



## **Desenvolvimento de Sistema de Detecção da Corrosão (SDC) em Cabos CAA das Linhas de Distribuição de Energia Elétrica**

**Claudia Souto Cattani Aoki**

**CPqD**

aoki@cpqd.com.br

**Célio Fonseca Barbosa**

**CPqD**

grcelio@cpqd.com.br

**Paulo César Gisolfi**

**CPqD**

pgisolfi@cpqd.com.br

**José Benedito Costa Araujo**

**Light Serviços de eletricidade S/A**

benedito.araujo@light.com.br

**Flávio Nallin**

**CPqD**

nallin@cpqd.com.br

### **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo apresentar a primeira fase do desenvolvimento do sistema de detecção da corrosão (SDC) em cabos de alumínio com alma de aço utilizados em linhas de distribuição de energia elétrica da Light.

CAA é o cabo mais utilizado em linhas de distribuição de energia, com fios centrais de aço zincado e fios externos de alumínio-liga 1350-H19. O processo corrosivo mais preocupante à integridade desse cabo é o que ocorre no seu interior, isto é nos fios de aço zincado. Uma vez danificado, os fios de aço deixam de conferir sustentação e o cabo rompe sem que haja sinais visuais significativos antecipados do processo corrosivo que se encontra no interior do cabo CAA. Portanto, o desenvolvimento de um programa de supervisão das linhas de distribuição para mapear o estado em que se encontram quanto à corrosão é fundamental do ponto de vista econômico e de segurança.

O desenvolvimento de um Sistema de Detecção de Corrosão (SDC) que identifique e avalie o processo corrosivo na alma de aço de cabos CAA instalados em linhas de distribuição não é tarefa trivial, pois implica não só em superar os obstáculos de acesso ao cabo, assim como em detectar o estado dos tentos de aço utilizando uma técnica que preserve a integridade física do cabo. Esse trabalho apresenta um resumo dos estudos realizados na primeira fase do projeto que desenvolveu uma ferramenta viável e bastante útil no diagnóstico de cabos CAA em serviço, a qual possibilitará a implementação de um programa de manutenção preventiva destes cabos.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Corrosão em cabos CAA, ensaios não-destrutivos, Linhas de distribuição de energia.

## 1. INTRODUÇÃO

Os cabos CAA utilizados em linhas de distribuição de energia elétrica são constituídos por um núcleo (de um ou mais tentos) de aço galvanizado que tem por função a sustentação do cabo e esse núcleo recebe uma ou mais coroas de tentos de alumínio puro (99,5%) ou alumínio liga que têm por função a condução de energia elétrica.

A diferença de potencial eletroquímico imposta pelo contato entre o aço e o alumínio é minimizada pela camada de zinco, que também tem por função ser um revestimento de sacrifício corroendo preferencialmente ao aço. Essas duas funções do revestimento de zinco conferem ao cabo CAA uma maior resistência à corrosão. Porém, ainda assim do ponto de vista de corrosão, quando dois metais dissimilares são colocados em contato, ocorre a formação de células galvânicas e maior oxidação de um metal em relação a seu par, sendo o estágio seguinte, o processo corrosivo. Outros fatores importantes que colaboram para a progressão do processo de corrosão são as juntas, emendas e dobras que merecem uma atenção especial por propiciar o acúmulo de poluentes, estagnação de água, acúmulo de particulados e formação de pares galvânicos através da justaposição de metais dissimilares, fatores esses que tornam essas regiões mais susceptíveis à corrosão.<sup>(1)</sup>

A corrosão ocorre no interior do condutor e é causada pela entrada de poluentes e pela umidade da interface entre o alumínio e o aço galvanizado.<sup>(2)</sup>

O início de um processo de corrosão em condutores e, por conseguinte sua expectativa de vida é determinada pelas condições de operação da linha de distribuição associada às condições do ambiente aos quais que estão expostos.<sup>(3)</sup> Portanto conhecer as reais condições do cabo instalado é uma ferramenta de suma importância para avaliar o custo/benefício da manutenção, substituição ou reparo do cabo e outros componentes do sistema de distribuição.

Os ambientes mais críticos para os cabos CAA, associado ao regime de operação em termos de corrosão são: ambientes marinhos, industriais ou esses combinados.

A corrosão atmosférica, a qual os cabos CAA estão sujeitos se dá através de mecanismos eletroquímicos, donde são partes fundamentais do processo, as interações sistêmicas de gás/liquido/metal. Os poluentes atmosféricos interagem e reagem com o metal através da camada de umidade formada na superfície metálica proveniente de chuva, neve ou neblina. Nesse tipo de deterioração a perda em propriedades mecânicas é o fator determinante e praticamente nenhuma indicação de deterioração será visível até o condutor romper.

A determinação do estágio da corrosão da camada de zinco sobre o aço é muito importante para o sistema de distribuição de energia, pois quando esta é totalmente consumida pelo processo de corrosão, coloca o aço em contato direto com o alumínio formando assim uma outra pilha galvânica, o que aumenta sobremaneira a velocidade de corrosão comprometendo suas funções mecânicas e elétricas e conseqüentemente o fornecimento de energia, pois resulta num rompimento inesperado do cabo.<sup>(4)</sup>

Atualmente, em âmbito nacional, pouca ou nenhuma ação no sentido de avaliar os cabos CAA quanto ao processo de corrosão da alma de aço zincado, deixando o método de supervisão bastante subjetivo por ser visual.

Por tanto, conhecer a agressividade ambiental, seus efeitos sobre os cabos CAA em termos de corrosão e o desenvolvimento de sistema de supervisão que identifique o processo de corrosão interna desses cabos em estágios iniciais, torna-se uma ferramenta imprescindível no apoio de programas de manutenção preventiva e de substituição dos cabos danificados, evitando gastos desnecessários, garantindo a qualidade do fornecimento de energia e principalmente oferecendo segurança às populações vizinhas as redes de distribuição de energia.

O motivador do atual projeto foi necessidade de tomada de decisão quanto a manutenção das linhas de distribuição instaladas em locais críticos, como por exemplo as travessias de estradas, onde o rompimento dos cabos de alumínio com alma de aço provocados pela corrosão pode causar um grande prejuízo à empresa de distribuição de energia e aos usuários das rodovias.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DA CORROSÃO

Inicialmente foi realizado um levantamento dos métodos existentes de monitoramento utilizados para avaliar a corrosão em cabos CAA e de propriedades eletromagnéticas que pudessem ser empregadas neste desenvolvimento, observando a premissa básica de que o método de identificação da corrosão não deve alterar a integridade física do cabo CAA instalado.

Foram realizados vários ensaios nos laboratórios de CPqD a fim de selecionar a propriedade eletromagnética mais adequada para a identificação da corrosão. Esse estudo foi realizado com o equipamento de bancada em amostras de cabos CAA, bitola 266,8 MCM (código Partridge) antigos e novo cedidos pela Light. Foram avaliadas nessa etapa as seguintes propriedades eletromagnéticas: resistividade elétrica ( $\rho$ ), permeabilidade eletromagnética ( $\mu$ ) e permissividade elétrica ( $\epsilon$ ). Cada uma destas propriedades eletromagnéticas oferece a possibilidade de monitorar o processo corrosivo em maior ou menor grau de sensibilidade. Sendo a permissividade elétrica uma propriedade de materiais dielétricos, a mesma pode estar associada à camada de óxido de zinco resultante do processo corrosivo. A permeabilidade magnética assume valores expressivos para materiais ferromagnéticos como o aço. A resistividade elétrica, em função do efeito peculiar, também propicia a detecção do aço. Porém, todas sofrem maior ou menor influência pelos tentos de alumínio.

Nos estudos preliminares realizados em laboratório, as propriedades de permeabilidade magnética e a resistividade elétrica se mostraram de maior interesse.

Vencida essa etapa de seleção da propriedade eletromagnética de melhor resultado, o próximo desafio foi o desenvolvimento e construção transdutor (sensor) para fazer a medida da propriedade eletromagnética no cabo. Em seguida foi desenvolvido o sistema de tracionamento do sensor e por último o sistema de controle sem fio do servomecanismo e de aquisição de dados conforme esquema apresentado pela Figura 1.

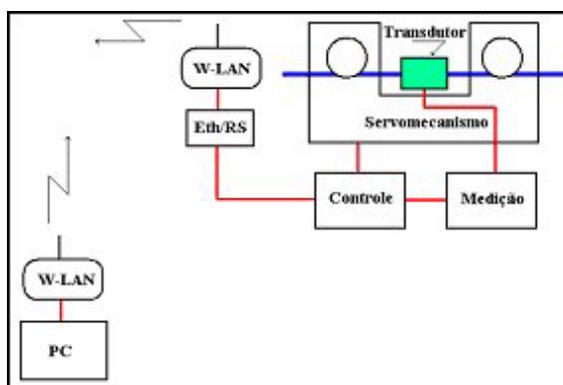


Figura 1: Diagrama do sistema de detecção da corrosão (SDC).

A Figura 2 apresenta a tela principal do software desenvolvido para gerenciar o deslocamento da unidade remota, visualizar o nível de carga da bateria e fazer a aquisição e armazenamento dos dados sobre corrosão.

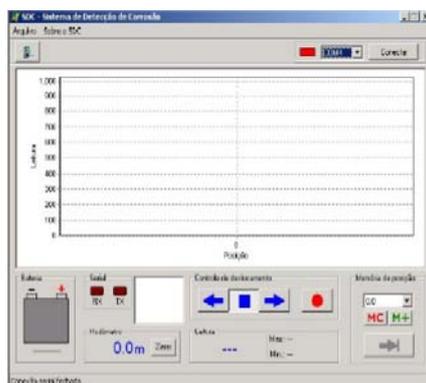


Figura 2: Tela principal do SDC.

A avaliação do protótipo em escala piloto foi realizada no campo de testes montado no CPqD com amostras de 12 metros de cabos CAA antigos retirados das linhas de distribuição LTA 47, LTA 61 e LTA 48 com 70, 66 e 53 anos de operação respectivamente foram instalados juntamente com um cabo novo.

Nesta etapa foram avaliados aspectos de desempenho do protótipo como, repetitividade de leitura, velocidade de deslocamento, alcance da comunicação sem fio, autonomia de bateria e avaliação do ângulo de trabalho.

Os resultados das análises de espessura e resistência à tração da camada de zinco realizada em laboratório foram relacionados a dois dos coeficientes eletromagnéticos ( $\alpha$  e  $\beta$ ) conforme demonstra a tabela 1 e revela a coerência entre os resultados da resistência à tração e espessura da camada de zinco quando comparados aos resultados eletromagnéticos.

Tabela 1: Resultados da caracterização física e eletromagnética das amostras de cabos CAA

	Cabo novo	LTA 47	LTA 61	LTA 48
Valores médios da massa de zinco (g/m <sup>2</sup> )	342	342	312	305
Limite de resistência à tração - aço galvanizado (MPa)	1713	1507	1449	1417
Coefficiente de permeabilidade ( $\alpha$ )	0	1,9	2,5	4,5
Coefficiente ( $\beta$ )	0	12,7	15,2	17,9

O coeficiente de permeabilidade ( $\alpha$ ) é a razão entre a permeabilidade aparente para frequências  $f_1$  e  $f_2$  expressa em termos percentuais no que difere da unidade:

$$\alpha = 100 \times \left[ \frac{\phi(f_2)}{\phi(f_1)} - 1 \right]$$

O coeficiente de resistividade ( $\beta$ ) é a razão entre a resistividade aparente para frequências  $f_1$  e  $f_2$  expressa em termos percentuais no que difere da unidade:

$$\beta = 100 \times \left[ \frac{\chi(f_2)}{\chi(f_1)} - 1 \right]$$

Dando continuidade aos testes piloto, o cabo novo sofreu corrosão localizada provocada pela exposição à solução salina a 5% durante 2 meses. Ao executar a leitura com o protótipo SDC foi possível observar regiões de preservação e degradação da camada de zinco.

O protótipo (Fig. 3) passou por teste em campo na linha de distribuição da Light no Rio de Janeiro e o resultado da leitura realizada na LTA pode ser observado no gráfico da figura 4, evidenciando regiões onde o processo corrosivo se mostra mais acentuado e regiões onde o revestimento de zinco se mostra preservado.



Figura 3: Sistema de detecção da corrosão em linhas de distribuição de energia.

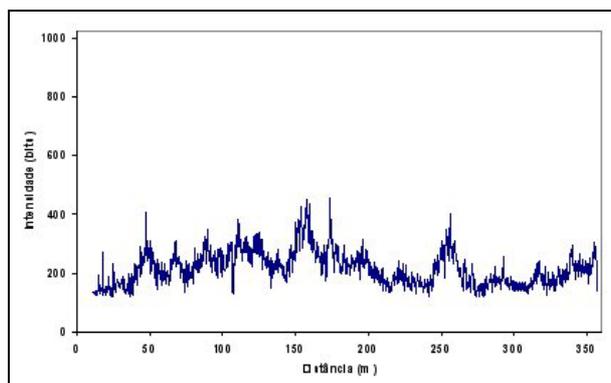


Figura 4: Gráfico de leitura realizada pelo SDC em teste de campo.

A tabela 2 apresenta um resumo das características do protótipo desenvolvido no projeto 050/04 de P&D ANEEL – ciclo 2003/2004 “Identificação de corrosão em cabos de alumínio com alma de aço em linha de transmissão”.

Tabela 2: Resumo das características do protótipo

Dimensões	409 x 225 x 506 mm
Peso	22 kg
Velocidade nominal	10 m/min
Velocidade máxima	14 m/min
Ângulo de trabalho	>25°
Sensibilidade	380%
Alimentação	12 V – 12 Ah
Autonomia	3400 m (4h)
Alcance RF	>1000 m

### 3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A inovação obtida na construção do transdutor associado ao software permitiu alcançar uma sensibilidade de medidas bastante superiores aos equipamentos similares.

O atual projeto demonstrou, em laboratório e em campo, a viabilidade técnica do Sistema de Detecção da Corrosão, porém é necessário numa segunda fase realizar a validação de resultados obtidos em campo.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 PERSSON, L. I., *Corrosion attack in midspan joints in ACSR transmission conductors*, Swedish State Power Board Materials Laboratory, Sweden, 2003.
- 2 SCHWABE, P. H, PIKE, D., *The measurement of corrosion in overhead power lines*, Anti-corrosion, Cormon ltd., South Street, Lancing, West Sussex bn15 8aj, 1988.
- 3 SHANNON, D. R., *Life Expectancy of conductors under live and off line conditions*, Shannon technology Corp, phoenix, Arizona USA, 2000.
- 4 LAVANDOSCKI, R., *Inspeção e análise de cabos de aço galvanizado e de ferragens para linhas de transmissão*, Linhas e Redes, Corrosão, GRUPO XII, GMI 023, XVI SNPTEE, 2001.
- 5 HAVARD, D. G., BISSADA, M. K. et al, “*Aged ACSR Conductors – PART II – prediction of remaining life*”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April 1992
- 6 YOSHIKE-GRAVELSINS, K. S., LEUNG, H., *Identification of corrosion products and corrosion process of ACSR conductors*, Ontatrio Hydro Research Division, MY, 18, report number 90-113-K, 1990.

- 7 BUCHAM, P. G., *Locating corrosion on operating transmission lines with an infrared camera – a feasibility study*, Ontario Hydro Research Division, report no 90-64-k, may, 1990.
- 8 SHANNON, D. G., *Life expectancy of ACSR conductors under live line and off line conditions*, SHANNON TECH. CO. , <http://www.shannontechnology.com/corrosion.html>, acesso em dezembro, 2004.
- 9 SCHWABE, P. H.; PIKE, D., *The measurement of corrosion in overhead power lines*, Cormon LTD., Anti-Corrosion, July 1988.