

# Aplicação de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real para Aumentar a Capacidade de Transmissão em LTs Aéreas.

C. A. M. Nascimento, CEMIG\* E. B. Giudice, CEMIG A. Fleming, CEMIG  
G. Guimarães, CEMIG R. Carvalho, CEMIG O. Campos Filho, CEMIG

**Resumo-** O objetivo desse trabalho é demonstrar os resultados obtidos com o projeto de P&D do programa de eficiência energética - Procel/Aneel, que é aplicado às linhas aéreas de transmissão e está baseado no monitoramento de condições físicas dos cabos aéreos, tais como: temperatura do cabo, tensão mecânica de esticamento e altura cabo-solo[1].

*Palavras-chave*--Linhas de Transmissão, Monitoramento em Tempo Real, Recapacitação de LTs e Automação.

## I. INTRODUÇÃO

A partir do monitoramento em tempo real das condições operativas das LTs aéreas, objetivando o monitoramento da altura cabo-solo, que é a variável mais crítica para a operação das LTs, é possível operar o sistema com informações precisas de campo.

As informações do monitoramento são transmitidas em tempo real, através de sistemas de telecomunicações e processadas em um centro de processamento, onde os dados são armazenados e disponibilizados. Através de algoritmos específicos as informações são disponibilizadas para as equipes que executam o despacho de carga em tempo real, auxiliando na tomada de decisão para buscar maximizar o nível de carregamento das LTs.

Os desligamentos indesejáveis e corte de carga de consumidores, também podem ser melhor avaliados a sua real necessidade de execução.

O aumento no nível de carregamento das LTs aéreas curtas, em até 30% do valor máximo admissível, está sendo possível de ser aplicado com a utilização dessa tecnologia[2]. Deste modo, esse trabalho mostra o princípio de funcionamento dos sistemas de monitoramento, as suas vantagens e desvantagens, principais aplicações comparando-as entre os três sistemas distintos de monitoramento em tempo real, que foram adquiridos pela CEMIG.

Desde 1980, a CEMIG vem desenvolvendo sua capacitação na tecnologia de monitoramento em tempo real para LTs. Em 1991, uma LT Experimental - Nova Lima-Bonsucesso foi energizada com a utilização do sistema de monitoramento Power Donut ficando por mais de mais de 8 anos em operação[3]. Com as informações e o know-how adquiridos na LT Experimental, a engenharia de LTs começou a utilizar comercialmente os sistemas de monitoramento, que também são úteis para aferição das metodologias de cálculo de carregamento elétrico utilizando as séries históricas e em tempo real. Com as informações de monitoramento, as equipes de projeto, planejamento, operação e manutenção podem atuar de forma otimizada e mais segura na exploração máxima do carregamento de LTs.

## II. DESENVOLVIMENTO

### A. Sistema Power Donut – Medição da Temperatura de Cabo Aéreo

O sistema Power Donut trabalha com a grandeza física da temperatura de operação de cabo aéreo utilizado em Linhas Aéreas de Transmissão. O objetivo é encontrar a altura cabo-solo de uma LT a partir da variável temperatura de operação dos cabos aéreos[4,5].

O sistema funciona através de um termômetro de contato instalado no cabo, capaz de monitorar a temperatura de operação e outro sensor para medir a corrente, utilizando sistema de comunicação de dados, para disponibilizar as informações em tempo real nas áreas afins.

O sistema é composto por quatro subsistemas, sistema de sensores, sistema de energia, sistema de comunicação e sistema computacional. A integração dos quatro subsistemas proporciona a disponibilização das informações em tempo real.

Os sensores utilizados pelo sistema Power Donut são: o sensor de temperatura e o sensor de corrente. Essas informações da linha são simultaneamente coletadas. O sistema de comunicação entre o sensor e a estação terrestre é feito via rádio FM e da estação até o centro de processamento é feita através de canal dedicado de comunicação de dados.

O sistema computacional é responsável por todas as informações que entram e saem do sistema Power Donut. As informações são processadas localmente ou à distância através de algoritmos de visualização dos dados em tempo real e programação das variáveis de medição.

O sensor Power Donut é instalado em pontos da linha em que normalmente não possuem alimentação comercial de 127 Vac. Deste modo, o sistema foi concebido para utilizar a própria energia dos cabos aéreos através de uma bobina de

---

\* - Autor principal – 0xx 031 3349 3382 – CEMIG – e-mail:

[caxandre@cemig.com.br](mailto:caxandre@cemig.com.br)

Dedicamos os resultados obtidos nesse projeto de P&D para o antigo Centro de Tecnologia e Normalização da CEMIG – TN, atual Gerência de Gestão Tecnológica e Alternativas Energéticas – DPR/TE, que efetivou no Brasil o primeiro sistema de monitoramento de LTs Power Donut, que foi instalado na LT Experimental Nova Lima – Bonsucesso em 1991. Sistema esse proporcionou não somente uma aplicação experimental, mas forneceu base de informações para o contínuo desenvolvimento dos métodos e procedimentos para os projetos de LTs, através da utilização e aprimoramento da tecnologia de monitoramento de LTs.

Nosso agradecimento técnico especial pelo apoio e incentivo gerencial recebido pela Superintendência de Expansão da Rede Elétrica – ER, através da Gerência de Engenharia de Linhas de Transmissão – ER/LT, que em 1998 absorveu alguns dos recursos humanos e físicos da DPR/TE, dando continuidade a implementação desse projeto de P&D.

corrente que alimenta baterias recarregáveis. A utilização do potencial da linha como fonte de energia proporciona facilidade de operação e instalação do sistema de monitoramento.

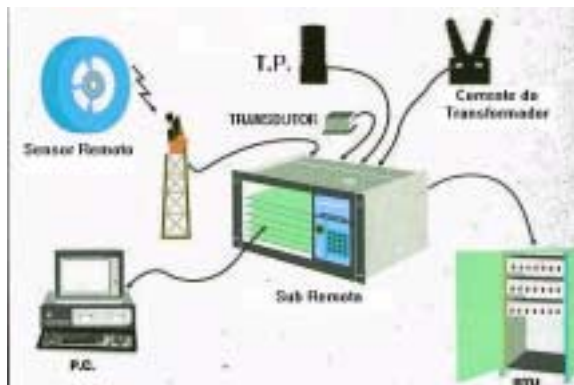


Figura 1. Diagrama Simplificado de um Sistema de Monitoramento



Figura 2. Sensor de Temperatura e Corrente

O sistema CAT1 trabalha com a grandeza física da tensão mecânica de esticamento de cabo aéreo de LTs aéreas. O objetivo é encontrar a altura cabo-solo de uma LT a partir da variável de esticamento mecânico dos cabos aéreos de LTs[6]. O sistema funciona através de uma célula de carga inserida entre o cabo e a estrutura da LT, capaz de monitorar a tensão mecânica de esticamento do cabo no tramo, utilizando sistema de comunicação local e à distância, para disponibilizar essas informações em tempo real nas áreas afins.

O sistema é composto por quatro subsistemas, sistema de sensores, sistema de energia, sistema de comunicação e sistema computacional para armazenamento e análise e dos dados. A integração dos quatro subsistemas proporciona a disponibilização das informações em tempo real.

Os sensores utilizados pelo sistema CAT1 são: o sensor de carga, o sensor de temperatura ambiente e o sensor de simulação do cabo (medição da influência das variáveis ambientais no cabo). O sistema CAT1 é instalado em pontos da linha em que normalmente não possuem alimentação comercial em 127 Vac. Deste modo, o sistema foi concebido para utilizar baterias tipo automotivas de 12 V recarregáveis através de placa de painel solar. A utilização do sistema de energia solar possibilita isolar os sensores e outros equipamentos eletrônicos de possíveis fontes de surtos elétricos e eletromagnéticos, como descargas atmosféricas ou surtos na LT. A Figura 7 mostra a estação remota local do CAT1 instalada na LT Neves 1-2, 138 kV.

O sistema de comunicação é subdividido em dois subsistemas. O primeiro sistema é o local remoto, que transmite as informações, via rádio, da estação remota local até a subestação de coleta dos dados. O segundo subsistema é sub remota de automação instalada em uma estação de

transformação do sistema elétrico para integrar os protocolos de comunicações existentes entre os sistemas CAT1 e remota de automação RTU-200 ABB. A Figura 8 mostra a integração construtiva entre as remotas CAT1 e Harris na SE Neves 2, que juntas formam uma subremota da RTU-200 ABB existente na SE[7].

O sistema é controlado por algoritmos que gerenciam a visualização dos dados e previsões de carregamento em tempo real.

### C. Sistema Sonar – Medição da Altura Cabo-Solo

O sistema SONAR trabalha com a grandeza física da altura cabo-solo. O sistema funciona através de uma trena eletrônica, que mede a distância entre dois obstáculos. Os dados são armazenados em um Micrologger e utiliza um sistema de comunicação via telefonia celular programado para realizar e receber chamadas para acesso do base dados em tempo real[5].

Da mesma forma que o sistema Power Donut e CAT1 o sistema Sonar é composto por quatro subsistemas, sistema de sensores, sistema de energia, sistema de comunicação e sistema computacional.

A Figura 3 mostra um sensor XPS40, que através de uma onda sonora mede com precisão a altura cabo-solo. O sistema ainda, utiliza dois sensores, de medição da temperatura ambiente no local da medição e outro para medir a temperatura de operação dos equipamentos na estação remota local.



Figura 3 - Sensor Sonar XPS-40

O sistema Sonar é instalado em pontos da linha em que normalmente não possuem alimentação comercial em 127 Vac. Deste modo, o sistema foi concebido para utilizar baterias do tipo automotivas de 12 V recarregáveis através de placa de painel solar. A utilização do sistema de energia solar possibilita isolar os sensores e outros equipamentos eletrônicos de possíveis fontes de surtos elétricos e eletromagnéticos, como descargas atmosféricas ou surtos na LT.

O sistema Sonar é de fácil instalação porque não possui equipamentos instalados diretamente no potencial da Linha. A Figura 5 mostra a instalação realizada na LT Neves 1-2, 138 kV

O sistema de comunicação é composto por um telefone celular acoplado a um modem que fica na estação remota local de armazenamento dos dados, onde a base de dados pode ser acessada de qualquer lugar através de uma linha comercial discada ou dedicada. Na central de processamento uma linha telefônica busca automaticamente os dados em tempo real.

O sistema computacional é responsável pela conexão e processamento dos dados. O sistema utiliza algoritmos que gerenciam desde a conexão até o armazenamento das informações em uma base de dados relacional para disponibilizar em rede corporativa e em tempo real.

#### D. Centro de Monitoramento em Tempo Real de LTs

Para receber e processar as informações recebidas dos sistemas de monitoramento remoto foi criado um centro informatizado para monitoramento de LTs, no edifício Sede da CEMIG. Esse centro foi desenvolvido com o objetivo de realizar a supervisão dos dados adquiridos em tempo real, através de linhas telefônicas para comunicação centro e estações remotas. Os dados são armazenados e enviados para uma rede local que está integrada a uma rede corporativa de computadores.

Dois sistemas supervisórios um para o CAT1 e outro para o SONAR foram desenvolvidos para operar no centro de monitoramento. Esses sistemas trabalham em plataforma computacional Unix e Windows, comunicam com a UTR através de placas de comunicações de dados ligadas a linha telefônica utilizando modem.

#### E. Comparações entre as Tecnologias de Monitoramento de LTs

A Tabela I demonstra os custos básicos para aquisição e instalação do primeiro conjunto de cada tecnologia de monitoramento de LTs. A primeira aquisição é mais onerosa devido à aquisição da licença de uso dos algoritmos e os custos envolvidos com a engenharia de automação e treinamento associada às tecnologias. Para a expansão dos sistemas de monitoramento de LTs vários custos de desenvolvimento dos projetos e da instalação física não incluem mais na planilha dos custos básicos.

TABELA I  
RELAÇÃO DOS CUSTOS BÁSICOS PARA AQUISIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO

Sistema	Material	Preço US\$
CAT1 Equipamentos e Projetos	CAT-Unit	22.400,00
	CAT-PAC	14.800,00
	Sensor	3.500,00
	Licença do software	5.500,00
	Assistência Técnica	3.800,00
	Projetos Associados	40.000,00
	Total .....	90.000,00
Power Donut Equipamentos e Projetos	Estação remota	12.000,00
	Sensor	8.100,00
	Kit Manutenção	500,00
	Kit Instalação	200,00
	Projetos Associados	12.000,00
	Total .....	32.800,00
SONAR Equipamentos e Projetos	Conjunto de Equipamentos	44.000,00
	Licença do software	15.000,00
	Projetos Associados	27.000,00
	Total .....	86.000,00

Cada sistema de monitoramento possui uma aplicação mais adequada apesar de todos serem aplicados para o mesmo objetivo, aumentar a capacidade de transmissão de LT aérea. Os custos envolvidos em cada tecnologia se diferem principalmente pelas suas características construtivas e operativas, que proporcionam a cada

tecnologia aplicações e características operacionais diferentes.

A CEMIG já utiliza o sistema Power Donut por mais de 9 anos e é um sistema que possui uma tecnologia bastante conhecida no setor elétrico mundial. Sua tecnologia é perfeitamente aplicável devido as suas características de custo e tempo reduzido para instalação e operação, mas o sistema ainda não possui todas características para controle em um sistema supervisor, que por exemplo no sistema CAT1 já está disponível.

O CAT1 é um dos sistema que mais estão sendo utilizados e comercializados nos países de 1° mundo devido a suas características construtivas e comerciais. O fabricante disponibilizou um sistema de monitoramento com todas as necessidades operativas para o controle de supervisão, alarmes e algoritmos de predição de carregamento, bem como a adaptação aos equipamentos e sistemas existentes das subestações.

O Sonar é tecnicamente um sistema bastante preciso devido a sua concepção de medição direta da altura cabo-solo. Sua versatilidade está voltada para a comunicação celular móvel, que facilita muito a instalação da rede de comunicação entre os subsistemas da tecnologia de monitoramento.

#### F. Conclusões e Recomendações

A título de exemplo é mostrado na Figura 6, um dia típico do monitoramento na LT Neves 1-2, 138 kV com informações dos três sistemas. Os dados que estão sendo disponibilizados em tempo real para as equipes de projeto, operação, planejamento e manutenção do sistema são as janelas dos limites das variáveis de projeto, uma vez que estão sendo monitorados as variáveis que permitem encontrar com precisão a altura cabo-solo em três pontos distintos na LT. O produto final da tecnologia de monitoramento é a conversão das informações de campo em capacidade de transmissão, potência disponível em tempo real, onde algoritmos de predição e alarme estão sendo implementados.

Com a base de dados, que está sendo coletada na LT Neves 1-2, 138 kV, a engenharia de monitoramento de LTs vai continuar os estudos e pesquisas nessa tecnologia.

Até o presente momento, as pesquisas e aplicações das tecnologias de monitoramento, estão obtendo resultados satisfatórios e observa-se que existem aplicações para os três sistemas de monitoramento de LTs que foram testados, tais como: Aumento na oferta de energia, monitoramento de áreas invadidas, postergar obrar de recapacitação e ferramenta de P&D para os procedimento de projetos de LTs.



Figura 4. Instalação do Sensor de Carga

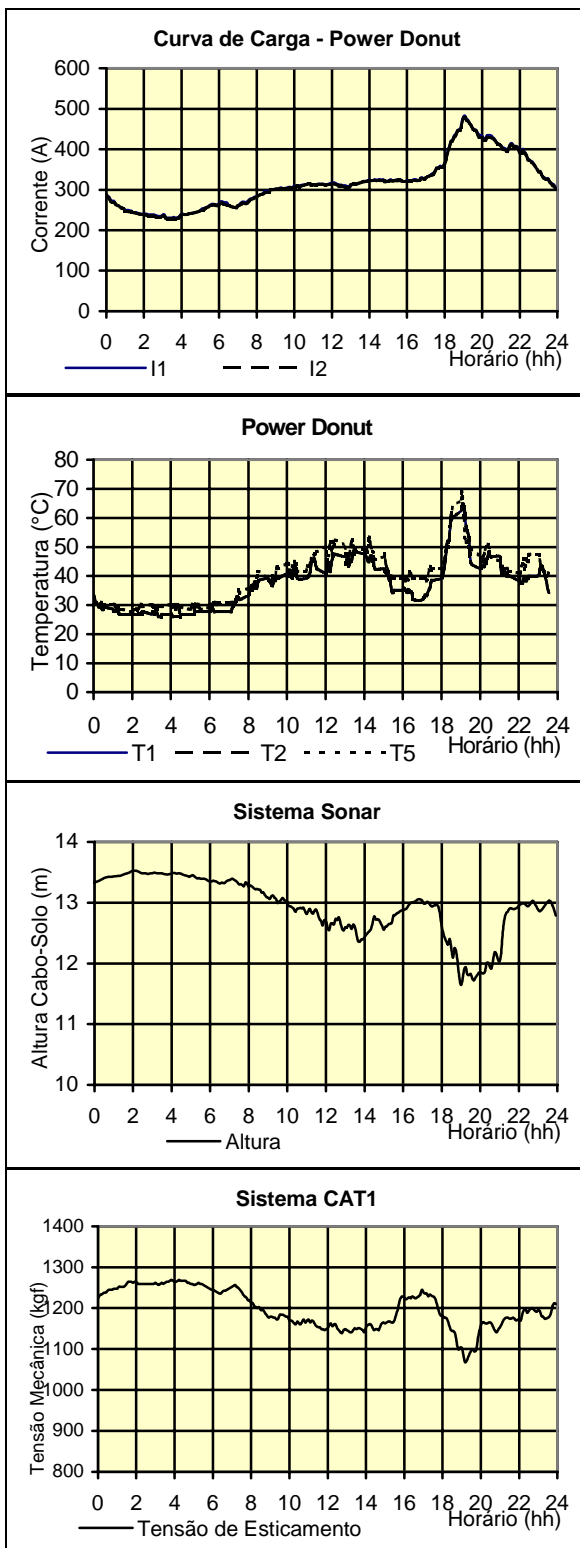


Figura 6 - Informações do dia 02/03/01



Figura 5. Detalhe da Instalação do CAT1 na Estrutura 34 da LT Neves 1-2, 138 kV

### III. AGRADECIMENTOS

A todas as pessoas que diretamente ou indiretamente participaram e contribuíram para o sucesso do projeto.

CEMIG : Equipe de Monitoramento de LTs, GT de Ampacidade de LTs da CEMIG, Equipe de Gestão dos Programas de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico e Eficientização Energética na CEMIG, Equipe de Aquisições e Serviços, Equipe de Planejamento e Orçamento, Equipe de Automação de SÉS, Equipe de Telecomunicações, Equipe de Manutenção de LTs da Engenharia de Distribuição, Equipe de Manutenção de Telecomunicações da Engenharia de Distribuição, Equipe de Contabilidade, Equipe de Armazenagem e Almoxarifado.

FABRICANTES E REPRESENTATES : The Valley Group, Inc, Phenax, Kinectrics, Nitech, Engro.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - Nascimento, C.A.M. - Aplicação de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real para Aumentar a Capacidade de Transmissão em LTs Aéreas.- Procel/Aneel – CEMIG – Ciclo 98/99.
- [2] – T. Seppa - Accurate Ampacity Determination: Temperature-Sag Model for Operational Real-Time Ratings', IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10 No. 3, July 1995, pp 1460-1470 incl. discussions by Morgan, Douglass and White.
- [3] – Furtado, T.A. - Carregamento elétrico de linhas aéreas de transmissão, informações coletadas na LT Experimental Bonsucesso - Nova lima. XIII – ERLAC – Foz do Iguaçu-1997
- [4] – V.T. Morgan, The Real-Time Heat Balance for Overhead Conductors', presented at Seminar on Real-Time Ratings of Overhead Conductors, May 21, 1986, Atlanta, Georgia.
- [5] - O. Nigol and J.S. Barrett - Development of an Accurate Model of ACSR Conductors for Calculating Sags at High Temperatures, Canadian Electrical Association Report 78-93.
- [6] - J.S. Barrett, P. Ralston and O. Nigol, Mechanical Behaviour of ACSR Conductors', Paper 22-09, CIGRE Conference Proc., 29th session, Vol. 1, Group 22, Paris, September 1982, p. 41.