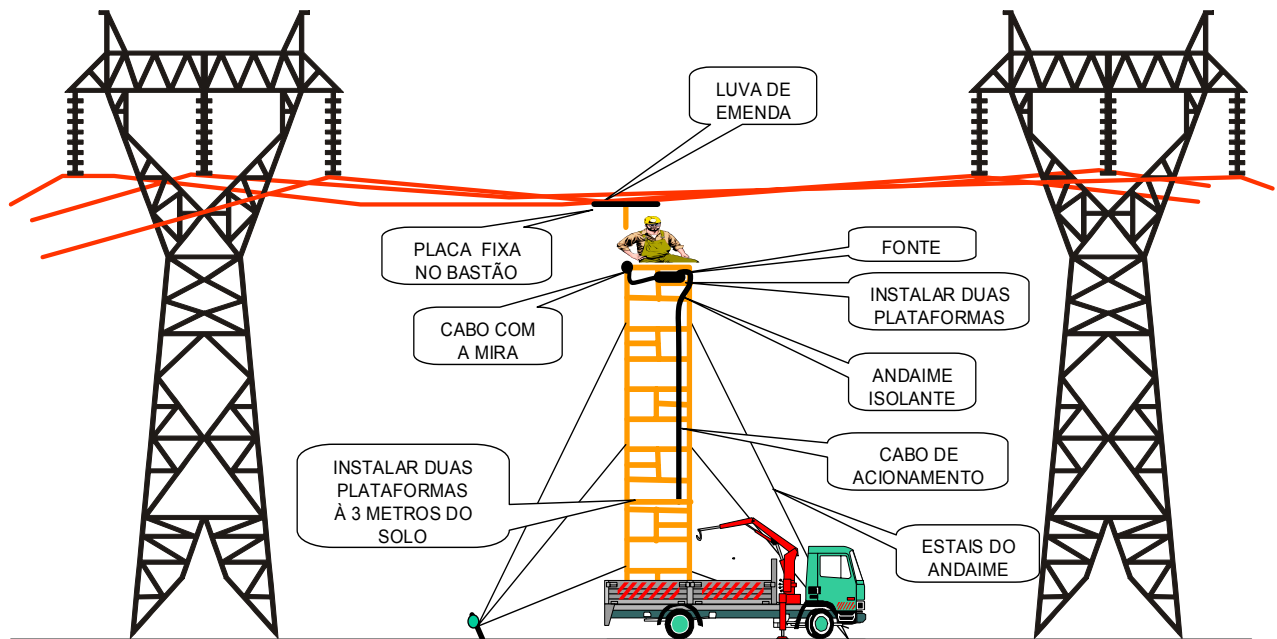


FIGURA 4 – Esquema do arranjo de ensaio com andaime isolante para radiografar emenda de um cabo energizado de uma linha de transmissão de 230 kV

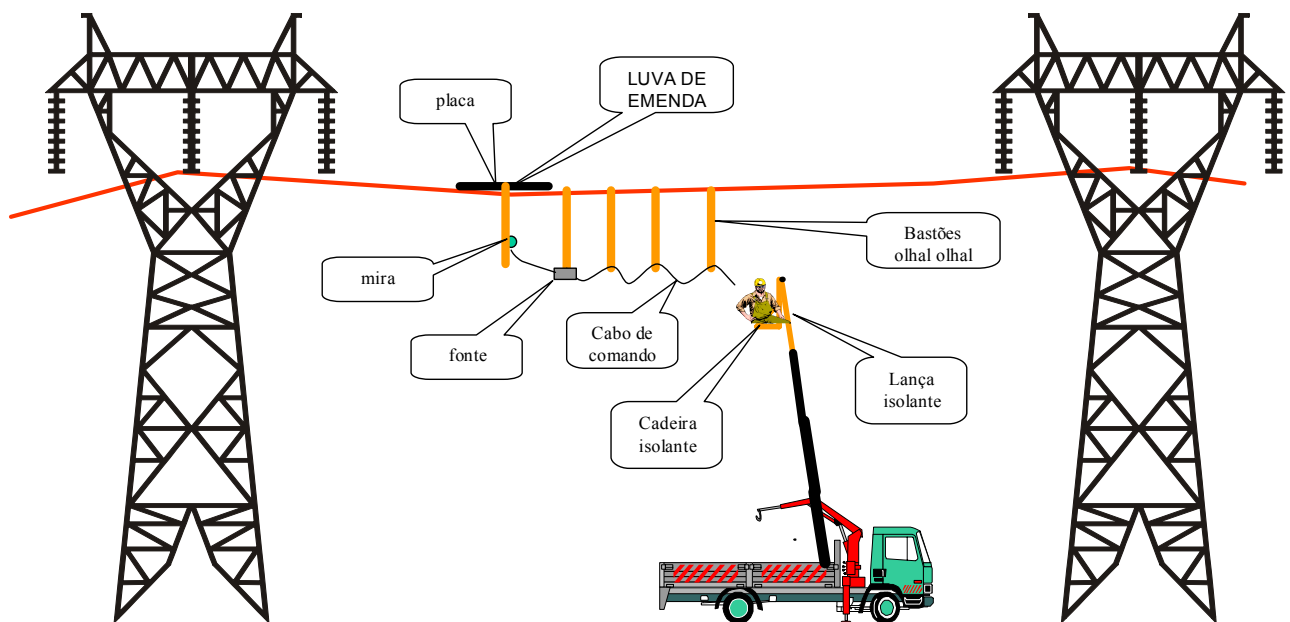


FIGURA 5 – Esquema do arranjo de ensaio com caminhão de linha viva para radiografar emenda de um cabo energizado de uma linha de transmissão de 230 kV

Notas:

- 1 Os eletricitistas operadores deverão utilizar vestimenta condutiva para trabalho em linha viva.
- 2 O cofre metálico deve ser içado com todos os cabos conectados.

### 3.0 - SISTEMA DE OBTENÇÃO DE IMAGENS RADIOGRÁFICAS DINÂMICAS

Na busca por um sistema que automatizasse o processo de obtenção de imagens, iniciou-se pesquisas para a utilização do equipamento Crawler, compartimento para acondicionamento de fonte radioativa com acionamento de abertura para exposição da fonte automático e temporizado, no qual poderia ser adaptado sistema de comunicação para este operar remotamente.

As imagens obtidas com o crawler ainda seriam estáticas e utilizariam as placas de fósforo.

Devido as dificuldades burocráticas que envolviam o deslocamento do equipamento, mesmo sem fonte radioativa, para fazer os ensaios sob o efeito dos CEM e os custos envolvidos de reposição dos dispositivos que poderiam se danificar, bem como as pesquisas para fazer com que os componentes eletro-eletrônico deste equipamento funcionasse no ambiente hostil do CEM das linhas, apontavam para a construção de um protótipo que já utilizasse o processo de obtenção de *imagens dinâmicas* ou seja: o equipamento de Raio X digital se movendo sobre os condutores.

Para atender o objetivo de fazer o equipamento de Raio X se deslocar ao longo da linha foi idealizado um novo protótipo com um conceito de um sistema modular, sem o emprego do crawler e de placas de fósforo, composto a princípio de 02 módulos:

Módulo 01 – Sistema gerador de imagens dinâmicas(Raio X e intensificador de imagem).

Módulo 02 – Sistema autônomo de deslocamento de todo o arranjo ao longo da linha(robotô).

O protótipo robô e sistema radiográfico gerador de imagens dinâmicas propõe afastar o operador dos condutores mantendo-o no solo operando o sistema via wireless de forma segura com relação à radiação do Raio X e o campo eletromagnético das linhas energizadas. Em solo as imagens geradas em tempo real serão tratadas em um software residente em um laptop utilizado pelo operador que monitora as imagens geradas e opera o robô.

A figura 6 mostra um esquemático do sistema de obtenção de imagens dinâmicas proposto.

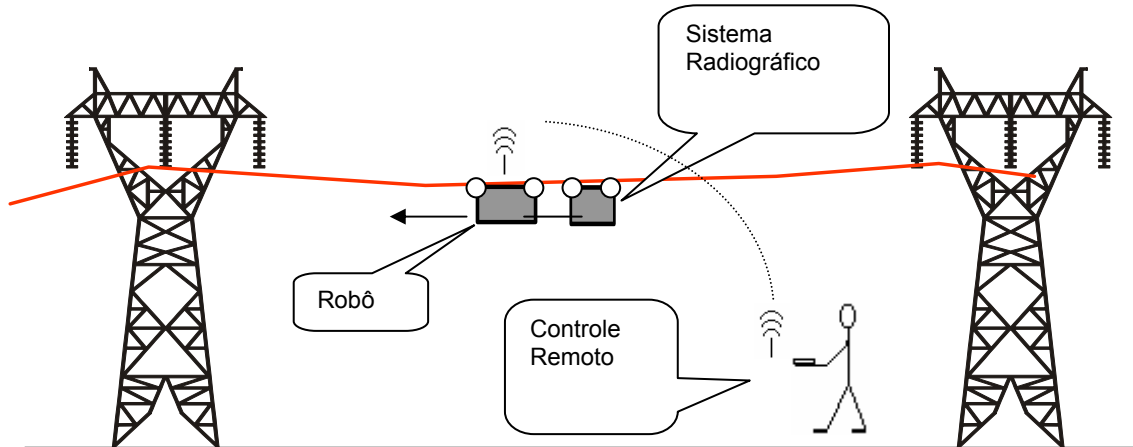


FIGURA 6 - Esquema do protótipo de obtenção de imagem dinâmica

#### 3.1 Teste do robô em laboratório

Contatamos com a empresa COFRE, proprietária de um robô que foi fabricado para participar do evento guerra dos robôs e, esta empresa concordou em disponibilizar o equipamento para ensaios de funcionamento dentro do CEM das linhas.

Os ensaios foram separados em dois tipos: submetendo o robô aos efeitos do campo magnético produzido por corrente alternada até 1200 A e ensaio sob o efeito do campo elétrico na tensão de 105kV.

O robô operou normalmente submetido ao campo magnético produzido por corrente elétrica de 1200A controlado remotamente até uma distância de 500m.

Submetido ao campo elétrico da tensão de 105 kV, o robô funcionou normalmente operado pelo controle remoto a uma distância de 500 m.

### 3.2 Teste do robô em subestação energizada

Diante do sucesso nos testes de laboratório o robô foi submetido a ensaios sob os efeitos do CEM nas tensões de 69 e 230kV na SE de Tomba da COELBA em Feira de Santana. Os resultados obtidos em 69kV são apresentados na figura 7 e em 230kV são apresentados na figura 8.



a) - Detalhe do robô sendo instalado no barramento de 69kV com técnica de Linha Viva pelo método ao potencial, onde mesmo submetido ao campo elétrico de 69kV e campo magnético produzido por corrente de 600A Funcionou normalmente operado pelo controle remoto a uma distância de 1500 m.

FIGURA 7 – Imagem do ensaio do robô sob o efeito do campo eletromagnético no barramento de SE na tensão de 69kV.



O robô submetido ao campo elétrico de 230kV e campo magnético produzido por corrente de 100A Funcionou normalmente operado pelo controle remoto a uma distância de 1500 m

FIGURA 8 – Imagem do ensaio do robô sob o efeito do campo eletromagnético no barramento de SE na tensão de 230kV.

Em análise concluímos que é possível fazer o controle remoto funcionar para maiores distâncias, pois estava sendo utilizado apenas 40% da capacidade de transmissão do sistema de rádio.

### 3.2.1 Aperfeiçoamento do robô

O sucesso operacional do robô em campo incentivou negociação com a empresa COFRE para participar de uma parceria ou a comercialização do robô e posterior execução de modificações no robô para atender a nova finalidade como:

- Adaptação no sistema motor e rodas para ele se movimentar sobre cabos condutores de linhas;
- Redução de peso com retirada de equipamentos só utilizados para a guerra de robôs a exemplo de motor acionador de disco de corte e a redução do número de baterias.

### 3.2.2 Aplicação do equipamento de Raio X portátil

A parceira BB&E efetuou pesquisa junto a fabricantes de equipamentos de Raio X portáteis e intensificadores de imagem na intenção de testa-los sob o efeito do CEM das linhas de transmissão e identificou um equipamento de raio X da ICM de aproximadamente 9,5 Kg. A utilização destes equipamentos junto ao robô completaria o protótipo para a obtenção de imagens dinâmicas das emendas nas linhas energizadas.

## 4.0 - CONCLUSÃO

Com o sucesso do robô ter funcionado em instalação energizada até 230kV e, apesar de não terem sido feitas as adaptações para ele se movimentar sobre os cabos condutores das linhas de transmissão, pode-se considerar como superada a etapa do veículo de transporte e ter perspectivas bastante otimistas quanto a possibilidade do módulo dos equipamentos do sistema radiográfico, Raio X e Intensificador de Imagem, também funcionarem no mesmo ambiente sem a necessidades de grandes sistemas de blindagem para protegê-los.

Os resultados demonstram que a radiografia digital dinâmica, suprimindo os aspectos não detectados pela termovisão, poderá ser uma importante ferramenta de monitoramento dos cabos e emendas e, auxiliar o setor de manutenção da COELBA, definindo e priorizando ações e intervenções em emendas e cabos de linhas de transmissão.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SWINKA, VITOLD; Review of Scientific Struments - "The use of X-Ray in polymeric avaliation", 3, 2002.
- [2] MELLO, DARCY RAMALHO; JÚNIOR, EDMUNDO ACIOLI LINS; GÓIS, NILTON CEZAR; ISH - "Location of Internal Faults in Polymeric Insulators", 2003.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Mário José Costa Pinheiro

Nascido em Salvador, BA em 16 de março de 1961.

Graduação (1993) Licenciatura em Administração: Universidade Estadual da Bahia

Empresa: COELBA Cia. De Eletricidade do Estado da Bahia, desde 1982

Analista de Manutenção do Departamento de Manutenção do Sistema Elétrico - Unidade de Planejamento e Controle da Manutenção de Linhas de Transmissão

Edmundo Acioli Lins Junior

Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 18 de dezembro de 1960.

Especialista em Radioproteção (1986 e 1987) : Universidade Federal de Pernambuco-PE e Graduação (1985) em

Engenharia Mecânica: Escola Politécnica da FESP-PE

Diretor da BB&E Engenheiros e Consultores Associados