



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT**

**TESTE DE CAMPO DE SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO COM  
SISTEMA DE CADASTRO GEOREFERENCIADO**

**João Batista Rosolem\*, Mirian Ellen de Freitas, Célio Fonseca Barbosa, Rivaél Strobel Penze, Claudio  
Florida, Fernando Augusto Teixeira, Valdir Cardinali, Edson Wilson Bezerra, Julio César Said  
Fundação CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações  
Dirceu de Almeida  
Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil**

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados dos testes de campo do sistema de sensoriamento integrado ao SIG realizados no CPqD em Campinas e na linha de transmissão da Eletronorte em Coxipó (MT) mostrando seu desempenho frente a condições climáticas adversas, utilizando sistema de transmissão wireless, bem como os benefícios do uso do SIG, que pode ter outros desdobramentos positivos para a Eletronorte.

**PALAVRAS-CHAVE**

Linhas de Transmissão, Faltas, Sensores, SIG, Cadastro Georreferenciado.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Eventos conhecidos como faltas são na maioria das vezes imprevisíveis e podem afetar um sistema de transmissão, causando a interrupção no fornecimento de energia elétrica. As faltas em linhas de transmissão podem ocorrer devido a fatores como: baixa isolamento causada por poluição ou pássaros, queimadas próximas à linha de transmissão, descargas atmosféricas, contatos entre os cabos da linha de transmissão, vandalismo, entre outros. O restabelecimento ou o reparo dos equipamentos depende de intervenção de equipes de manutenção e a rapidez da intervenção depende da localização precisa do ponto onde ocorreu a falta, da identificação do tipo de material necessário para o reparo e do acionamento da equipe mais próxima do local de ocorrência. Além disso, pode-se realizar ações preventivas que evitem uma maior incidência de faltas com base no mapeamento de locais mais afetados e causas relacionadas.

Para atingir estes objetivos foi desenvolvido para a Eletronorte um sistema de monitoração remoto das condições de operação de linhas de transmissão de energia elétrica. A implantação do projeto piloto desta solução foi feito em uma torre da linha de transmissão Coxipó-Rondonópolis da Eletronorte. As metas são avaliar a capacidade de transmissão do sistema desenvolvido para o transporte da informação de ocorrência de faltas, comprovar a viabilidade de uso de sensores comerciais para uso nas torres de transmissão, aprimorar a imunidade dos equipamentos instalados próximos à linha de transmissão devido à interferência eletromagnética e testar aplicações de imagem de forma a averiguar qual o nível de detalhamento é satisfatório na verificação remota das ocorrências.

Um sistema de informações geográficas (SIG) desenvolvido especificamente para este projeto integra o sistema de monitoração e contribui para reduzir custos operacionais que envolvem a manutenção, através de um melhor detalhamento dos equipamentos que compõem a linha de transmissão, da localização dos pontos de acesso, condições de entorno e tipos de faltas que devem ser sanadas. A composição da solução SIG e a integração com sensores foram baseadas numa plataforma de software livre e padrões de interoperabilidade internacionais.

Este trabalho apresenta os resultados dos testes de campo do sistema de sensoriamento integrado ao SIG realizados no CPqD em Campinas (SP) e na linha de transmissão da Eletronorte em Coxipó (MT) mostrando seu desempenho frente a condições climáticas adversas, utilizando sistemas de transmissão wireless, bem como os benefícios do uso do SIG, o qual pode ter outros desdobramentos positivos para a Eletronorte.

(\*) Rodovia Campinas - Mogi-Mirim, km 118,5 CEP 13086-902 - Campinas, SP - Brasil  
Tel: (+55 19) 3705-6796 – Fax: (+55 19) 3705.6119 – Email: [rosolem@cpqd.com.br](mailto:rosolem@cpqd.com.br)

## 2.0 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE SENSORIAMENTO E DE SUA INSTALAÇÃO

O sistema de sensoriamento de linhas de transmissão é composto por um terminal de sensoriamento remoto (TSR) e do software SIGSensoriamento que é baseado no sistema de informações geográficas. Este software desenvolvido durante o projeto encontra-se detalhado em [1].

A escolha dos sensores utilizados no TSR foi feita após várias discussões técnicas entre a equipe do CPqD e da Eletronorte. Para tanto uma ampla pesquisa de literatura sobre o assunto foi realizada. Os efeitos a serem monitorados e priorizados pelo projeto foram os efeitos naturais: descargas atmosféricas, ventos, ações de pássaros, além de efeitos produzidos por algumas atividades humanas tais como vandalismo, furtos e queimadas agrícolas que afetam o funcionamento das linhas de transmissão.

No projeto do TSR consideramos o uso de sensores comerciais para detecção de todos estes fatores. Os sensores utilizados são: sensor de descargas atmosféricas, sensor de corrente de fuga de isoladores, anemômetro, câmera e sensores de presença. Além destes sensores, foi utilizado um sistema para espantar pássaros, pássaros estes que são responsáveis pela degradação da cadeia de isoladores, principalmente a curicaca (*Theristicus caudatus*), típica da região de Cuiabá, que costuma fazer seus ninhos nas torres de transmissão de energia. Os dejetos depositados nos isoladores acabam por fechar curto, causando a abertura das linhas e causando enormes prejuízos.

O TSR é composto por três unidades básicas conforme o esboço mostrado na Figura 1, terminal de alimentação elétrica, terminal de sensoriamento 1 e terminal de Sensoriamento 2. Essas três unidades foram instaladas inicialmente em uma torre de testes de antenas baseada no CPqD em Campinas e posteriormente na torre de transmissão 26 da linha de transmissão LT CXRPLT6-02 de 230 kV da Eletronorte (entre Coxipó e Rondonópolis). A Figura 1 mostra também a rede de comunicação que conecta o TSR com o ponto remoto de monitoração da Eletronorte onde está instalado o SIGSensoriamento. Para definir a forma de instalação do TSR uma primeira concepção seria de instalação dos equipamentos sensores e o sistema de alimentação com os painéis solares e baterias todos na torre. Os equipamentos de rádio, alguns sensores e o subsistema de alimentação com painel solar e baterias seriam alojados em um único armário colocado diretamente na estrutura da torre. O armário especificado, além de abrigar os equipamentos de comunicações com a subestação e os sensores, permitia também abrigar até quatro baterias com peso de aproximadamente 50 kg cada uma. Esta alternativa se mostrou a princípio mais simples e econômica, porém, após análise e discussão da equipe, foi descartada em função elevado peso do conjunto na estrutura. Numa segunda configuração, os equipamentos sensores e o sistema de alimentação com os painéis solares e baterias seriam instalados de forma distribuída na estrutura da linha. Os equipamentos de comunicação com alguns sensores seriam instalados na parte superior da estrutura e o subsistema de alimentação com painel solar e baterias, instalado em um ponto logo abaixo dos sensores. Para a alimentação dos armários superiores seriam utilizados cabos isolados para proteção e minimização dos problemas de interferência eletromagnética. Esta alternativa, apesar de distribuir o peso do conjunto na estrutura, foi também descartada pela equipe em função do peso e tamanho do armário do subsistema de alimentação. Em uma terceira configuração o armário com o subsistema de alimentação seriam instalados no solo em uma plataforma montada sobre postes e próximo à estrutura da torre, alimentando os sensores instalados na estrutura através de cabo isolado. Esta alternativa se mostrou mais adequada para a equipe do projeto para instalação do sistema de alimentação. Essa configuração foi então adotada, com os equipamentos de comunicação instalados na própria torre de transmissão. A seguir são descritas as especificações dos sensores do TSR e sua forma de instalação.

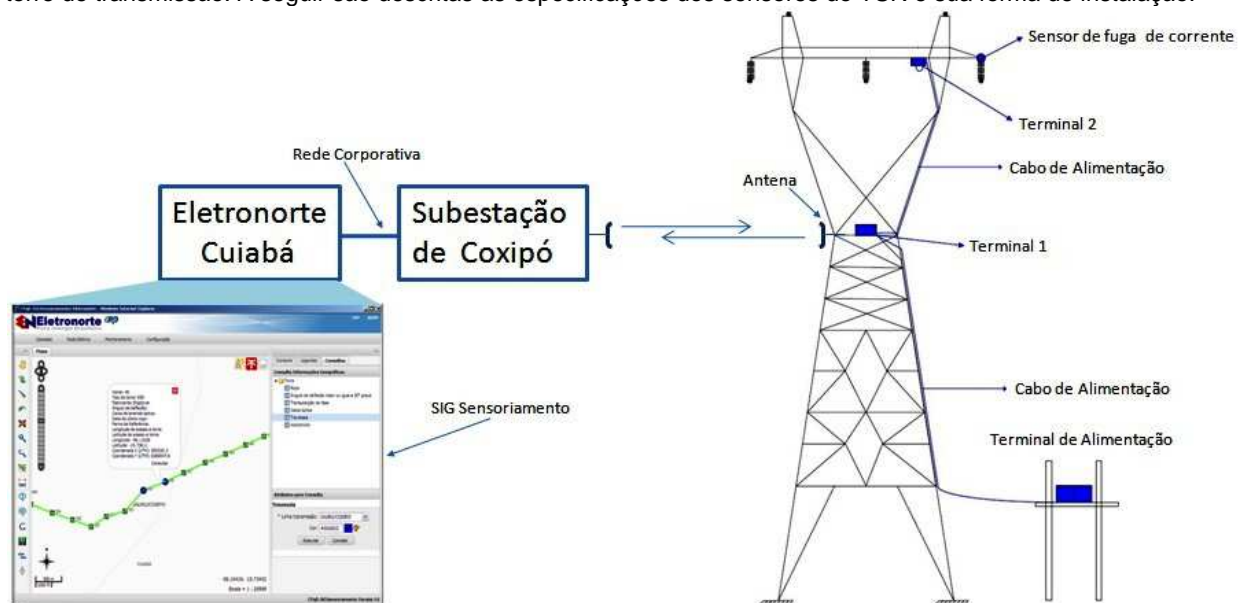


FIGURA 1 - Esboço das partes que compõe o TSR e sua distribuição na torre e a rede que conecta o TSR com o ponto remoto de monitoração onde está instalado o SIGSensoriamento.

## 2.1 Terminal de Sensoriamento 1

O terminal de sensoriamento 1 contém os seguintes sensores e elementos acessórios: anemômetro e sensor de temperatura, sensor de descargas atmosféricas, sensor de corrente de fuga de isoladores, modem do sensor de corrente de fuga, modem do anemômetro, modem do sensor de descargas atmosféricas, roteador wireless, armário metálico e antena. O terminal de sensoriamento 1 é alimentado a partir do terminal de alimentação elétrica por um cabo isolado. Na instalação da torre de transmissão todas as partes mantiveram uma distância mínima das partes energizadas da linha conforme a norma NBR 5422.

O anemômetro utilizado foi o Weather Wizard III, fabricante Davis. Este sensor permite a visualização da velocidade do vento, a direção do vento em graus e em uma rosa dos ventos, a temperatura externa e a temperatura interna do módulo coletor de dados.

Para o sensor de corrente de fuga de isolador adotou-se a tecnologia desenvolvida pelo CPqD. As características deste sistema são: o sensor é o elemento do tipo "shunt", que deve ser instalado entre a ferragem da estrutura e o isolador (ver Figura 2(c)). Não existe a necessidade de alimentação do sensor por bateria, uma vez que a energia necessária para a transmissão do sinal do sensor que é feita por de rádio-frequência (RF), com alcance aproximado de 70 metros, é obtida da própria corrente de fuga. O modem concentrador dos sinais RF tem capacidade de leitura para até seis sensores. O sensor foi instalado entre a ferragem da torre e o isolador, em uma cadeia da fase lateral. As ferragens necessárias são: uma peça F1354-01(elo-olhal) e uma peça F1340 (garfo-bola), que foram fornecidas pela Eletronorte. O modem concentrador foi instalado dentro do armário metálico que faz que faz parte do terminal de sensoriamento 1 (ver Figuras 2(a) e 2(b)).

Para o sensor de descargas atmosféricas adotou-se duas soluções. A primeira solução foi a utilização do modelo LD-250 da Boltek, que utiliza as propriedades goniométricas do sensor de campo magnético e fornece como saída tanto uma série de alarmes relativos à intensidade e proximidade da descarga, como também um mapa com a estimativa de posição das descargas (similar a tela de um radar). Embora a coordenada azimutal possa ser determinada com relativa precisão, o posicionamento da descarga pode ser apenas estimado. O equipamento da Boltek utiliza um algoritmo que estima a distância da descarga a partir da intensidade do campo medido. O sensor apresenta imunidade à presença de estruturas metálicas próximas da antena, imunidade a ruídos fora do espectro de detecção, em particular à frequência industrial (60 Hz), possui interface de comunicação aberta e fornece também a opção de incorporar uma interface que disponibiliza os principais sinais de alarme (tempestade severa, tempestade próxima, etc.) através de relês. O anemômetro foi fixado na própria estrutura do armário metálico do terminal de sensoriamento 1 e o modem do anemômetro foi instalado dentro do armário metálico (ver Figuras 2(a) e 2(b)).

A segunda solução adotada para o sensor de descargas atmosféricas foi o equipamento Boltek Storm Tracker, que consiste em uma antena goniométrica ativa que envia sinais para uma placa PCI instalada em um computador do tipo desktop. As magnitudes destes sinais são proporcionais à intensidade das descargas atmosféricas e inversamente proporcionais à distância da descarga. O azimute da descarga é determinado com relativa precisão a partir dos sinais das duas componentes em quadratura que são detectados pela antena goniométrica. No entanto, a posição da descarga é estimada com base em uma descarga típica, cuja intensidade é assumida pelo sensor para determinar a sua posição. Com este método, uma descarga mais intensa do que a descarga típica será considerada pelo sensor como mais próxima do que ela realmente está e da mesma maneira, uma descarga menos intensa do que a descarga típica será considerada pelo sensor como mais distante do que ela realmente está. Esta é uma característica intrínseca dos sensores Storm Tracker e do LD-250.

No entanto, a utilização de dois sensores Storm Tracker pode aumentar consideravelmente a precisão da localização das descargas. Para tal, despreza-se a informação imprecisa da amplitude do sinal e trabalha-se com a informação do azimute. Através de cálculos trigonométricos, é possível localizar a descarga utilizando os ângulos registrados por dois sensores. Para tal, é necessário que as informações dos sensores sejam identificadas no instante de captação, o que é feito por um GPS que, ao ser acoplado ao Storm Tracker, fornece o tempo de registro da descarga. A escolha dos locais de instalação dos sensores de descarga atmosférica StormTracker foi feita com base em sua área de cobertura, levando-se em conta a necessidade da Eletronorte em Cuiabá para validar a pesquisa. Visando definir os melhores locais para instalação dos sensores de detecção de descargas atmosféricas, foram feitos cálculos de áreas de cobertura. Estes cálculos foram feitos de forma criteriosa, utilizando as coordenadas de posição das localidades envolvidas e os alcances estimados para os sensores. Os sensores StormTracker não foram instalados na torre de transmissão 26 e sim nas sedes da Eletronorte em Cuiabá e em Rondonópolis.

Em relação a rede de transmissão de dados do TSR o projeto originalmente previa que a transmissão de dados da torre escolhida para uma dada subestação da Eletronorte deveria ser feita por fibra óptica usando para isso uma linha servida com cabo OPGW (Optical Ground Wire), porém por motivos operacionais da Eletronorte não foi possível utilizar as fibra ópticas como meio de transmissão. Como alternativa foi necessário utilizar um sistema de transmissão do tipo wireless entre a torre escolhida e a subestação de Coxipó. De qualquer forma durante os testes realizados em laboratório no CPqD o TSR transmitiu adequadamente os sinais em um sistema de transmissão por fibra óptica de 50 km de comprimento. Foram realizados testes relativos à velocidade dos quadros transmitidos pela câmera quando o sinal ethernet passa pela rede interna do CPqD. Conforme esperado devido a taxa de transferência (throughput) da rede interna ser baixa a velocidade de transmissão dos quadros de vídeo são afetadas, o que equivale a dizer que as imagens são transmitidas com um certo atraso. Esta situação eventualmente pode ocorrer durante o teste de campo na Eletronorte.

O sistema de transmissão por rádio também foi acoplado ao terminal de sensoriamento 1 (ver Figuras 2(a) e 2(b)). Um enlace operando na frequência de 2,45 GHz, interliga o transmissor instalado no terminal 1 com outro rádio

instalado no prédio de telecomunicações da subestação de Coxipó. Os dois rádios (modelo WAP354 da APRouter) estabelecem uma comunicação sem fio no padrão LAN IEEE802.11b/g, através de uma conexão ponto a ponto no sistema WDS (Wireless Distribution System), nesse sistema os rádios se comunicam um com o outro com controle de acesso através do MAC Address de cada rádio. A extensão estimada do enlace entre a torre 26 e a subestação é de 580 metros, com visada direta atrapalhada por algumas estruturas entre os pontos de instalação dos rádios. No teste de campo realizado no CPqD a distância entre os pontos de transmissão foi de aproximadamente 800 m. Embora distância entre os dois pontos de instalação dos rádios não seja tão grande os rádios ainda estão equipados com duas antenas direcionais tipo corneta com ganho de 13 dBi. Os equipamentos que integram o TSR foram configurados para se comunicar no protocolo TCP/IP, assim cada componente do sistema com a função de enviar ou receber dados tem um endereço IP. Na rede IP do TSR os rádios WAP354 que também tem a função de roteadores, estão configurados para operar no modo bridge, ou seja, tanto as portas físicas como as sem fio atuam como portas de acesso para a rede IP interna do TSR. No equipamento rádio que fecha o enlace na sala de telecomunicações da subestação Coxipó uma das portas físicas (RJ-45) se conecta a um roteador que tem a função de interligar a rede IP do TSR com a rede corporativa da Eletronorte.

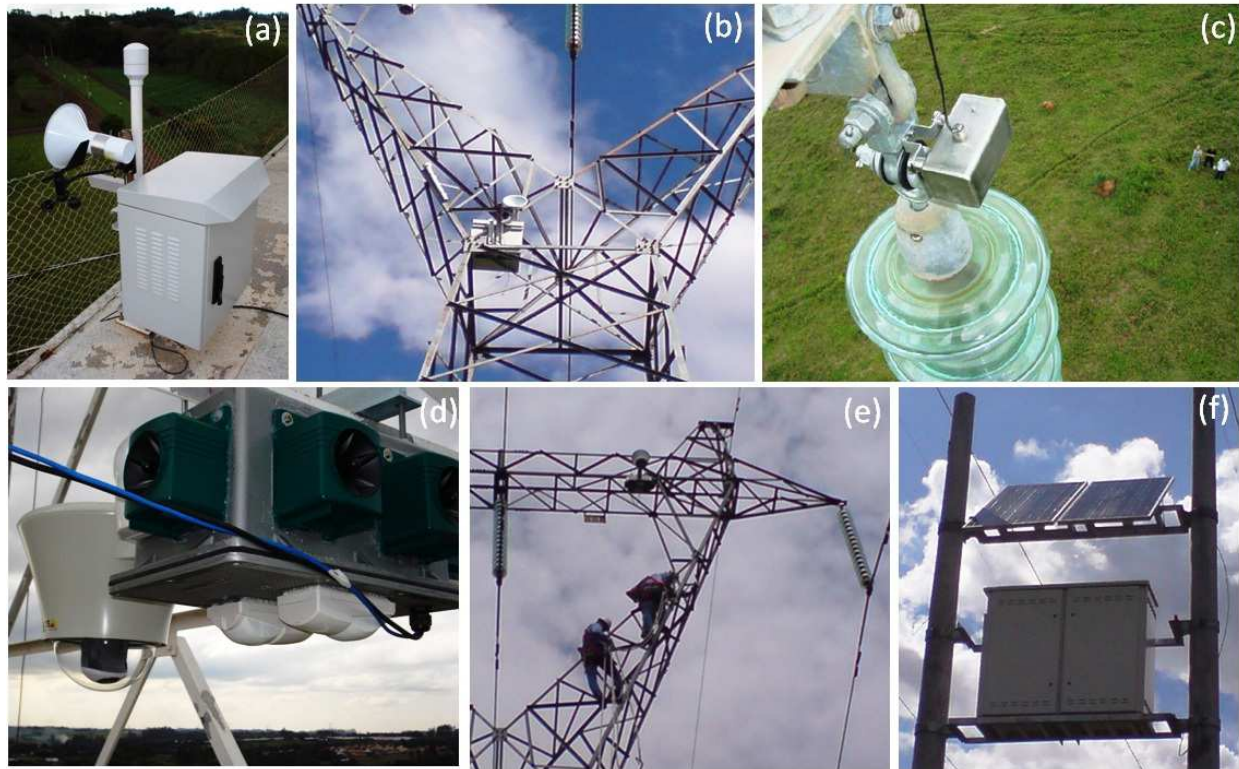


FIGURA 2 – (a) terminal de sensoriamento 1 instalado na torre do CPqD, (b) terminal de sensoriamento 1 instalado na torre 26, (c) sensor de fuga de corrente instalado na torre 26, (d) terminal de sensoriamento 2 instalado na torre do CPqD, (e) terminal de sensoriamento 2 instalado na torre 26 e (f) terminal de alimentação elétrica instalado ao lado da torre 26.

## 2.2 Terminal de Sensoriamento 2

O terminal de sensoriamento 2 (ver Figuras 2(d) e 2(e)), contém os seguintes sensores: câmera de vídeo e acessório, detectores de presença, espantador de pássaros, auto-falantes e caixa de abrigo metálica estanque. O terminal de sensoriamento 2 é alimentado a partir do terminal de sensoriamento 1 por um cabo isolado. A transmissão de dados entre o terminal 2 e o terminal 1 é feita por um cabo de par trançado blindado (STP). Ambos os cabos são embutidos dentro de um tubo galvanizado que faz a interligação dos terminais 1 e 2. A distância entre o terminal de sensoriamento 2 e as partes energizadas da linha, também obedece os critérios definidos pela norma NBR 5422.

A câmera de vídeo adotada foi o modelo 213 PTZ Network Câmera da Axis. Esta câmera pode ser remotamente controlada ou programada para processar imagens coloridas durante o dia e em branco e preto durante a noite usando iluminação de infra-vermelho. A câmera possui as seguintes ferramentas pan, tilt, zoom, zoom óptico 26x, 12 x digital e lente auto-foco. A câmera também possui um equipamento acessório que permite transmitir um sinal serial, possui entradas áudio e vídeo para uma câmera adicional, possui entradas e saídas de áudio, para auto-falantes e microfone e possui duas saídas com relês que podem ser usados para comandos executados remota ou localmente.

A câmera de vídeo e acessórios foram instalados dentro da caixa de proteção da câmera do terminal de Sensoriamento 2 conforme mostrado na Figura 2(d). A câmera e acessórios foram alimentadas internamente

pelo mesmo cabo isolado de alimentação proveniente do terminal de sensoriamento 1.

Como sensor de presença foi adotado o sensor de infravermelho modelo LX-802N da Optex. Este sensor é especialmente desenvolvido para aplicações outdoor e possui cobertura de 24 m por 1,8 m. No total foram utilizados quatro sensores de presença no terminal 2, sendo dois de cobertura lateral e dois para cobertura inferior da torre. Os sensores de presença foram instalados na parte externa da caixa metálica do terminal de sensoriamento 2 conforme mostrado na Figura 2(d).

O espantador de pássaros adotado foi o modelo Critter Blaster Pro da Bird-x. Este sistema é especialmente desenvolvido para aplicações outdoor do tipo aeroportos ou fazendas. Suas principais características são: cobertura 6 acres (2.4 hectares ou 24.000 m<sup>2</sup>), intensidade sonora: 105 - 110 dB para 1 m de distância, possui oito opções de sons, frequência 2 a 10 kHz, possui timer programável para acionamento do dispositivo e fotocélula para operação diurna ou noturna e quatro auto-falantes à prova de entrada de água. O controlador do espantador de pássaros foi instalado dentro da caixa metálica do terminal de sensoriamento 2 e os quatro auto-falantes do espanta pássaros foram instalados na parte externa da caixa metálica conforme mostrado na Figura 2(d).

### 2.3 Terminal de Alimentação Elétrica

O terminal de alimentação elétrica contém seguintes os elementos: (ver Figura 2(f)) dois painéis solares modelo HG75 da Solar Terra (dimensões 1,20 por 0,54 m e potência máxima de 75W), controlador de carga modelo CML10-2 da Phocos, disjuntor, três baterias modelo 12MC150 da Moura de 150 A/H, cabo de alimentação, armário metálico, estruturas de suporte do armário e dos painéis solares e 2 postes.

O local de instalação do terminal de alimentação elétrica é próximo à linha de transmissão na direção transversal ao eixo da linha e dentro da faixa de servidão da mesma. O armário metálico com baterias e acessórios e os painéis solares foram fixados através de suportes especiais na parte superior de dois postes colocados em paralelo a partir do chão. A posição de instalação entre os dois postes e a torre de transmissão foi determinada pela Eletronorte de forma a atender todos os requisitos de segurança da linha de transmissão.

### 2.4 Sistema de Informações Geográficas - SIGSensoriamento

O sistema SIGSensoriamento usa a ferramenta SIG adequada às especificações de requisitos da Eletronorte que atendam o modelo de processo obtido e os dados relacionados aos componentes de uma linha de transmissão. Pretendeu-se fazer um estudo de caso com o desenvolvimento de um sistema que permita a visualização dos elementos que compõem uma linha de transmissão integrados aos sinais de sensoriamento, a partir de uma base de dados georreferenciadas em uma ferramenta SIG para Web.

As funcionalidades de zoom, pan, consulta a objetos do mapa, consulta alfanumérica, filtros, consultas temáticas, apresentação de escalas e controle de visualização das camadas a serem desenhadas, compõem a ferramenta, além de suporte a camadas vetoriais ou camadas raster, como imagens de satélite, que permitem visualizar os locais onde ocorrem erosões, queimadas, invasões, entre outras informações provenientes dos mais diversos tipos de sensores. A ferramenta SIG é baseada em software livre, com emprego dos padrões definidos pelo OGC (Open GIS Consortium) e está integrada ao conjunto de sensores e supervisão remota desenvolvidos especificamente para as necessidades deste projeto de P&D da Eletronorte, permitindo que os usuários identifiquem no mapa, em tempo real, a localização aproximada das falhas detectadas, sua natureza, e destacar as equipes apropriadas para o tratamento da falha. Os usuários poderão obter dados e mapas a partir da ferramenta SIG para carga em notebooks, PCs e PDAs para consulta em modo off-line, o que auxiliará nos trabalhos das equipes de manutenção, inspeção e operação de linhas de transmissão, além de auxiliar estudos de impactos ambientais. Esta ferramenta encontra-se bem detalhada em [1].

## 3.0 - RESULTADOS DOS TESTES

A seguir são descritos os resultados de desempenho do TSR no campo de testes no CPqD em Campinas por cerca de 4 meses e posteriormente na linha de transmissão da Eletronorte em Coxipó (MT) por 14 meses.

### 3.1 Teste de campo prévio no CPqD

O TSR foi implantado e testado dentro do CPqD, de julho de 2009 até outubro de 2009. Os sensores e equipamentos associados foram instalados em uma torre de testes de antenas com algumas adaptações.

Os resultados mais pronunciados que devem ser destacados deste período são para os sensores de presença, espantador de pássaros e câmera de vídeo, contidos no terminal de sensoriamento 2. Os sensores de presença de infravermelho instalados neste terminal detectaram de forma eficiente a presença tanto de pessoas como de pássaros na torre. A câmera de vídeo também foi usada para tirar fotos de forma automática dos pássaros quando de sua detecção. Através de uma prévia programação do programa da câmera é possível definir posições onde a mesma deve focar de acordo com o tipo de sensor de infravermelho ativado. Através da sequência de fotos foi possível estudar se o sensor espanta pássaros teve alguma ação de intimidação dos pássaros. Da mesma forma a câmera foi utilizada para focar e tirar fotos de pessoas detectadas na base da torre. A detecção dos pássaros ou de pessoas pelos sensores de infravermelho aciona relês internos destes sensores a partir dos quais seguem-se as seguintes ações: os relês dos sensores acionam outros relês do equipamento acessório da câmera que acionam o espanta pássaros. O espantador de pássaros gera sinais sonoros variados que vão desde a imitação de pássaros predadores de rapina, até sinais sonoros variados, como de sirenes. com frequência entre 2 - 10 kHz. O espantador de pássaros foi programado para um ciclo de funcionamento de 1 minuto, após o qual é automaticamente desligado. Os sinais de alarmes bem como os arquivos de fotos tiradas pela câmera são transmitidas para o ponto de monitoração remoto do sistema de sensoriamento onde esta instalado o software

SIGSensoriamento. De fato este esquema de acionamento funcionou muito bem por diversas vezes no CPqD permitindo concluir através da análise das fotos tiradas dos pássaros que o sistema espantador pássaros funcionou adequadamente. A Figura 3(a) apresenta uma foto da detecção de uma pessoa na base da torre (sem simulação) e as Figuras 3(b) e 3(c) são fotos de pássaros detectados de dia e de noite pela câmera enviadas automaticamente para um e-mail configurado no sistema. O tempo médio de efeito do espantador de pássaros foi de 45 segundos.



FIGURA 3 – Fotos tiradas pela câmera de vídeo do terminal 2 do TSR no CPqD, mostrando (a) pessoa detectada na base da torre, (b) pássaro detectado e afugentado de dia e (c) pássaro detectado e afugentado à noite.

O sensor anemômetro funcionou adequadamente durante o período de testes. Foi estabelecido no software SIGSensoriamento um filtro para detecção de ventos superiores a 36 km/h. Os ventos detectados foram registrados no sistema SIGSensoriamento e coincidiram com outros registros de monitoração local.

Os testes com o sensor de corrente de fuga foram feitos através da utilização de uma pequena bateria para forçar uma corrente de fuga através do sensor, o que era detectado pela unidade concentradora e transmitido para o ponto de monitoração remoto do sistema de sensoriamento.

O sensor de descargas atmosféricas LD-250 foi inicialmente excitado por pequenas descargas artificiais geradas nas suas proximidades, visando gerar eventos para serem detectados pelo software SIGSensoriamento. Após a sua validação, ele teve sua antena direcionada para o norte geográfico e passou a monitorar descargas atmosféricas reais. Foram obtidos poucos registros, pois o período dos testes coincidiu com uma época de poucas tempestades. De qualquer forma, os registros obtidos mostraram-se coerentes com os registros obtidos no mesmo período pela rede RINDAT de monitoração de descargas atmosféricas. O sensor StormTracker não foi testado no campo de testes do CPqD.

A alimentação elétrica foi realizada inicialmente através de corrente alternada disponível na torre, sendo utilizadas fontes de alimentação para os diversos equipamentos. Posteriormente, o sistema de alimentação foi substituído por um banco de baterias alimentado por painel solar, fornecendo energia em corrente contínua diretamente para a utilização dos equipamentos. Os testes realizados demonstraram que cerca de 6 horas de insolação diária foram suficientes para recompor a carga das baterias de forma a manter o sistema funcionando continuamente. Utilizando-se dois painéis solares, a tensão produzida foi 13,2 V e a corrente gerada pelos painéis solares em um dia de sol foi de 4,8 A. O consumo total do TSR foi de 1,3 A. Durante o período de testes ocorreram vários dias seguidos de chuva intensa em Campinas e nenhum problema de queda de alimentação ocorreu.

### 3.2 Teste de campo na linha de transmissão da Eletronorte

O TSR foi implantado na torre de transmissão 26 da linha de transmissão LT CXRPLT6-02 de 230 kV entre Coxipó e Rondonópolis da Eletronorte em dezembro de 2009 e encontra-se funcionando até o presente momento (março/2011).

Os resultados mais efetivos e que podem ser destacados deste período, se devem a um evento detectado pelo sensor de descargas atmosféricas StormTracker, a eventos detectados pelos sensores de presença e ação da câmera de vídeo.

O sensor de descargas atmosféricas StormTracker detectou e localizou, em agosto de 2011, uma descarga atmosférica que incidiu na linha de transmissão LT CXRPLT6-02 provocando o desligamento da linha. Após um período de coleta de dados, as ocorrências registradas na base de dados foram comparadas com uma referência para validação da eficácia da solução proposta, conforme mostrado na Figura 4. Com base nas descargas atmosféricas fornecidas pela rede RINDAT e a movimentação de uma frente fria através do Satélite GOES verificou-se que, para a área de atuação dos sensores, os seus resultados foram bastante consistentes com as ocorrências registradas pelas fontes de referência. O TSR apontou esta ocorrência cerca de uma hora de dez minutos antes que o sistema supervisor da Eletronorte apontasse a mesma ocorrência.

Nos testes iniciais, o sensor de descargas atmosféricas LD-250 registrou eventos espúrios, provavelmente devido a emissão do efeito corona pela linha de transmissão. Como consequência, foi desenvolvida uma blindagem para aumentar a imunidade do sensor LD-250 ao efeito corona e, ao mesmo tempo não afetar as características do sensor quanto à detecção de descargas atmosféricas. Esta blindagem foi recentemente instalada em campo e o seu desempenho está sendo avaliado.

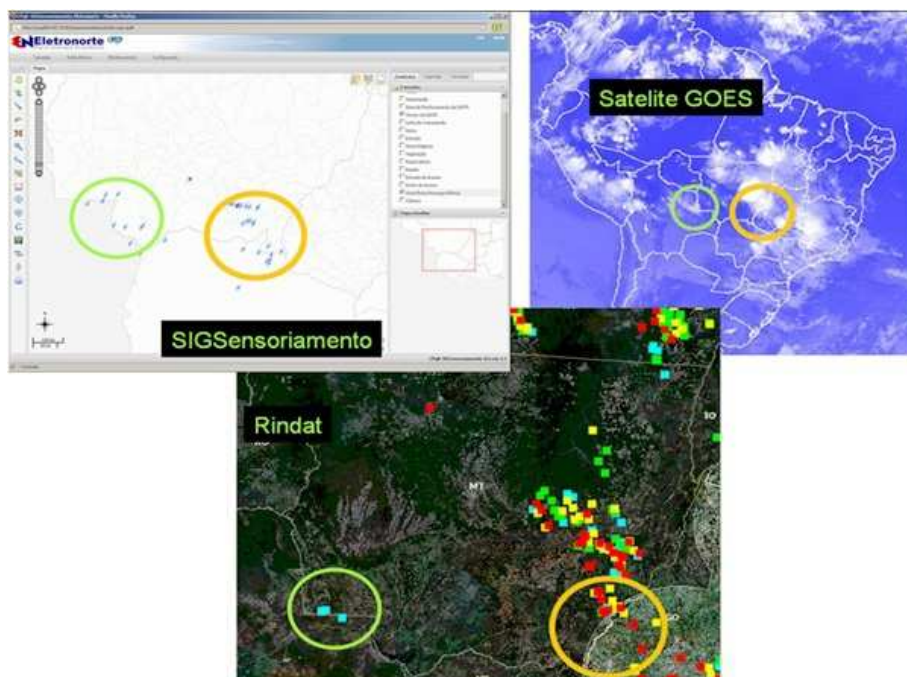


FIGURA 4 - Ocorrências de descargas atmosféricas detectadas pelo sensor StormTracker e registradas na base de dados do SIGSensoriamento comparadas outras referências para validação da eficácia da solução proposta.

Da mesma forma que ocorrido no CPqD os sensores de presença de infravermelho instalados no TSR detectaram de forma eficiente a presença animais e de pássaros na torre e em sua base conforme mostram as Figuras de 5(a) até 5(b). Na Figura 5(a) é mostrada a foto que resultou da detecção de um animal (boi) na base da torre e na Figura 5(b) é mostrada uma foto de uma ave na estrutura da torre, já afugentada pelos alarmes do espantador de pássaros.

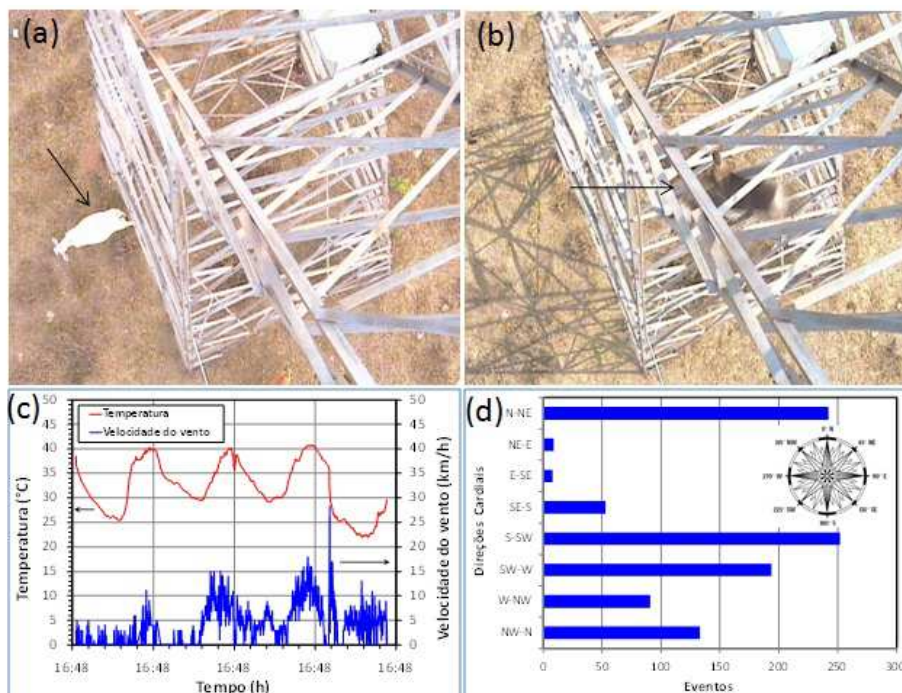


FIGURA 5 - (a) Foto de um animal (boi) na base da torre, (b) foto de uma ave na estrutura da torre, (c) gráfico de temperatura e da velocidade dos ventos e (d) direção dos ventos na torre 26.

O sensor anemômetro tem funcionado adequadamente até o momento. Nas Figuras 5(c) e 5(d) são ilustrados alguns dados coletados da base de dados do SIGSensoriamento mostrando quatro dias de avaliação da temperatura, da velocidade dos ventos (Fig.5(c)) e direção dos ventos na torre 26 (Fig. 5(d)). Como pode ser observada a temperatura varia entre máximos de 22 a 41°C entre o dia e a noite. A máxima velocidade de vento detectada nestes quatro dias foi de 28 km/h e a predominância de ventos ocorre para as direções S-SW, N-NE e SW-W.

No SIGSensoriamento podemos destacar a funcionalidade de exportação de dados, que permitiu a Eletronorte enviar dados geográficos para recebimento de alerta automático (INPE) de queimadas/foco de incêndio a 1 Km da linha de transmissão de energia. O alerta se dá através da exportação (.shp e .kmz) de um polígono abrangendo 1 km no entorno das 4200 torres cadastradas no protótipo via importação de dados. Além disso os objetivos de visualização dos elementos que compõem uma linha de transmissão integrados aos sinais de sensoriamento em uma ferramenta SIG para Web foram atingidos, inclusive com contribuições para o setor de meio-ambiente, que integrou informações de vegetação, áreas indígenas, localização de usinas, entre outros (ver Figura 6).

Os eventos de descargas atmosféricas estão sendo armazenadas no SIGSensoriamento de forma a produzir uma série histórica e compará-la com outras fontes de referência, para avaliar por exemplo se será necessário reposicionar os sensores, ou fazer ajustes no algoritmo de cálculo da localização da descarga.

O registro de medidas do anemômetro no SIGSensoriamento vem de encontro com as diretrizes do ONS para monitoramento das condições do tempo em tempo real. Avalia-se que para o atendimento dos objetivos do ONS, será preciso um ajuste de modo que o sistema passe a registrar medidas em intervalos de tempos determinados pelo operador em vez de registrar medidas acima de uma determinada velocidade.

O registro de ocorrência de corrente de fuga no conjunto de isoladores está em avaliação pela ELN para uso em linhas da Amazônia, onde pode haver restrições de abertura de acessos para inspeção e manutenção das linhas.

Além da detecção dos eventos citados o teste de campo do sistema de sensoriamento tem mostrado de uma forma muito clara que os equipamentos eletrônicos bem como o sistema de transmissão por rádio funcionaram de forma adequada na torre de transmissão, apesar de estarem instalados em um meio com campos eletromagnéticos de alta intensidade.

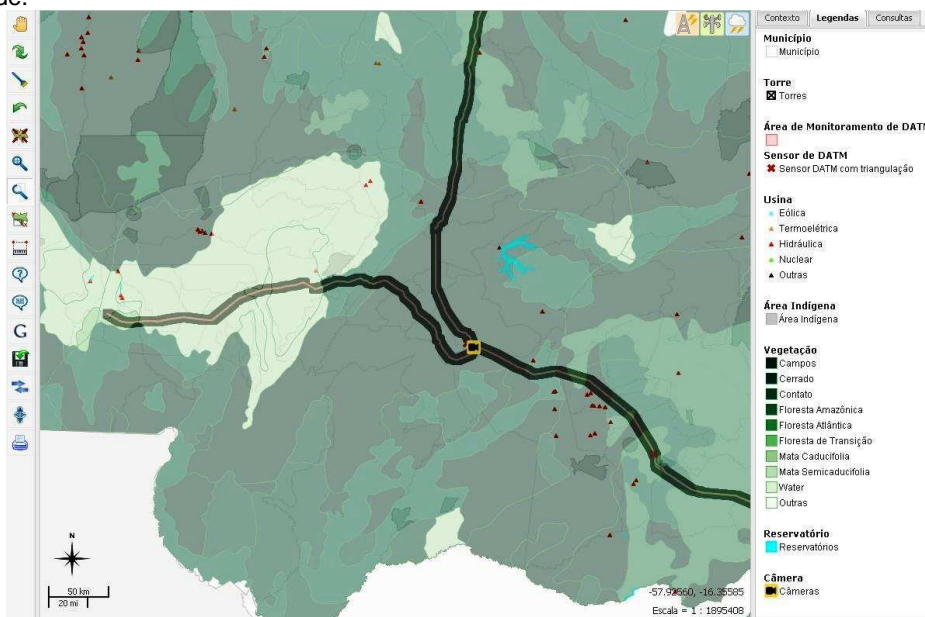


FIGURA 6 – Elementos de vegetação, linha de transmissão, equipamentos e área de monitoramento remoto sobrepostos no mapeamento de áreas indígenas e vegetação, mostradas no SIGSensoriamento.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

Tendo em vista propiciar às equipes de manutenção ferramentas para o rápido restabelecimento de faltas ou de reparos preventivos de elementos de linhas de transmissão, foi desenvolvido, testado em laboratório e em campo, um sistema de sensoriamento para linhas de transmissão que foi acoplado a uma ferramenta do sistema de informações geográficas (SIGSensoriamento). A implantação final desta solução foi feita em uma torre da linha de transmissão Coxipó-Rondonópolis da Eletronorte onde o sistema continua em operação.

O sistema de sensoriamento bem como a ferramenta SIGSensoriamento tem apresentado até o momento excelente desempenho. A coleta de dados de forma permanente possibilitará o entendimento e mapeamento de vários fatores que afetam as linhas de transmissão bem como possibilitará à Eletronorte reduzir o custo de manutenção dos elementos de linha de transmissão, obter agilidade para tomada de decisões com base em informações georreferenciadas e ter o controle efetivo do cadastro de elementos da linha de transmissão.

Por fim deve-se frisar que o equipamento terminal de sensoriamento remoto (TSR) pode ser otimizado, compactado e industrializado, no total ou em partes, para implantação em diversas linhas de transmissão.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Freitas, M. E., Rosolem, J. B., Floridia, C., Penze, R. S., Li, L. T., Romano, R. B., Barbosa, C. F., Nallin, F. E., Rossi, J. D. E., "Sistema de Cadastro Georreferenciado com Sensoriamento Remoto de Linhas De Transmissão", XX Simpósio Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE, Recife/PE, Novembro, 2009.