

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas

ISSN 1413-2214

BT/PEA/0422

**Sobretensões em Redes de Baixa
Tensão Causadas por Descargas
Atmosféricas Indiretas**

Acácio Silva Neto
Alexandre Piantini

São Paulo – 2004

1458856

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Acácio Silva Neto, sob orientação do Prof. Dr. Alexandre Piantini: "Sobretensões em Redes de Baixa Tensão Causadas por Descargas Atmosféricas Indiretas", defendida em 18/10/2004, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva Neto, Acácio

Sobretensões em redes de baixa tensão causadas por descargas atmosféricas indiretas / Acácio Silva Neto, Alexandre Piantini. -- São Paulo : EPUSP, 2004.

15 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas ; BT/PEA/0422)

1. Redes de distribuição de energia elétrica 2. Potencial elétrico
3. Sistemas elétricos de potência I. Piantini, Alexandre II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas III. Título IV. Série
ISSN 1413-2214

SOBRETENSÕES EM REDES DE BAIXA TENSÃO CAUSADAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS INDIRETAS

OVERVOLTAGES ON SECONDARY NETWORKS DUE TO NEARBY LIGHTNING

Acácio Silva Neto

Alexandre Piantini

Resumo -- Este trabalho apresenta os resultados de um estudo desenvolvido com o objetivo de avaliar as características das sobretensões ocasionadas por descargas atmosféricas indiretas em linhas de distribuição de baixa tensão. As tensões transferidas do primário via transformadores de distribuição são também objeto de análise, sendo mostradas algumas formas de onda típicas. As simulações relativas às tensões induzidas foram realizadas utilizando-se o "Extended Rusck Model" (ERM) - modelo de validade comprovada através de centenas de comparações entre tensões induzidas medidas e calculadas -, e possibilitaram a análise de aspectos não abordados em outros estudos. O trabalho discute as influências, nas tensões induzidas, do transformador, do modo de representação das cargas conectadas ao secundário, da amplitude e do tempo de frente da corrente da descarga. A comparação entre as tensões induzidas em linhas convencionais e multiplexadas também é realizada. É analisado também o uso de dispositivos de proteção contra surtos na rede multiplexada tendo em vista a redução das amplitudes das tensões induzidas. Por fim são feitas comparações entre tensões induzidas e tensões transferidas via transformador à rede secundária considerando a mesma descarga atmosférica.

Abstract -- This paper presents the results of a study conducted with the aim of evaluating the characteristics of the overvoltages induced on low-voltage lines by indirect strokes. The voltages transferred from the primary through the distribution transformers in the case of nearby lightning are also dealt with. The simulations are performed by means of the "Extended Rusck Model" (ERM) - a model that has been validated through many comparisons between measured and calculated induced voltages - and enabled the analysis of some aspects not covered in previous studies. The paper discusses the behavior of the lightning induced voltages, in terms of magnitude and waveform, with respect to parameters such as the stroke current magnitude and front time and

the representation of the loads. Comparisons between lightning induced voltages on open wire lines and on lines with twisted conductors are also made. The use of surge protective devices on lines with twisted conductors is analyzed, and the reduction of induced voltage amplitudes is investigated. Finally, induced voltages and voltages transferred to the secondary network through a transformer are compared, considering the same lightning discharge.

Palavras-chave -- descargas atmosféricas, redes de baixa tensão, tensões induzidas, distribuição.

1. INTRODUÇÃO

Os efeitos das descargas atmosféricas são de grande importância para o setor elétrico devido à possibilidade de ocorrência de danos permanentes nos equipamentos utilizados no sistema e de desligamentos de linhas de transmissão e distribuição. Tais situações podem redundar em grandes prejuízos às empresas do setor e à sociedade. As descargas podem injetar surtos na rede elétrica basicamente de três formas: incidindo diretamente nos condutores (descargas diretas), atingindo algum ponto nas proximidades da linha (descargas indiretas) ou atingindo uma edificação.

No caso das redes de distribuição, as descargas atmosféricas indiretas geralmente têm importância significativa na composição dos índices de qualidade da energia fornecida, uma vez que as tensões por elas induzidas podem atingir amplitudes superiores ao nível básico de isolamento (NBI) da linha. Além disso, deve-se também levar em conta seus altos índices de ocorrência. O uso crescente de equipamentos sensíveis faz com que a busca pela qualidade da energia fornecida seja cada vez mais importante. As descargas atmosféricas representam grande impacto para o sistema de distribuição de energia elétrica devido à configuração predominantemente aérea das linhas e à grande extensão das mesmas. Estima-se que cerca de um terço dos desligamentos das redes de

distribuição seja causado por descargas atmosféricas [1]. O Brasil é um dos países com maior incidência de raios no mundo dada sua dimensão territorial e sua localização entre os trópicos. De acordo com [2], entre 50 e 70 milhões de raios atingem o solo brasileiro a cada ano, causando prejuízos da ordem de R\$ 500 milhões, afetando principalmente os setores elétrico, industrial e de telecomunicações.

Mais recentemente, com as privatizações do setor elétrico brasileiro e a adoção de novos critérios de qualidade para o fornecimento de energia, as concessionárias têm investido em programas de pesquisa e desenvolvimento nessa área. Do ponto de vista dos consumidores residenciais e comerciais, que recebem alimentação em baixa tensão (110/220/380 V), as sobretensões causadas por descargas atmosféricas têm papel relevante na qualidade da energia recebida, uma vez que essas sobretensões podem atingir valores superiores a 10 kV [3]. As sobretensões nas redes secundárias devido a descargas atmosféricas podem ser transferidas do primário via transformador quando da ocorrência de descargas diretas ou próximas à rede primária. A ocorrência de descargas diretas na rede secundária é menos frequente, pois sua instalação é feita em altura inferior à da rede primária, além de ficar, na maioria dos casos, sob a mesma. Ainda em relação aos surtos na rede secundária, eles também podem ser causados por descargas incidentes nas edificações. No caso de correntes de alta intensidade, haverá um aumento do potencial de terra no local da edificação atingida, o que poderá causar a transferência do surto à rede de baixa tensão em decorrência de descargas disruptivas ou pela atuação de dispositivos de proteção.

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo desenvolvido com o objetivo de avaliar as características das sobretensões, nas redes de baixa tensão, causadas por descargas atmosféricas indiretas. O estudo considera tanto as tensões induzidas na rede secundária como aquelas transferidas do primário através do transformador de distribuição. As diversas simulações, realizadas através do modelo ERM ("Extended Rusck Model") [4, 5] - validado por meio de centenas de comparações entre resultados teóricos e experimentais -, propiciaram a análise de aspectos não contemplados em outros estudos relativos a tensões induzidas. O trabalho discute as influências, nas tensões induzidas, do

transformador, do modo de representação das cargas conectadas ao secundário, a amplitude e tempo de frente da corrente da descarga. Por fim são apresentadas as principais conclusões a respeito das sobretensões na rede secundária causadas por descargas atmosféricas em suas proximidades.

2. ESTUDOS ANTERIORES

As tensões transferidas à rede secundária quando da incidência de descargas diretas no primário foram estudadas em [6, 7]. Embora existam vários trabalhos a respeito de tensões induzidas em redes primárias, as tensões induzidas em redes secundárias ainda não foram estudadas com grande profundidade, como pode ser observado pela escassez de publicações na área. O melhor conhecimento do comportamento das tensões induzidas nas redes secundárias é de grande importância para a melhoria da qualidade da energia, uma vez que essas tensões podem ter efeito significativo no desempenho das redes, em virtude de sua alta frequência de ocorrência e do fato de poderem atingir amplitudes elevadas. A busca de um melhor entendimento da forma como os diversos parâmetros afetam suas amplitudes e formas de onda é, portanto, de fundamental importância.

Em [8] Piantini et al desenvolveram um estudo a respeito das sobretensões nas linhas secundárias ocasionadas por descargas atmosféricas, contemplando suas diversas origens, ou seja, sobretensões induzidas por descargas atmosféricas próximas à rede secundária, sobretensões induzidas na rede secundária devido às descargas entre nuvens, sobretensões devido a descargas atmosféricas diretas na rede secundária e sobretensões transferidas à rede secundária via transformador devido a descargas atmosféricas próximas à rede primária.

Ainda em relação ao trabalho desenvolvido em [8], foi realizado um levantamento bibliográfico a respeito de tensões induzidas por descargas atmosféricas em nuvem. Essas descargas podem ser divididas em intranuvem, entre-nuvens e nuvem-ar, mas atualmente não existem dados experimentais que possam distinguir as características desses três tipos de descargas [9]. Em virtude da utilização de componentes eletrônicos sensíveis nos equipamentos eletroeletrônicos atuais, estão surgindo suspeitas quanto à possibilidade das tensões induzidas provocadas por descargas desses tipos (doravante denominadas descargas em nuvem) causarem danos e redução da vida útil desses

equipamentos. Embora as descargas em nuvem ocorram, em geral, com maior frequência que as descargas nuvem-solo, esse fenômeno é ainda pouco estudado devido aos poucos impactos sobre o sistema elétrico, como desligamentos de linhas de distribuição e queima de transformadores.

O trabalho de Hoidalén [10] apresenta resultados de cálculos de sobretensões na rede secundária provocadas por descargas atmosféricas indiretas, considerando o efeito das cargas. A modelagem das cargas da rede de baixa tensão (BT), instalações dos consumidores e o lado de baixa dos transformadores de distribuição, foi feita com base em medições de impedâncias na faixa de 5 kHz até 2 MHz, realizadas através de um analisador de redes marca HP, modelo 4195A. As impedâncias de entrada dos transformadores foram medidas entre as fases conectadas e o tanque, com o neutro ora conectado ao tanque, ora isolado. As impedâncias de entrada dos consumidores foram medidas na cabine de medição entre os condutores fase e o de proteção, com o condutor neutro conectado aos condutores fase (sistema IT) ou conectado ao condutor de proteção (sistema TN). Em ambos os casos o condutor de proteção era ligado ao sistema de aterramento e a alimentação do sistema estava desligada. A unidade consumidora avaliada consistiu em um apartamento de 127 m² com sete circuitos elétricos. Os sistemas de aquecimento de água, piso e ambiente foram desligados, que é uma situação típica no período do verão. As lâmpadas incandescentes foram substituídas por resistores que simulam a impedância dos filamentos das lâmpadas na condição normal de funcionamento.

Conti et al [11] também estudaram as sobretensões na rede de baixa tensão provocadas por descargas atmosféricas diretas em linha secundária ou unidades consumidoras. No trabalho são apresentados também os surtos transferidos da rede primária para a secundária via transformador - utilizando o modelo desenvolvido pelo GATDA (Grupo de Alta Tensão e Descargas Atmosféricas) [12] - e as sobretensões induzidas na rede secundária provocadas por descargas atmosféricas incidentes nas proximidades da linha. O objetivo do trabalho foi analisar os parâmetros da rede de distribuição que influenciam essas sobretensões, permitindo assim a escolha de configurações de rede e de equipamentos de proteção de forma a minimizar os danos causados por descargas atmosféricas. Com base nas simulações realizadas no trabalho, verificou-se que os parâmetros da descarga que mais influenciam as

tensões induzidas são o valor de pico da corrente e seu tempo de subida. Os principais parâmetros da linha que influenciam as tensões induzidas são a altura dos condutores, a configuração da linha e a presença de pontos de conexão com a terra.

Em [13], Galván e Cooray também estudaram as tensões induzidas em instalações elétricas de BT causadas por campos eletromagnéticos provocados por descargas atmosféricas. O objetivo do trabalho foi obter dados experimentais que permitissem avaliar as tensões induzidas em redes de baixa tensão e o método utilizado para o cálculo dessas tensões desenvolvido pelos pesquisadores de acordo com a teoria de Agrawal et al [14]. Com o objetivo de validar os resultados obtidos nos cálculos das tensões induzidas, foi construída uma rede de condutores no interior de uma residência de madeira. A rede era constituída de um condutor horizontal localizado a 2,3 m do solo e de três condutores verticais ligados a ele. A partir da medição do campo elétrico vertical foram realizadas simulações computacionais considerando diferentes dimensões da rede estudada. Para cada configuração de rede ou carga foram realizadas simulações de tensões induzidas considerando 4 diferentes valores da condutividade do solo: infinita; 0,01 S/m; 0,001 S/m e 0,0001 S/m.

As principais conclusões do trabalho, obtidas a partir de várias simulações computacionais, são que as tensões induzidas nas instalações de baixa tensão são fortemente dependentes da carga conectada à rede, o aumento do número de condutores verticais instalados na rede reduz a amplitude da tensão induzida no ponto de interesse e que o uso do campo elétrico vertical medido no interior da estrutura para a avaliação da tensão induzida representa melhor resultado devido à atenuação e distorção que a estrutura impõe ao campo elétrico incidente na rede de BT.

Outro trabalho na área de tensões induzidas por descargas atmosféricas em instalações de baixa tensão foi realizado por Silfverskiöld et al [15], que estudaram as tensões induzidas durante o ciclo completo de descargas nuvem – solo (de ambas as polaridades) e de descargas intranuvem. O objetivo do trabalho era investigar as tensões induzidas em uma instalação de baixa tensão em decorrência do acoplamento direto de campos eletromagnéticos originados por descargas atmosféricas, na ausência das sobretensões vindas da rede de distribuição

Foi analisada, para cada estágio da descarga atmosférica (descargas preliminares, “return stroke”, “strokes” subsequentes etc.), a relação entre o campo elétrico medido e a tensão induzida. Verificou-se que os pulsos bipolares de campo elétrico resultantes das descargas preliminares ou descargas intranuvem produzem tensões induzidas com amplitudes semelhantes às produzidas pelo “return stroke”. Esses pulsos bipolares de campo elétrico são em maior número que os “return strokes” e seus efeitos podem causar interferências nos equipamentos ligados à instalação de baixa tensão, como por exemplo, equipamentos de automação residencial que utilizem a rede como canal de comunicação. Embora o valor da amplitude da tensão induzida medida tenha sido baixo (aproximadamente 100 V pico a pico), os autores estimam que valores acima de 400 V possam ser observados caso descargas atmosféricas ocorram a poucos quilômetros de distância da instalação.

Neste item foram apresentados alguns trabalhos relevantes a respeito das tensões induzidas em linhas de baixa tensão, tanto devido a descargas ao solo quanto a descargas intranuvem. Conforme apresentado, há poucas publicações com o enfoque no tema específico deste trabalho, que trata do comportamento das tensões induzidas em redes de baixa tensão quando da ocorrência de descargas atmosféricas nas suas proximidades. Essa situação mostra a importância da realização de mais estudos nessa área com o objetivo de melhor entender o fenômeno das tensões induzidas em redes secundárias e foi um dos fatores que motivaram o desenvolvimento deste trabalho.

3. SURTOS TRANSFERIDOS ATRAVÉS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO

As sobretensões na rede primária são transferidas ao secundário através dos transformadores de distribuição. Este item apresenta um estudo das características dos surtos transferidos ao secundário do transformador devido a tensões induzidas na rede primária. As tensões transferidas são calculadas por meio de simulações computacionais utilizando o modelo de transformador desenvolvido pelo GATDA/USP [16], sendo as formas de onda de tensões induzidas em redes primárias obtidas por meio de experimento em escala real [17]. Um estudo detalhado dos surtos transferidos às redes de baixa tensão via transformador, para o caso de

descargas diretas na rede primária, é apresentado em [18].

Para a análise das tensões transferidas da rede primária para a secundária via transformador, é necessário também um modelo confiável do transformador em questão. Em [19] foram calculadas as tensões transferidas ao secundário de um transformador a vazio utilizando o modelo descrito no trabalho e um programa para cálculo de resposta que utiliza a função de transferência do transformador medida em laboratório. Pode-se dizer que a tensão transferida calculada desse modo é equivalente a uma medição, uma vez que a função de transferência do transformador foi obtida em laboratório e contempla toda a faixa de frequências dos impulsos “aplicados” ao primário. As tensões induzidas na rede primária usadas para calcular as tensões transferidas foram obtidas através do modelo ERM (“Extended Rusck Model”) [4, 5]. Os resultados das comparações entre as tensões “medidas” e as calculadas pelo modelo do transformador proposto apresentaram ótima concordância.

Neste trabalho são calculadas as tensões transferidas para o secundário de um transformador típico de distribuição, trifásico, 13,8 kV – 220/127 V, 30 kVA, conexão delta-estrela, utilizando tensões induzidas medidas em experimento em escala real e o modelo de transformador desenvolvido em [16]. Tal modelo é simples, confiável e possibilita a análise das tensões transferidas ao secundário do transformador para diferentes condições de carga.

A metodologia desenvolvida em [16] contemplou a obtenção de modelos de transformadores trifásicos de potências de 30 kVA, 45 kVA, 75 kVA, 112,5 kVA e 225 kVA, todos 13,8/0,220 kV e com ligação delta-estrela. Na Fig. 1 é mostrado o modelo de transformador de 30 kVA desenvolvido, com o nó “1” representando o primário e o nó “2”, o secundário do transformador. O modelo é monofásico equivalente e, portanto, pode ser usado para calcular tensões transferidas aos enrolamentos de baixa do transformador admitindo-se que as tensões induzidas nos seus terminais de alta tensão são aproximadamente iguais nas três fases. De fato, as tensões induzidas na rede primária são aproximadamente iguais nas três fases, pois o espaçamento entre os seus condutores é geralmente muito menor que a distância da linha ao local de incidência da descarga atmosférica.

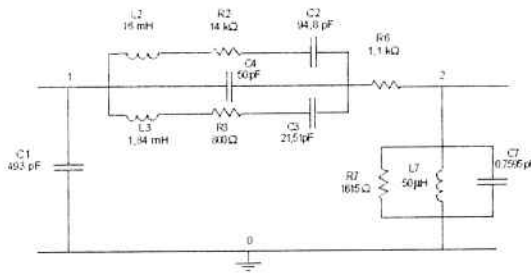


Fig. 1: Modelo de transformador de distribuição trifásico para cálculo de surtos transferidos. Os valores dos parâmetros referem-se a um transformador de 30 kVA, 13,8 kV - 220/127 V, ligação Δ -Y [16].

A Fig. 2 ilustra uma rede primária ligada a um transformador de distribuição considerando uma carga equilibrada conectada ao secundário. Na ocorrência de uma descarga atmosférica indireta, tensões serão induzidas na linha e transferidas ao secundário do transformador. Considerou-se, nas simulações, que as tensões no primário são iguais às tensões fase-terra obtida em [17], o centro estrela do secundário é ligado à carcaça do transformador e o solo é condutor perfeito. Também foi assumido que o condutor de descida do aterramento possui resistência e indutância desprezíveis. Para efeito de simplificação, as tensões transferidas foram calculadas diretamente no secundário do transformador, sem ligação deste à rede secundária. Os cálculos foram feitos no simulador computacional PSpice inserindo uma fonte de tensão entre os nós "1" e "0" do modelo de transformador associada à tensão induzida medida na rede primária.

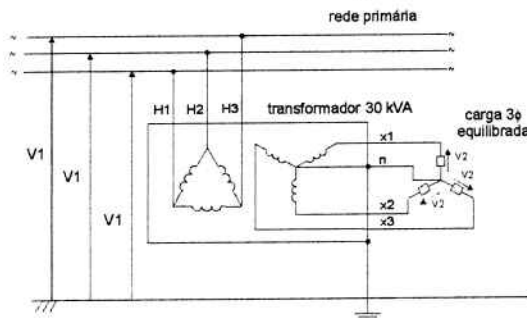
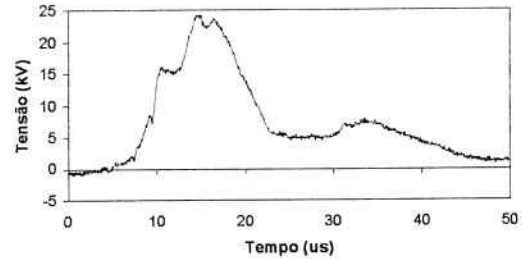


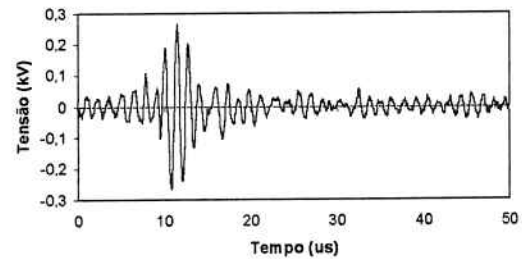
Fig. 2: Configuração simulada. H1, H2 e H3 – terminais de alta tensão do transformador; x1, x2, x3 – terminais de baixa tensão do transformador; n – terminal neutro; V1 – tensão induzida no primário (fase-terra) por uma descarga atmosférica nas proximidades da linha; V2 – tensão nos terminais de baixa tensão do transformador (tensão transferida).

As figs. 3 e 4 apresentam os resultados de cálculos das tensões transferidas ao secundário do transformador (tensões no primário também mostradas), na condição a vazio, para as tensões induzidas na rede primária registradas no modelo em escala real. Observa-se a

característica oscilatória das tensões transferidas, com frequência fundamental da ordem de 720 kHz.



(a)

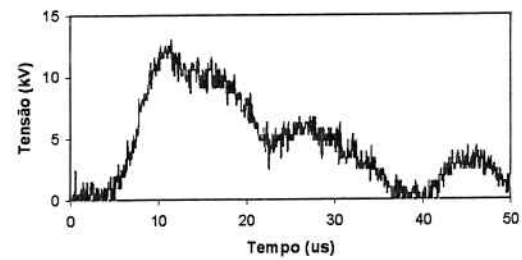


(b)

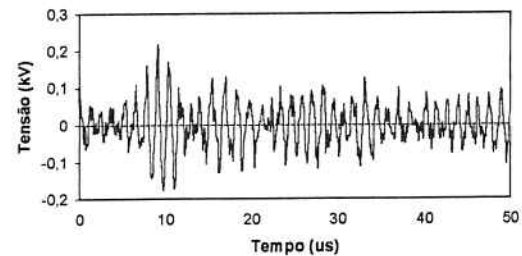
Fig. 3: Tensão induzida no primário (medida) e tensão transferida ao secundário (calculada) considerando o transformador representado através do modelo indicado na Fig. 1, na condição em vazio. Caso 1.

a) tensão induzida no primário [17]

b) tensão transferida ao secundário



(a)



(b)

Fig. 4: Tensão induzida no primário (medida) e tensão transferida ao secundário (calculada) considerando o transformador representado através do modelo indicado na Fig. 1, na condição em vazio. Caso 2.

a) tensão induzida no primário [17]

b) tensão transferida ao secundário

Nos casos apresentados, fica evidente a dependência da tensão transferida com a forma de onda da tensão no primário. Esse efeito pode ser constatado ao se observar as tensões no primário e no secundário do transformador nos casos 1 e 2 (figs. 3 e 4, respectivamente). A tensão no primário do transformador no Caso 1 atinge praticamente o dobro da tensão relativa ao Caso 2, mas essa relação não se mantém nas tensões transferidas ao secundário, que apresentam amplitudes semelhantes.

Isto pode ser explicado pelos espectros de frequências das tensões dos casos 1 e 2 e pela curva de resposta do transformador em função da frequência (medida em laboratório), todas mostradas na Fig. 5 (juntamente com a curva de resposta do modelo do transformador). Para melhor visualização, o módulo do espectro da tensão do Caso 2 foi normalizado e o módulo do espectro da tensão correspondente ao Caso 1 foi referenciado ao módulo do espectro do Caso 2.

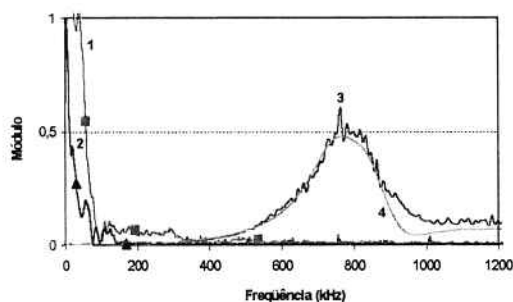


Fig. 5: Espectros das tensões induzidas no primário (casos 1 e 2) e curvas de resposta do transformador (obtida em laboratório) e do modelo (Fig. 1).
1) espectro da tensão indicada na Fig. 3 (Caso 1)
2) espectro da tensão indicada na Fig. 4 (Caso 2)
3) curva de resposta do transformador obtida em laboratório
4) curva de resposta do modelo de transformador indicado na Fig. 1

Verifica-se que as amplitudes dos componentes do surto referente ao Caso 1 são muito maiores que aqueles relativos ao Caso 2 até a frequência de 300 kHz. Como o ganho do transformador é muito baixo até 400 kHz, a diferença de amplitude entre os sinais de entrada não tem muita importância na tensão transferida. Para a faixa em que o ganho do transformador é considerável, dos 500 kHz aos 1200 kHz, o módulo da tensão no primário no Caso 1 continua maior que no Caso 2, mas com pequena diferença. Esse comportamento explica o fato de as diferenças entre as amplitudes das tensões transferidas serem muito menores que aquelas correspondentes às tensões no primário do transformador.

4. TENSÕES INDUZIDAS NA REDE SECUNDÁRIA

Neste item são apresentados alguns resultados de simulações com o objetivo de avaliar as características das tensões induzidas na rede secundária em decorrência da incidência de descargas atmosféricas indiretas. Essa avaliação é realizada para redes convencionais monofásicas e multiplexadas trifásicas. Os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) são analisados quanto à sua eficiência na redução das tensões induzidas nas linhas de BT.

4.1 Linha convencional

Para analisar as tensões induzidas em linhas de baixa tensão é necessário conhecer a característica das cargas conectadas à linha. Apesar da grande diversidade de cargas existentes, o estudo realizado em [10] apontou o circuito apresentado na Fig. 6 como adequado para representar o comportamento de uma determinada instalação consumidora (sistema TN) na faixa de 5 kHz a 2 MHz. Através da análise da impedância do circuito em função da frequência, verifica-se que o mesmo pode ser simplificado, uma vez que na faixa considerada o efeito do indutor de $3,5 \mu\text{H}$ é preponderante. Em [10] a carga foi representada por um indutor puro com indutância entre $2 \mu\text{H}$ e $20 \mu\text{H}$.

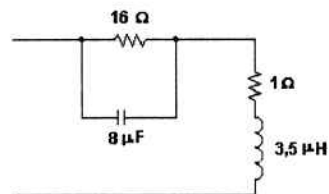


Fig. 6: Representação da carga consumidora (sistema TN) [10].

Como a conexão das cargas à rede de BT se dá através dos ramais de ligação, é importante que as impedâncias destes sejam levadas em conta nas simulações. A indutância associada ao condutor fase de um ramal com 40 m de comprimento, é de aproximadamente $50 \mu\text{H}$, a qual deve ser adicionada à indutância da carga, cujo modelo é mostrado na Fig. 6.

Outro fator importante quanto à avaliação de tensões induzidas nas linhas de BT é a representação do transformador. Em [20] foi mostrado que a impedância de saída do transformador de 30 kVA modelado em [16] pode ser representado por um indutor de $50 \mu\text{H}$ em série com o circuito utilizado para a

modelagem das cargas consumidoras (Fig. 6). Na Fig. 7 é apresentado o esquema de rede utilizado nas simulações, tendo sido utilizado o circuito indicado na Fig. 6 para a representação das cargas dos consumidores. As tensões induzidas foram calculadas pelo ERM ("Extended Rusck Model") para uma descarga com amplitude $I = 45 \text{ kA}$, forma de onda triangular (tempo de frente $t_f = 3 \mu\text{s}$ e tempo até o zero $t_0 = 150 \mu\text{s}$) e velocidade de propagação igual a 30 % da velocidade da luz no vácuo, incidente à distância $d = 50 \text{ m}$ da linha, em frente ao transformador. O comprimento do canal da descarga foi suposto com 3 km de extensão, tendo as tensões sido calculadas no ponto da linha mais próximo ao local de incidência da descarga, isto é, junto ao transformador. A menos que indicado em contrário, nas simulações apresentadas a seguir os valores desses parâmetros permaneceram inalterados.

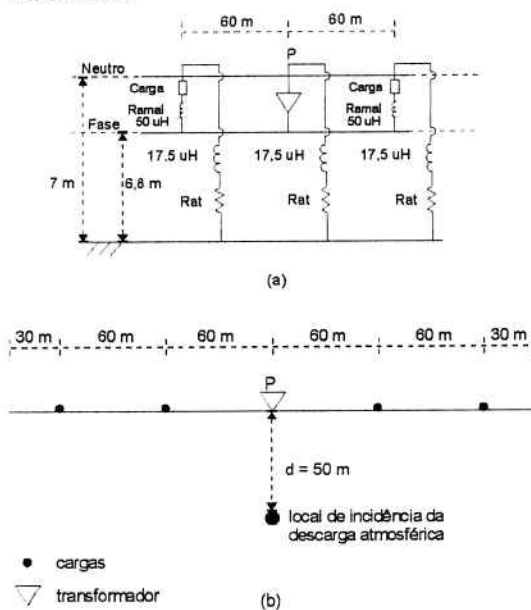
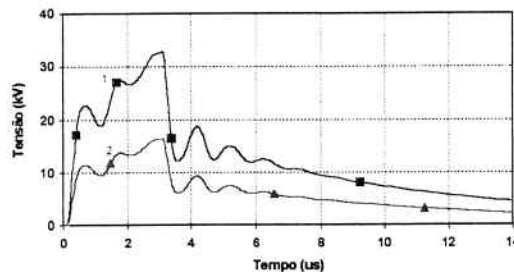


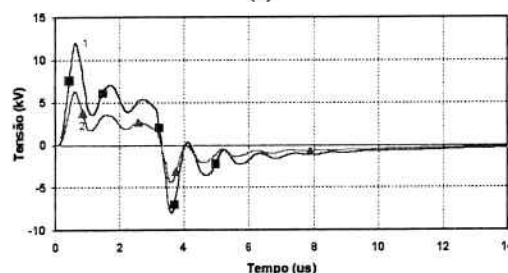
Fig. 7: Configuração da linha convencional de BT – Caso Base. P: ponto de cálculo das tensões induzidas. Cargas e neutro conectados a terra nos mesmos pontos. $I = 45 \text{ kA}$; Resistência de terra $R_{at} = 20 \Omega$.

Na Fig. 8 é apresentada a comparação das tensões obtidas no ponto P da Fig. 7 para duas amplitudes I da corrente da descarga, 45 kA e 90 kA. Os demais parâmetros da configuração da linha não foram alterados. Observa-se que as tensões induzidas são proporcionais à amplitude da corrente. Nota-se também que as tensões fase-terra atingem seus valores máximos em aproximadamente $3 \mu\text{s}$, que é o tempo de frente da corrente. Já nas tensões fase-neutro os valores de crista ocorrem em aproximadamente $0,7 \mu\text{s}$.

Apesar da alteração na amplitude da tensão induzida, não foram verificadas mudanças significativas na sua forma de onda com a variação da amplitude da corrente, dada a linearidade do circuito.



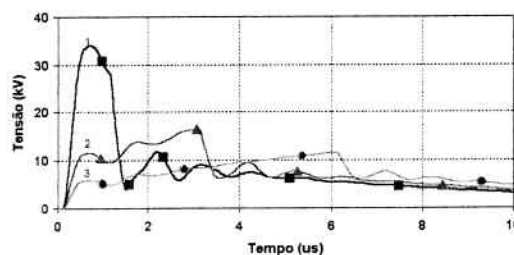
(a)



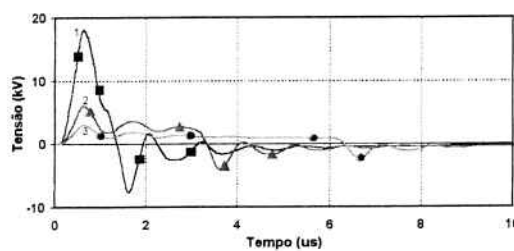
(b)

Fig. 8: Tensões induzidas no ponto P indicado na Fig. 7.
1) $I = 90 \text{ kA}$ 2) $I = 45 \text{ kA}$ (Caso Base)
a) tensões fase-terra b) tensões fase-neutro

O efeito do tempo de frente t_f da corrente da descarga pode ser verificado através das tensões induzidas apresentadas na Fig. 9, calculadas no ponto P para a configuração indicada na Fig. 7.



(a)



(b)

Fig. 9. Variação das tensões induzidas (no ponto P) em função do tempo de frente t_f da corrente da descarga.
 $I = 45 \text{ kA}$; $R_{at} = 20 \Omega$.
1) $t_f = 1,5 \mu\text{s}$ 2) $t_f = 3 \mu\text{s}$ 3) $t_f = 6 \mu\text{s}$
a) tensões fase-terra b) tensões fase-neutro

Nota-se que à medida que a corrente se torna mais íngreme as amplitudes de todas as tensões induzidas tendem a aumentar. Entretanto, diferentes comportamentos são observados no que se refere às formas de onda das tensões fase-terra e fase-neutro: os tempos de frente das primeiras tendem a aumentar com o aumento do tempo de frente da corrente, enquanto que as últimas atingem seus valores máximos praticamente no mesmo instante.

4.2 Linha Multiplexada

A rede multiplexada é formada por um ou mais condutores isolados enlaçados ao redor do condutor neutro, que também possui a função de sustentação da rede. A rede multiplexada é recomendada em regiões muito arborizadas devido a várias vantagens em relação à rede convencional, como por exemplo menor frequência de desligamentos provocados por toques em árvores e menores custos de manutenção. Em relação ao seu desempenho em descargas atmosféricas, há poucas publicações [21]. O objetivo deste item é comparar, em algumas situações, as tensões induzidas em redes convencionais e em redes multiplexadas.

Os parâmetros da descarga atmosférica (tempo de frente, tempo até o zero e amplitude da corrente, comprimento do canal de descarga, velocidade de propagação da corrente no canal, distância do local de queda da descarga à linha, etc.) utilizados nas simulações apresentadas a seguir são idênticos aos utilizados no Caso Base na rede convencional, salvo quando indicado em contrário. Os modelos da carga e do transformador utilizados nessa simulação são idênticos aos utilizados na simulação do Caso Base da rede convencional. Em ambas as configurações de rede a altura do condutor neutro é fixada em 7,0 m. Na Fig. 10 é apresentada a configuração de rede multiplexada trifásica, equivalente à mostrada na Fig. 7. As tensões induzidas no ponto P da rede multiplexada são apresentadas na Fig. 11. Como pode-se observar, a rede multiplexada para essa configuração de rede não apresenta redução significativa nas amplitudes das tensões induzidas quando comparada à rede convencional, o que pode ser explicado pela existência de cargas conectadas ao longo da linha. Em relação às formas de onda das tensões, verifica-se que na rede multiplexada elas apresentam menos oscilações que as observadas na rede convencional. Observa-se também que os tempos de crista e cauda das ondas

praticamente não se alteram para as duas configurações.

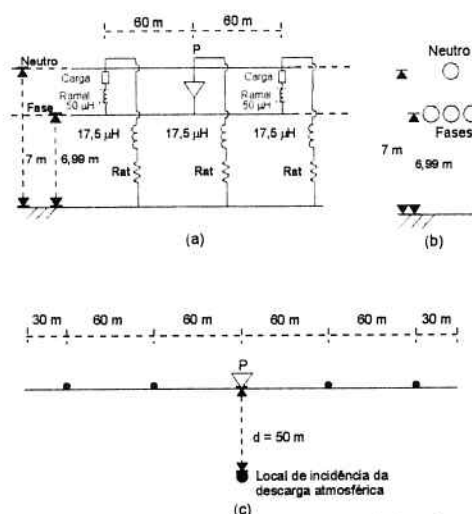


Fig. 10: Configuração da linha de BT multiplexada com transformador de 30 kVA instalado no seu ponto central e cargas ao longo da linha. P – ponto de cálculo das tensões induzidas. ∇ - transformador. • - carga.

a) vista lateral c) vista frontal c) vista superior

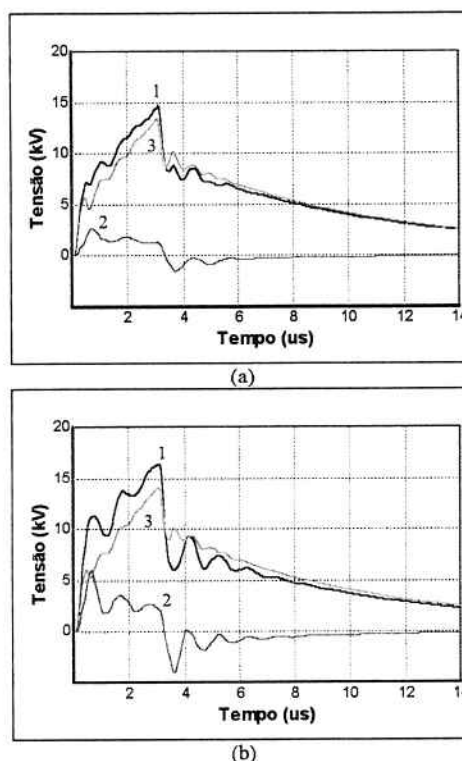


Fig. 11: Comparação entre tensões induzidas no ponto P na rede com transformador de 30 kVA e cargas para as configurações multiplexada (Fig. 10) e convencional (Fig. 7).

Resistência de terra $R_{at} = 20 \Omega$.

1) Tensões fase-terra

2) Tensões fase-neutro

3) Tensões neutro-terra

a) rede multiplexada b) rede convencional

Como pode-se observar, a rede multiplexada para essa configuração de rede não apresenta redução significativa nas amplitudes das tensões induzidas quando comparada à rede convencional, o que pode ser explicado pela existência de cargas conectadas ao longo da linha. Em relação às formas de onda das tensões, verifica-se que na rede multiplexada elas apresentam menos oscilações que as observadas na rede convencional. Observa-se também que os tempos de crista e cauda das ondas praticamente não se alteram para as duas configurações.

O tempo de frente t_f da corrente de descarga foi alterado para $1,5 \mu s$ de modo a comparar as tensões induzidas nos dois tipos de rede para esta condição. Os demais parâmetros utilizados na simulação não foram alterados em relação ao Caso Base. As tensões induzidas no ponto P das figs. 7 e 10 são mostradas na Fig. 12.

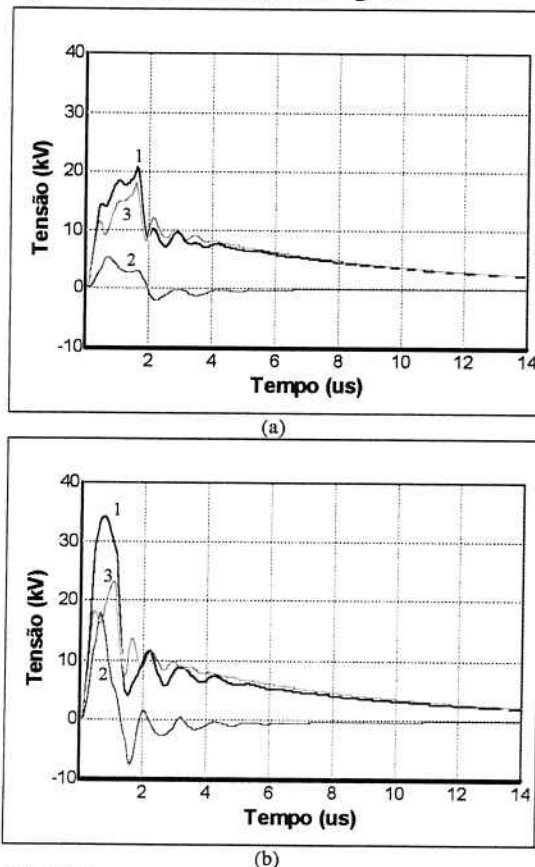


Fig. 12: Comparação entre tensões induzidas no ponto P na rede com transformador para as configurações multiplexada (Fig. 7) e convencional (Fig 10). Tempo de frente da corrente da descarga $t_f = 1,5 \mu s$.
 1) Tensões fase-terra
 2) Tensões fase-neutro
 3) Tensões neutro-terra
 a) rede multiplexada b) rede convencional

As tensões induzidas na rede multiplexada apresentaram amplitudes reduzidas quando

comparadas com as da rede convencional. A tensão fase-neutro da rede multiplexada sofreu maior redução (aproximadamente 70 %), enquanto para as tensões fase-terra e neutro-terra as reduções ficaram em torno de 39 % e 22 %, respectivamente. Ao contrário do caso anterior, as formas de onda das tensões na rede multiplexada são diferentes daquelas observadas na rede convencional. Os tempos de crista das tensões fase-terra e neutro-terra na rede convencional são menores que os observados na rede multiplexada (diferenças de $0,93 \mu s$ e $0,53 \mu s$ respectivamente). Já as tensões fase-neutro atingem o seu máximo valor aproximadamente no mesmo instante. Nota-se então que para correntes com tempos de frente curtos o tipo de rede (multiplexada ou convencional) tem influência nas amplitudes e formas de ondas das tensões induzidas.

Nas redes de distribuição os para-raios são usados principalmente no primário do transformador e nos finais da linha primária. Nas redes de baixa tensão os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) geralmente não são utilizados, o que pode provocar a queima do transformador devido a surtos oriundos da baixa tensão [22]. O objetivo desse item é verificar a eficiência dos DPSs na redução das amplitudes de tais surtos e, conseqüentemente, no aumento da confiabilidade do sistema. Para tal foram simulada a configuração de linha de baixa tensão multiplexada trifásica, apresentada na Fig. 13. Os demais parâmetros da linha são idênticos aos utilizados na simulação anterior. Vale ressaltar que essa configuração considerada representa um grande avanço na análise das tensões induzidas em linhas de BT por descargas atmosféricas. Ao longo da pesquisa bibliográfica realizada não foram encontradas publicações tratando de configurações com esse grau de complexidade.

As tensões induzidas são calculadas no ponto P, a 75 m do transformador, para uma descarga atmosférica incidente a 50 m da linha, em frente ao ponto P. Os parâmetros da descarga atmosférica são iguais ao utilizados no Caso Base da rede convencional no item 4.1, exceto a amplitude da corrente da descarga, adotada igual a 90 kA. Em [10] foi mostrado que o modelo da carga que representa a unidade consumidora utilizado nesse trabalho pode ser simplificado por um indutor de $3,5 \mu H$. Deste ponto em diante essa simplificação foi adotada, sendo utilizado um indutor de $53,5 \mu H$ entre os condutores fase e neutro da linha, sendo $3,5 \mu H$ referente à própria carga e $50 \mu H$ referente à indutância do condutor fase do ramal de ligação.

Assim como nas cargas, o secundário do transformador também foi modelado por uma indutância de $53,5 \mu\text{H}$, conforme discutido em [20]. Nos pontos da linha onde existe carga ou transformador o condutor neutro é aterrado, sendo a resistência de terra assumida igual a 20Ω e a indutância do condutor de descida do aterramento do neutro igual a $17,5 \mu\text{H}$ (iguais ao Caso Base – rede multiplexada). A utilização de DPS no modelo ERM se dá por meio da curva característica V_{xl} do dispositivo, sendo esta obtida por meio de ensaios em laboratório a partir da aplicação de impulsos normalizados de corrente (onda $8/20 \mu\text{s}$). Nas simulações foi utilizada as características de um DPS típico, com tensão residual de $1,1 \text{ kV}$ (para uma corrente com valor de crista igual a 10 kA). O DPS é instalado diretamente na linha, entre os condutores fase e neutro, e utiliza o mesmo condutor de aterramento do neutro para desviar as correntes de surto.

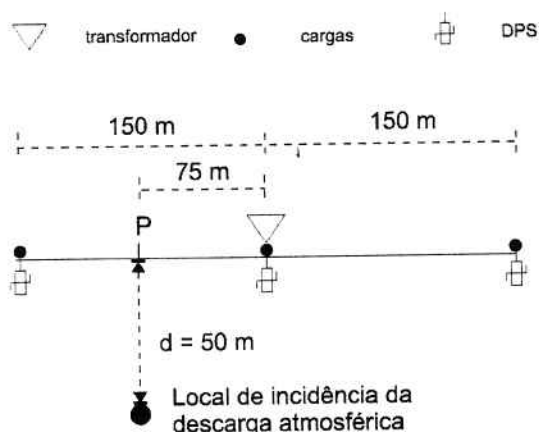


Fig. 13: Configuração de rede multiplexada simulada. DPS no secundário do transformador e nas extremidades da linha.

As tensões induzidas no ponto P e também nos terminais de BT do transformador, no caso de uma descarga atmosférica incidente no ponto indicado na Fig. 13, com amplitude de corrente igual a 90 kA (com $t_f = 3 \mu\text{s}$ e $t_o = 150 \mu\text{s}$), são mostradas na Fig. 14. Como era de se esperar, as amplitudes das tensões no transformador são significativamente menores que no ponto P (a 75 m de distância dos DPSs). A tensão fase-terra foi reduzida em aproximadamente 76% , enquanto que para a tensão fase-neutro essa redução ficou ao redor de 48% . No caso das tensões no secundário do transformador, pode-se observar a grande redução da amplitude da tensão fase-terra e a forma de onda da tensão fase-neutro, limitada à tensão residual do DPS. A amplitude da tensão fase-terra sofre uma redução acentuada porque a impedância do DPS

(quando de sua atuação) é muito baixa - da ordem de 1Ω .

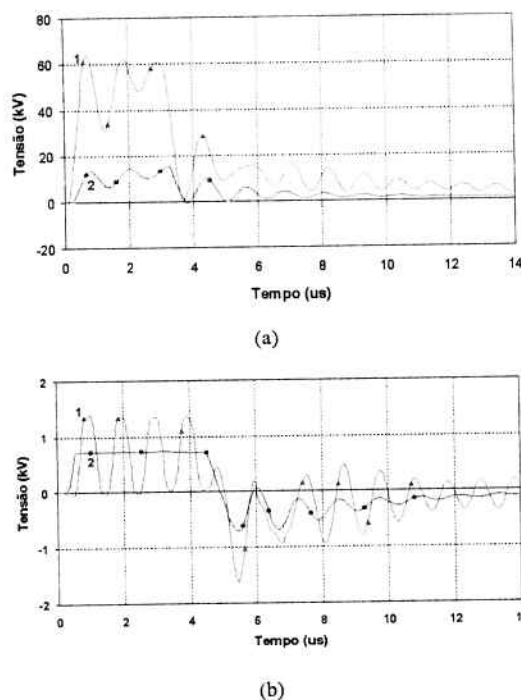


Fig. 14: Tensões induzidas no ponto P e nos terminais de BT do transformador para a configuração de linha mostrada na Fig. 13. $I = 90 \text{ kA}$, $t_f = 3 \mu\text{s}$, $t_o = 150 \mu\text{s}$.

- 1) Tensões no ponto P
- 2) Tensões nos terminais de BT do transformador
- a) tensões fase-terra b) tensões fase-neutro

5. COMPARAÇÃO ENTRE TENSÕES TRANSFERIDAS AO SECUNDÁRIO DO TRANSFORMADOR E TENSÕES INDUZIDAS EM REDES DE BAIXA TENSÃO

No item 3 foram calculadas as tensões transferidas à rede de baixa tensão através do transformador devido a descargas atmosféricas próximas à linha. Neste item é realizada a comparação entre tensões transferidas e tensões induzidas na rede baixa tensão. Para isso são calculadas (com o uso do ERM) as tensões induzidas em uma determinada configuração de rede para a mesma descarga atmosférica incidente em suas proximidades, podendo assim ser comparadas diretamente as tensões induzidas com as transferidas pelo transformador. A Fig. 15 mostra a configuração utilizada no cálculo das tensões induzidas nas linhas primária e secundária.

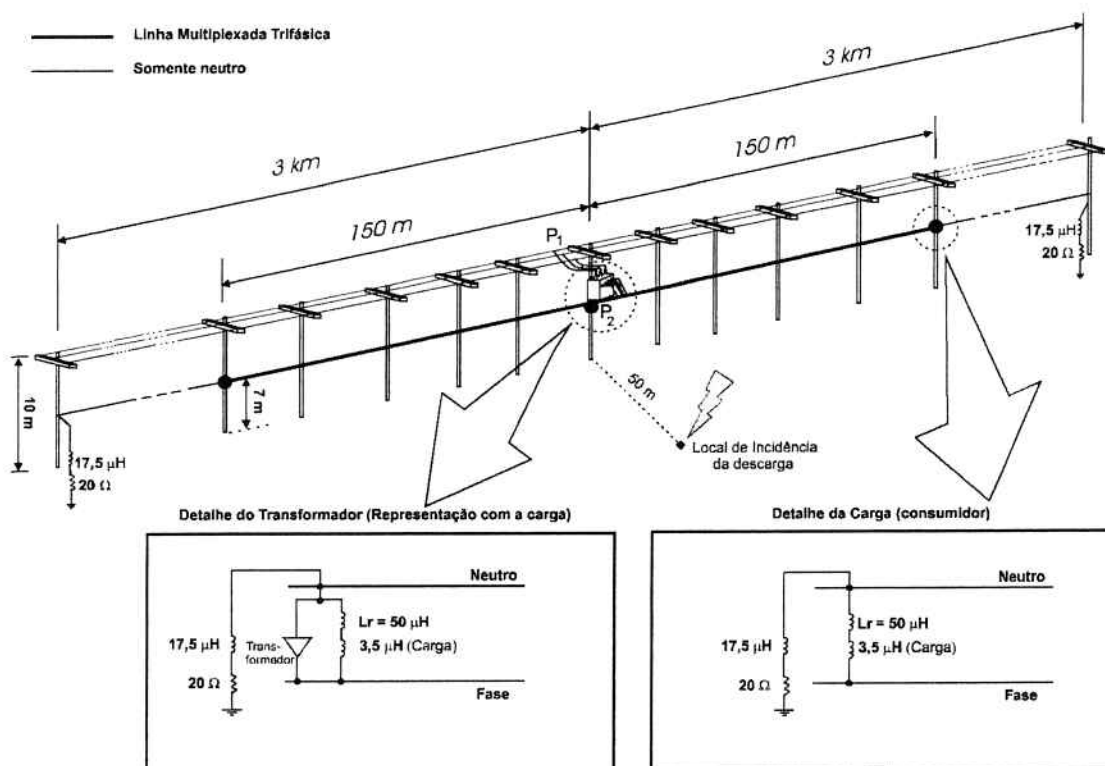
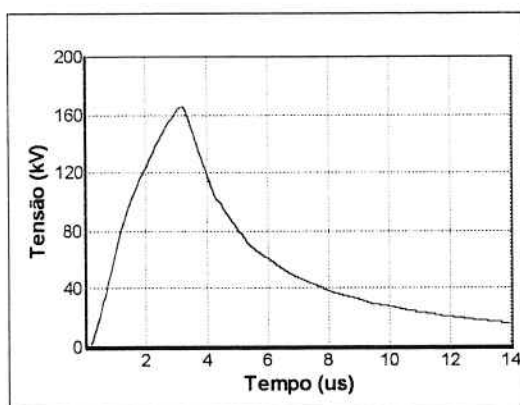


Fig. 15: Configurações das linhas primária e secundária.

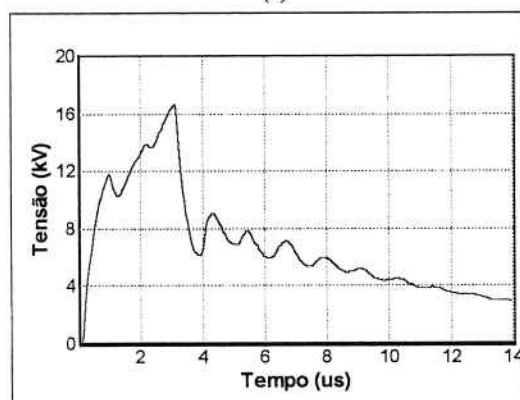
A rede primária é trifásica, com 6 km de extensão, condutores situados a 10 m do solo e com um transformador típico de distribuição de 30 kVA instalado no centro da linha. Foi utilizado o modelo apresentado no item 3 para representar a impedância do transformador vista pela linha de média tensão e para o cálculo da tensão transferida. A rede de baixa tensão é multiplexada, trifásica, com 300 m de comprimento e condutores neutro e fases a 7 m e 6,99 m do solo, respectivamente. O condutor neutro segue toda a extensão da linha primária e é aterrado no transformador e a cada 150 m, com resistência de terra assumida igual a 20Ω e indutância do condutor de descida do aterramento igual a $17,5 \mu\text{H}$. O diâmetro dos condutores da rede primária e secundária é de 1 cm. Uma carga consumidora de $3,5 \mu\text{H}$ e seu ramal de ligação ($50 \mu\text{H}$) são considerados em cada extremidade da linha de BT e também no secundário do transformador de distribuição. As tensões induzidas calculadas nos pontos P_1 e P_2 indicados na Fig. 16 (linhas primária e secundária) são mostradas na Fig. 16 para uma

descarga atmosférica incidente a 50 m da linha, em frente ao transformador, com amplitude de corrente de 45 kA e tempo de frente igual a $3 \mu\text{s}$. Os demais parâmetros das descargas atmosféricas são idênticos aos utilizados no Caso Base do item 4.1.

A tensão fase-neutro induzida na linha primária alcançou amplitude elevada, de aproximadamente 160 kV. A forma de onda não apresenta oscilações e o tempo de frente é aproximadamente igual ao da corrente da descarga. A tensão fase-terra da rede primária é semelhante à tensão fase-neutro apresentadas, uma vez que essa última é significativamente menor que a tensão fase-terra da linha primária (aproximadamente 91 % menor). A tensão fase-terra na linha de baixa tensão apresenta amplitude e forma de onda semelhantes à observada na Fig. 11-a. Observa-se que a forma de onda da tensão na baixa tensão apresenta queda mais acentuada e mais oscilações em relação à tensão induzida no primário, devido à presença de cargas na linha.



(a)

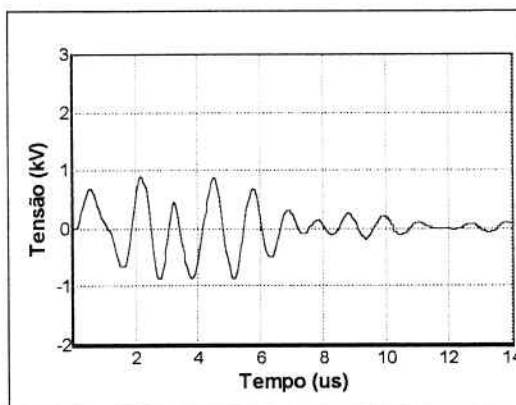


(b)

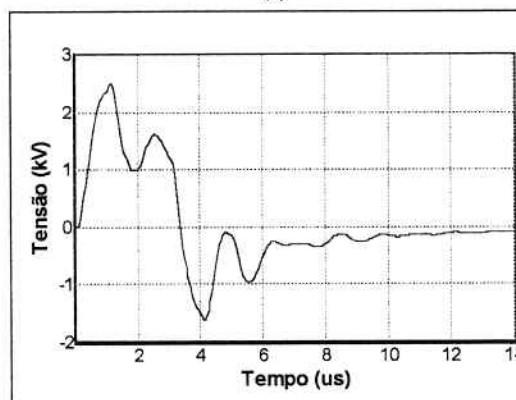
Fig. 16: Tensões induzidas nos pontos P_1 e P_2 das linhas primária e secundária (configuração mostrada na Fig. 15).

- a) tensão fase-neutro na linha primária (ponto P_1)
b) tensão fase-terra na linha secundária (ponto P_2)

A partir das tensões induzidas fase-neutro nos terminais de alta tensão do transformador, foi calculada a tensão transferida à linha de BT utilizando o programa “Alternative Transients Program” (ATP) considerando a configuração mostrada na Fig. 15. Na simulação não se considerou a ocorrência de disrupções. A tensão transferida ao secundário do transformador e a tensão induzidas no ponto P_2 da linha de BT é mostrada na Fig. 17. Vale lembrar que no local de cálculo da tensão transferida existe a ligação de um consumidor (modelado por uma indutância de $3,5 \mu\text{H}$) por meio de um ramal (indutância de $50 \mu\text{H}$). Observa-se que a tensão transferida apresenta característica oscilatória, com frequência fundamental de aproximadamente 770 kHz para o caso analisado. A amplitude da tensão transferida atinge baixo valor, aproximadamente 1 kV . Comparadas com a tensão induzida fase-neutro na linha de baixa tensão, a amplitude da tensão transferida via transformador é menor, embora não desprezível.



(a)



(b)

Fig. 17: Sobre-tensões fase-neutro na rede secundária (ponto P_2) devido a descarga nas proximidades da linha. Amplitude da corrente da descarga igual a 45 kA , $t_f = 3 \mu\text{s}$.

- a) tensão transferida via transformador
b) tensão induzida na linha de baixa tensão

6. CONCLUSÕES

Foram analisadas as tensões transferidas à rede de baixa tensão via transformador, através de simulações computacionais utilizando o modelo de transformador de distribuição desenvolvido pelo GATDA/USP. Esse modelo foi validado por meio de várias comparações entre tensões transferidas medidas e calculadas para diferentes formas de onda de tensão impulsiva na entrada e também para diversas condições de carga. As tensões induzidas na rede primária, utilizadas nos cálculos das tensões transferidas, foram obtidas por meio de experimento em escala real. Observou-se que as tensões transferidas ao secundário do transformador apresentam característica oscilatória, em geral com frequência fundamental da ordem de 720 kHz para os casos apresentados. As amplitudes dessas tensões são fortemente dependentes da forma de onda da tensão no primário do transformador e geralmente apresentam valores de amplitude da ordem de alguns quilovolts.

As tensões induzidas em linhas de baixa tensão com configurações convencional e multiplexada foram calculadas por meio do modelo ERM ("Extended Rusck Model"). Foram abordados aspectos importantes quando do cálculo dessas tensões, como por exemplo a impedância do transformador vista pela linha de BT, a modelagem de instalações elétricas dos consumidores e dos ramais de ligação, linhas sem e com dispositivos de proteção. Com relação ao transformador de distribuição, em [20] verificou-se que a sua presença afeta as amplitudes e formas de onda das tensões induzidas na rede secundária. As amplitudes das tensões fase-terra na rede secundária apresentaram valores elevados, da ordem de 15 kV para amplitude da corrente da descarga igual a 45 kA. Esses valores podem ser altos o suficiente para acarretar a queima de equipamentos e disrupções elétricas em pontos susceptíveis da rede. A forma de onda das tensões induzidas fase-terra na rede de BT é dependente das cargas conectadas a ela e apresentam, em geral, tempos de frente semelhantes ao da corrente da descarga. Por outro lado as tensões possuem tempos de queda muito mais curtos que os da corrente da descarga (da ordem de 5 μ s).

Foram estudadas ainda algumas configurações de linhas multiplexadas trifásicas, tendo sido observadas diferenças entre as tensões induzidas fase-terra da ordem de 10 % a 40 % em relação à rede convencional para os casos analisados. Conclui-se, portanto, que o desempenho das redes multiplexadas frente a descargas atmosféricas depende de vários fatores, como por exemplo o tempo de frente da corrente da descarga.

O uso de DPS na linha, junto ao transformador de distribuição e nas extremidades da mesma, também foi considerado. A análise realizada foi feita para linha de BT multiplexada trifásica com cargas e transformador. Foi utilizada uma curva característica $V \times I$ típica de um DPS para os cálculos das tensões induzidas. Verificou-se que tal dispositivo possibilita a redução das amplitudes das tensões na linha, principalmente no local onde ele está instalado, aumentando o grau de proteção dos equipamentos situados nas suas proximidades.

A comparação realizada entre a tensão induzida fase-neutro na linha de baixa tensão com aquela transferida ao secundário via transformador, na mesma condição (mesma descarga), mostrou que essa última não é desprezível. No caso considerado a amplitude da tensão transferida atingiu valor da ordem de 35 % da tensão

induzida. Esse resultado reforça a importância do estudo do comportamento dos transformadores frente a solicitações impulsivas.

Embora os modelos de redes de BT utilizados neste trabalho representem um avanço em relação a estudos anteriores, é importante destacar que a modelagem do fenômeno das tensões induzidas é complexa, principalmente no caso de linhas secundárias, em que se tem diversas configurações possíveis e parâmetros difíceis de se conhecer com precisão, como as impedâncias das cargas e as características do transformador de distribuição. Propõe-se, como temas para trabalhos futuros, uma investigação mais detalhada das impedâncias das unidades consumidoras e a determinação dos níveis de proteção de equipamentos eletroeletrônicos, como por exemplo televisores, aparelhos de som e vídeo, microondas, microcomputadores, etc. Em relação aos surtos transferidos, propõe-se estudos experimentais envolvendo medições em campo das tensões no primário e no secundário de transformadores de distribuição típicos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PINTO JR, O.; PINTO, I. R. A. **Tempestades e relâmpagos no Brasil**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2000. 194p.
- [2] INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, AGÊNCIA ESPACIAL AMERICANA. Apresenta informações sobre o impacto das descargas atmosféricas. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/inovacao/>. Acesso em: 08/08/2003.
- [3] PIANTINI, A.; JANISZEWSKI, J. M. Lightning induced voltages on low-voltage lines. In: V INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHTNING PROTECTION, 5.. São Paulo, 1999. **Proceedings. V SIPDA**. São Paulo: IEE/USP, 1999. p. 234-239.
- [4] PIANTINI, A. **Contribuição ao estudo das tensões induzidas em linhas de distribuição por descargas atmosféricas indiretas**. 1991. 205p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.
- [5] PIANTINI, A. **Tensões induzidas por descargas atmosféricas indiretas em linhas aéreas, rurais e urbanas, considerando diferentes métodos de proteção - modelagens teórica e experimental e aplicação ao cálculo de interrupções**. 1997. 316p. Tese (Doutorado) - Escola

- Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.
- [6] BASSI, W.; MATSUO, N. M.; PIANTINI, A. Currents and charge absorbed by low-voltage SPDs in overhead distribution systems due to lightning. In Proc. of the International Symposium on High Voltage Engineering, vol. 2, **Proceedings. ISH.**, London: Institution of Electrical Engineers, pp. 2.349.P1-2.352.P1, Aug. 1999.
- [7] PIANTINI, A.; KANASHIRO, A. G.; OBASE, P. F. Lightning surges transferred to the low-voltage network. In Proc. of the VII International Symposium on Lightning Protection, **Proceedings. VII SIPDA.** pp. 216-221, Curitiba, Nov. 2003.
- [8] PIANTINI, A.; BASSI, W.; JANISZEWSKI, J. M.; MATSUO, N. M. **Sobretensões na rede secundária, ocasionadas por descargas atmosféricas.** São Paulo. Centro de Excelência em Distribuição de Energia Elétrica. CED 294/STRA002/RL 002/OR, fev. 1998.
- [9] UMAN, M. A. **The lightning discharge.** New York, Academic Press, 1987. (International Geophysics, v. 39).
- [10] HOIDALEN, H. K. Lightning-induced voltages in low-voltage systems and its dependency on overhead line terminations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PROTECTION, 24., Birmingham, 1998., **Proceedings. ICLP 1998.** Stafford: Staffordshire University, 1998. p.287-292.
- [11] CONTI, A. R. DE; VISACRO FILHO, S.; SILVEIRA, F. H.; PEREIRA, C.; VICENTE, J. P. D. Lightning overvoltages on low voltage networks: analysis and protection. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDING AND EARTHING & 3RD BRAZILIAN WORKSHOP ON ATMOSPHERIC ELECTRICITY, 3., Rio de Janeiro, 2002. **Proceedings. GROUND'2002 & 3rd WAE.** Rio de Janeiro: SB-RAI: Brazilian Society for Electrical Protection, 2002. p.285-209.
- [12] PIANTINI, A.; BASSI, W.; JANISZEWSKI, J. M.; MATSUO, N. M. A simple transformer model for analysis of transferred lightning surges from MV to LV lines. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ELECTRICITY DISTRIBUTION, 15., 1999, Nice. **CIREN'NICE 99.** Technical Papers. Liege: AIM, 1999 p. sec.2.18/ 1-6.
- [13] GALVÁN, A.; COORAY, V. Analytical simulation of lightning induced voltage in low voltage power installation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PROTECTION, 15., Rhodes, 2000. **Proceedings. ICLP 2000.** Patras, University of Patras, 2000. p.290-295.
- [14] AGRAWAL, A. K.; PRICE, H. J.; GURBAXANI, S. H. Transient response of multiconductor transmission lines excited by a nonuniform electromagnetic field. **IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility**, v. 22, n. 2, p.119-129. May 1980.
- [15] SILFVERSKIÖLD, S.; THOTTAPPILLIL, R.; COORAY, V.; SCUKA, V. Induced voltages in a low-voltage power installation network due to lightning electromagnetic fields: an experimental study. **IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility**, v. 41, n. 3, p.265-271, Aug. 1999.
- [16] PIANTINI, A.; KANASHIRO, A. G.; CARNEIRO, J. C. Surtos transferidos à rede de baixa tensão via transformador – influência da carga conectada ao secundário. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 15, Salvador, 2002. **XV SENDI 2002.** 1 CD-ROM.
- [17] PIANTINI A.; DE CARVALHO, T. O.; SILVA NETO, A.; JANISZEWSKI, J. M.; ALTAFIM, R. A. C.; NOGUEIRA, A. L. T.; A System for simultaneous measurements of lightning induced voltages on lines with and without arresters. Approved for publication in the Proc. of the XXVI International Conference on Lightning Protection, **Proceedings. ICLP 2004,** Avignon, Sep. 2004.
- [18] OBASE, P. F. **Surtos atmosféricos transferidos à rede secundária via transformador.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. Dissertação em desenvolvimento.
- [19] PIANTINI, A.; MALAGODI, C. V. S. Voltages transferred to the low-voltage side of distribution transformers due to lightning discharges close to overhead lines. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHTNING PROTECTION, 5., São Paulo, 1999. **Proceedings. V SIPDA.** São Paulo: IEE/USP, 1999. p.201-205.
- [20] PIANTINI, A.; SILVA NETO, A. Tensões Induzidas em Linhas de Baixa Tensão por Descargas Atmosféricas. Aprovado para

- publicação In: **Transmission and Distribution IEEE/PES/T&D Latin América**, São Paulo, 2004.
- [21] PIANTINI, A; BASSI, W.; MATSUO, N. M.; NOSAKI, S. Sobretensões e sobrecorrentes em redes de baixa tensão com cabo multiplexado causadas por descargas atmosféricas. In: I CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 1., Brasília, 2001. **Anais. I CITENEL**. p. 68-71.
- [22] BASSI, W. **Estudo de surtos em redes secundárias de distribuição devido a descargas atmosféricas diretas na rede primária**. 1999. 135p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas – CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferroviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELIOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abridadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SÉRGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÖES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Falhas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferrovários - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaio para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9801 - Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Rodoviária - RUBENS LOPES ROLIM, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9802 - Projeto de um Ondulador Híbrido e Estudo de Onduladores Derivados de Solenóide, para Utilização em Laser a Elétrons Livres - FRANCISCO SIRCILLI NETO
- BT/PEA/9803 - Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas através de Procedimentos Heurísticos - CARLOS C. BARIONI DE OLIVEIRA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9804 - Conceituação e Aplicação de Metodologia de Gerenciamento pelo Lado da Demanda em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica - FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9805 - Acoplamento Circuito Elétrico - Método dos Elementos Finitos em Regime Transitório Utilizando a Metodologia de Dommel - NANCY MIEKO ABE, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9806 - Modelo de Arco Elétrico Aplicado ao Estudo da Interrupção da Corrente em Disjuntores de Média Tensão - LUCILIO CARLOS PINTO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9807 - Proteção para Falta de Alta Impedância Utilizando o Sistema de Rádio Troncalizado - MARCO ANTONIO BRITO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/9808 - Contribuição ao Estudo e Projeto dos Motores Síncronos de Relutância - IVAN EDUARDO CHABU, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9809 - Cabos Cobertos: Metodologia para a Determinação da Espessura da Cobertura - ANTONIO PAULO DA CUNHA, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9810 - Eletrificação Rural - Avaliações em São Paulo - MARCELO APARECIDO PELEGRINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9811 - Política de Eletrificação Rural em São Paulo - LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9812 - Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares - ANDRÉ LUIZ MONTEIRO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/9813 - Diretrizes para a Regulação da Distribuição de Energia Elétrica - JAMES S. S. CORREIA, LINEU BELICO DOS REIS

- BT/PEA/9814 - Distribuição da Tensão de Impulso em Enrolamentos de Transformadores de Distribuição - PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/9815 - Estudo Comparativo entre os Diversos Métodos de Determinação do Rendimento de Motores de Indução - FRANCISCO ANTONIO MARINO SALOTTI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9816 - A Nodal Analysis Approach Applied to Electric Circuits Coupling in Magnetodynamic 2D FEM - MAURÍCIO CALDORA COSTA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9817 - Informatização e Automação dos Órgãos Gestores de Mão de Obra - EDUARDO MARIO DIAS, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9818 - Frequência de Ocorrência de Sobretensões Originárias de Descargas Atmosféricas em Linhas de Distribuição - NELSON MASSAKAZU MATSUO, LUIZ CERA ZANETA JR.
- BT/PEA/9819 - Um Método de Imposição de Pólos no Estudo da Estabilidade de Redes Elétricas a Pequenas Perturbações - PERCIVAL BUENO DE ARAUJO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9820 - Inter-Relação do Planejamento Agregado de Investimentos com o Planejamento Localizado de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - JUCEMAR SALVADOR SIMÕES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9821 - A Produção de Energia Através das Células de Combustível - JOSÉ LUIZ PIMENTA PINHEIRO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9822 - Automação de Processos - Revisão e Tendências - SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9823 - Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores e Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neutrais Artificiais - SE UN AHN, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9901 - Contribuição ao Modelamento e Simulação de Motores em Ímãs Permanentes e Comutação Eletrônica de Alta Rotação - WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/9902 - Estudos de Sistemas de Potência e Automação: Plantas Industriais de Grande Porte - MAURÍCIO G. M. JARDINI, JOSÉ A. JARDINI
- BT/PEA/9903 - Synchronous Machines Parameters Identification Using Load Rejection Test Data - E. C. BORTONI, J. A. JARDINI
- BT/PEA/9904 - Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoeletricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição ao Estado da Arte e Aplicação ao Caso do Gás Natural - ELIANA APARECIDA FARIA AMARAL FADIGAS, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9905 - Sistema de Manutenção Preventiva de Subestações: Uma Abordagem Semântica para o Monitoramento Integrado - ELIAS ROMA NETO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9906 - Previsão das Perdas Magnéticas na Presença de Harmônicos - MARCELO S. LANCAROTTE, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9907 - Comportamento do Aterramento de Sistemas e Equipamentos de Distribuição sob Impulso - CLEVERSON LUIZ DA SILVA PINTO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9908 - Modelo de Sistema de Supervisão e Controle Operacional de Terminais de Contêineres - LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/9909 - Medição de Altas Correntes em Frequência Industrial: Instrumentação, Dispositivos de Medição e Calibrações - HÉLIO EIJI SUETA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/9910 - Conversores Auto-Comutados Aplicados em Derivações de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua e Alta Tensão - WILSON KOMATSU, WALTER KAISER
- BT/PEA/9911 - Análise de Desempenho de Sistemas de Aterramento em Alta Frequência pelo Método dos Elementos Finitos - ANGELO PASSARO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/9912 - Simulação de Motores "Shaded Pole": Uma Nova Abordagem Analítico-Numérica - PASCHOAL SPINA NETO, SILVIO IKUO NABETA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9913 - Estimadores de Estado para Sistemas de Potência: Análise do Estado da Arte - CLEBER ROBERTO GUIRELLI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9914 - Análise sobre o Comportamento de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Utilizando o Método dos Elementos Finitos - SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR., LUCIANO MARTINS NETO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9915 - Automatização do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica - H. K. Kiyohara, L. C. Magrini, E. P. PARENTE, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9916 - Controle Digital de Tensão e Reativos - PAULA S. D. KAYANO, LUIZ CARLOS MAGRINI, LINEU BELICO DOS REIS, ANTONIO JOSÉ GOMES CARMO, ELIAS DE SOUZA NETO
- BT/PEA/9917 - Localizadores Digitais de Falhas em Linhas de Transmissão - CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9918 - Religamento Monopolar em Linhas de Transmissão - Propostas de Uma Ferramenta para Investigações Paramétricas - IVANIL POMPEU, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9919 - Viabilidade Técnica de Abertura Monopolar Permanente em Linhas de Transmissão Extra Alta Tensão - FABIANA AP. DE TOLEDO SILVA, JOSÉ ANTONIO JARDINI

- BT/PEA/9920 – Avaliação do U-Net em Custers com Rede My com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI
- BT/PEA/9921 – SAG – Sistema de Apoio Gerencial via Internet – ADRIANO GALINDO LEAL, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9922 – Desequilíbrio de Tensão em Redes Secundárias de Distribuição – PAULO VINÍCIUS SANTOS VALOIS, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9923 – Sistema Não Lineares Controlados pela Lógica Difusa: Uma Aplicação em Acionamentos Constituídos por Motores Assíncronos – WERNER W. PACHECO LUJAN, CÍCERO COUTO MORAES
- BT/PEA/9924 – Arborescência em Cabos Elétricos de Média e Alta Tensão – JOÃO JOSÉ ALVES DE PAULA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/9925 – Estudo para Otimização de Desempenho de Plantas Industriais Automatizadas – ANTONIO ORLANDO UGULINO, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9926 – Simulação e Análise de Desempenho de Processos Visando a Otimização de Sistemas Integrados de Produção – CÍCERO COUTO DE MORAES, SERGIO LUIZ PEREIRA, JOSÉ ROBERTO R. DE GODOY
- BT/PEA/9927 – Automação Moderna de Processos: Análise de Necessidade, Viabilidade e Tendências Tecnológicas – SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9928 – Modelo de Compensação Série Controlada Aplicado ao Estudo do Amortecimento de Oscilações em Sistemas de Potência – JOSÉ ROBERTO PASCON, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9929 – Cálculo de Trajetórias de Elétrons em Estruturas Magnéticas – YASMARA CONCEIÇÃO DE POLLI, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/0001 – Monitoramento de Transformadores de Potência Direcionado à Manutenção com Base nas Condições – SERGIO COSTA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0002 – Redes Neurais Artificiais Aplicadas a Estudos de Subestações de Alta Tensão Abrigadas Frente a Ensaios de Impulsos Atmosféricos – ANDRÉ NUNES DE SOUZA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0003 – Relé Diferencial para Transformador de Potência Implementado com uma Rede MLP – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0004 – Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia – PAULO HÉLIO KANAYAMA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0005 – Modelamento de Conversores CC/CC por meio da Chave PWM – LUIZ FERNANDO P. DE MELLO, WALTER KAISER
- BT/PEA/0006 – Estudo de Surtos em Redes Secundárias de Distribuição Causados por Descargas Atmosféricas Diretas na Rede Primária – WELSON BASSI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEA/0007 – Modelagem da Magnetohidrodinâmica em 3D pelo Método de Elementos Finitos – SERGIO LUÍS LOPES VERARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0008 – Metodologia para Avaliação do Comportamento e Vida Útil de Motores Alimentados por Fontes Assimétricas de Tensão – JOSÉ LUIZ ANTUNES DE ALMEIDA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0009 – Esquema de Aterramento Híbrido (EAH) – FRANCISCO CARLOS PARQUET BIZZARRIA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0010 – Ferro-Ressnância em Redes Subterrâneas de Distribuição – REGINA LÚCIA LAMY, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0011 – A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Energético – CLÁUDIO ELIAS CARVALHO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0012 – A Agregação de Valor à Energia Elétrica através da Gestão Integrada de Recursos – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0013 – Tochas a Plasma: Características Básicas para Projeto e Construção – MIGUEL BUSSOLINI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/0014 – Um Estudo de Correntes Induzidas em Meios Maciços Ferromagnéticos – Aplicação no Projeto de Freios de Correntes Parasitas – ALVARO BATISTA DIETRICH, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0015 – Incorporação de Sistemas de Co-Geração aos Sistemas Elétricos de Potência: Um Roteiro para Avaliação de Viabilidade Técnico-Econômica – LUIZ DONIZETI CLEMENTINO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0016 – Metodologia para Análise da Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo de Energia Elétrica em Baixa Tensão – ALEXANDRE ANGRISANO, RONALDO P. CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0017 – Análise de Índices de Qualidade no Planejamento Agregado de Investimentos em Ambiente de Incertezas – CARLOS ALEXANDRE DE SOUSA PENIN, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0018 – Controle de Descarregadores de Navios Utilizando Lógica Fuzzy – ANTONIO DAGOBERTO DO AMARAL JÚNIOR, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0019 – The Energy Absorption Capacity of Metal Oxide Surge Arresters An Approach for Switching Surges – MANUEL LUÍS BARREIRA MARTINEZ, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR

- BT/PEA/0020 – Utilização Racional de Energia Elétrica em Instalações Elétricas Comerciais Empregando Sistemas de Automação – JOEL ROCHA PINTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0021 – Sistema Automatizado para Aquisição de Dados de Consumo de Energia Elétrica, Água e Gás – JOSÉ WALTER PARQUET BIZARRIA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0022 – Estudo de Ignitores de Pulsos Superpostos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão – ALEXANDER FERNÁNDEZ CORREA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0023 – Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado a Estudos sobre Medições de Energia Elétrica – DOUGLAS ALEXANDRE DE A. GARCIA, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0024 – Uma Visão Educacional do Método dos Elementos Finitos Aplicado ao Eletromagnetismo – LUIZ NATAL ROSSI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0025 – An Application of the Finite-Element Method to Design a Switched Reluctance Motor – PEDRO P. DE PAULA, SILVIO I. NABETA, JOSÉ R. CARDOSO
- BT/PEA/0026 – Algoritmos de Alta Velocidade para a Proteção de distância de Linhas de Transmissão – ERVALDO GARCIA JÚNIOR, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/0027 – Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados para a Monitoração da Tensão em Regime Permanente – SILVIO XAVIER DUARTE, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0028 – Análise da Confiabilidade e Manutenibilidade de Topologias do Sistema de Telefonia Fixa – RICARDO ELIAS CAETANO, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0029 – Aspectos Tecnológicos Referentes à Repotenciação de Usinas Termoelétricas – MÁRCIO NESTOR ZANCHETA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR
- BT/PEA/0030 – Controle de Iluminação Utilizando Dimerização por Lógica Fuzzy, Compensando a Iluminação Natural – ANDRÉ VITOR BONORA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0031 – Identificação do Nível de Redundância das Medidas de um Sistema, para Efeito da Estimação de seus Estados – JOÃO BOSCO AUGUSTO LONDON JUNIOR, NEWTON GERALDO BRETAS
- BT/PEA/0101 – Aplicação do Controlador de Subestação a um Sistema Digital Integrado de Supervisão e Controle – RENATO CAMPANINI TEIXEIRA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0102 – Uma proposta de um Filtro Ativo de Tensão para Aplicações em Redes Elétricas – JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0103 – Causas de Falhas e Critérios de Reaproveitamento de Transformadores de Distribuição de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – MIGUEL ANGEL HERNANDEZ TORRES, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0104 – Um Sistema para Avaliação de Indicadores de Qualidade da Distribuição de Energia Elétrica – GERSON YUKIO SAIKI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0105 – Métodos de Análise de Sistemas de Aterramento de Linhas Metroviárias – ARMANDO DE OLIVEIRA ALVES DE SOUZA, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0106 – Caracterização de Acionamentos na Indústria de Beneficiamento de Minério de Ferro – FERNANDO MARCELO CALADO DE ANDRADE, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0107 – Impacto da Privatização das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica na Qualidade da Energia Suprida – MITSUO NITTA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/0108 – Estudo Comparativo de Ensaios de Chapa Única para Medidas de Perdas em Aços Elétricos – RONALDO ALVES SOARES, CARLOS SHINITI MURANAKA
- BT/PEA/0109 – Modelagem de Transformadores de Distribuição para Altas Frequências – ARNALDO G. KANASHIRO, ALEXANDRE PIANTINI, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/0110 – Análise e Localização de Descargas Parciais em Transformadores de Potências por Métodos Elétricos – HÉDIO TATIZAWA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/0111 – A Eletrificação Rural em São Paulo – Custos e Padrões – LUIZ FERNANDO KURAHASSI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0112 – A Escola Rural sem Luz em São Paulo – OSWALDO TADAMI ARIMURA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0113 – Eletrificação Rural no Novo Cenário: O Caso de São Paulo – LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0114 – Simulação do Aterramento em Sistemas MRT – OCTÁVIO FERREIRA AFFONSO, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0115 – Otimização do Dimensionamento de Equipamentos para Automação de Terminal de Contêineres – FÁBIO LOPES CARNELOS, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0116 – Sistema de Localização de Faltas para Redes Primárias de Distribuição – GIOVANNI MANASSERO JUNIOR, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0117 – Proteção de Distância para Linhas de Transmissão com Compensação Série – JOSÉ GERALDO BARRETO MONTEIRO DE ANDRADE, EDUARDO CESAR SENER

BT/PEA/0118 – Proposta de Acionamento Microprocessado para Empilhadeira Elétrica – MARCO AURÉLIO VILELA DE OLIVEIRA, WALTER KAISER

BT/PEA/0119 – Técnicas "Anti-Windup" – LUIZ AUGUSTO PEREIRA FERNANDES, CLÓVIS GOLDEMBERG

BT/PEA/0120 – Regulador de Tensão de Gerador – HERALDO SILVEIRA BARBUY, CLÓVIS GOLDEMBERG

BT/PEA/0121 – Eficiência Operativa e Confiabilidade de Equipamentos Associados à Automação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – REINALDO BURIAN, CÍCERO COUTO DE MORAES

BT/PEA/0122 – Cálculo de Forças sobre Ímãs Permanentes: Uma Análise do Problema 23 do Team Workshop – HÉLIO JOSÉ DAMANTE, LUIZ LEBENSZTAJN

BT/PEA/0123 – Análise de Guias de Ondas Ópticos pelo Método dos Elementos Finitos – MARCOS A. R. FRANCO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO

BT/PEA/0124 – Transient Induced Voltage Computaction in a High Building Struck by Lightning – CARLOS A. F. SARTORI, A. ORLANDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO

BT/PEA/0125 – Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição – ANDRÉ MÉFFE, CARLOS CÉSAR BARIONI DE OLIVEIRA

BT/PEA/0126 – Calculo da Distribuição da Corrente de Falta em Sistemas de Aterramento de Redes Primárias – GILBERTO DE MAGALHÃES FALCOSKI, ADERBAL DE ARRUDA PENTAEDO JR.

BT/PEA/0127 – Acionamento de Velocidade Variável Utilizando Motores de Corrente Alternada Assíncronos – JOSÉ ALBERTO MARQUES, IVAN EDUARDO CHABU

BT/PEA/0201 – Unified Power Quality Conditioner with Energy Storing Module for Medium Voltage Adjustable Speed Drive – VALBERTO FERREIRA DA SILVA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR

BT/PEA/0202 – Simulação de Marcha de Composição Ferroviária Acionada por Motores de Indução e PWM – CASSIANO LOBO PIRES, SILVIO IKUYO NABETA

BT/PEA/0203 – Conservação de Energia Elétrica em Edificações Comerciais: Sistemas de Ar Condicionado com Central de Água Gelada – TEODORO MONGE DE AMORIM FILHO, MARCO ANTONIO SAIDEL

BT/PEA/0204 – Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Sistemas de Informações Geográficas – FERDINANDO CRISPINO, HERNAN PRIETO SCHMIDT

BT/PEA/0205 – Previsão de Carga em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Redes Neurais Artificiais – JORGE YASUOKA, HERNAN PRIETO SCHMIDT

BT/PEA/0206 – Correção de Distorções Harmônicas, em Sistemas Industriais, Através de Filtros Passivos - ANTONIO PESTANA NETO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR

BT/PEA/0207 – Proposta de Metodologia para Controle da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica a Partir da Segmentação do Mercado Consumidor em Famílias de Redes Elétricas – RODOLFO COLI DA CUNHA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN

BT/PEA/0208 – Modelagens das Funções de uma Subestação Automatizada Empregando Modelos Orientados a Objetos – MILTHON SERNA SILVA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR

BT/PEA/0209 – Automação de Instalações Elétricas Prediais Através da Internet – ROBSON REBOUÇAS CARDOSO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JUNIOR

BT/PEA/0210 – Identificação Automática de Vagões na Área Portuária: Uma Solução com Análise de Imagens – EDUARDO MANTOVANI, EDUARDO MÁRIO DIAS

BT/PEA/0211 – Concepção de Sistema de Supervisão e Controle no Processo de Descarga Rodoviária em Terminais Portuários Utilizando Identificadores Automáticos de Veículos – ROGÉRIO COSTA DE OLIVEIRA, EDUARDO MÁRIO DIAS

BT/PEA/0212 – Metodologia para Análise de Perda de Vida Útil de Transformadores, Alimentando Cargas não Lineares – ARLINDO GARCIA FILHO, EDUARDO MÁRIO DIAS

BT/PEA/0213 – Sistema de Automação para Gestão do Carregamento de Transformadores Baseado na Confiabilidade – JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT

BT/PEA/0214 – A Conservação, Considerando Aspectos Relacionados à Qualidade de Energia Elétrica na Indústria Têxtil: Estudo de Caso – MÁRIO CÉSAR GIACCO RAMOS, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

BT/PEA/0215 – Cálculo de Parâmetros Operacionais de Desempenho de Redes Primárias de Distribuição Utilizando Redes Neurais Artificiais – ANA MARÍA GARCÍA CABEZAS, HERNAN PRIETO SCHMIDT

BT/PEA/0216 – Análise Dinâmica de um Motor de Indução Linear pelo Método dos Elementos Finitos – EDUARDO FERREIRA DA SILVA, SILVIO IKUYO NABETA

BT/PEA/0217 – Reômetro Rotativo de Taxa de Cisalhamento Imposta Acionado por Motor de Passo – SAMUEL E. DE LUCENA, WALTER KAISER

BT/PEA/0218 – Acionamentos com Motores Brushless para Sistemas de Ventilação de Emergência – RENATO DE ALMEIDA PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES

BT/PEA/0219 – Retificador Trifásico de Alta Eficiência para Tochas de Plasma – MARIO GONÇALVES GARCIA JÚNIOR, LOURENÇO MATAKAS JÚNIOR

- BT/PEA/0220 – Impacto de Modelos de Mercado Espacial no Planejamento de Sistemas de Distribuição de Energia – MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0221 – Proposta de Recuperador Dinâmico para Correção de Afundamentos de Tensão – FRANCISCO COSTA SARAIVA FILHO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0222 – Análise Preditiva de Defeitos em Motores de Indução Trifásicos Utilizando a Corrente de Alimentação – JOSÉ DANIEL SOARES BERNARDO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0223 – Cálculo de Iluminação Auxiliado por Computadores – NESTOR CÂNDIDO FERREIRA SEGUNDO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0224 – Otimização de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Geração Distribuída – JAMEA CRISTINA BATISTA SILVA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0301 – Algoritmo Digital para a Proteção da Interligação Concessionária – Indústria Operando em Sistemas de Cogeração – FRANCISCO ANTONIO REIS FILHO, EDUARDO C. SENER
- BT/PEA/0302 – Dimensionamento da Infra-Estrutura para Automação de Terminais de Granéis Sólidos – FABIO DEL PAPA, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0203 – Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração – RICARDO SHEIGI ABE, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0304 – Applying Object-Oriented Technology to Project Hydroelectric Power Plant SCADA Systems – CARLOS ALBERTO VILLACORTA CARDOSO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0305 – Impactos Econômicos Causados pelos Distúrbios na Rede Básica de Energia Elétrica – JOSÉ JULIO DE ALMEIDA LINS LEITÃO, LINEI BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0306 – Fault Location in Transmission Lines Using One Terminal Post Fault Voltage Data – CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0307 – Impactos da Aplicação de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Habitações de Baixa Renda no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica – LUIS VENTURA CASTELLS PEÑA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0308 – Análise e Melhoria do Controle Automático de Concentração de uma Planta de Ácido Nítrico Diluído – ELCIO RODRIGUES ARANHA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0309 – Criação de Valor na Avaliação de Projetos Termelétricos sob Condições de Risco no Mercado Brasileiro de Energia Elétrica – WAGNER DA SILVA LIMA, DOREL SOARES RAMOS
- BT/PEA/0310 – Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico como Instrumento de Apoio a Regulação da Energia Elétrica – LUIZ MARIO TORTORELLO, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0311 – Análise de Transientes em Motor de Indução Modelo ABC/abc Aplicado ao Modelamento e Simulação de Soft-Starters - LUIS CARLOS RIBEIRO DOS SANTOS – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0312 – Modelamento Matemático e Análise do Funcionamento do Acionamento para Motores de Anéis em Cadeia Sub-Síncrona – SÉRGIO LUIZ VOLPIANO – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0313 – Considerações do Ambiente Eletromagnético Urbano na Análise de Interferências Eletromagnéticas em Veículos Automotores – GLÁUCIO SANTOS – CARLOS ANTONIO FRANÇA SARTORI
- BT/PEA/0314 – Contribuição a Aplicação das Wavelets na Eletrostática – ALDO ARTUR BELARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0315 – Avaliação Ponderada da Hidreletricidade e Termoeletricidade Através dos Custos Completos – JULIO HENRIQUE BOARATI, MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA
- BT/PEA/0401 - Previsão Espacial de Carga em Sistemas de Distribuição Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial e Plataforma GIS – FRANZ HENRY PEREYRA ZAMORA, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0402 – Modeling of Impulse Stressed Distribution Transformer Winding Oriented to Maintenance Purposes – PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0403 – Sistema para o Gerenciamento de Imóveis e Ocupação das Faixas de Linhas de Transmissão Utilizando Dados Georreferenciados e de Sensoriamento Remoto – MAURICIO GEORGE MIGUEL JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0404 – Proposta de Novas Topologias de Conversores “C-DUMP” para o Acionamento de Motores e Geradores de Relutância Chaveados – WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0405 – Proposta de Aplicação de Motor de Indução Linear Tubular na Extração de Petróleo – BERNARDO PINHEIRO DE ALVARENGA, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0406 – Aplicação da Automação Elétrica no Controle de Temperatura de Grandes Edifícios – MARLENE DA SILVA BOSCATTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0407 – Metodologia de Segurança para Intercâmbio Eletrônico de Documentos Aplicado ao Sistema Portuário Brasileiro – LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0408 – Proposta de um Novo Protocolo de Comunicação para a Saída Serial de Usuário de Medidores de Energia Elétrica – ANDRÉ LUIZ MONTERO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0409 – Estimação de Estado da Rede Durante Variações de Tensão de Curta Duração para o Monitoramento de Qualidade de Energia Elétrica – TANIA PAOLA LEDESMA ARANGO, NELSON KAGAN

- BT/PEA/0410 – Algoritmo Baseado em Redes Neurais Artificiais para a Proteção de Distância de Linhas de Transmissão – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SENGER
- BT/PEA/0411 – Modelo Computacional do Sistema de Conversão de Energia Eólica Equipado com Gerador de Indução – MARCELO MORAES, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0412 – Proteção de Planta Termoeletrica Operando em Co-Geração – ANTONIO CARLOS MOSCARDI, JOSÉ AQUILES BAESSO GRIMONI
- BT/PEA/0413 – Compensação de Desequilíbrios de Carga Empregando Conversor Estático Operando com Modulação em Largura de Pulso – RODRIGO CUTRI, LOURENÇO MATAKAS JUNIOR
- BT/PEA/0414 – Probabilistic Model of Feasibility for Distributed Generation in a Competitive Environment – EDSON MARQUES FLORES, MARCOS ROBERTO GOUVEA
- BT/PEA/0415 – Modelamento e Simulação da Máquina Síncrona em Programas de Transitórios Eletromagnéticos – LILIANA PATRICIA JAIMES ROJAS, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0416 - Steady-State Analysis of the Unified Power Flow Controller (UPFC) and its Capability in Modifying the Transmittable Power - RICARDO LEON VASQUEZ ARNEZ, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0417 – Proposição e Implementação do Modelo de Troca Eletrônica de Dados para o Sistema Portuário Brasileiro – ANDRÉA LUCIA BRAGA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/ 0418 – Simulação da Geração de Energia Eólica com Gerador Assíncrono na Rede da Enersul – FABIO GALIZIA DE CAMPOS, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO
- BT/PEA/ 0419 – Desenvolvimento de Sistema para Estudo de Tensões Induzidas em Linhas de Média Tensão por Descargas Atmosféricas – THAÍS OHARA DE CARVALHO, ALEXANDRE PIANTINI
- BT/PEA/0420 – Modelo de Integração de Recursos como Instrumento para um Planejamento Energético Sustentável – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0421 - Modelos Estatísticos na Otimização de Equipamentos Eletromecânicos - CARINA ALEXANDRA RONDINI MARRETTO, LUIZ LEBENSZTAJN