



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica  
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

<b>MARCELO LAUREDAN PIRES DE SOUZA</b>	<b>Osmar Pinto Jr.</b>	<b>PAULO CESAR ARPINI</b>
<b>Empresa Luz e Força Santa Maria S.A.</b>	<b>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</b>	<b>Empresa Luz e Força Santa Maria S.A.</b>
mpires@elfsm.com.br	osmar@dge.inpe.br	pcarpini@elfsm.com.br

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SOBRE MEDIDORES  
ELETRÔNICOS**

**Palavras-chave**

descargas atmosféricas  
medidores eletrônicos  
raios

**Resumo**

**Este artigo descreve os resultados do projeto de P&D realizado pela Empresa Luz e Força Santa Maria S.A. - ELFSM e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE com a finalidade de avaliar a sensibilidade de medidores eletrônicos frente a descargas atmosféricas. O estudo utilizou dados da nova rede brasileira de monitoramento de descargas atmosféricas (BrasilDAT) e uma metodologia inovadora. Os resultados indicaram, para a amostra de dados disponível, uma boa resistência dos medidores eletrônicos frente às descargas. Contudo, um estudo para uma amostra maior de medidores e para um período mais longo é sugerido, antes que se tenha uma conclusão definitiva.**

**1. Introdução**

A medição eletrônica no Brasil pode começar a deslançar a partir de 2012 no Brasil, com a substituição dos medidores convencionais ou eletromecânicos por medidores eletrônicos. Medidores de energia elétrica são equipamentos responsáveis por registrar, armazenar e indicar a energia elétrica utilizada em unidades consumidoras. Basicamente, existem duas tecnologias para medição de energia: os medidores de indução, conhecidos como eletromecânicos, mais antigos e formados por partes elétricas e mecânicas; e os medidores eletrônicos ou digitais, mais recentes e formados por circuitos eletrônicos sem partes móveis ou mecânicas. A medição eletrônica é um dos grandes desafios atuais do setor elétrico brasileiro. Desde 2009 tem-se trabalhado na gradual substituição dos medidores eletromecânicos por medidores eletrônicos no sistema de distribuição nacional. No país o parque de medidores consiste de cerca de 60 milhões de aparelhos. Embora

os medidores eletrônicos venham a trazer diversas vantagens tais como a possibilidade de tarifas diferenciadas e a redução das perdas não técnicas, tais medidores em sua grande maioria provém de fabricantes formados por multinacionais, cujos modelos existentes não são adequados às características das descargas atmosféricas de nosso país. Em particular, tais medidores não são adequadamente testados frente as características das descargas atmosféricas observadas em nosso país, seja em operação, seja em laboratório, neste último caso devido às limitações dos laboratórios de alta tensão existentes no país. O objetivo principal deste projeto é desenvolver uma metodologia para avaliar o desempenho de medidores convencionais eletromecânicos e de medidores eletrônicos instalados na rede de distribuição frente a descargas atmosféricas e a partir desta metodologia avaliar o desempenho dos mesmos quando em operação instalados na rede de distribuição. Os resultados desta análise podem dar subsídios para o aprimoramento destes dispositivos através da definição de novos parâmetros de corrente contínua das descargas atmosféricas para ensaios de medidores convencionais eletromecânicos e de medidores eletrônicos, contribuindo para a redução das perdas técnicas existentes na rede de distribuição, com isto trazendo ganhos financeiros a empresa e ao setor elétrico, bem como gerar métodos práticos a partir do monitoramento em tempo real das descargas atmosféricas para subsidiar estratégia de gestão de inspeções de unidades de consumidores, visando reduzir perdas não técnicas. Nenhuma pesquisa de P&D do programa Aneel tem abordado os efeitos das descargas atmosféricas sobre medidores eletrônicos ligados a clientes da rede de distribuição, dando ao projeto alto grau de originalidade e com alto potencial de inovação. Levando-se em conta a tendência verificada no Brasil e no mundo da substituição de medidores convencionais eletromecânicos por medidores eletrônicos na rede de distribuição e a falta de estudos relativos ao desempenho dos medidores eletrônicos frente à corrente contínua de descargas atmosféricas o projeto tem grande importância para o setor elétrico. A aplicabilidade dos resultados do projeto é grande visto a tendência verificada no Brasil e no mundo da substituição de medidores convencionais eletromecânicos por medidores eletrônicos na rede de distribuição. Já no que diz respeito à abrangência da aplicação, a metodologia desenvolvida tem ampla abrangência de aplicação para o setor elétrico, podendo ser utilizada por todas as empresas do país onde existam informações de descargas atmosféricas. Finalmente, a relevância do projeto consiste no fato de seus resultados terem um valor estratégico no que se refere à diminuição de perdas técnicas, que no Brasil atingem valores significativos.

## **2. Desenvolvimento**

A metodologia do projeto consistiu na melhora da rede de monitoramento no estado do Espírito Santo, em particular na área de atuação da ELFSM, de modo que seja possível estabelecer de forma precisa não só a relação de causa efeito entre a ocorrência de descargas atmosféricas nas vizinhanças de medidores instalados na área de concessão da empresa, como determinar com mais precisão as distâncias das descargas em relação à localização dos medidores. Para tal, um novo sensor de descargas foi instalado em um local estratégico de modo a melhorar a eficiência de detecção e precisão de localização das descargas na área de concessão da ELFSM.

As Figuras 1 e 2 abaixo mostram o sensor do tipo LS7000 fabricado pela empresa Vaisala instalado pelo projeto em Vitória, nas instalações de uma empresa local.



O sensor foi instalado em junho de 2011, após atrasos verificados no processo de importação e desembaraço alfandegário. O sensor LS7000 é um sensor de última tecnologia existente no mercado. Ele possui sensores elétrico e magnético capazes de detectar ambas as componentes eletromagnéticas das descargas atmosféricas com alta eficiência de detecção e precisão de localização quando operado em uma rede de sensores. Particularmente, no caso do Espírito Santo, este sensor está substituindo um antigo sensor do tipo LPATs instalado em Vitória em 1998, que detectava somente a componente elétrica da radiação emitida pelas descargas. Adicionalmente, a metodologia contemplou o desenvolvimento de um software georeferenciado que permitisse relacionar a ocorrência de descargas com danos em medidores. As Figuras 3 e 4 a seguir mostram detalhes da interface do software desenvolvido



Figura 3 - Interface inicial do software georeferenciado desenvolvido pelo projeto.

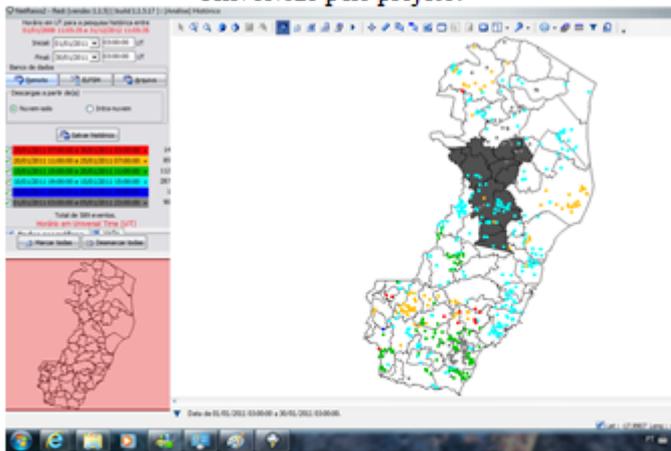


Figura 4 - Interface com localização de descargas em relação à área de atuação da empresa.

A utilização deste software permite analisar o desempenho dos medidores frente às descargas atmosféricas, com base nas informações de intensidade e polaridade das descargas. O software desenvolvido neste projeto denomina-se NetRaios versão 2.2, livre de licenças para a empresa. As informações acima são complementadas por informações de corrente de longa duração (também conhecida como corrente contínua) obtidas pelo INPE no Brasil recentemente.

#### .ESTUDO DE CASO (2010)

Em face da demora em realizar a importação e instalação do novo sensor de descargas, optou-se por aplicar-se a metodologia desenvolvida no projeto na análise de casos de danos de medidores eletrônicos ocorridas em 2010 (listados no Anexo 3), apesar do fato de que tais ocorrências pudessem não ser associadas com descargas atmosféricas em alguns casos devido às limitações de eficiência da rede neste período. Diante disso, foi feito um levantamento da ocorrência de medidores eletrônicos danificados e os eventos foram cruzados com a incidência de descargas atmosféricas próximas as localizações dos medidores. A partir do registro de 15 aberturas de inspeções em medidores eletrônicos danificados durante 2010, a análise encontrou um caso onde o dano tem alta correlação com a incidência de descargas próximas ao medidor. A ocorrência foi registrada no município de Colatina no dia 18/01/2010. A Figura 5 mostra a localização do medidor danificado e das descargas que ocorreram ao seu redor

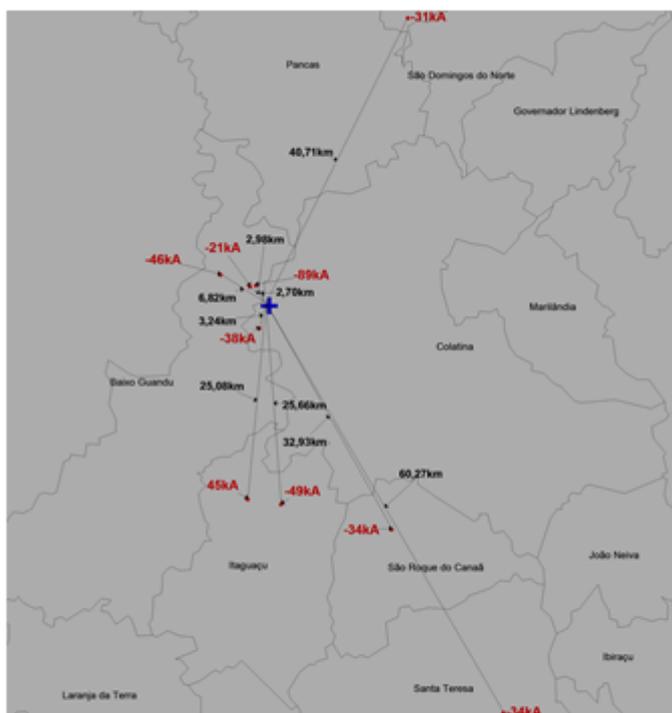


Figura 5 - Localização de medidor eletrônico e das descargas ao seu redor registradas em 18/01/2010.

Observa-se a ocorrência de três descargas a distâncias inferiores a 5 km do medidor, sendo a descarga mais intensa (-89 kA) localizada a 2,7 km do medidor. Como será mostrado a seguir, a ocorrência de três descargas evidencia uma alta probabilidade da ocorrência de correntes de longa duração na região de interesse. Considerando-se a baixa eficiência de detecção da rede RINDAT para o período de estudo (cerca de 30%) é possível que tal medidor tenha sido atingido por uma descarga com corrente de longa duração.

### .CORRENTES DE LONGA DURAÇÃO

De fundamental relevância para o projeto é a caracterização para o sudeste da componente de longa duração, componente esta responsável pela possível queima de medidores eletrônicos e a avaliação se estas características se enquadram nas atuais recomendações da IEC, utilizadas para teste de suportabilidade destes medidores. Para tal, foram utilizadas três técnicas de observação:

- a Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT), composta de 37 sensores operando na faixa de LF do tipo LPATS e IMPACT, instalados nos seguintes estados brasileiros: SC, PR, SP, MS, RJ, ES, MG e GO.

Devido à utilização de diferentes sensores e as alterações da configuração da rede ao longo dos últimos 10 anos, os dados da RINDAT necessitam ser corrigidos por um modelo de eficiência de detecção (MED) de modo a se obter dados confiáveis de densidade de descargas. A rede RINDAT, contudo, devido às suas características técnicas, não registra a componente de longa duração, havendo a necessidade de utilizar outras técnicas para tal finalidade (2).

- Câmera rápida e sensor de campo elétrico

Para o registro da corrente de longa duração foram utilizadas duas outras técnicas: câmeras rápidas operando entre 1.000 e 4.000 quadros por segundo (3) e sensores de campo elétrico em VLF desenvolvidos pelo ELAT/INPE (4). A Figura 7 e 8 ilustram estas técnicas. Ambas as técnicas utilizam o sistema GPS para o registro do instante da descarga. Enquanto ambas as técnicas permitem identificar com clareza a ocorrência da corrente de longa duração, as medidas de campo elétrico quando utilizadas conjuntamente com a localização das descargas obtidas pela RINDAT permite determinar a intensidade da corrente de longa duração



Figura 7 Câmera rápida utilizada para o registro da corrente de longa duração.



Figura 8 – Sensor de campo elétrico utilizado para o registro da corrente de longa duração.

A Figura 9 ilustra um mesmo raio medido por um sensor da RINDAT e pelo sensor de campo elétrico utilizado neste estudo. Enquanto os dados da RINDAT tendem a identificar as descargas impulsivas, os registros do sensor de campo elétrico tendem a identificar a corrente de longa duração. Já a Figura 10 mostra a identificação da corrente de longa duração em um registro da câmera rápida.

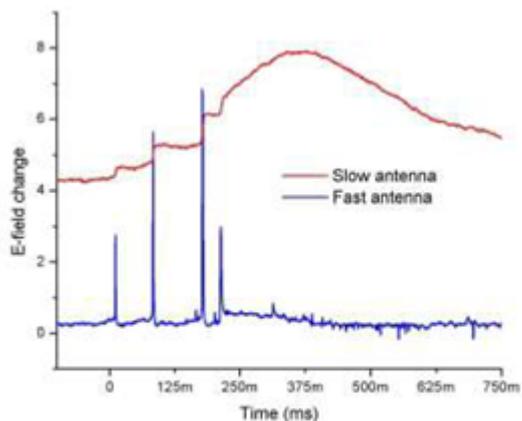


Figura 9 – Registros de uma descarga feitos por sensor de campo elétrico em VLF e por uma antena da rede RINDAT em LF.

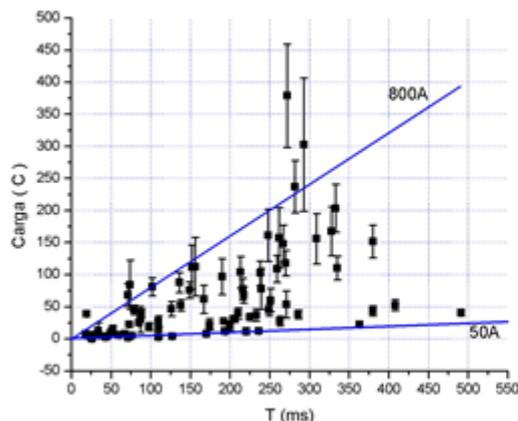


Figura 11 – Intensidade média e carga destruída para correntes de longa duração registradas em São José dos Campos, São Paulo.

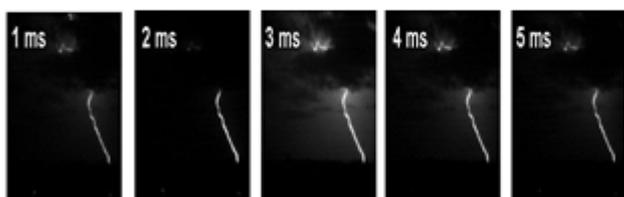


Figura 10 – Observação da corrente de longa duração em um registro da câmera rápida.

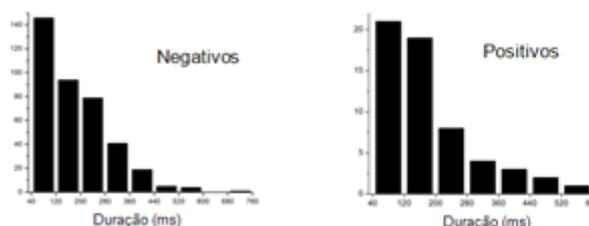
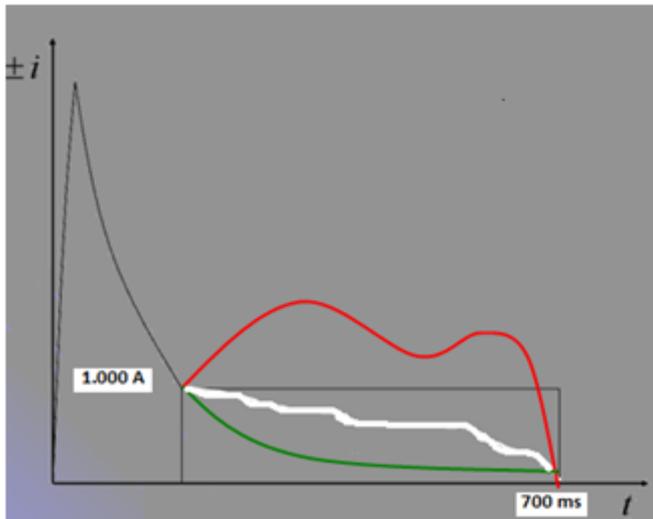


Figura 12 – Duração da corrente de longa duração em descargas negativas e positivas registradas em São José dos Campos, São Paulo.

Entre os principais resultados obtidos pelas observações, destacam-se valores de intensidade da corrente de longa duração superiores a 1 kA (valor médio de 327 A) e cargas elétricas associadas superiores a 300 C (valor médio de 45 C) para descargas negativas (registros de intensidade para descargas positivas estão em andamento). Já no que se refere à duração da corrente de longa duração, valores superiores a 500 ms para ambas as polaridades de descargas foram observados, com valores medianos de 145 ms e 139 ms, respectivamente. No que se refere às formas de ondas da corrente de longa duração, diferentes formas em geral apresentando múltiplos picos para ambas as polaridades de descargas foram observadas. Em relação às taxas de ocorrência da corrente de longa duração, verificou-se serem dependentes da intensidade da componente impulsiva da descarga no caso de descargas negativas. Finalmente, quanto à ocorrência da corrente de longa duração, 29% das descargas negativas (isto é, descargas que trazem cargas negativas da nuvem para o solo) e 67% das descargas positivas (isto é, descargas que trazem cargas positivas da nuvem para o solo) apresentam corrente de longa duração com duração superior a 40 ms. Estes resultados são ilustrados nas Figuras 11, 12 (acima) e 13 a seguir.



As observações de corrente de longa duração evidenciam valores de intensidade e duração acima dos valores adotados na maioria das normas de proteção, tipicamente 200 A e 500 ms. A forma de onda também pode ser bastante distinta, com picos de corrente superiores a 1 kA e cargas elétricas associadas superiores a 300 C. Tais observações sugerem que as normas devam ser revistas

#### .ESTUDO DE CASO (2011)

Após a instalação do sensor de descargas em junho de 2011, buscou-se avaliar os casos de queimas de medidores eletrônicos que pudessem estar correlacionados a incidência de descargas atmosféricas. Como no período de junho de 2011 após a instalação do sensor até dezembro de 2011 não foram registrados queima de medidores eletrônicos, fez-se uma análise da ocorrência de descargas atmosféricas em seu entorno para um total de 30 medidores eletrônicos no período (listados no Anexo 3). A Figura 14 mostra um exemplo de dados analisados para um destes medidores

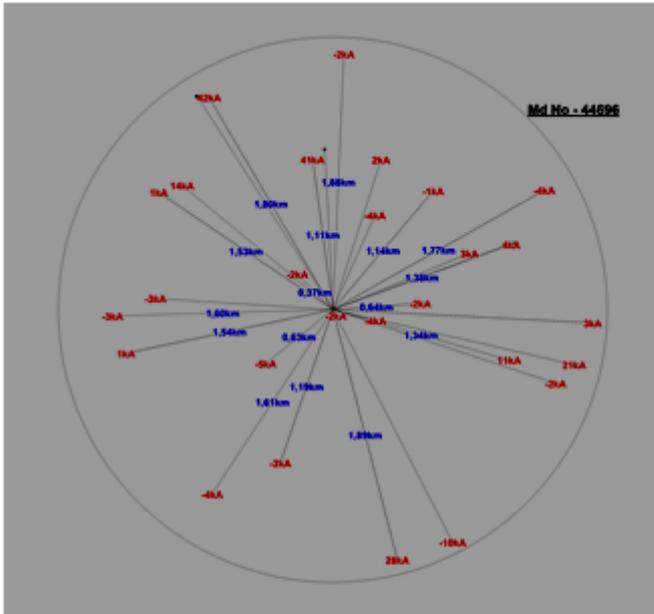


Figura 14 – Registro de descargas ocorridas entre junho e dezembro de 2011 ao redor de um medidor eletrônico que não sofreu avarias no período.

O resultado da análise é mostrado na Tabela 1 abaixo. Em particular, nota-se que ocorreram 4 casos de descargas acima de 30 kA em distâncias inferiores a 1 km dos medidores (-31 kA a 0,5 km e 0,1 km; -53 kA a 0,6 km e -41 kA a 0,8 km), sendo que um caso está no limite de precisão do sistema (0,1 km). Os dados mostram uma boa suportabilidade dos medidores, embora um período mais longo de observação é necessário pois na amostra utilizado não ocorreram descargas maiores que -60 kA ou descargas positivas.

Faixa de Pico de corrente (kA)	No. Eventos para distâncias menores que 2 km	No. Eventos para distâncias menores que 1 km
10-20	32	4
20-30	11	1
>30	23	4

### **3. Conclusões**

Com a instalação do novo sensor e a metodologia de análise desenvolvida pode-se obter pela primeira vez no país avaliar o nível de suportabilidade a queima de medidores eletrônicos devido a descargas atmosféricas. Tal avaliação é de extrema importância dado que observações preliminares feitas pelo INPE como parte deste projeto sugerem que as descargas no Brasil apresentam correntes de longa duração mais intensas e mais longas que em regiões fora dos trópicos, sendo que estas últimas são utilizadas pelas normas de proteção em geral. Os resultados obtidos, embora precisem ser estendidos para um maior período de tempo, sugerem uma boa suportabilidade dos medidores as descargas.

A instalação de um sensor de descargas pelo projeto cobrindo a área de atuação da empresa com alta eficiência permitirá nos próximos anos a obtenção de resultados de relevância para o setor elétrico, principalmente levando-se em conta o aumento do número de medidores instalados no país em decorrência da implantação de redes inteligentes.

Com a metodologia desenvolvida pelo projeto poderá ser analisado casos futuros de queima de medidores eletrônicos buscando avaliar com precisão o nível de sensibilidade destes medidores à descargas atmosféricas. Como sugestão de procedimento e levando-se em conta as incertezas na localização das descargas e no horário da queima do medidor quando houver, os técnicos da empresa deverão acompanhar com inspeções periódicas um conjunto de medidores e caso seja observada sua queima verificar através do software desenvolvido e implantado na empresa as descargas que ocorram na região em torno de 500 metros dos medidores no período entre inspeções sucessivas. A partir de uma amostra razoável de casos, valores médios de intensidade das descargas negativas e positivas observadas nos períodos associados a queima dos medidores deve ser comparados a valores equivalentes nas mesmas regiões em torno dos medidores em períodos sem ocorrência de queima dos medidores. Tal comparação permitirá definir com significância estatística o nível de sensibilidade destes medidores.

### **4. Referências bibliográficas**

*Livros:*

1. Pinto Jr., O. A Arte da Guerra Contra os Raios, São Paulo: Oficina de Textos, 80p., 2005.
2. Rakov V. A. e Uman, M. A. Lightning: physics and effects, Cambridge: Cambridge University Press, 850p., 2003.

*Periódicos:*

1. Saba., M. M. F., Ballarotti, M. G. e Pinto Jr., O. Negative cloud-to-ground lightning properties from high-speed video observations, *J. Geophys. Res.*, 111, D03101, doi:10.1029/2005JD006415, 2006.

*Relatórios Técnicos:*

1. Ferraz, E. C. Medidas de corrente contínuas em raios nuvem-solo negativos naturais no Brasil: desenvolvimento de instrumentação e primeiros resultados, Tese de Doutorado, INPE-15786-TDI/1529, 2009.), emitidos em 2005.
-