

DESEMPENHO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO COM CABOS PARA-RAIOS ISOLADOS E ENERGIZADOS

**JOSÉ EZEQUIEL RAMOS^{1*}, ALEXANDRE PIANTINI²,
VALDEMIR APARECIDO PIRES³, ARY D'AJUZ⁴, PAULO ROBERTO DE OLIVEIRA BORGES⁵**

¹ Prof. Dr. da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) e Engenheiro da Eletrobras Distribuição Rondônia, Porto Velho-RO; jer.pvh@gmail.com

² Prof. Dr. do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP; piantini@iee.usp.br

³ Tecnólogo da Eletrobras Distribuição Rondônia, Porto Velho-RO; valdemir.pires@eletrobrasrondonia.com

⁴ Engenheiro Me. e doutorando pela UNIFEI, Brasília-DF; adajuz02@gmail.com

⁵ Prof. Dr. da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Porto Velho-RO; paulomscborges@gmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018

21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: A isolação e energização dos cabos para-raios de uma linha de transmissão (LT) podem ser utilizadas para carrear potência em média tensão. Essa alternativa, ainda pouco difundida, foi implantada em Rondônia em alguns trechos da LT 230 kV entre a UHE Samuel e Ji-Paraná, sendo seus dois cabos para-raios energizados em 34,5 kV. Assim, neste trabalho é feita a análise da referida LT visando identificar se o seu desempenho frente a descargas atmosféricas foi comprometido. Metodologicamente essa análise foi realizada a partir de medições feitas em campo, ensaios em laboratórios, e um criterioso levantamento das interrupções registradas pela operação. Os resultados obtidos comprovam que a LT 230 kV não deteriorou seu desempenho ao operar com seus cabos para-raios isolados e energizados.

PALAVRAS-CHAVE: linha de transmissão, tecnologia cabos para-raios energizados, descargas atmosféricas.

TRANSMISSION LINES PERFORMANCE WITH ISOLATED AND ENERGIZED SHIELD WIRES

ABSTRACT: The isolation and energization of the shield wire of a transmission line (TL) can be used to carry medium voltage power. This alternative, which has not been widely disseminated, was implemented in Rondônia in some stretches of the 230 kV TL between the Samuel HPP and Ji-Paraná, being the shield wires energized at 34,5 kV. Thus, in this work the TL is analyzed aiming to identify if its performance against lightning discharges has been compromised. Methodologically, this analysis was developed from field measurements, laboratory tests, and a careful survey of the interruptions recorded by the operation. The results obtained prove that the 230 kV TL did not deteriorate its performance when operating with its insulated and energized shield wires.

KEYWORDS: transmission line, shield wire line technology, lightning discharges.

INTRODUÇÃO

A isolação de cabos para-raios de linhas de transmissão (LT) é uma técnica já bem conhecida e tem por finalidade reduzir perdas joules em sistemas de extra alta tensão (EAT) provocadas por correntes induzidas nos cabos para-raios, com aplicações conhecidas em alguns países, como por exemplo, na antiga União Soviética, Estados Unidos, Turquia, entre outros. Contudo, o conceito de utilização dos cabos para-raios de uma linha de transmissão (LT) como um circuito de distribuição de energia elétrica foi inicialmente apresentado por Andrews & Oakes (1960). Uma proposta utilizando conceito semelhante, porém mais abrangente, foi apresentada por Iliceto et al. (1984) e Iliceto et al. (1989), contendo uma extensiva abordagem teórica e com resultados práticos de um projeto experimental implantado em Gana. A experiência brasileira com esse tipo de sistema foi baseada nesse projeto. Essa experiência foi resultante de um convênio entre a ELETRONORTE e a concessionária

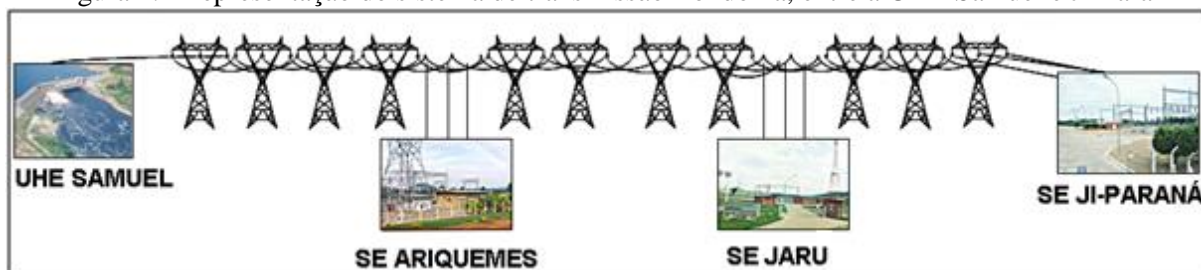
de distribuição de energia elétrica do Estado de Rondônia, as Centrais Elétricas de Rondônia (CERON), denominada atualmente como Eletrobras Distribuição Rondônia. Entre os vários esquemas possíveis de utilização da tecnologia PRE, utilizou-se o esquema trifásico, que consiste na energização dos dois cabos para-raios, como duas fases, e o solo como a terceira fase.

O projeto de implantação da tecnologia PRE em Rondônia, também denominada de sistema PRE de Rondônia, foi desenvolvido para atendimento a 6 (seis) localidades próximas à LT 230 kV, entre a Usina Hidrelétrica (UHE) Samuel e a Subestação (SE) de Ji-Paraná. Contudo, o projeto foi efetivamente implantado somente nas localidades de Jaru, denominado PRE Jaru, em operação no período de 30/12/1995 a 14/11/2000 e Itapuã do Oeste, denominado PRE Itapuã, em operação no período de 22/09/1997 a 28/02/2016. Portanto, são mais de 20 anos de experiência na utilização dos cabos para-raios isolados e energizados, em uma região com características ambientais totalmente diferentes de Gana. Assim, durante esse período, o desempenho da LT 230 kV teria sido afetado pela operação dos cabos para-raios isolados e energizados? Essa é a questão norteadora analisada neste trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

A LT 230 kV entre a UHE Samuel e Ji-Paraná, cujos dados físicos e elétricas estão apresentados em Ramos (2010), inicialmente foi subdividida em dois trechos: o primeiro, entre a UHE Samuel/Ariquemes, identificado como SMAQ. LT6.01.IGL.00, possui uma extensão aproximada de 151 km e um total de 384 torres; o segundo trecho, entre Ariquemes e Ji-Paraná, identificado como AQJP. LT6.01.IGL.00, possui uma extensão aproximada de 165 km e um total de 432 torres. Posteriormente, com a construção da Subestação na cidade de Jaru, localidade situada entre Ariquemes e Ji-Paraná, a LT 230 kV foi subdividida em duas linhas, ou seja: LT Ariquemes/Jaru (AQJR), que vai da torre 001 à torre 220 e LT Jaru/Ji-Paraná (JRJP), que vai da torre 001 (antiga torre 221) à torre 212 (antiga torre 432). Segundo Guedes (2003) o trecho de LT entre a UHE Samuel e Ji-Paraná atualmente compreende três linhas, quais sejam: a) trecho entre a UHE Samuel e Ariquemes (LT SMAQ); b) trecho entre Ariquemes e Jaru (LTAQJR); c) trecho entre Jaru e Ji-Paraná (LT JRJP). Na Figura 1 é feita uma representação simplificada dessas linhas e respectivas subestações associadas.

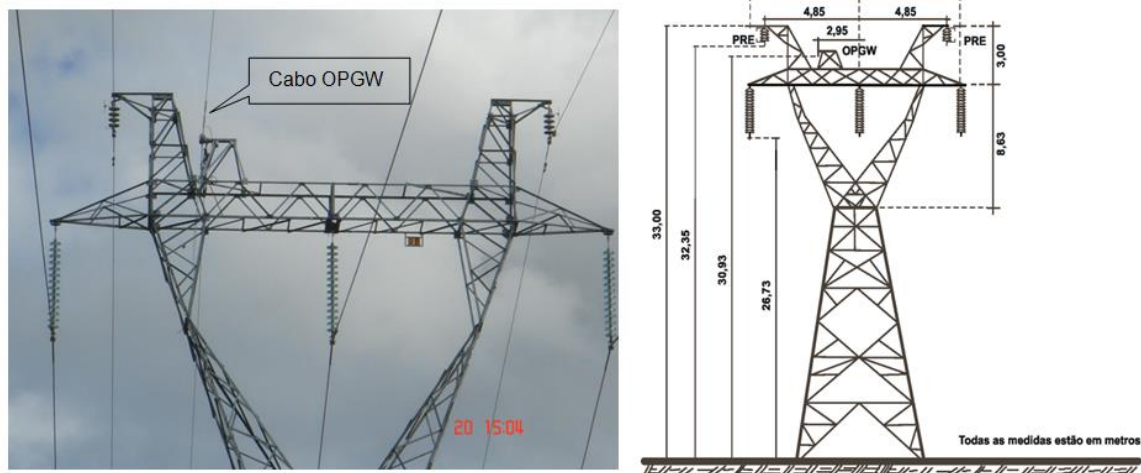
Figura 1. Representação do sistema de transmissão Rondônia, entre a UHE Samuel e Ji-Paraná



A isolamento dos dois cabos para-raios das torres é feita através de cadeia de isoladores rígido, formada por quatro isoladores de disco, com diâmetro de 254 mm, com as seguintes características: a) tensão suportável sob impulso: 260 kV; b) tensão suportável em 60 HZ a seco: 190 kV; c) tensão suportável em 60 Hz sob chuva: 130 kV; d) distância de escoamento: 1.200 mm; e) carga mecânica de ruptura: 4.000 kgf; f) ajuste máximo e mínimo entre os eletrodos do centelhador: 360 mm e 200 mm; g) peso líquido: 16 kg. Vale ressaltar que os eletrodos foram ajustados para um espaçamento de 330 mm.

No final de 2006 a ELETRONORTE concluiu a instalação de mais um cabo nas torres da LT 230 kV. Trata-se do cabo com fibra óptica (OPGW), utilizado para comunicação de voz e dados. No trecho entre a UHE Samuel e Itapuã do Oeste o cabo foi adicionado aos cabos já existentes. Nos demais trechos, um dos cabos para-raios foi substituído pelo OPGW. A forma final da cabeça da torre contendo os cabos para-raios isolados e o cabo OPGW é mostrada na Figura 2.

Figura 2. Características das torres da LT 230 kV do sistema de transmissão de Rondônia



A análise de desempenho da linha operando com os cabos para-raios isolados e energizados foi realizada com base nos seguintes procedimentos: a) Ensaios de laboratório na cadeia de isoladores dos cabos para-raios; b) Determinação da corrente crítica de ruptura; c) Estimativa do número de interrupções por descargas atmosféricas diretas; d) levantamento do número de interrupções de acordo com os registros operacionais (RAMOS, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tensão disruptiva crítica - “critical impulse flashover overvoltage” CFO - dos isoladores utilizados no sistema PRE, obtidas através de ensaios em laboratório, foram equivalentes a 278 kV e 281 kV para as polaridades negativa e positiva, respectivamente. Os testes foram realizados considerando o espaçamento de 33 cm entre os eletrodos do centelhador, sendo os valores das tensões referidos às condições atmosféricas de referência (pressão = 101,3 kPa, temperatura = 20 °C e umidade absoluta = 11 g/m³).

Na eventualidade de algum dos condutores do PRE ser atingido por uma descarga atmosférica, as tensões entre os terminais dos isoladores próximos ao ponto de incidência excederão a CFO da linha. Como consequência, descargas disruptivas ocorrerão na grande maioria das vezes, com consequente interrupção de fornecimento. O mesmo geralmente acontecerá se a descarga incidir na torre, pois a menos que a intensidade da corrente de descarga e a resistência de terra da torre atingida (R_t) apresentem valores muito baixos, haverá “backflashover”. No que diz respeito aos valores das correntes críticas resultantes das simulações, os resultados obtidos para o trecho entre a UHE Samuel e Itapuã do mostraram que a influência da ionização do solo é praticamente nula. Como era de se esperar, a presença do cabo OPGW está associada a correntes críticas mais elevadas, indicando que sua presença pode reduzir a possibilidade de ruptura na cadeia de isoladores e, conseqüentemente, a possibilidade de ocorrência de interrupção no PRE devido a descargas atmosféricas. De maneira oposta, altos valores de resistência de terra dos contrapesos das torres estão associados a menores valores de corrente crítica. Embora não indicados na Tabela 1, ao se considerar as descargas diretas nos cabos PRE todos os valores das correntes críticas são menores que 1,2 kA, independentemente de se considerar ou não o efeito da ionização do solo. Também foram feitas simulações de descargas diretas nos cabos para-raios energizados da linha PRE desconsiderando a presença do cabo OPGW. A corrente crítica nesse caso é igual a 0,9 kA, independentemente do valor da resistência de terra e da consideração do efeito de ionização do solo.

Diferente do que foi verificado nas simulações da linha PRE associada à LT SMAQ, verificou-se claramente a influência da ionização do solo sobre os valores das correntes críticas. Nas simulações de descargas atmosféricas nos condutores da linha PRE, o valor da corrente crítica para as torres com 33 m de altura é de 910 A para qualquer valor de resistência de terra, independentemente de se considerar a ionização do solo. Quando a torre considerada é a de 30 m de altura, a amplitude da corrente crítica é de 920 A.

Cumpra esclarecer que nas simulações não foi considerado o efeito corona. Isso conduz a uma análise conservativa, visto que o efeito corona provoca atenuação e distorção das sobretensões à medida que estas se propagam ao longo da LT.

No cálculo da estimativa do número de interrupções por descargas atmosféricas diretas, para a LT SMAQ, no trecho da linha PRE entre a UHE Samuel e Itapuã do Oeste, foram obtidos um total de 167 descargas diretas/ano, resultando em um número estimado de 164 interrupções/ano. Da mesma forma, para a LT AQJR, obteve-se um total de 193 descargas diretas/ano e um número estimado de 190 interrupções/ano. Adicionalmente, também foram analisados o impacto das descargas atmosféricas incidindo próximas à LT, cujo resultado indicou que cerca de 25% das interrupções no sistema PRE são provocadas por tensões induzidas advindas das descargas indiretas. Enfim, Todos esses resultados mostram que praticamente todas as descargas atmosféricas que atingem a LT, direta ou indiretamente, provocam interrupções no sistema PRE, independentemente do valor da corrente crítica.

Como resultado do levantamento das interrupções obtidos a partir dos registros feitos pela operação, no período de 1996 a 2007 foram registradas 2.321 interrupções no sistema PRE, sendo 690 interrupções atribuídas às descargas atmosféricas. No mesmo período, a LT 230 kV com uma extensão aproximada de 316 km entre a UHE Samuel e Ji-Paraná foi desligada 87 vezes, sendo 61 vezes por descargas atmosféricas. Estratificando esses valores por 100 km de linha por ano, a taxa de desligamentos da LT em relação ao número total de desligamentos é equivalente a 2,3 desligamentos/100km/ano. Se forem considerados apenas os desligamentos provocados por descargas atmosféricas, resulta em uma taxa de 1,6 desligamento/100km/ano.

De acordo com o levantamento feito por Fernandes & Machado (1999), sobre o desempenho das LTs compostas por estruturas de aço, tipo autoportante convencionais, operando em 230 kV na Região Norte, cobrindo o período de 1988 a 1998, ou seja, durante 11 anos, apresentaram um desempenho equivalente a 5,91 desligamentos/100km/ano. Em relação às descargas atmosféricas, o desempenho apresentado foi de aproximadamente 1,3 desligamentos/100km/ano. Cumpra salientar, que a LT 230 kV entre a UHE Samuel e Ji-Paraná foi projetadas admitindo-se desempenho frente a descargas atmosféricas equivalente a 2 desligamentos/100km/ano.

CONCLUSÃO

Apesar da isolação e energização dos cabos para-raios, as simulações realizadas, considerando os diversos valores de resistência de terra medidos, mostraram que praticamente todas as descargas atmosféricas diretas e parte daquelas que incidirem nas proximidades da LT resultarão em sobretensões com amplitudes superiores à tensão crítica de descarga disruptiva da linha PRE, isto é, do centelhador da cadeia de isoladores. Essa constatação está coerente com os resultados obtidos através do levantamento das interrupções no sistema PRE, realizados a partir de seus registros operacionais. Adicionalmente, vale ressaltar que as alterações na cabeça das torres para adequá-las à implantação da tecnologia PRE teve como consequência a redução no ângulo de blindagem, o que certamente contribuiu para melhorar o desempenho dos cabos para-raios na sua função principal de blindar a LT contra as descargas atmosféricas.

Comparativamente, o desempenho da LT 230 kV frente a descargas atmosféricas, equivalente a 1,6 desligamentos/100 km/ano é relativamente próximo daquele resultante do levantamento feito nas linhas em operação na Região Norte, cujo valor é de aproximadamente 1,3 desligamentos/100 km/ano. Outro fato importante é que a LT 230 kV aqui estudada foi concebida em projeto para um nível de desligamento por descargas atmosféricas igual a 2,0 desligamentos/100 km/ano.

A análise realizada no âmbito desta pesquisa permite concluir que a isolação e energização dos cabos para-raios da LT 230 kV do sistema de transmissão de Rondônia, de modo a permitir a operação do sistema PRE, não deteriorou o desempenho da LT frente a descargas atmosféricas. Esse resultado, ao tempo em que endossa o acerto das Empresas de Transmissão e Distribuição na aplicação da tecnologia PRE em Rondônia, apesar das incertezas sobre como seria seu desempenho na região, torna possível sua aplicação em outros projetos de LT.

Enfim, a tecnologia PRE oferece uma importante contribuição para o atendimento a pequenas comunidades próximas a LTs. É uma opção de compartilhamento entre a Transmissão e a Distribuição de energia elétrica, contribuindo para otimização das faixas de passagem das estruturas, bem como com o custo de implantação desses dois segmentos. Esse assunto deverá ser levado em consideração

pelo planejamento elétrico (EPE) e pelos órgãos de governo (MME e ANEEL), pois, como os modelos atuais da Transmissão e da Distribuição são totalmente distintos, têm impossibilitado novos empreendimentos desse e de outros tipos com a mesma filosofia de compartilhamento. Essa dificuldade tem contribuído com a falta de produtividade do setor elétrico brasileiro, hoje tão reclamada pela sociedade.

REFERÊNCIAS

- ANDREW, D. L.; OAKES, P. A. Wire shielding 230 kV line carries power to isolated area. *Electric Light and Power*, 15 July 1960, pp. 67-69 In: *IEEE Transactions on Power Delivery*, v.4, n.4, p.2130-44, Oct. 1989.
- D'AJUZ, Ary; ARAÚJO, Ana Maria R.; MONTALVÃO, Edmundo; MACHADO, Vanderlei G.; MENDES, Eloisa F. R.; ILICETO, Francesco; GATTA, F. M.; CINIERI, E. Linhas de transmissão com cabos para-raios energizados: uma solução econômica para o suprimento a comunidades isoladas. In: *SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*, 12, 1993, Recife. Anais. SNPTEE. Recife, 1993. Grupo VII: Planejamento de sistemas elétricos (GPL). 1 CD-ROM.
- FERNANDES, José Henrique Machado; MACHADO, Vanderlei Guimarães. In: *SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES EM LINHAS DE TRANSMISSÃO*. 1999, Rio de Janeiro: abr. 1999. CIGRÉ – SC 22.
- GUEDES, Vitor Tadeu. Redução de sobretensões em cadeias de isoladores da linha de transmissão 230 kV Samuel / Ji-Paraná. In: *PAINEL INTEGRADO DA QUALIDADE (PIQ)* 9, 2003, Porto Velho. Anais. Porto Velho, 2003. 1 CD-ROM
- ILICETO, F.; CINIERI, E.; CASELY-HAYFORD, L. Long lightly loaded HV transmission lines to expand electrification of developing countries: applications in Ghana. Paris: CIGRÉ, 1984. paper 37-11 .
- ILICETO, F.; CINIERI, E.; CASELY-HAYFORD, L.; DOKYI, G. New concepts on MV distribution from insulated shield wires of HV lines: operation results or an experimental system and applications in Ghana. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v.4, n.4, p.2130-44, Oct. 1989.
- RAMOS, José Ezequiel. Universalização da energia elétrica através da tecnologia cabos para-raios energizados (PRE). São Paulo, 2010. 347f. Tese (Doutor em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (IEE/USP). São Paulo, 2010.
- RAMOS, J. E.; PIRES, V. A.; PIANTINI, A.; NETO, A. Silva; CARVALHO, T. O. de; OLIVEIRA, Paulo R. Borges. Analysis of the effect of lightning on the energized shield wire line technology. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHTNING PROTECTION*, 11, 2011, Fortaleza. Proceedings. SIPDA. Fortaleza, 2011, pp. 267-261