

Proteção de Alimentadores de Distribuição contra Tensões Induzidas por Descargas Atmosféricas Indiretas

M. A. Araújo, R. A. Flauzino, O. E. Batista, L. A. Moraes, C. H. R. Martins

Departamento de Engenharia Elétrica e Computação

Universidade de São Paulo (USP)

São Carlos, Brasil.

marcel.araujo@usp.br, raflauzino@sc.usp.br, oureste.batista@usp.br, lucas.moraes@usp.br;

martins.cesar@usp.br

Abstract— Induced voltages by indirect lightning cause faults, damage to equipment and malfunctions to electric power systems, compromising the quality, continuity and reliability of the electrical energy supply. In this context, research development is crucial to improve lightning protection procedures, especially for electrical systems located in areas with high ground flash densities. This article presents the results of the application of a practical procedure for protection of the IEEE 13 Node Test Feeder against induced voltages by indirect lightning simulated with the Rusck model employing metal-oxide surge arresters. The results demonstrate the efficiency and practicality of the presented procedure regarding the technical specification and definition of the best allocation and amount of surge arresters for feeder protection, as well as the analysis of the sensitivity of the transformers and load facing the induced voltages.

Index Terms— indirect lightning, induced voltages, lightning protection, power system, surge arrester.

I. INTRODUÇÃO

A regulação incisiva, o crescente uso de dispositivos eletrônicos e a implantação de novas tecnologias associadas às smart grid (SG) e a geração distribuída (GD) têm promovido esforços para aprimorar os índices de qualidade, confiabilidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica [1]-[2]. No entanto, linhas de transmissão (LTs) e distribuição (LDs) muitas vezes localizam-se em áreas com elevada densidades de descargas atmosféricas, estando, portanto, sujeitas a interrupções não programadas de energia causadas por sobretensões temporárias, comprometendo tais índices [3]-[4].

As descargas atmosféricas são um fenômeno aleatório e de difícil análise, o qual causa diversos distúrbios eletromagnéticos nos sistemas elétricos de potência (SEPs). Devido ao processo de aquecimento e alterações climáticas pelo qual o planeta passa, estas intempéries naturais estão intensificando-se e se tornando cada vez mais severas [5]-[6].

A incidência direta e indireta de descargas atmosféricas

originam sobretensões temporárias e tensões induzidas de elevada amplitude em LTs e LDs. As sobretensões atmosféricas são uma das principais causas de interrupções momentâneas e sustentadas nas redes de distribuição, e no Brasil estima-se que cerca de um terço dos desligamentos destas redes sejam causados por descargas atmosféricas [7]-[8].

Não obstante, segundo literatura correlata, os SEPs podem ser protegidos por diferentes equipamentos, dentre os quais se podem citar: para-raios, cabos para-raios, descarregadores de chifres, isoladores, e sistemas de aterramento [9]-[10]. Entretanto, a aplicação de para-raios, sobretudo os de óxido de zinco (ZnO) é uma das melhores alternativas sob aspectos técnicos e econômicos para a melhoria de desempenho frente às descargas atmosféricas [11]-[13].

Neste contexto, no presente artigo será exposto um procedimento prático baseado na instalação de para-raios para proteção contra tensões induzidas por descargas atmosféricas indiretas. Para tanto, utilizando a toolbox SimPowerSystems™ do ambiente gráfico Simulink®, do software MATLAB® serão avaliadas simulações de tensões induzidas sobre o alimentador teste de 13 nós do IEEE e a proteção promovida pela alocação de para-raios de ZnO em diferentes pontos e quantidades ao longo do alimentador.

Posto isto, na sequência, a seção II apresenta os principais aspectos referentes às tensões induzidas por descargas atmosféricas indiretas. A seção III expõe os detalhes sobre a implementação computacional do alimentador, das tensões induzidas e dos para-raios de ZnO. Os resultados das simulações são apresentados na seção IV, e na seção V são relatadas as conclusões das pesquisas deste artigo.

II. TENSÕES INDUZIDAS POR DESCARGAS INDIRETAS

As descargas indiretas, ou próximas, são descargas que caem em regiões adjacentes às LTs e LDs, e que podem causar danos aos SEPs por meio do surgimento de tensões induzidas. Estas tensões são mais comuns em LDs uma vez que estas redes normalmente encontram-se protegidas

naturalmente contra descargas diretas por edificações, torres, árvores e obstáculos elevados ao redor de suas estruturas [14]-[15]. Embora a magnitude destas tensões seja menor do que as causadas por descargas diretas, elas são mais frequentes e bastante severas aos sistemas de distribuição com tensão nominal inferior a 15 kV. Isto porque as tensões induzidas podem alcançar valores em torno de 300 kV e o nível básico de isolamento das LDs é baixo, variando aproximadamente entre 95 kV e 170 kV [7], [14]-[15].

Para o cálculo das tensões induzidas foram desenvolvidos os modelos de acoplamento eletromagnético, entre os quais se destaca o Modelo de Rusck [16], com aceitação notória, adotado por associações renomadas como o CIGRÉ e o IEEE [17]-[18]. Este modelo caracteriza-se por ser uma excelente ferramenta de engenharia, pela sua eficácia, simplicidade, e rapidez de cálculo.

Dessa forma, na análise deste artigo será implementado o Modelo de Rusck [16], o qual possui fácil implementação computacional por fornecer uma expressão analítica para o cálculo da tensão induzida, como mostrado em (1).

$$U(x, t) = Z_0 I h \beta \frac{(ct-x)}{y^2 + \beta^2 (ct-x)^2} \left[1 + \frac{x + \beta^2 (ct-x)}{\sqrt{(\beta ct)^2 + (1-\beta^2)(x^2 + y^2)}} \right] \quad (1)$$

Onde $U(x, t)$ é a tensão induzida no domínio do tempo em um condutor de uma linha, x é um ponto ao longo do trecho da linha, t é o intervalo de tempo, I o valor de pico da corrente de descarga, h a altura da linha em relação ao solo e y a distância entre o ponto de incidência da descarga e a linha. Z_0 é a impedância característica da linha definida por $Z_0 = (1/4\pi) \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0}$, em que μ_0 é a permeabilidade do vácuo e ϵ_0 a permissividade elétrica do vácuo. β é a razão entre a velocidade de propagação da onda de corrente de descarga (v) e a velocidade da luz no vácuo (c), ou seja, $\beta = v/c$.

III. IMPLEMENTAÇÕES COMPUTACIONAIS

A fim de realizar a análise pretendida por este artigo a seguir serão implementados e simulados computacionalmente o alimentador teste de 13 nós do IEEE, um subsistema de estimação de tensões induzidas por descargas indiretas pelo Modelo de Rusck e os para-raios de ZnO com especificações técnicas mais adequadas para proteção do sistema avaliado.

A. Alimentador teste de 13 nós do IEEE

Este alimentador foi selecionado devido às características variadas de suas cargas e transformadores, e por seus dados serem de livre acesso, o que possibilita a realização de outras pesquisas correlatas para fins de comparação e avaliação.

A implementação deste alimentador de distribuição foi realizada com base nos dados apresentados em [19], o regulador de tensão entre os nós 650 e 632 foi suprimido na modelagem para que não ocorra melhora do perfil de tensão pela sua atuação durante as simulações, e admitiu-se a chave entre os nós 671 e 692 sempre fechada. A fim de validá-la foi executada a simulação deste sistema em regime permanente, por meio da qual foi elaborado o histograma da

Fig. 1. Com os dados desta simulação é possível definir os valores máximos de tensão por fase a partir dos quais se poderá constatar a influência das tensões induzidas sobre as cargas e os transformadores, além de averiguar a atuação dos para-raios.

Para facilitar o entendimento do leitor no decorrer do artigo o transformador da subestação será sempre identificado pela sigla TRF-S, o transformador rebaixador de linha por TRF-L, as cargas por C e pelo número do seu respectivo nó, e a carga distribuída entre os nós 632 e 671 por C-632/671. Além disso, seguindo as especificações contidas em [19], neste artigo sempre será tomada a tensão base de 4,16 kV para os elementos do alimentador, com exceção da carga C-634, localizada após o transformador rebaixador, cuja tensão base é de 480 V.

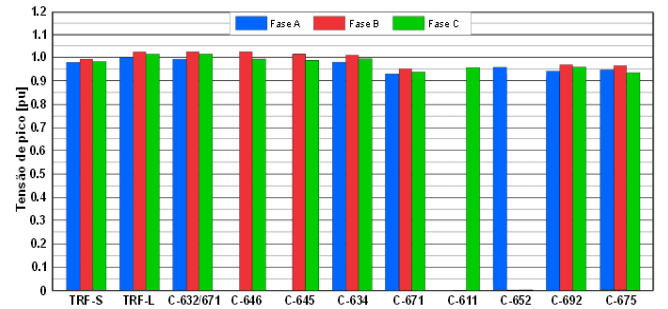


Figura 1: Amplitude das tensões de pico por fase para as cargas e os transformadores com o alimentador teste operando em regime permanente.

B. Subsistema de estimação de tensões induzidas

Para simular a ação das tensões induzidas foi implementado um subsistema de estimação de tensões induzidas (SETI) chaveado baseado em (1). Para tanto, foram estimadas tensões sempre em relação à altura do trecho do alimentador onde estiver localizado o SETI, em relação ao centro do trecho da linha, assim $x=0$, e para o período de tempo correspondente a dois ciclos na frequência de 60 Hz, ou seja, $t=0,034s$. Já para I foi adotado o valor de 10 kA, valor este definido a partir de [20], v foi tomada igual a 120 m/μs a partir das referências [17] e [21], c é 299 792 458 m/s, μ_0 é $4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A e ϵ_0 é $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m [22], e desse modo, β é igual a 0,4 e Z_0 é igual a 30 Ω.

Para a distância entre a linha e o ponto de incidência das descargas atmosféricas (y) foram formados 3 grupos com valores distintos: Grupo-1: $y=50m$; Grupo-2: $y=150m$; Grupo-3: $y=250m$. Não foi assumido y maior que 250m devido ao comprimento reduzido dos trechos da linha e menor que 50m em virtude da ocorrência de descargas diretas para distâncias inferiores a esta, devido ao raio de atração dos elementos do sistema de distribuição.

Assim, fazendo uso do SETI com o Modelo de Rusck e os parâmetros acima definidos foram simuladas as tensões induzidas apresentadas na Fig. 2, pelas quais se pode ver a amplitude do pico das mesmas para cada um dos 3 grupos definidos.

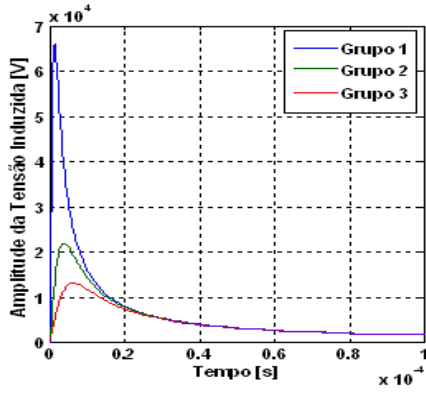


Figura 2: Tensões induzidas para os 3 casos a serem simulados.

C. Seleção e implementação dos para-raios de ZnO

Após uma pesquisa sobre os para-raios de ZnO acessíveis comercialmente decidiu-se utilizar os para-raios de média tensão tipo 3EK4 com invólucro de silicone da Siemens. Esta escolha ocorreu devido à robustez construtiva, resistência mecânica, otimização entre desempenho e peso, e supressão de descargas parciais e da penetração de umidade em sua estrutura, garantindo longa vida útil aos mesmos [23].

A seleção das características elétricas dos para-raios a serem implementados foi fundamentada no exposto em [24]. Dessa forma, sabendo que a tensão nominal do alimentador teste é 4,16 kV e que seu sistema possui neutro solidamente aterrado, sua máxima tensão de fase (U_s) é 3,39 kV e sua tensão de operação contínua (U_c), calculada a partir de (2), deve ser $U_c \geq 2,09$ kV.

$$U_c \geq \frac{1,05 U_s}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

A seguir calcula-se por meio de (3) e (4) a primeira tensão nominal do para-raios (U_{r1}), cujo valor deve ser $U_{r1} \geq 2,61$ kV, e a segunda (U_{r2}), que deve ser $U_{r2} \geq 2,92$ kV. Assim, é preciso determinar a tensão nominal final dos para-raios tomando U_r como o maior valor entre U_{r1} e U_{r2} , ou seja, $U_r \geq 2,92$ kV, e então redefine-se U_c por meio da equação (5), segundo a qual se obtém $U_c \geq 2,34$ kV.

$$U_{r1} \geq 1,25 \times \frac{1,05 U_s}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

$$U_{r2} \geq 1,4 U_s \quad (4)$$

$$U_c \geq \frac{U_{r2}}{1,25} \quad (5)$$

Retomando [24], analisando a Tabela 1 e lembrando que é recomendada a seleção dos para-raios de uma categoria ligeiramente superior à mínima indicada pelos dados calculados, deve-se assumir $U_r = 6$ kV e $U_c = 4,8$ kV e define-se o modelo 3EK4 060-1CB3 como o para-raios a ser utilizado. A Tabela 1 ainda mostra os valores máximos das tensões residuais ($U_{max,residual}$) para diferentes formas de ondas e correntes, a tensão suportável a impulso atmosférico de 1,2/50 μ s ($U_{1,2/50\mu s}$) e a tensão suportável de frequência industrial, 1 min, sob chuva ($U_{freq,industrial}$).

TABELA 1: MODELOS E CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS PARA-RAIOS DO TIPO 3EK4, ADAPTADO DE [24].

U_r [kV]	U_c [kV]	Modelo	$U_{max,residual}$ [kV]			Suportabilidade do Invólucro	
			8/20 μ s	8/20 μ s	30/60 μ s	$U_{1,2/50\mu s}$ [kV]	$U_{freq, industrial}$ [kV]
			10 kA	20 kA	500 A		
3	2,4	3EK4 030	8,0	9,1	6,1	57	24
6	4,8	3EK4 060	15,9	18,3	12,2	57	24

Empregando o modelo do elemento Surge Arrester do toolbox SimPowerSystems™ e os dados obtidos acima foi simulado o comportamento do para-raios frente a uma descarga atmosférica com forma de onda 1,2x50 μ s e corrente de descarga 10 kA, obtendo-se o resultado da Fig. 3. Analisando esta figura depreende-se que o modelo de para-raios implementado está operando corretamente, pois a partir do momento em que foi submetido a uma tensão superior a sua tensão nominal passou a atuar com baixa impedância dissipando a corrente de impulso atmosférico, limitando o valor da sobretensão resultante e recuperando seu alto valor de impedância após o término da solicitação da tensão.

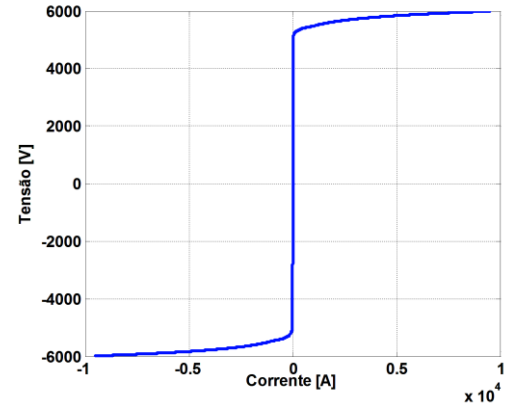


Figura 3: Atuação do modelo de para-raios selecionado frente a uma descarga de 10 kA.

IV. RESULTADOS

A partir da análise do comprimento dos trechos do alimentador e da existência de conexão ou não de cargas aos seus nós, foram definidas a localização dos SETIs e dos para-raios (PRs). Os SETIs foram dispostos no centro dos trechos ao longo dos ramos do alimentador para cobrir o maior comprimento de linha pela ação das suas tensões induzidas, como ilustrado pela Fig. 4, perfazendo um total de 7 subsistemas. Já os PRs foram alocados nas estruturas das terminações dos trechos de linha, como mostrado na Fig. 4, a fim de proteger as cargas e os transformadores. Ressalta-se que na Fig. 4 a sigla PR simboliza os para-raios conectados em todas as fases de determinado nó do alimentador.

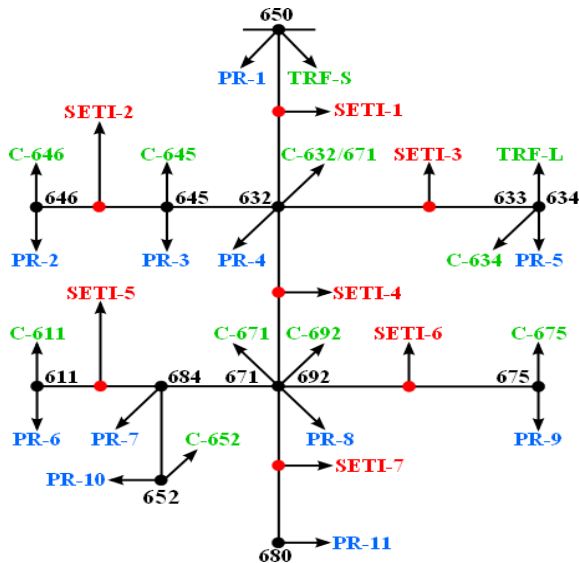


Figura 4: Pontos de alocação dos para-raios (PRs), dos subsistemas para estimação das tensões induzidas (SETIs), e das cargas (Cs) no alimentador teste.

Além disso, por meio da combinação do chaveamento dos 7 SETIs foram realizadas 128 simulações para cada um dos 3 grupos definidos na seção III-B deste artigo, e foram alocados medidores de tensão em todas as cargas, transformadores e para-raios. Contudo, devido a grande quantidade de dados obtida serão apresentadas as tensões das fases com maior pico de tensão em pu, ou seja, fase C e A para a C-611 e C-652, respectivamente, e fase B para os transformadores e demais cargas.

Posto isto, pelos dados mostrados na Fig. 5 nas simulações do Grupo-1 foram observados os maiores picos de sobretensões sobre os transformadores e cargas, uma vez que quanto menor a distância entre a linha e o ponto de incidência das descargas maiores são as tensões induzidas.

Além disso, averigua-se uma diminuição da tensão das simulações do Grupo-1 para os Grupos 2 e 3 bastante acentuada e quase proporcional à redução do pico das tensões induzidas, exceto sobre o transformador TRF-S e a carga C-652. Isto ocorre porque TRF-S está ligado a fonte de geração do sistema e pela robustez promovida pela subestação ao seu barramento, e por C-652 ser o único elemento com dupla proteção fornecida por PR-7 e PR-10.

Ainda pela Fig. 5 é possível ordenar em uma escala crescente quais as cargas mais atingidas pelas tensões induzidas da seguinte forma: C-652, C-645, C-611, C-692, C-671, C-646, C-675, C-632/671 e C-634. Ademais, nota-se a maior sensibilidade do TRF-L e da C-634 conectada a ele, em virtude de o transformador ser rebaixador e da carga operar com 480 V em baixa tensão.

Não obstante, com as tensões medidas sobre cada um dos para-raios para os 3 grupos de 128 simulações foram construídos os gráficos demonstrativos da atuação dos mesmos como mostrado nas Fig. 6, 7 e 8.

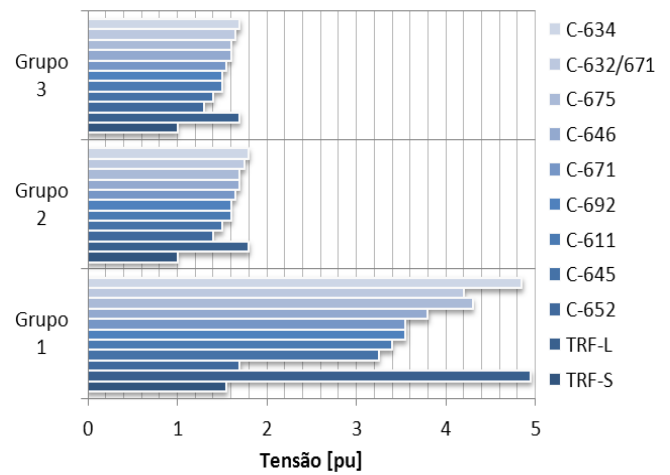


Figura 5: Máximo pico de tensão entre as 128 simulações sobre os transformadores e cargas do alimentador.

Pela Fig. 6 é possível notar que os para-raios que mais atuam em ordem decrescente são: 9B, 8B, 4B, 11B, 5B, 7A, 6C, 3B, 2B, 10A e 1B; pela Fig. 7 são: 9B, 8B, 7A, 11B, 4B, 5B, 6C, 3B, 2B e 10A, e pela Fig. 8 são: 9B, 8B, 7A, 11B, 3B, 5B, 6C, 4B, 2B e 10A.

Comparando estas ordenações de atuação constata-se que os PR-1 são os que menos entram em condução e não atuaram em nenhuma das simulações dos Grupos 2 e 3, mesmo assim as tensões sobre o TRF-S se mantiveram estáveis. Também se observa que de forma geral os para-raios que mais atuam estão na fase B, e que devido às características das cargas e da relação entre o comprimento dos trechos do alimentador e da alteração de y ocorreram pequenas variações entre os para-raios mais atuantes entre as escalas analisadas.

Dessa forma, considerando a viabilidade técnico/econômica e a proteção proporcionada pela instalação dos para-raios neste alimentador, conclui-se que o projeto de proteção para o sistema de distribuição analisado deve contemplar a instalação dos seguintes para-raios por fase, enumerados em ordem decrescente de importância:

Fase A: PR-7, PR-9 e PR-4;

Fase B: PR-9, PR-8, PR-11, PR-5, PR-3 e PR-4;

Fase C: PR-9, PR-8, PR-11, PR-6, PR-5 e PR-4.

Assim, o projeto de proteção deve contemplar inicialmente a instalação do PR-7 na fase A, do PR-9 nas fases B e C, a seguir a instalação do PR-9 na fase A e do PR-8 nas fases B e C, e assim sucessivamente.

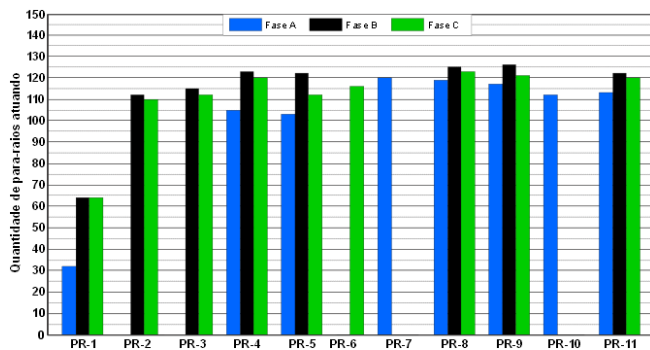


Figura 6: Contabilização do número de atuações dos para-raios nas 128 simulações do Grupo 1 (y=50 m).

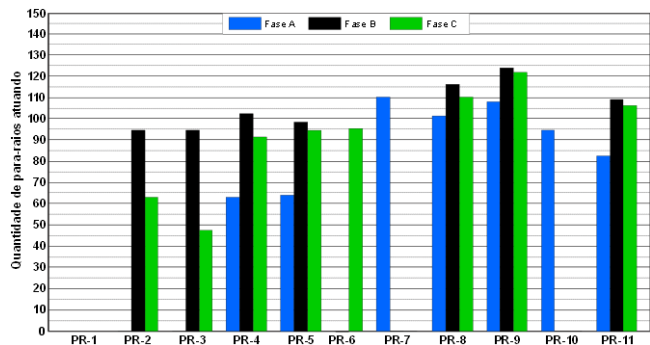


Figura 7: Quantificação do número de vezes em que os para-raios atuam nas 128 simulações do Grupo 2 (y=150 m).

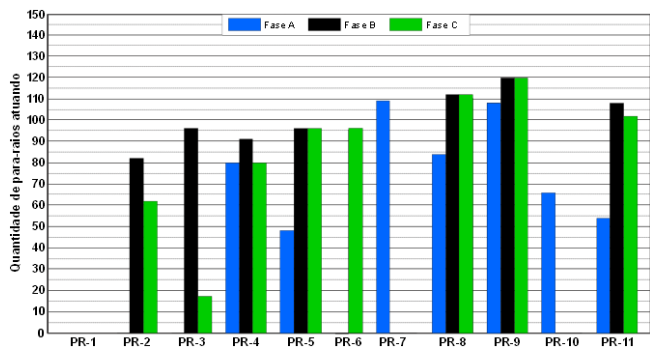


Figura 8: Quantificação do número de vezes em que os para-raios atuam nas 128 simulações do Grupo 3 (y=250 m).

V. CONCLUSÕES

Por meio da variação das tensões aferidas sobre as cargas e transformadores averigua-se que as tensões induzidas influenciam a tensão de todo o alimentador, em maior ou menor grau, dependendo de fatores como: o ponto em que ocorre a descarga, as características da rede e dos elementos a ela conectados, as ramificações do alimentador e da quantidade e posição dos para-raios.

Examinando as simulações dos 3 grupos propostos nota-se a estabilização dos perfis de tensão de acordo com o aumento do afastamento entre os condutores do alimentador e o ponto de incidência da descarga e a eficiência da operação dos para-raios selecionados. Ainda constata-se a proteção promovida sobre a carga C-652, resguardada por dois para-raios consecutivos, e a maior vulnerabilidade do transformador TRF-L e da carga C-634 que operam da

média para baixa tensão, apesar da proteção dos para-raios. Além disso, os gráficos de contabilização do número de atuações dos para-raios foram essenciais para se tomar a melhor decisão para definir a quantidade e posição de instalação destes equipamentos tendo em vista sua viabilidade técnico/econômica.

Neste contexto, verificou-se a eficiência e praticidade do procedimento prático proposto para proteção do alimentador teste do IEEE contra tensões induzidas por descargas atmosféricas indiretas, vislumbrando não apenas proteger os SEPs e seus componentes, mas também resguardar os consumidores por eles atendidos.

REFERÊNCIAS

- [1] H. B. Putten, P. R. MacGregor and F. C. Lamber, "Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era?", IEEE Power and Energy Magazine, vol. 1, n° 1, pp. 22 – 29, 2003.
- [2] M. H. Bollen and F. Hassan, Integration of Distributed Generation in the Power System. New York: Wiley-IEEE Press, 2011.
- [3] "IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines", IEEE Std 1410-2010 (Revision of IEEE Std 1410-2004), pages 1-73, 2011.
- [4] M. Marzinotto, F. Fiamingo, C. Mazzetti and G.B. Lo Piparo, Quality of the supplied electric service: a tool to evaluate the need of protection against lightning surges, Electric Power Systems Research, Vol. 85, pages 75-81, 2012.
- [5] A. Piantini. Lightning Protection. Journal of Lightning Research, 4, (Suppl 1: M1), pp. 1-2, 2012.
- [6] O. Pinto. Lightning in the Tropics: From a Source of Fire to a Monitoring System of Climatic Changes. Nova Science Publishers, New York, 2009.
- [7] A. Piantini and J. M. Janiszewski. "Lightning-Induced Voltages on Overhead Lines—Application of the Extended Rusck Model". IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 51, n° 3, pp. 548 – 558, 2009.
- [8] O. Pinto, I. R. A. Tempestades e relâmpagos no Brasil. São José dos Campos, Ed. Independente, 194 p., 2000.
- [9] P. M. Anderson. Power System Protection. IEEE Press power engineering series. McGraw-Hill, pages 1307, 1999.
- [10] Y. G. Paithankar and S. R. Bhide. Fundamentals of Power System Protection. PHI Learning; 2nd edition, pages 384, 2010.
- [11] IEEE, Power & Energy Society. IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating Current-Systems. Surge Protective Devices Committee, IEEE Standards Board, American National Standards Institute, New York, 2009.
- [12] K. Munukutla, V. Vittal, G. T. Heydt, D. Chipman and B. Keel. "Practical Evaluation of Surge Arrester Placement for Transmission Line Lightning Protection". IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 25, n° 3, July, 2010.
- [13] M. A. Araújo, R. A. Flauzino, R. A. C. Altafim, O. E. Batista and L. A. Moraes. "Practical methodology for modeling and simulation of a lightning protection system using metal-oxide surge arresters for distribution lines". Electric Power Systems Research, v. 118, pp. 47-54, 2015.
- [14] A. J. Eriksson; M. F. Stringfellow and D. V. Meal. Lightning-Induced Overvoltages on Overhead Distribution Lines. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, n° 4, p. 960-968, April, 1982.
- [15] A. Borghetti; C. A. Nucci; M. Palone. An Improved Procedure for the Assessment of Overhead Line Indirect Lightning Performance and Its Comparison with the IEEE Std. 1410 Method. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, n° 1, January, 2007.
- [16] S. Rusck. Induced Lightning Overvoltages on Power Transmission Lines With Special Reference to the Overvoltage Protection of Low Voltage Networks. Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, n° 120, 1958.

- [17] CIGRÉ, Working Group 33.01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Coordination). Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines. CIGRÉ Brochure 63, Paris, October, 1991.
- [18] IEEE, Working Group on the Lightning Performance of Distribution Lines. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines. IEEE Std 1410, 2004.
- [19] W. H. Kersting. Radial distribution test feeders, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE Conference Proceedings, Vol. 2, pp. 908–912, 2001.
- [20] W. Diesendorf, Insulation Coordination in High Voltage Electric Power Systems. London, Butterworth, 1974.
- [21] IEEE Working Group on Estimating Lightning Performance of Transmission lines, “IEEE guide for improving the lightning performance of transmission lines,” Proposed IEEE P1243 draft, 1996.
- [22] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J., Fundamentos de Física 1 – Eletromagnetismo, Editora: Ltc, 9ª Edição, 2012.
- [23] Siemens, Guia de para-raios. Para-raios de média tensão tipo 3EK4 com invólucro de silicone, Disponível em: <http://www.energy.siemens.com/br/pt/transmissao-de-energia/produtos-de-alta-tensao/desacarregadores-de-sobretensao-limitadores/tensao-alta-e-media/>, Acessado em 01/04/2015.
- [24] Hinrichsen, V. Metal-oxide Surge Arrester in High-Voltage Power Systems, Fundamentals. 1 st Edition, Siemens AG, Berlin, Germany, 2012.



Lucas Assis de Moraes nasceu em Limeira, Brasil, em 1988. Graduiu-se e obteve o título de Mestre em Engenharia Elétrica na Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil, em 2011 e 2014, respectivamente. Atualmente, está estudando para obter o grau de mestre na mesma universidade. Seus interesses de pesquisa estão dentro das áreas de sistemas inteligentes, tais como sistemas de inferência fuzzy e redes neurais artificiais, e sistemas de energia elétrica.

BIOGRAFIAS



Marcel Ayres de Araújo graduou-se e obteve o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil, em 2010 e 2013, respectivamente. Atualmente está estudando para obter o grau de Doutor na mesma universidade. Tem interesse em pesquisas relacionadas a sistemas de elétricos de potência, proteção de sistemas de energia, localização de faltas, sistemas inteligentes, redes inteligentes e geração distribuída.



Rogério Andrade Flauzino nasceu em Franca, Brasil, em 1978. Graduiu-se em Engenharia Eletrotécnica e recebeu grau de Ph.D. em licenciatura em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP), Brasil, em 2007. Atualmente é Professor Assistente da Universidade de São Paulo. Seus interesses de pesquisa estão dentro da área de otimização não linear e sistemas inteligentes. Ele publicou mais de 60 trabalhos em anais de congressos, revistas internacionais e capítulos de livros.



Oureste Elias Batista nasceu em Goiânia, Brasil, em 1988. Graduiu-se em Engenharia Elétrica na Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil, em 2011 e recebeu título de Mestre em Ciências pela mesma instituição em 2013. Atualmente, está estudando para obter o grau de Ph.D. na mesma universidade. Seus interesses de pesquisa estão dentro das áreas de sistemas inteligentes, tais como sistemas de inferência fuzzy e redes neurais artificiais, e sistemas de energia elétrica, tais como geração distribuída, localização de faltas, redes inteligentes e relés de proteção.