

Sobretensões e Sobrecorrentes em Redes de Baixa Tensão com Cabo Multiplexado causadas por Descargas Atmosféricas

A. Piantini, IEE/USP, W. Bassi, IEE/USP, N. M. Matsuo, EPUSP, e S. Nosaki, ELEKTRO

Resumo - Este artigo apresenta alguns resultados obtidos ao longo de um estudo desenvolvido com o objetivo de analisar as características dos surtos atmosféricos em redes de distribuição de baixa tensão utilizando cabo multiplexado, considerando-se a ocorrência de descargas atmosféricas diretas na rede primária. Foram também analisadas as solicitações às quais estão submetidos os dispositivos de proteção contra surtos instalados nessas redes. O estudo foi realizado por meio de simulações computacionais utilizando o programa ATP (*Alternative Transients Program*). Os modelos para a representação dos componentes da rede foram desenvolvidos em estudos anteriores, embora testes adicionais tenham sido realizados em laboratório para avaliar o modelo utilizado para representar o comportamento do cabo multiplex frente a transitórios. A partir dos resultados obtidos foram elaboradas recomendações a respeito da proteção das redes de baixa tensão e definidos os requisitos e critérios de utilização dos dispositivos de proteção para assegurar um bom desempenho da rede.

Palavras-chave – baixa tensão, cabo multiplexado, descargas atmosféricas, dispositivos de proteção contra surtos.

I. INTRODUÇÃO

Com respeito à qualidade de energia fornecida aos consumidores em baixa tensão, o problema dos surtos na rede secundária decorrentes de descargas atmosféricas diretas na rede primária assume especial importância. Embora nesse caso a rede de baixa tensão seja menos solicitada que no caso de ser atingida por descargas diretas, a maior frequência de ocorrência dessa situação acaba sendo preponderante, de modo que os requisitos a serem atendidos pelos dispositivos de proteção devem ser definidos com base nesse fenômeno.

Estudos anteriores foram desenvolvidos a respeito das sobretensões em linhas de baixa tensão, levando-se em consideração linhas de diversas configurações [1, 2]. Nesses estudos considera-se com maior ênfase as redes secundárias abertas, com cabo nu, sendo a rede com cabo multiplex tratada apenas superficialmente. Entretanto, a tendência crescente de utilização desse tipo de rede justifica a

realização de um estudo específico para essa configuração.

A forma de representação do cabo multiplex nas simulações merece uma preocupação especial, pois esse tipo de cabo possui algumas particularidades em relação à rede de construção aberta: maior proximidade entre um condutor e outro, presença de isolamento sobre os condutores fase e a disposição helicoidal destes sobre o condutor neutro. Essas particularidades suscitam dúvidas quanto à adequada modelagem do cabo para as simulações, embora algumas referências internacionais desprezem os efeitos desses fatores [3, 4]. O método de abordagem adotado foi o de representar da melhor forma possível os parâmetros do cabo com os recursos disponíveis no programa computacional ATP (*Alternative Transients Program*), simulando um circuito montado em laboratório e comparando-se os resultados de medição e cálculo. Dada a importância da inclusão do comportamento da isolamento das redes nas simulações, foram também realizados ensaios de suportabilidade a impulsos em arranjos típicos da rede multiplexada.

Nos itens subsequentes são apresentados alguns resultados relativos às sobretensões e sobrecorrentes que surgem na rede de baixa tensão (BT) em decorrência de descargas atmosféricas diretas na rede primária.

II. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o estudo foi similar àquela adotada em [5], tendo consistido na avaliação das tensões na rede de BT e das correntes em SPDs resultantes de descargas diretas na linha primária. Foram realizadas simulações para vários pontos de descarga ao longo da linha primária, obtendo-se as grandezas de interesse. Duas correntes de descarga de forma triangular foram utilizadas nas simulações, com valores de crista de 45 kA e 90 kA, com tempos de frente de 2,25 μ s e 4,5 μ s, respectivamente. Para o tempo até a metade do valor de crista, na cauda, adotou-se o valor 80 μ s.

III. CONFIGURAÇÕES DA REDE E MODELAGEM DOS COMPONENTES

A configuração básica utilizada nas simulações está representada na Fig. 1 e consiste em:

- linha primária de 10 km, com condutores de fase 3x336,4 MCM (Al) e de neutro 50 mm² (Al), com neutro aterrado a cada 300 m;

A. Piantini trabalha no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (e-mail: piantini@iee.usp.br).

W. Bassi trabalha no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (e-mail: welson@iee.usp.br).

N. M. Matsuo trabalha na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: matsuo@usp.br).

S. Nosaki trabalha na ELEKTRO Eletricidade e Serviços S. A. (e-mail: shiguematsu.nosaki@elektro.com.br).

- transformador de distribuição, que supre o circuito secundário, localizado no ponto médio do circuito primário;
- circuito secundário com extensão de 150 m em cada lado do transformador, acoplado à linha primária, com cabo multiplexado 3x1x50+50 mm², Al); neutro comum com a linha primária;
- derivações de consumidores secundários a cada 30 m;
- neutro aterrado nas entradas dos consumidores.

A forma de utilização dos SPDs e as grandezas avaliadas neste estudo consideram a utilização do esquema de aterramento TN nas instalações de consumidores de BT. As seguintes configurações foram analisadas quanto ao posicionamento dos SPDs:

- G1: sem nenhuma proteção de BT;
- G2: com proteção apenas na saída do transformador;
- G3: com proteção na saída do transformador e nas extremidades do circuito secundário;
- G4: com proteção na saída do transformador e em todas as entradas de consumidores.

A representação, nas simulações computacionais, das linhas primária e secundária, do transformador, dos pára-raios de média tensão, dos SPDs, dos isoladores (incluindo o modelo de disrupção), dos ramais de ligação e das cargas dos consumidores de BT, dos aterramentos de seus cabos de conexão foi feita conforme descrito em [5].

O ATP apresenta modelos para representação de condutores e linhas. No caso de linhas (ou cabos) polifásicas não transpostas, o programa utiliza a técnica de transformação modal. Há duas subrotinas disponíveis para o cálculo dos parâmetros elétricos da linha, incluindo os parâmetros modais e a matriz de transformação modal, em função de alguns dados de entrada, como seção transversal e disposição dos condutores, resistividade, etc.. Visando a realização de ensaios para avaliação do modelo de representação do cabo multiplexado, montou-se no Laboratório de Alta Tensão do IEE/USP uma rede com cabos de seção nominal de 50 mm², sendo três com isolamento XLPE e o outro nu (neutro), utilizado como mensageiro. Os cabos, com cerca de 30 m de comprimento, foram posicionados à altura de aproximadamente 1,2 m em relação ao solo. Um gerador de sinais foi conectado a uma das extremidades de um dos condutores, sendo medidas tensões nesse condutor e nos demais, em diferentes situações.

Para a simulação do cabo multiplexado no programa ATP foi utilizada a rotina CABLE CONSTANTS com a geometria indicada na Fig. 2. O valor utilizado para a permissividade da isolação foi de 2,3. Não se considerou o fato de que os cabos estão enrolados sobre o cabo mensageiro. Entretanto, de acordo com [3] essa simplificação não afeta os resultados de forma significativa. As comparações entre resultados de medição e cálculo [6] comprovaram a validade do modelo utilizado.

Em se tratando da rede secundária com condutores multiplexados, a diversidade de montagens dos componentes (condutores e caixas de derivação) é muito grande, de modo que para a determinação da tensão disruptiva crítica foram definidas algumas configurações de ensaio, com base em situações típicas. Foram então aplicados impulsos com valores de crista crescentes, de

ambas as polaridades, até a ocorrência de descarga disruptiva. Verifica-se, a partir dos resultados obtidos [6], que os valores de tensão disruptiva, nas diferentes configurações e polaridades de tensão ensaiadas, situam-se na faixa de 20 kV a 30 kV. Nas simulações computacionais adotou-se, então, o valor 25 kV.

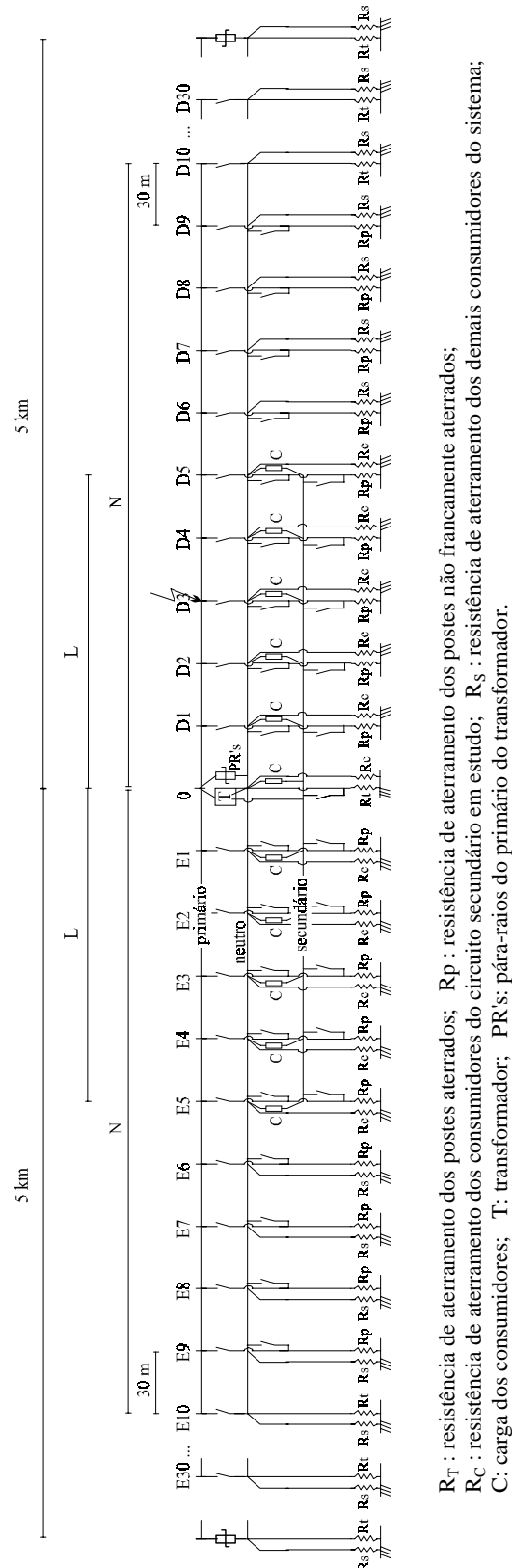


Fig. 1 - Configuração da rede utilizada nas simulações.

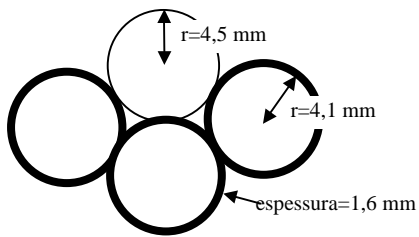


Fig. 2 - Geometria dos condutores do cabo multiplexado.

IV. RESULTADOS OBTIDOS

A título de ilustração, as Figs. 3 a 5 mostram as tensões, em entradas de consumidores, resultantes de uma descarga de 45 kA a 300 m do transformador para as configurações G1 (sem nenhuma proteção de BT), G2 (com proteção apenas na saída do transformador) e G3 (com proteção na saída do transformador e nas extremidades do circuito de BT). As formas de onda apresentadas mostram o efeito da instalação de SPDs (com tensão residual de 1000 V), podendo-se observar que o comportamento das grandezas é bastante não-linear, sendo difícil prever com exatidão o efeito dessa proteção em pontos da rede que não coincidam com os locais de instalação. Devido às distâncias entre os pontos de instalação dos SPDs e as entradas dos consumidores mais próximos, as tensões nesses locais alcançam valores superiores à tensão residual.

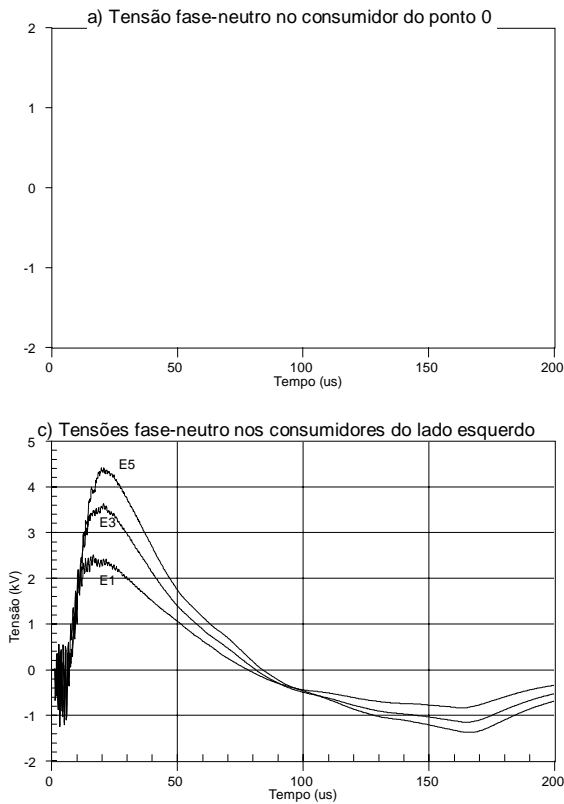


Fig. 3 - Tensões fase-neutro em entradas de consumidores. Rede secundária sem proteção (config. G1). Resistências de aterramento: $R_C = R_P = R_T = R_S = 100 \Omega$ (vide Fig. 1). Descarga de 45 kA ($2,25 \times 80 \mu s$) a 300 m do transformador (ponto D10 na Fig. 1).

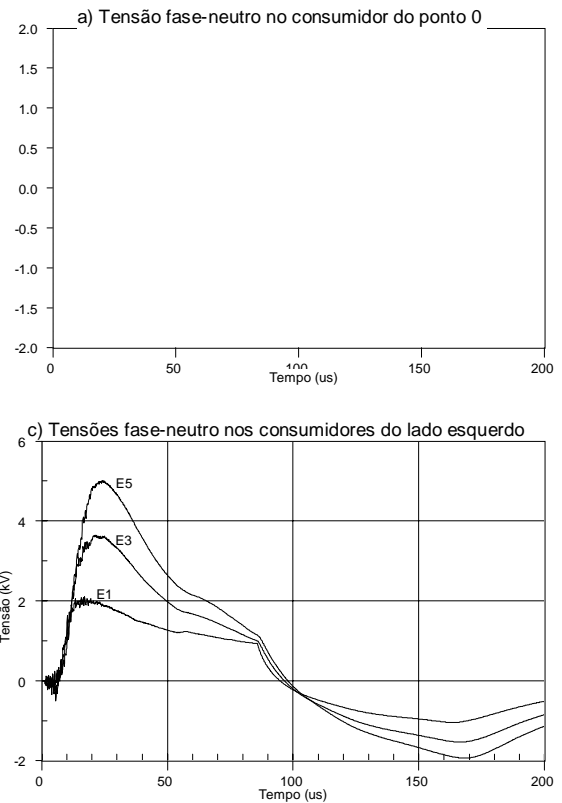


Fig. 4 - Tensões fase-neutro em entradas de consumidores. Rede secundária: config. G2. $R_C = R_P = R_T = R_S = 100 \Omega$ (vide Fig. 1). Descarga de 45 kA ($2,25 \times 80 \mu s$) a 300 m do transformador (ponto D10 na Fig. 1).

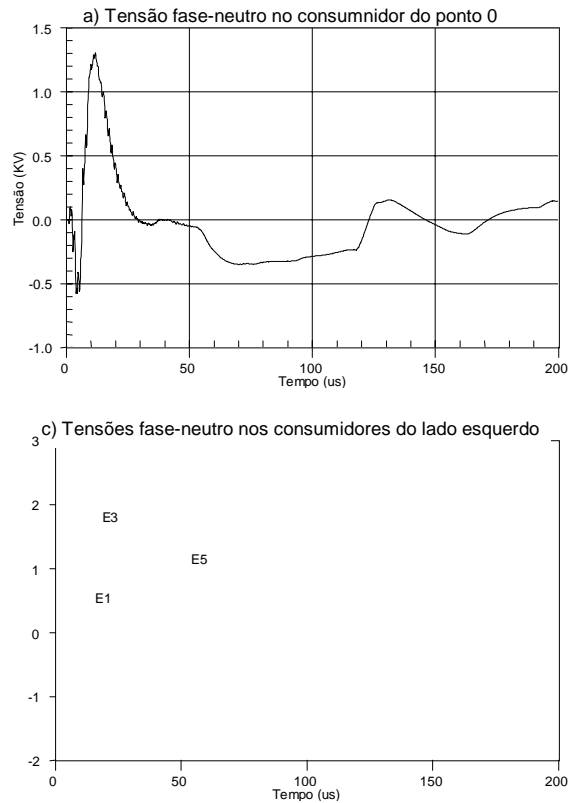
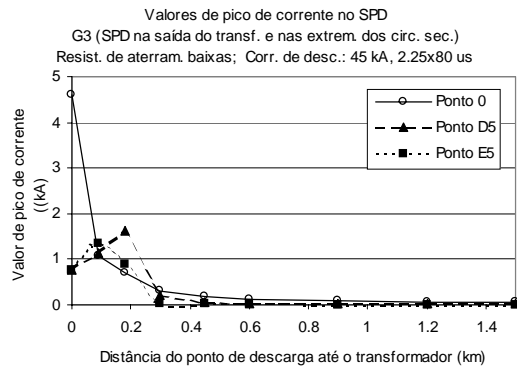
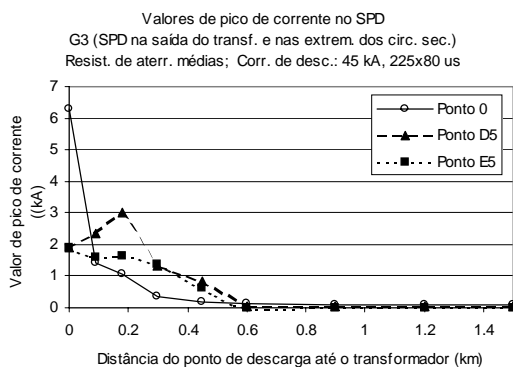


Fig. 5 - Tensões fase-neutro em entradas de consumidores. Rede secundária: config. G3. $R_C = R_P = R_T = R_S = 100 \Omega$ (vide Fig. 1). Descarga de 45 kA ($2,25 \times 80 \mu s$) a 300 m do transformador (ponto D10 na Fig. 1).

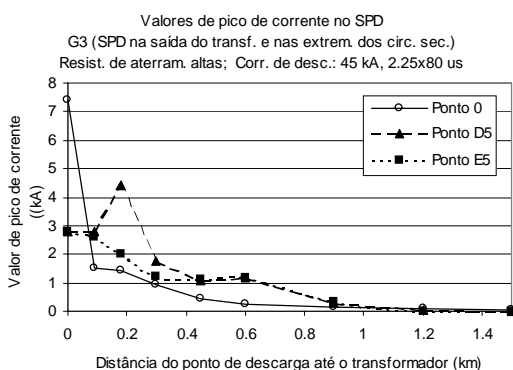
A Fig. 6 apresenta, a título de exemplo, os valores de crista das correntes escoadas através dos SPDs em função da distância do ponto de incidência da descarga ao transformador, para o caso de SPDs instalados tanto na saída deste (junto aos terminais de BT) quanto nas extremidades do circuito secundário (configuração G3), considerando diferentes valores para as resistências de aterramento e a corrente de descarga com amplitude de 45 kA.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 - Valores de crista das correntes nos SPDs em função da distância do ponto de incidência da descarga ao transformador. Rede de BT com proteção tanto na saída do transformador quanto nas extremidades do circuito secundário (config. G3).

Descarga de 45 kA (2,25x80 μ s).

- $R_C = 10 \Omega$, $R_P = R_T = R_S = 25 \Omega$
- $R_C = R_P = R_T = R_S = 100 \Omega$
- $R_C = R_P = R_T = R_S = 300 \Omega$

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados resultados relativos aos surtos de tensão e corrente induzidos em redes de baixa tensão com condutores multiplexados em decorrência de descargas atmosféricas diretas na rede primária. Tais informações foram obtidas ao longo de um projeto desenvolvido com o objetivo de elaborar recomendações técnicas relativas à proteção, contra descargas atmosféricas, de redes secundárias com condutores multiplexados, contemplando a definição dos requisitos a serem atendidos pelos dispositivos de proteção e o estabelecimento de critérios para sua utilização. O projeto deu continuidade a estudos anteriores que abrangeram os principais tipos de sobretensão, nas redes de baixa tensão, decorrentes de descargas atmosféricas. As simulações realizadas contemplaram redes com diferentes topologias, tendo-se verificado a influência de diversos fatores e parâmetros nos valores das grandezas mais relevantes associadas aos dispositivos de proteção.

Os resultados das simulações realizadas mostraram que, estatisticamente, os surtos resultantes nas redes de BT com cabo multiplexado são menos severos que no caso da rede convencional aberta. Em outras palavras, tanto os níveis das sobretensões na rede quanto das correntes escoadas através dos SPDs são em geral mais baixos, tendência esta já indicada em algumas verificações superficiais realizadas em [2]. A partir dos resultados obtidos verifica-se que, na rede com cabo multiplexado, existe a possibilidade de se reduzir em quase 50 % os valores especificados para as correntes dos SPDs em relação àqueles propostos em [2] para a rede aberta.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Piantini, W. Bassi, J. M. Janiszewski, N. M. Matsuo, "Sobretensões, na rede secundária, ocasionadas por descargas atmosféricas". Centro de Excelência em Distribuição de Energia Elétrica, São Paulo, SP, Relatório Técnico. CED 294 / STRA 002 / RL 002 / OR, Fev. 1998.
- [2] A. Piantini, W. Bassi, J. M. Janiszewski, N. M. Matsuo, "Dispositivos de proteção contra surtos em redes de baixa tensão: Avaliação das solicitações, especificação dos ensaios elétricos e critérios de utilização", Centro de Excelência em Distribuição de Energia Elétrica, São Paulo, SP, Relatório Técnico. CED 320 / STRA 003 / RL 001 / OR, Jan. 2000.
- [3] R. C. Dugan, W. L. Sponsler, "Surge protection of UD cable systems - Part II: Analytical models and simulations", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-97, n. 5, Sep./Oct. 1978.
- [4] R. C. Dugan, S. D. Smith, "Low-voltage-side current surge phenomena in single-phase distribution transformer systems", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 3, n. 2, Apr. 1988.
- [5] A. Piantini, W. Bassi, N. M. Matsuo, J. M. Janiszewski e S. Nosaki, "Solicitações elétricas em dispositivos de proteção contra surtos em redes de baixa tensão", submetido ao I Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (I CITENEL), Brasília, 2001.
- [6] W. Bassi, A. Piantini, N. M. Matsuo, "Dispositivos de proteção contra surtos em redes de distribuição de baixa tensão com cabo multiplex - avaliação das solicitações e critérios de utilização", IEE/USP - ELEKTRO, São Paulo, SP, Relatório Técnico. STCMX 001 / RF 001 / OR, Maio 2001.