IMPORTÂNCIA DA FORMAÇÃO INTEGRADA DOS ALUNOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA E CIVIL PARA O ESTUDO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Osni Vicente[1], Silvia Galvão de Souza Cervantes[2], Francisco Morato Leite[3], Cesar Ballarotti[4]

Abstract *— Security of building installations has been the subject of numerous discussions in Brazil and abroad. Concerning to the systems of protections against lightning (SPDA), auditing standards have been following global trends using the structural systems of reinforced concrete as a conductor. There is not yet full acceptance of the technique, since if that is not performed with the required care, it would cause further serious problems of the building, compromising the safety of the installation. SPDA´s projects require precision knowledge of electromagnetic phenomena. The implementation of the project must be an object of serious concern. Being that a subject of vital importance, this paper proposes an integrated action targeting Electrical Engineering and Civil Engineering Courses for the record explicitly in the curricular programs content that treats the practical details of the project and implementation of a SPDA.*

Index Terms — Down conductor, Electrical Engineering course, grounding, lightning protection system.

Resumo *— A segurança das instalações prediais tem sido tema de numerosas discussões no Brasil e no exterior. No que se refere aos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), as normas brasileiras têm acompanhado as tendências mundiais de utilizar o sistema estrutural das armaduras de concreto como elemento condutor. Ainda não há uma plena aceitação da técnica, uma vez que, se não realizada com os cuidados necessários, pode comprometer e prejudicar ainda mais as condições de segurança das instalações. Os projetos de SPDA exigem um conhecimento específico dos fenômenos eletromagnéticos. A execução, por sua vez, envolve cuidados práticos de construção civil e planejamento. Por ser um tema de importância vital, este artigo propõe uma ação integrada nos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Civil para que conste explicitamente, nos programas curriculares, um conteúdo específico e multidisciplinar que trate dos detalhes práticos de projeto e execução de um SPDA.*

INTRODUÇÃO

A preocupação com a segurança de instalações prediais é um tema permanente em todos os âmbitos de projetos da Engenharia. Sendo uma área diretamente ligada à qualidade, segurança e integridade das instalações, o estudo dos SPDA tem sido objeto de numerosos artigos técnicos. Desde as pesquisas sobre a formação das descargas atmosféricas até a dispersão das correntes pela terra, muitos conceitos foram esclarecidos e descritos com o uso de ferramentas matemáticas oportunas. Foram essas contribuições que levaram os órgãos internacionais a rever as técnicas e critérios de normalização dos SPDA.

Nos últimos anos, com a revisão das normas de instalações elétricas prediais no Brasil (NBR 5410 [1] e, especialmente, para o que se refere neste artigo, da NBR 5419 [2]), foram aprovados e recomendados critérios importantes sobre o aterramento estrutural, que tem se mostrado um excelente recurso para a dissipação de correntes de descargas atmosféricas, como têm demonstrado os estudos da área, principalmente de autores americanos e alemães [3]. No entanto, para que a instalação seja adequadamente executada, observa-se que é necessário um trabalho conjunto entre as áreas Elétrica e Civil, pelo natural entrelaçamento de tarefas no projeto e execução da obra.

Normalmente, o engenheiro eletricista não possui familiaridade com as técnicas básicas de execução de estruturas. Muitos engenheiros da área de eletricidade mostram desconhecimento até mesmo do vocabulário básico da construção civil. O engenheiro civil, por sua vez, pela falta de convivência com conceitos práticos de instalações elétricas, pode eventualmente descurar-se dos devidos detalhes na execução e deixar-se guiar simplesmente por critérios de menor custo e tempo.

Por outro lado, é bem difundido entre os projetistas ligados à construção civil o conceito de projeto integrado, em que os diversos projetos que compõem uma edificação

[1] Osni Vicente, docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina, Rua Farrapos, 70, 86.020-470, Londrina, PR, Brazil, osni@uel.br
[2] Silvia G. S. Cervantes, docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina, Rua Gastão Madeira, 118, 86.039-680, Londrina, Paraná, Brazil, silvia@uel.br
[3] Francisco Morato Leite, docente do Departamento de Construção Civil da Universidade Estadual de Londrina, Rua Havana, 31, 86.050-050, Londrina, Paraná, Brazil, morato@uel.br
[4] César Ballarotti, docente do Departamento de Estruturas da Universidade Estadual de Londrina, Rua Dep. Nilson Ribas, 1147, 86.062-090, Londrina, Paraná, Brazil, cballarotti@yahoo.com

– arquitetônico, estrutural, hidráulico, elétrico, incêndio, etc. – são desenvolvidas em conjunto, promovendo a qualidade e a coordenação adequada das diversas etapas do processo construtivo. Nesse contexto se evidencia a importância de um conhecimento recíproco entre as áreas Elétrica e Civil: o projeto e a execução dos SPDA devem ser realizados de modo integrado, respeitando as exigências próprias de cada área em todas as fases de desenvolvimento do processo e prevendo, inclusive, a manutenção adequada do sistema elétrico.

Para que houvesse uma harmônica integração de conteúdos, seria necessário que o engenheiro eletricista tivesse um conhecimento mínimo dos processos construtivos. Da mesma forma, seria oportuno que o engenheiro civil tivesse também conhecimentos básicos da área elétrica para valorizar os critérios e procedimentos dos SPDA.

No entanto, a formação curricular nos cursos de Engenharia no Brasil implica normalmente uma carga horária elevada [4]. A preocupação com uma formação técnica ampla e aprofundada normalmente leva os órgãos colegiados a um elevado volume de disciplinas, dando prioridade aos conteúdos técnicos. Considerando que a Engenharia teve uma evolução muito rápida no século XX, dividindo-se e subdividindo-se em muitas áreas específicas, torna-se praticamente inviável uma formação detalhada em mais de uma especialidade.

Para não sobrecarregar as grades curriculares das engenharias e, ao mesmo tempo, obter uma formação técnica adequada e mais ampla, o presente artigo apresenta uma proposta de inclusão curricular para os cursos citados.

Partindo dos problemas práticos de obra, o artigo dirige a discussão para uma proposta de formação no campo didático-acadêmico, pensando na formação conceitual dos alunos das áreas de Engenharia Elétrica e Engenharia Civil, procurando conscientizar os profissionais sobre os novos conceitos e técnicas relacionadas à segurança em instalações.

METODOLOGIA

Na questão metodológica propõe-se a atuação conjunta de professores de três áreas distintas: engenharia elétrica, construção civil e estruturas, na concepção do sistema de proteção das edificações, interagindo nos conteúdos e fazendo uma abordagem sistêmica dos procedimentos de projeto e construtivos. Dessa forma, a abordagem pedagógica se assemelha ao PBL (ensino baseado em problema), onde os alunos desenvolvem estudos orientados por professores especialistas nos assuntos correlatos aos módulos estudados [5]. Esse tipo de abordagem antecipa aquilo que o aluno irá encontrar em sua vida profissional, trabalhando em grupos de pesquisa ou empresas.

No que se refere à segurança das instalações elétricas da obra, o sistema de aterramento tem sido objeto de inúmeras discussões na área. Critérios clássicos de proteção – como o cone de proteção de Franklin [6], por exemplo – foram sendo aos poucos menos recomendados em função dos novos parâmetros de análise, principalmente devido ao melhor conhecimento da natureza das descargas atmosféricas.

A verificação de que as correntes de descargas podem ser conduzidas à terra por meio das armaduras de edificações gerou uma nova alternativa de estudos. De fato, a experiência mundial tem sido unânime em apontar o uso de armaduras como caminho adequado para as correntes de descarga. A NBR 5419 prevê como elementos condutores integrantes do SPDA as estruturas metálicas de fachadas [7]. Arquitetos e engenheiros estudam atualmente alternativas de fachadas para tal finalidade. Exemplos interessantes de descargas laterais podem ser encontrados em [8].

Na literatura, é usual descrever os SPDA em três partes: o sistema de captação, o sistema de descida e o sistema de aterramento [2].

Sistema de captação

Refere-se ao tipo de captor utilizado, ou seja, o primeiro ponto de contato onde a descarga atmosférica atinge a edificação. A NBR 5419:2005 prevê o uso de hastes, cabos esticados, condutores em malha ou elementos naturais da própria edificação. Na prática, atendendo aos critérios de segurança, costuma-se utilizar os dois sistemas combinados. Na Norma citada, a importância dos captores bem posicionados é justamente garantir que a descarga atinja os captores e não algum outro componente construtivo.

Além da proteção dos beirais e pontos mais elevados, o sistema de captação deve ainda proteger a edificação contra eventuais descargas laterais. Este fenômeno é contemplado na NBR 5419 e tem suscitado novas alternativas para a proteção segura da envoltória [9]. A NBR 5419 estabelece diversos graus de proteção para os SPDA.

O posicionamento dos condutores da gaiola de Faraday é normalmente calculado pelo Modelo Eletrogeométrico (EGM) também conhecido popularmente como "Método das Esferas Rolantes". Uma referência – entre muitas – do método pode se encontrada em [10], técnica básica que leva em conta o espaçamento máximo entre condutores de proteção para impedir que uma determinada descarga atinja a edificação.

Sistema de descida

Tradicionalmente, os sistemas de descida antigos mais comuns eram formados por cabos externos que uniam o sistema de captação aos sistemas de aterramento. As Normas internacionais têm mostrado que a utilização

da armadura estrutural traz uma série de vantagens para a edificação.

De fato, uma primeira vantagem a considerar é a estética: o cabo de descida deixa de representar um problema para os arquitetos e engenheiros uma vez que, quando utilizado, deve obedecer aos critérios da NBR 5419, que prevê vários cabos de descida, conforme as dimensões do edifício.

No entanto, a principal vantagem da utilização da armadura se refere à segurança: seu uso permite uma melhor equipotencialização das tensões no edifício em caso de descargas atmosféricas e oferece um caminho de baixa impedância para as correntes. A NBR 5419 exige, no entanto, uma impedância máxima de 1 Ω [2] entre qualquer par de pontos tomados na estrutura. Esse critério é essencial para a utilização segura do sistema.

Sistema de aterramento

Com o recurso das armaduras como condutores de descida, o sistema de aterramento se prende necessariamente ao uso de estacas e baldrames como eletrodos de aterramento. A Norma admite ainda o uso de hastes cobreadas ou de outros elementos de cobre.

As Normas nada especificam quanto ao valor de resistência do aterramento para o caso de utilização das armaduras. Supõe-se que o arranjo físico das peças estruturais no solo é suficiente para garantir um valor reduzido de resistência.

De fato, ainda que os elementos metálicos da armadura não estejam em contato direto com a terra – uma vez que o concreto deve envolver toda a superfície do vergalhão de aço a fim de protegê-lo – sabe-se que há um alto teor de umidade no solo, especialmente nas estacas mais profundas. Sendo o concreto um material poroso, a umidade existente no solo percola-o com facilidade até atingir a armadura em seu interior. Além disso, por estarem todas interligadas, as armaduras percorrem um extenso trecho linear nas estruturas do solo, o que favorece uma resistência ainda mais baixa.

Há estudos na Construção Civil sobre a resistividade do concreto. O interesse da área, no entanto, é obter resistividades elevadas no concreto, pois se verifica que a corrosão eletroquímica das armaduras está associada a correntes que circulam nos eletrólitos presentes na umidade do concreto.

PROPOSTA

Levando em consideração os diversos aspectos citados, as recomendações de Normas e os critérios de qualidade e segurança em instalações, identificou-se uma possível proposta de conteúdo para os cursos de graduação em Engenharia Elétrica e em Engenharia Civil. Os conteúdos podem ser ministrados em disciplinas correspondentes de Instalações Elétricas – tradicionalmente já existentes – nos dois cursos, mas com tópicos distintos.

Para a Engenharia Elétrica

- propriedades gerais dos materiais de construção;
- noções de técnicas construtivas: produção de concreto armado em infraestrutura e superestrutura;
- tópicos em patologia das construções com ênfase em concreto armado;
- processo construtivo: planejamento da obra; canteiro de obras; técnicas construtivas;
- estruturas metálicas, estruturas de concreto;
- concreto armado: técnicas de execução; estacas, baldrames, pilares e vigas em concreto armado;
- armaduras para concreto: montagem, cuidados, características;
- NBR 5419:2005: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas;
- as três partes do SPDA;
- Modelo Eletrogeométrico e Gaiola de Faraday;
- utilização de armaduras como elementos condutores.
- cuidados práticos para a adequada conexão de condutores.

Para a Engenharia Civil

- conceitos elétricos em alta e baixa tensão;
- tensão de passo e tensão de contato;
- conceitos sobre formação de descargas atmosféricas;
- NBR 5410:2004: Instalações elétricas de baixa tensão;
- critérios básicos de segurança em instalações elétricas;
- NBR 5419:2005: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas;
- as três partes do SPDA: sistema de captação, sistema de descida e sistema de aterramento;
- o Modelo Eletrogeométrico aplicado a sistemas de para-raios;
- conceitos sobre a proteção por Gaiola de Faraday;
- resistência de contato: conceito;
- noções de equipotencialização em edificações;
- materiais e equipamentos para sistemas de aterramento.

Como se vê, trata-se de uma proposta com orientações oportunas para cada área, procurando complementar a formação correspondente. No caso da Engenharia Elétrica, parece evidente que os itens relativos a técnicas construtivas deveriam ser ministrados por um engenheiro civil.

CONCLUSÕES

A experiência mostra que para a compreensão de conteúdos práticos é conveniente a visualização e, se possível, a experimentação. A proposta apresentada

proporciona aos alunos um conteúdo complementar adequado e interessante para a compreensão dos fenômenos elétricos envolvidos nos SPDA.

Não parece necessário um aprofundamento em tópicos muito específicos para cada área. No caso da Engenharia Civil, seria dispensável, por exemplo, o conhecimento de alguns fenômenos eletromagnéticos, a formação de cargas nas nuvens, a reflexão de ondas, etc. No caso da Engenharia Elétrica, seria igualmente dispensável o estudo mais detalhado de composição do concreto, corrosão eletroquímica, dimensionamento de estruturas, etc.

De fato, o foco de toda essa integração de áreas deveriam ser os conhecimentos específicos de proteção das edificações, com a correta implantação dos SPDA, obedecendo aos critérios de normas. Essa é de fato a razão de toda a proposta: que os profissionais das duas áreas possam trabalhar de modo consciente nos detalhes de projeto e execução de SPDA, contribuindo para a segurança predial.

Como as novas normas têm tratado também a questão das descargas laterais nas edificações, seria também bastante útil uma proposta de programa que incluísse os cursos de Arquitetura. O uso de elementos metálicos em fachadas é, de fato, uma tendência em edifícios altos e é um excelente recurso para uma proteção mais confiável.

REFERENCES

[1] NBR 5410:2004. *Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. ABNT.

[2] NBR 5419:2005. *Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas*. ABNT. Um trabalho onde se vê esta divisão em 3 "subsistemas": Sueta, H.G., *Uso de componentes naturais de edificações como parte integrante do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.*Tese doutoral, Universidade de São Paulo, 2005.

[3] Cotrim, A.M.B., *Instalações Elétricas*. Prentice Hall, São Paulo, 2003. 4ª edição, p.650-655.

[4] Tribess, A; Souza, H.A.; Rodrigues, E.F., *O papel do professor na motivação à aprendizagem dos alunos de Engenharia*. Cobenge, 2001, São Paulo. O artigo mostra a carga horária elevada como um fator de desmotivação para a aprendizagem dos alunos.

[5] Savery, J.R.; Duffy, T.M.; *Problem Based Learning: An instructional model and its constructivist framework*. Technical Report 16-01. Indiana University, 2001.

[6] Visacro Filho, S., *Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia*, Artliber, São Paulo, 2005.

[7] NBR 5419:2005. *Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. ABNT. Item 5.1.2.5, d.

[8] *Aranda, SP, número 385, abril/2006,p. 166-175.*

[9] Um exemplo dessa preocupação pode ser encontrado em *Aranda, SP, número 347, abril/2003,p. 70-77.*

[10] Visacro Filho, S., *Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia*, Artliber, São Paulo, 2005, p. 219-229.