

# REDE DE MONITORAMENTO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO (RMLT): RESULTADOS DO PILOTO

*Yoshiaki Sakagami, Reinaldo Haas, Júlio Nelson Scussel, Rodrigo Grumiche Silva, Sergio Colle*

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, Brasil.  
yoshi@lepten.ufsc.br, reinaldohaas@gmail.

**RESUMO:** Neste artigo, faz-se uma descrição dos procedimentos e apresentam-se os resultados de um piloto de estações meteorológicas instaladas em torre de linhas de transmissão (LT). O Projeto RMLT (Rede de Monitoramento em Linhas de Transmissão) irá instalar uma rede de trinta estações meteorológicas ao longo de LTs. O piloto faz parte dos testes iniciais para verificar a funcionalidade de estações em LTs e auxiliar na especificação da estação. Foram testadas duas estações compactas de diferentes fornecedores. Estas estações foram instaladas no topo da torre e próximas uma da outra, durante sessenta e cinco dias. Numa comparação entre os dados das estações foi possível encontrar valores satisfatórios de RMSE. Foi verificado que a interferência da torre é pequena e que os campos eletromagnéticos podem ser contornados com uso de supressores de transientes e blindagem eletromagnética.

**ABSTRACT:** This article describes the procedures and shows the results of weather stations pilots installed on the top of transmission line tower. The RMLT Project (Line Transmission Network Monitoring) will install third weather station network near transmission line and this pilot is part of the initial tests to validate and specify these stations. Two weather stations pilot were installed from different manufactures. Theses stations were installed at the top of the tower and near each other during sixty five days. The data were compared and the results showed a satisfactory RMSE. It was verify that obstruction of the tower was small and the electromagnetic noise can be minimized by using surge protector and electromagnetic shield.

**Palavras-Chave:** Linhas de transmissão, variáveis meteorológicas, downscaling, carregamento dinâmico, previsões.

## 1. INTRODUÇÃO

O RMLT é um projeto do CT-ENERG - Fundo Setorial de Energia, executado pelo Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia – LEPTEN da Universidade Federal de Santa Catarina. O seu objetivo é implantar uma rede de estações ao longo do SIN (Sistema Integrado Nacional) que é composto por mais 80.000 km de linhas de transmissão em todo Brasil. Numa LT, as condições ambientais, como velocidade e direção do vento, temperatura do ar e radiação solar, controlam a capacidade das LTs transmitir energia elétrica, a chamada ampacidade. Condições ambientais críticas podem gerar sobre aquecimento dos cabos reduzindo a distância destes ao solo, podendo produzir perigosas descargas elétricas. Deste modo, o monitoramento destes parâmetros pode aumentar a segurança e permitir otimizar o carregamento das LTs a serem praticados.

Deste modo, o projeto RMLT tem o objetivo de mostrar a viabilidade técnica desta rede e estabelecer as diretrizes gerais a serem sugeridas para a ANEEL. Para consecução destes objetivos, o projeto RMLT irá instalar uma rede de trinta estações meteorológicas compactas ao longo de LTs distribuídas em três regiões diferente do Brasil: Sul, Sudeste e Nordeste. A localização das estações será estabelecida a partir de climatologia de regiões críticas, geradas por 10 anos de rodadas diárias do modelo ARPS (Xue et. al., 2000, Haas, R. 2002).

Os dados ambientais gerados pela RMLT deverão ter controle de qualidade, baseado em softwares, calibração em laboratório e verificação em campo (Gandin, L. S., 1988), auxiliada por um sistema de metadados (Brock et al 1995). Por fim, será gerada uma base de dados climatológicos em LT que dará subsídios a otimização da operação do SIN. O Projeto, que tem duração de três anos, foi iniciado em agosto de 2007. Neste artigo, serão descritos os procedimentos e apresentados os resultados de um piloto de estações instaladas em torre de uma LT.

## 2. METODOLOGIA

Para a realização do teste piloto, foi utilizado uma torre de 230 kV, no município de Santo Amaro da Imperatriz – SC, da linha Palhoça –Blumenau. O teste contou com a participação de dois fornecedores e o objetivo principal deste teste foi verificar a compatibilidade eletromagnética das mesmas. Foram ensaiados também os procedimentos de instalação por não especialistas em estações e testados os sistemas de transmissão via rádio e celular.

A estação compacta de ambos fornecedores é constituída por datalogger próprio, um conjunto de transdutores agrupados denominada de WXT510, um transdutor externo para radiação global solar, um sistema de alimentação fotovoltaico e um sistema de telecomunicação. O módulo WXT510 mede as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica e precipitação. A escolha das características das estações foi feita pelo fabricante a partir de recomendações iniciais como: compacta, baixa manutenção, incertezas dos sensores e preferência por ausência de partes móveis. As especificações técnicas dos sensores seguem as recomendações do Cigré (2006), ver Tabela 1, entretanto diferem em alguns aspectos das normas praticadas pela WMO (1983). Uma das dificuldades para atender todas as recomendações do Cigré é na exposição dos sensores, pois se recomenda instalar o anemômetro na altura do nível mais baixo da curvatura do condutor, e o sensor de temperatura numa altura média do condutor. Por razões de segurança, optou-se por instalar as estações no topo das torres de transmissão.

Variáveis	Sensores	WMO	Cigré	Exposição WMO	Exposição Cigré
Velocidade do vento (WXT)	$\pm 0,3$ m/s ou $\pm 3$ %	$\pm 0,5$ m/s	$\pm 0,5$ m/s	10 m	Altura da “sag” do condutor
Direção do vento (WXT)	$\pm 3^\circ$	$\pm 2^\circ$ to $5^\circ$	Não definido	10 m	Altura da “sag” do condutor
Temperatura do ar (WXT)	$\pm 0,3$ K	$\pm 0,2$ K	$\pm 1$ K	2 m	Altura média do condutor
Radiação solar (CM6 e CS300)	Primeira classe e $\pm 5$ %	$\pm 5$ %	Piranômetros de baixo custo	Livre de obstrução	Livre de obstrução

Tabela 1: Incerteza dos sensores e o mínimo recomendado pela WMO e Cigré.

No dia 27 de novembro de 2007 as estações A e B foram instaladas no travessão da Torre 019 da linha PAU-BLU (Palhoça – Blumenau), ver figura 1, em Santo Amaro da Imperatriz - SC e as medições foram feitas até o dia 12 de Fevereiro de 2008. A estação A era nova, portando as incertezas consideradas foram as fornecidas pelo fabricante. A estação B, ao contrário da A, não era nova, mas seu pouco uso fez com que a calibração do fabricante fosse a empregada. O alinhamento para o Norte verdadeiro foi através de um ponto de referência num horizonte distante. Este ponto foi encontrado através de uma bússola e sua declinação magnética foi corrigida em 18 graus. Foram armazenados dados médios, máximo e mínimo a cada 10 minutos das cinco variáveis meteorológicas num período total de 65 dias. Estes dados foram transmitidos via celular torpedo e rádio 900MHZ e desta maneira, fez-se um estudo comparativo dos dados da estação A vs. estação B.

### 3. RESULTADOS

Os dados foram validados através de uma análise de gráficos de séries temporal e observou-se uma falta de sincronia entre as estações ao longo do tempo. Os dois sistemas foram ajustados no horário GMT no início da instalação, porém a estação “B” tinha um GPS que sincronizava o relógio do datalogger, e a estação “A” contava-se apenas com o erro do relógio do datalogger, com erro de 1 minuto ao mês. O gráfico da velocidade mostrou uma sincronia entre as estações apenas nos dez primeiros dias de medição e desta maneira, foram utilizados apenas este período de análise. O restante dos dias observou-se um aumento na diferença entre as estações de 1% na média da velocidade do vento. Outro problema verificado foi que a estação “B” não foi nivelada corretamente ao contrário da estação “A” que tinha um suporte com três eixos para ajuste de nível. Através dos dados de componente U e V do vetor vento pode-se observar que a diferença estava na componente U, ou seja, a estação “B” estava inclinada para leste e por isso obteve-se um coeficiente angular entre “A” vs. “B” de 0.98, ou seja, uma subestimação da velocidade do vento em 2% em relação à estação “A” nivelada. Usando o procedimento descrito por Hollinger e Scott (2001) para verificar o efeito da obstrução da torre. A rugosidade média foi de 0.1168 m a uma altura de 19,5 m e basicamente os efeitos de obstrução foram pequenos e determinados pela vegetação e topografia local.

Nas medidas de radiação foi confirmado o desnivelamento da estação “B”, pois num dia de céu claro foi observada uma radiação maior que a estação “A” no nascer do sol e menor no ocaso. Apesar destes pequenos erros de instalação, foram calculados os valores de RMSE entre elas e obtiveram-se os resultados conforme a tabela 2.



Figura 1: Foto das duas estações meteorológicas compactas no topo da torre



Figura 2: Foto da torre de 230kV de Santo Amaro da Imperatriz. Face Oeste.

Variáveis	Coefficiente Angular	Coefficiente Linear	R <sup>2</sup>	RMSE
Velocidade do vento	0,981	0,04	0,996	0,23 m/s
Direção do vento	0,983	2,63	0,992	9,6 graus
Temperatura do ar	1,003	-0,26	0,998	0,1 K
Radiação solar (CM6 e CS300)	1,002	-1,23	0,996	19,8 W/m <sup>2</sup>
Ampacidade (Modelo Cigré)	0,978	24,25	0,989	19,9 A

Tabela 2: Resultados estatísticos de regressão linear da Estação A vs. Estação B.

#### 4. CONCLUSÕES

Durante o piloto, foram levantadas questões a respeito da exposição dos sensores, segurança dos equipamentos, logística, viabilidade de telecomunicação via celular e rádio e compatibilidade eletromagnética dos equipamentos instalados numa torre de alta tensão. Todas estas questões contribuíram para a melhoria no planejamento do projeto RMLT. Foi observado que um pequeno desnivelamento do equipamento pode gerar erros de exposição. A experiência de se colocar um GPS para sincronizar o relógio do datalogger foi muito positiva. Na direção do vento, a diferença entre as estações foi um offset de apenas 2,6 graus, o que mostra que a técnica de alinhar o norte verdadeiro foi muito boa na prática. Por fim, mesmo com pequenos erros de nivelamento do sensor e sincronia de tempo, os valores de RMSE foram satisfatórios e próximos das incertezas especificadas pelos fabricantes. Quanto à compatibilidade eletromagnética da estação foi verificado a necessidade de supressores de transientes e blindagem eletromagnética.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores gostariam de agradecer ao FINEP pelo financiamento do projeto RMLT.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIGRÉ WG 22-12, 1992. The thermal Behaviour of Overhead Conductors, section 1 and 2: Mathematical Model for Evaluation of Conductor Temperature in the Steady State and Application Thereof. Electra 144, out 1992.

CIGRÉ WG 12, Guide for Selection of Weather Parameters for Bare Overhead Conductor Ratings. Electra 227, 2006.

- Cosentino, Aldo et alii. 1993: Ampacidade Estatística de Linhas de Transmissão Aéreas com Condutores Alumínio/Aço (ACSR). Força Tarefa GCPS/GCOI.
- Cosentino, Aldo e Kosmann, Claudionor 2006: Elaboração de Metodologia para determinação de Riscos de descarga em Linhas de Transmissão., Trabalho efetuado para o ONS.
- GCOI Grupo Coordenador para Operação Interligada. Critérios para Carregamento de Linhas de Transmissão Relatório SCEL GTEE 07/86. de Dezembro de 1986
- GCPS Grupo Coordenador do Planejamento do Sistema Elétrico. Critérios e Procedimentos para a Determinação de Limites de Carregamento de Linhas Aéreas de Transmissão em Corrente Alternada 31 de Outubro de 1984
- Gandin, L. S., 1988. Complex quality control of metereological observations. Mon. Wea. Ver., 116, 1137-1156.
- Hollinger, Steven E. and Robert W. Scott. 2001. "Station wind characterization." In Automated Weather Stations for Applications in Agriculture and Water Resources Management: Current Use and Future Perspectives: Proceedings of an International Workshop 6-10 March 2000, Lincoln, Nebraska, USA. Lincoln, NE: High Plains Climate Center and Geneva, Switzerland: World Meteorological Society, WMO/TD No. 1074, pp. 63-75.
- World Meteorological Organization, 1983: "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation". Publication WMO No.8 (fifth edition), Geneva, Switzerland.
- Haas, R 2002: Simulações da chuva orográfica associada a um ciclone extratropical, no Litoral Sul do Brasil, Tese de Doutorado do DCA-IAG-USP, São Paulo-SP, dezembro de 2002.
- IEEE Standard 738. IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors, 1993
- Xue, M., K. K. Droegemeier, V. Wong, A. Shapiro, K. Brewster, F. Carr, D. Weber, Y. Liu, and D.-H. Wang, 2000: The Advanced Regional Prediction System (ARPS) - A multiscale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction tool. Part I: Model physics and applications. Submitted to Meteor. Atmos. Physics.