



DESEMPENHO DE PÁRA-RAIOS DE CARBONETO DE SILÍCIO (SiC) EM SISTEMA DE POTÊNCIA

José Mak

Saburo Aita

Roberto L. Maciel

Mário Kubota

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL

RESUMO

O pára-raios de válvula utilizando carboneto de silício (SiC) como resistor não linear foi desenvolvido pela General Electric, EUA na década de 30¹. Sua forma construtiva foi desenvolvida para sistemas de transmissão solidamente aterrados.

Nos últimos 17 anos, houve inúmeras falhas de pára-raios no sistema da CPFL e foram analisadas cerca de 50 unidades danificadas. Constatou-se que a maioria das unidades possuía sinais de umidade (ferrugem) nos componentes internos e algumas unidades foram encontradas com perfuração nos resistores não lineares.

Dentro deste contexto, o presente artigo apresenta a evolução do problema em pára-raios convencionais na CPFL através de pesquisa de descargas múltiplas nas linhas de transmissão de 34,5 kV. Concluiu-se que a entrada de umidade e a perfuração dos resistores não lineares ocorrem pela falta de capacidade térmica dos resistores não lineares devido a elevado número de atuações, bem como pela alta corrente subsequente originada pelo sistema de aterramento e por descargas múltiplas durante tempestades.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de transmissão e geração da CPFL possui cerca de 1.300 unidades de pára-raios de carboneto de silício (SiC) com tensão nominais de 3, 5, 9, 12, 15, 30, 60 e 120 kV. Parte destes equipamentos foram introduzidos no sistema da empresa, durante expansão do sistema de transmissão. A empresa possui atualmente no sistema cerca de 380 unidades de pára-raios de centelhadores

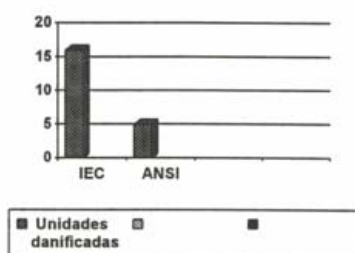
ativos (norma ANSI) e 498 unidades de centelhadores não ativo (norma IEC ou NBR) nas tensões de 30, 60 e 120 kV com capacidade de escoamento de 10 kA.

Na década de 70, iniciou-se a instalação de equipamentos nacionais fabricados em compatibilidade com a norma IEC 99 - 1. 1970. Porém, estes estão apresentando índice de falhas elevado, comparado com os equipamentos fabricados conforme a norma ANSI, os quais estão instalados no sistema da empresa desde década de 1940. Algumas unidades apresentaram falhas sem se observar aumento de corrente de fuga, que é o parâmetro utilizado atualmente para diagnosticar a deterioração do pára-raios.

Nos últimos 15 anos, houve 157 ocorrências de falhas em equipamentos em operação no sistema de transmissão e de 2 a 2,5% das 150.000 (aproximado) unidades instaladas no sistema de distribuição³. Foram realizados ensaios de campo e de laboratório em unidades retiradas das subestações e foi introduzidos a medição de corrente de fuga dos equipamentos em operação como manutenção preventiva. Entretanto, em algumas unidades não se obtiveram resultados satisfatórios quanto a prevenção de novas ocorrências.

O levantamento das falhas ocorridas em 21 unidades entre Jan/89 e Dez/92, indicou que há uma concentração das ocorrências no início da estação de chuvas nas classes de tensões de 30 kV (19%), 60 kV (76%), 120 kV (5%), a maioria (75%) era de multicentelhadores fabricados de acordo com a norma IEC 90.1.1970 (Figura 1) e

estava instalada nas subestações interligadas com linhas transmissão em estruturas de madeira e de concreto, sem cabo de guarda e sem aterramento efetivo.



Número de falhas dos pára-raios entre Jan./89 e Dez/92.

FIGURA 1

Os equipamentos sinistrados foram desmontados, tendo sido encontrados sinais de ferrugem nas partes metálicas internas na maioria das unidades, o que evidencia penetração de umidade. Nas unidades sem presença da umidade, os centelhadores estavam danificados e os blocos de carbono de silício estavam perfurados devidos a corrente de surto e seguida de corrente de curto-circuito em frequência industrial.

2. NÚMEROS DE DESCARGAS DE PÁRA-RAIOS

De janeiro de 1991 a março de 1993, fez-se acompanhamento dos números de descargas registradas no contador de descargas de 328 pára-raios em 106 subestações da classe de 120 kV no interior do Estado de São Paulo. Desse total, 85% das unidades não registraram descargas, 10% tiveram até duas descargas, 4 % tiveram de três a cinco e 0,6% tiveram mais de dez descargas .

Na subestação de Morungaba (município), os pára-raios de 30 kV registraram 345 descargas nas três fases, no período entre Jun/86 e Julho/87. Houve sete falhas de pára-raios, incluindo os contadores de descargas. Esta subestação está alimentada pela linha de transmissão de 34,5 kV com comprimento de 14 km, com estruturas de concreto, sem cabos de guarda e sem aterramento efetivo.

3. GRANDEZA DA CORRENTE DE DESCARGA PELO PARA-RAIOS

A grandeza de corrente de descarga pelo pára-raios das subestações é estimada entre algumas centenas de amperes a até centenas de quiloamperes. A análise feita através de sensibilidade dos contadores, revelou que 94% das descargas foram inferiores a 4.500 A

4. NÍVEL CERÁUNICO

As falhas dos pára-raios das subestações estão diretamente relacionadas ao nível cerâmico da região. Tais níveis são importantes para definição do projeto básico de coordenação de isolamento das linhas de transmissão e dos equipamentos a serem instalados em subestações e Usinas. Na área de concessão da empresa encontra-se de 70 a 120 ⁷ descargas por ano.

5. ROBABILIDADE DE DESCARGA DIRETA NA SUBESTAÇÃO

As falhas dos pára-raios são proporcionais ao números de descargas atmosféricas que recebem. Consequentemente, a probabilidade de uma descarga direta em determinada subestação é proporcional ao nível cerâmico da região. Esta probabilidade pode ser obtida através de fórmula⁸ :

$$Td = 0.04 Ni^{1,25}$$

Td = Número de descargas por km² / ano

Ni = Nível cerâmico da região

Por esta fórmula, encontra-se o número de 13 descargas diretas por km² na região de Riberão Preto. Ou seja, na SE Cravinhos 138/13,8 kV, que possui uma área de 10.000 m² , poderá ocorrer 0,13 descargas por ano ou uma descarga a cada nove anos.

Esta fórmula é válida para área plana . Entretanto, os fatores geológicos e físicos, tais como localização no topo do morro e existência de torre de sustentação na área da subestação e da linhas de transmissão, aumentam a probabilidade de descargas entre 250 e 300% . Portanto, o número de descargas nas estruturas da subestação e das linhas de transmissão pode elevar para uma descarga a cada dois anos, no caso acima.

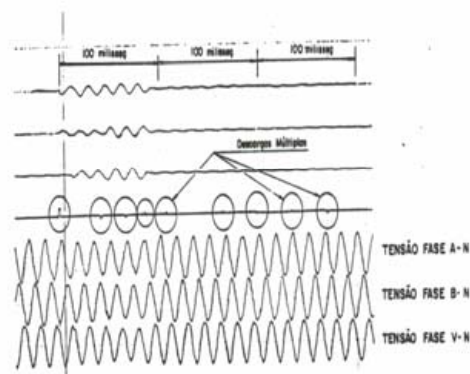
Num período de 16 anos, estes dados foram confirmados na SE Cravinhos, 138/13,8 kV, onde foram registradas tais ocorrências com centelhamentos nos barramentos de 15 kV e falha dielétrica do isolamento de alta tensão à terra do transformador de potência por descarga atmosférica.

6. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS MÚLTIPLAS

As descargas atmosféricas são formadas de vários estágios de descargas até a descarga final, composta de várias descargas durante curto espaço de tempo. As descargas registradas variam de uma até doze. Este fenômeno foi pesquisado em campo e concluiu-se que 28% das descargas atmosféricas registradas são múltiplas.

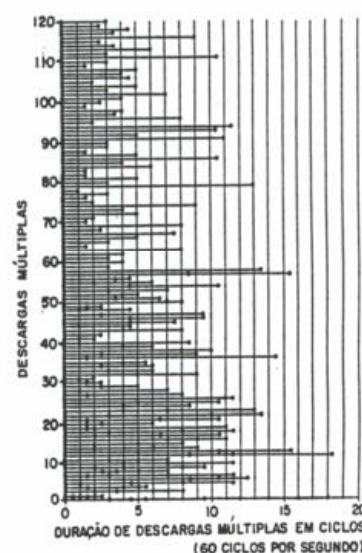
Desse total, 38% das descargas são formadas por duas descargas, 28% são compostas por três descargas, 19% são constituídas por quatro descargas e 15% são de cinco a doze descargas. Estas descargas ocorreram em tempo relativamente curto não superior a 40 ciclos (0,8 segundo), sendo que 90% das descargas ocorreram em intervalos aproximados de três a cinco ciclos^{10,11}.

Em pesquisa realizada num período de sete meses de Agosto/93 a Fevereiro/94 no sistema de transmissão de 34,5 kV da CPFL, com extensão de 11 km em estrutura de circuito duplo, sem cabo de guarda, foi registrada 225 descargas, sendo que 55% das descargas eram múltiplas (figura 2). Desse total, 52,5% são de duas descargas, 28,3% são de três descargas, 11,6% são de quatro descargas, 5,8% são superiores a seis descargas com máximo de nove descargas e tempo máximo de 17 ciclos (0,27 segundos), O intervalo entre descargas varia de 1,5 a 3,5 ciclos na base de 60 Hz (figura 3).



Descargas atmosféricas múltiplas na linha de transmissão de 34,5kV na SE Sosas

FIGURA 2



Distribuição de descargas atmosféricas múltiplas na linha de transmissão de 34,5Kv, registradas na SE Sosas.

FIGURA 3

7. RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DO PÁRA-RAIOS

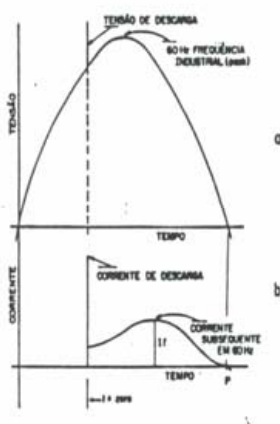
Medindo-se as resistências de aterramento das subestações de 34,5 e 69 kV da empresa com método tradicional, encontraram-se valores entre 5 e 15 ohms. Em corrente de surtos, tais resistências são reduzidas de 45 a 50% do valor medido pelo instrumento¹², Embora isto não justifique as falhas do pára-raios é

altamente prejudicial para isolamento dos equipamentos em geral devido ao aumento da tensão residual.

8. CORRENTE SUBSEQUENTE

O pára-raios de válvula de carboneto de silício é formado por vários centelhadores e resistores não lineares montados em série, sendo o número de unidades proporcional a tensão nominal. Na disrupção dos centelhadores devido a sobretensão, visto que estes não têm características próprias para extinção de arco, é necessário o auxílio de resistor não linear para reduzir a corrente subsequente.

Entretanto, ocorre outro problema após a atuação do pára-raios pelo surto. Este passa a atuar como uma impedância (resistor) inserida entre fase e a terra. Com isso, haverá circulação de corrente em função da tensão nominal do sistema e do valor da impedância do pára-raios, que está em série com impedâncias do sistema. Após a atuação do pára-raios, a corrente subsequente só será interrompida no momento em que passar pelo zero com auxílio do resistor (ponto P da Figura 4). Isto acarreta maior aquecimento do pára-raios (resistores) devido à soma das potências dissipadas por meio da corrente de surto e de corrente subsequente¹³. A grandeza da corrente subsequente no pára-raios é dependente do sistema de aterramento utilizado. Por exemplo, no sistema de aterramento sólido pode chegar até no valor de 600 a 700 A crista¹⁴.



A forma de corrente subsequente em 60 Hz

FIGURA 4

9. NÍVEL BÁSICO DE IMPULSO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

O isolamento das linhas de transmissão no sistema deve ter coordenação dos isolamento com equipamentos das centrais elétricas, para que o sistema suporte eletricamente as condições adversas de origens internas e externas. No sistema da CPFL, 80% das falhas com desligamentos permanentes e transitórios estão concentrados nas épocas da chuva e são provenientes de descargas atmosféricas

O nível básico de isolamento utilizado pela CPFL nas linhas de transmissão de 34,5 é de 200 a 300 kV¹⁵ para tempo seco. Com o umedecimento das cruzetas pela chuva, esses valores ficam entre 130 e 195kV¹⁶. Para as linhas de transmissão de 69 kV, quando secas, a faixa é de 400 a 500kV e de 260 A 325kV, com umedecimento das cruzetas pela chuva.

As tensões de surto provenientes de descargas atmosféricas diretas e indiretas, aliadas ao alto nível de isolamento, fazem com que as tensões de surto sejam transmitidas sem amortecimentos^{17,18}. Esta energia será conduzida através de pára-raios.

10. CARACTERÍSTICAS DO CARBONETO DE SILÍCIO

O bloco de SiC é formado de carboneto de silício e cerâmica (argila) com baixa percentagem de impureza com alumínio, ferro e outros materiais e sintetizado em forno a temperatura entre 1.200 e 1300 graus centígrados¹⁹.

A resistência elétrica é devida a uma película de silício na superfície de seus cristais. Esta película possui espessura de 10^{-5} cm e atua como limitador de corrente²⁰, ou seja, como resistor. Os grãos dos cristais de SiC não são uniformes, sua formação do bloco é porosa e sua condutividade é variável.

A impedância dos blocos de SiC (conjunto de blocos) varia em função da magnitude da corrente e da taxa de crescimento da tensão, sendo reduzida quando percorrida pela elevada corrente proveniente de um surto. Este baixo valor de resistência

elétrica percorrida pela corrente de descarga produz uma tensão (residual) cujo valor é definido pela norma. A corrente passante nos resistores resulta numa potência dissipada em forma de calor dada pela fórmula I^2R , o que diminui a resistência elétrica da camada isolante da sílica. Depois da dissipação da energia proveniente da sobretensão, a corrente de descarga diminui e a resistividade interna do bloco aumenta devido à rápida dissipação do calor. Este fato provoca uma redução do valor da corrente subsequente, que atinge um valor que poderia ser facilmente interrompido na passagem de zero da corrente em frequência industrial.

O bloco é projetado e fabricado com sua superfície de contato metalizada para se obter uma resistência uniforme em toda sua área. No entanto, a condutividade interna não é uniforme devido à falta de orientação molecular, à forma, à porosidade e ao tamanho do granulado dos cristais. Em resumo, a corrente de descarga concentra-se em determinada região do bloco, e não se distribui em toda a sua superfície. Como a corrente concentra-se em determinado local, este se aquece e reduz a sua resistência elétrica, o que favorece ainda mais a circulação de corrente. Visto que a dissipação de calor pelos blocos é diferente em descargas múltiplas, esta sequência torna-se cíclica e a resistência interna do pára-raios atinge um valor bastante reduzido.

Neste instante, a impedância do circuito é considerada apenas impedância do sistema. Esta baixa resistência não é capaz de limitar a corrente subsequente em valor seguro que possa ser interrompido pelos centelhadores no instante em que passa pelo zero.

Acapacidade de escoamento de corrente subsequente, exigida pelas normas básicas IEC 99-1- 1970 e NBR 5287-1987 é adequada para sistemas que possuem limitação de corrente à terra com neutro do transformador aterrado através de resistor, de reator e de sistema isolado. Porém, os equipamentos fabricados de acordo com essas normas não são adequados para o sistema de neutro solidamente aterrado em região que têm alto nível de descargas atmosféricas, incluindo múltiplas.

10.1 CARACTERÍSTICA TÉRMICA DO CARBONETO DE SILÍCIO

A não linearidade dos elementos resistivos é obtida pela elevação de temperatura dos blocos ^{1,19,20}, através de calor, que é o resultado da potência dissipada devido à corrente passante. Entretanto, em caso de descargas múltiplas durante uma tempestade, poderá ocorrer aquecimento localizado excessivo causado pelas correntes de descargas de surtos e pelas correntes subsequentes, provocando ruptura térmica desta semicondutividade.

Por exemplo, a perda de calor em joules nos resistores para diversas formas de corrente de descarga, em um pára-raios, de tensão nominal de 30Kv, fabricado conforme norma NBR 5287 (1987), é calculada pela seguinte fórmula:

$$E = \int_0^t R \cdot I^2 \cdot dt \quad (\text{joule})$$

Onde:

I = Corrente de descarga de surto e subsequente, variando entre 5,000 e 10.000 A, incluindo corrente subsequente de 60 Hz. Porém, o cálculo não está considerado o calor gerado pelo arco pelo centelhadores.

dt = Forma de corrente de surto 8 x 20 microssegundos e corrente subsequente de 6 milissegundos (30 graus).

R = Resistência do SiC em ohm

E = Perda em joule

1. Corrente de surto de 10 kA

$$E_{10} = 4.800 \quad \text{Joule}$$

2. Corrente de surto de 5 kA

$$E_5 = 2.150 \quad \text{Joule}$$

3. Corrente subsequente normalizada de 150A crista (75 A rms) ²¹, t = 6 milissegundos (30 graus)

R = 130 ohms

$$E_{60} = 130 \cdot 75^2 \cdot 6 \times 10^{-3} = 4.387 \quad \text{Joules}$$

$t = 6$ milissegundos (30

1 ciclo (60 Hz) = 16,66 milissegundos

Pelos cálculos acima, a potência dissipada em calor devido à corrente de descarga de surto seguida pela corrente subsequente supera a capacidade térmica dos resistores em apenas quatro descargas de corrente subsequente (capacidade térmica deste pára-raios é de 14,7 kJ).

A seguir, apresenta-se o cálculo para determinar a grandeza da corrente subsequente da SE Morungaba, utilizando as impedâncias do sistema .

Dados da subestação ²²

Imp. de seq. positiva ZI = 124 % 68

Imp de seq. zero - ZO = 289 % 77

Tensão do sistema E = 34,5 kV

Calculando a corrente de falta fase a terra (I_{pr}) através do pára-raios é

$I_{pr} = 0,0867 - 7,58 \times 1.678,58$

$I_{pr} = 145,09 - 7,58 \text{ A}$

Portanto, a corrente subsequente no pára-raios é de 145 A. rms, que é 93% maior que os A rms estabelecido tanto pela IEC 99-1. 1970 e também pela NBR 5287.1987.

11. TIPOS CONSTRUTIVOS

11.1 PÁRA-RAIOS COM CENTELHADORES ATIVOS

A grande parte do problema térmico que ocorre no caso de descarga múltipla é solucionada pela introdução de centelhadores com dispositivos magnéticos em série com resistores não lineares. O índice de falha deste tipo de pára-raios está em tomo de 24% do total..

Os pára-raios limitadores são formados de centelhadores e dispositivos magnéticos montados em série. Este dispositivo tem a finalidade de reduzir o tempo e da grandeza de condução de corrente subsequente através de fluxos magnéticos gerados pela própria corrente passante

(bobina) e outro é feito através de fluxo permanente (ímã permanente). O objetivo é de reduzir o desgaste dos eletrodos dos centelhadores com alto poder de interrupção, inclusive redução de aquecimento dos elementos resistíveis com a redução de tempo de condução e aumentar a capacidade térmica, sem alterar o nível de corrente subsequente pela potência de curto-circuito.

Os ensaios de comparação entre pára-raios de multicentelhadores e centelhadores ativos, verificou-se queda acentuada na capacidade (ou sem) de interrupção nos multicentelhadores com aumento de corrente subsequente e dos tempos (1/2 e 3 ciclos). Porém, no pára-raios de centelhadores ativos com sopro magnético, manteve sua capacidade de interrupção até 1.000 A (crista) incluindo o tempo de condução até 3 ciclos²³.

11.2 PÁRA-RAIOS DE MULTICENTELHADORES

Este tipo de equipamento foi desenvolvido e instalado no sistema elétrico dos países que limitam a corrente de falta monofásico e apropriado ao sistema de aterramento adotado por razões geológicas e da segurança no sistema de telecomunicação. É largamente utilizado no sistema isolado ou aterrado com resistor, reator nos neutros dos transformadores, sem maior problema operacional, em regiões que têm menor incidência de descargas atmosféricas. A falha deste tipo de equipamento está em torno de 76 % do total.

13. PENETRAÇÃO DA UMIDADE

Ao se analisar os equipamentos danificados, foram verificadas a existência de ferrugem nos componentes internos . Tal fato é causado pela penetração de umidade a médio e longo prazo devido à atuação de válvula de segurança ou pela vedação. Esta atuação é motivada pelo aumento da pressão interna devido ao aquecimento excessivo dos componentes internos, principalmente dos resistores não lineares. O aquecimento ocorre devido à elevada quantidade de atuações em curto espaço de tempo durante temporal, em especial pelas descargas múltiplas. A pressão interna do pára-raios será negativa após normalização da temperatura do

corpo, conseqüentemente facilitará a entrada da ar úmido no seu interior.

A umidade no interior do pára-raios não causa falha imediata, mas este reduz a capacidade de interromper corrente subsequente após descarga de surto. Portanto, o acompanhamento através de medição de corrente de fuga é importante para estimar o estado dielétrico dos componentes (estado de isolamento) sem utilizar os instrumentos especiais em operação para detectar sua deterioração.

As falhas dos equipamentos são consequência da queda de resistência dielétrica dos centelhadores e dos componentes internos e da parte superficial interna da porcelana. A disrupção dos centelhadores (arco) pela sobretensão de surto eleva a temperatura, conseqüentemente haverá formação de vapor no seu interior.

A queda da rigidez dielétrica compromete a recuperação do isolamento, na deionização dos centelhadores e a limitação de corrente pelos resistores não lineares. Porém, a queda de rigidez dielétrica e a redução da capacidade de deionização dos centelhadores poderá conduzir corrente de 60 Hz, após passagem da corrente subsequente. Isto compromete diretamente a confiabilidade operativa.

14. CONCLUSÕES

A falha do pára-raios de carboneto de silício (SiC) é originada pela falta de capacidade térmica dos blocos de resistores não lineares devido a elevado número de descargas atmosféricas indiretas seguidas de correntes subsequente, principalmente nos pára-raios de multicentelhadores sem dispositivo limitador.

A instalação de cabos guarda e aterramentos efetivos das estruturas de linhas de transmissão reduz as falhas dos pára-raios da subestação.

A área de concessão da CPFL tem elevado índice de descargas atmosféricas, incluindo descargas múltiplas. Os pára-raios fabricados segundo as normas básicas IEC 99-1(1970) e NBR 5287 (1987) não atendem as condições atmosféricas por falta de capacidade térmica dos resistores

não lineares em correntes de descargas de surtos e de elevado corrente subsequentes para o tipo de aterramento adotado no sistema de transmissão.

15. RECOMENDAÇÃO

Introduzir o pára-raios de óxido de zinco (ZnO) no sistema elétrico da CPFL (geração, transmissão e distribuição) devido a sua alta suportabilidade de corrente de descarga em surtos e ausência de corrente subsequente.

16. REFERÊNCIAS

1. MACHERON, K.B. "Thyrite a New Material for Lighting Arrester" AIEE Transactions, April 1930, pag. 410-420.
2. MARTTNEZ, M e Outros " Medição de Corrente de fuga uma Alternativa para a Manutenção Preventiva de Pára-raios Tipo Carboneto de Silício" X SNPTEE, Curitiba, 1989
3. CIPOLI, J. A. " Proteção de Sistema Elétricos de Distribuição contra Sobretensão" II Seminário Internacional de Proteção Contra Descargas Atmosféricas. Guaratingetá. Julho/92.
4. GROSS, I. W. e McNORRIS, W. A. " Lighting Current in Arrester at Stations. AIEE Transactions, Vol.59, Aug. 1940, pag. 417-422.
5. McEACHRON, K.H. e McMORRIS, W.A." Discharge Current in Distribution Arrester 2" AIEE Transactions, June 1938, Vol.57 pag.307-314
6. ROSS, I.W, McCANN,G.D. e BECK,E. "Field Investigation of the Characteristics of Lighting Current Discharged by Arrester" AIEE Transactions. May 1942, Vol.61, pag. 266-271.
7. Relatório de Ceraunometria, Companhia Energética de Minas Gerais - CEM3G. Dez.85.
8. ABNT " Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas" NBR-5419,Jun.1993.
9. WAGNER, C.F, McCANN,G.D. e LEAR,C.M. "Shielding of Substations"

- AIEE Transactios. Feb.1942, Vol.61, pag. 96-100
10. McEACHRON, K.B. "Multiple Lighting Strokes" AIEE Transactions, Dec. 1934, pag. 1633-1637
 11. McEACHRON, K.B. " Multiple Lighting Stroke 2" AIEE Transactios, Vol. 57. 1938, pag 510-512
 12. BELLASCHI, P.L, ARMINGTON, R.E. e SNOWDEN, A.E. "Impulse and 60 Hz Characteristics of Driven Grounds
 13. W.J. RUDGE, W.A. MCMORRIS, S.B. HOWARD and T.J. CARPENTER " The New Thyrite Magne-Valve Station Lightning Arrester" AIEE Transactions, Aug. 1954. pag. 912 - 920.
 14. A. G. "New Current-Limiting Gap Extends Valve-type Lighting -Arrester Performance". AIEE Transactions, Aug. 1959, pag. 462 -467.
 15. Transmission and Distribution Reference Book. Westighouse, 1950
 16. DARVENIZA, M. "Eletricaí Properties of Wood and Line Design" University of Queensland Press, St Lúcia, Queensland 1980.
 17. WAGNER, C.F, e McCANN, G.D. "Induced Voltage on Transmission Line" AIEE Transactions, Vol. 61, 1942, pag. 916-920
 18. WAGNER, C.F, GROSS, I.W. e LLOYD, B.L. " High- Voltage Impulse Test on Transmission line" AIEE Transactions, April 1954, pag. 196 - 222
 19. ASHWORTH, F. NEEDHAM, W e SILLARS, R.W. "Silicon Carbide Non-Linear Ohmic Resistors" Journal of the IEEE, Sept. 1946, pag. 385 -405
 20. FETTERLEY, G. H. " Eletricaí Conduction in Silicon Carbide" Journal of the Electrochemical Society, Vol. 104, N 5. May 1957, pag. 332-347.
 21. TOWNE, H. M. "Lighting Protection of Substations" Conference of Southwestern Electric Exchange, March. 1951. Conference - Austin, Texas, Oct. 20, 1953. pag. 29-30.
 22. Relatório Técnico. " Cálculo de Corrente de Curto-Circuito do Sistema" Cia Paulista de Força e Luz. OSPP 12/94.
 23. Eletricaí Engineer Handbook. JEEE, 1951. Em Japonês.
 24. Lighting Arrester Seminar, General Electric Co.
 25. ANSI C62.1-1975. American National Standad -Surge Arresters for Alternating-Current Power Circuits.
 26. IEC - International Eletrotecnical Commission, Publication 99-1 Lighting Arresters, Part 1: Non Linear Resistor Type Arrester for A. C System, 1970.