

MARCIO BOTTARO
ILDO LUÍS SAUER

○ Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico



Tecnologia para o
Desenvolvimento Nacional



L123

O Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico: Tecnologia para o Desenvolvimento Nacional [recurso eletrônico] / Marcio Bottaro, Ildo Luís Sauer. - - Cuiabá-MT: Guará Editora, 2025.

ISBN 978-65-987228-9-0

1. Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico – Narrativa Histórica.
2. Desenvolvimento Tecnológico. 3. Inovação. I. Bottaro, Marcio.
II. Sauer, Ildo Luís.

CDU 62 (09)

Ficha catalográfica elaborada por Douglas Rios (Bibliotecário – CRB1/1610)

MARCIO BOTTARO
ILDO LUÍS SAUER

O Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico

Tecnologia para o
Desenvolvimento Nacional



Copyright © do texto 2025: Dos Autores
Copyright © da edição 2025: Guará Editora
Coordenação Editorial: Guará Editora
Revisão: Dr. Antonio Henrique Coutelo de Moraes
Editoração: Gatil Comunicação & Marketing

Conselho Editorial

Dr. Jackson Antônio Lamounier Camargos Resende (UFMT)
Dr. Leandro Dênis Battirola (UFMT)
Dra. Taciana Mirna Sambrano (UFMT/IFMT)
Dra. Alexcina Oliveira Cirne (Unicap)
Dra. Jussivania de Carvalho Vieira Batista Pereira (UFMT/Seduc MT)
Dra. Mairy Aparecida Pereira Soares Ribeiro (UniGoiás/ Seduc GO)
Dr. Jonatan Costa Gomes (ICEC)
Dra. Érica do Socorro Barbosa Reis (UFPA)
Dr. Tulio Adriano M. Alves Gontijo
Dra. Solange Maria de Barros (UFMT)
Dra. Caroline Oliveira Santos de Araújo (UNIVAG)
Dra. Sônia Marta de Oliveira (PUC Minas/ SGO-PBH)
Dra. Rosaline Rocha Lunardi (UFMT)
Dr. Fábio Henrique Baia (UniRV)
Dra. Hélia Vannucchi de Almeida Santos (UFMT)
Ma. Jessica da Graça Bastos Borges (UFMT)
Dra. Izabelly Correia dos Santos Brayner (UPE)
Ms. Douglas de Farias Rios (UNIVAG)
Dr. Lucas Eduardo Marques-Santos (UFCAT)
Dra. Caroline Pereira de Oliveira (UFMT)



GUARÁ EDITORA

www.guaraeditora.com.br/
contato@guaraeditora.com.br
WhatsApp (64) 99604-0121

Em memória das vítimas dos acidentes de trabalho no Brasil.

Em memória do Dr. Helmut Einchineger, entusiasta e apoiador do desenvolvimento do Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico e inserção do Brasil dentro dos grupos normativos internacionais da IEC. Seu legado permanece como inspiração para todos que atuam pela excelência na segurança e normalização técnica.



PRÓLOGO

Este opúsculo relata uma história de sucesso, que ilustra como a universidade pode cumprir seu papel de, simultaneamente, ensinar, pesquisar e desenvolver tecnologias e inovações e promover sua difusão no sistema produtivo, impulsionando o desenvolvimento econômico e social.

O capítulo “Anotações Sobre Conhecimento, Ciência, Universidade E Observações Sobre O Desafios Da USP” (Sauer, 2022) do livro “USP Novos Tempos, Novos Olhares” (OLIVEIRA, Amâncio Jorge *et al.* Universidade de São Paulo, 2022) apresenta reflexões sobre o futuro da USP, através de uma análise retrospectiva do papel histórico das universidades, desde a emergência da revolução industrial e urbana, discute a crise permanente do sistema universitário brasileiro, sua construção tardia em comparação com experiências internacionais.

Parte da referência pioneira da Universidade de Berlim, a primeira iniciativa para consolidar o paradigma da universidade de ensino e pesquisa e extensão, que posteriormente seria adotado também no restante da Europa, Estados Unidos e, em seguida, em escala mundial, foi a inovadora experiência da formulação e implantação do projeto da universidade de Berlim, como um esforço para a recuperação da Prússia, ainda sob a influência da derrota para as forças napoleônicas, em 1806. A consolidação da Universidade de Berlim nesse contexto teve como catalizador a necessidade de o Estado Prussiano enfrentar a condição geopolítica europeia, resultante das guerras napoleônicas, marcadamente pela perda do território e a Universidade

de Magdeburg: “o estado tem que substituir por forças espirituais o que perdeu pela força”, registrando uma analogia com inspiração precursora para a criação da USP em 1934, após a derrota do Movimento de 1932, “vencer pela ciência”.

O projeto de implantação da Universidade em Berlim criou um novo paradigma, onde a emergente universidade se transforma num dos pilares do novo sistema econômico, político e social, que posteriormente seria adotado progressivamente em muitos países, para catalisar seu processo de desenvolvimento urbano industrial. Este modelo de interação das universidades de ensino e pesquisa com o sistema produtivo, promovendo a difusão de conhecimentos se expandiu mundialmente, inspirando de modo particular as universidades americanas e inglesas. Antigas instituições foram reformuladas e novas criadas com esta visão. Sob este paradigma são desenvolvidas novas instituições, como MIT (1861), sob o lema “mens et manus” ou “mente e mão”, que enfatiza a importância de unir o conhecimento teórico com a prática, com o objetivo de formar profissionais capazes de aplicar o seu conhecimento de forma criativa e inovadora, e promover sua difusão no sistema produtivo e no tecido social, e Johns Hopkins (1876), entre outras, nos EUA, e, muitas, já existentes, foram reestruturadas, nos EUA e Inglaterra. Nos Estados Unidos, durante o esforço da segunda guerra mundial, foi instaurado um modelo cooperativo entre o governo, com a liderança das forças armadas, principalmente do exército, cientistas oriundos de centros de excelência acadêmica e empresas privadas contratadas para a condução das pesquisas, projetos de desenvolvimento, construção de laboratórios e instalações industriais. No final de 1944, o Presidente Roosevelt, através do documento conhecido como “Ciência, a Fronteira Sem Fim” convocou o Escritório de Pesquisa e Desenvolvimento Científico (OSRD), para discutir como a aplicação da ciência desenvolvida durante a Segunda Guerra Mundial poderia ser aproveitada para a paz: *“Não há, entretanto, nenhuma razão para que as lições a serem encontradas neste experimento não possam ser proveitosamente empregadas em tempos de paz. As informações, as técnicas e as experiências de pesquisa desenvolvidas pelo Escritório de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e pelos milhares de cientistas nas universidades e na indústria privada, devem ser utilizadas nos dias de paz que se avizinham para a melhoria da saúde*

nacional, a criação de novas empresas gerando novos empregos e a melhoria do padrão de vida nacional.” Essa iniciativa foi o ponto de partida crucial para a expansão da pesquisa científica e tecnológica nos EUA e um dos pilares da consolidação da hegemonia dos EUA.

A criação da Universidade de Berlim e seus desdobramentos e a iniciativa dos EUA no pós-guerra, consolidaram o paradigma da atuação conjugada em ensino, pesquisa e desenvolvimento e difusão dos avanços e inovações, com atuação conjunta da Universidade, Governo e Setor produtivo. O IEE foi criado e vem operando desde 1902, inspirado por esta filosofia. O Instituto de Energia e Ambiente da USP é resultado da iniciativa da Escola Politécnica, em 1902, de implantar o Laboratório de Física Industrial, reorganizado como Gabinete de Eletrotécnica em 1912, tendo, no âmbito da Escola Politécnica, integrado as instituições formadoras da Universidade de São Paulo, em 1934. Foi institucionalizado como Instituto de Eletrotécnica, anexo a Escola Politécnica em 1940. Em 1986, foi transformado em Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, ampliando seu escopo para a área de energia como Instituto Especializado da Universidade de São Paulo.

E, finalmente, Conselho Universitário, em 26 de março de 2013, transformou o IEE em Instituto de Energia e Ambiente. Desde a origem, a sua missão foi apoiar o ensino e a pesquisa aplicada, e promover a interação com o sistema produtivo, nos moldes do paradigma da Universidade de Berlim, presente na criação da Universidade de São Paulo. **“O Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico”** traz um relato de uma experiência que traduz os valores e princípios que nortearam a construção do IEE e da USP, e ressalta a importância do laboratório como a materialização de uma concepção sobre o papel da universidade. Procurado, em 2012, por representantes dos trabalhadores, do Governo e de empresas, dependentes ensaios e serviços somente disponíveis no exterior, a direção do IEE mobilizou uma equipe técnica, no âmbito da Divisão de Tecnologia de Sistemas Elétricos, liderada pelo assistente da direção Dr. Welson Bassi, para avaliar infraestrutura já existente e as potencialidades para implantar o laboratório.

Comprovada viabilidade da implantação, foram instituídos os mecanismos de coordenação técnica e administrativa, sob liderança do Dr. Marcio Bottaro, com a supervisão científica, técnica e adminis-

trativa do diretor do IEE, para estabelecer as parcerias e concretizar o desenvolvimento do projeto. A implantação do Laboratório somente foi possível pela parceria com a Petrobras, através de Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, no valor de R\$ 1.484.000,00, (Aproximadamente ~ US\$ 760.000,00 em 2012) sob a gestão dos Engenheiros Flávio Ribeiro e Elizabeth Guimarães, no âmbito dos recursos de P&D aprovados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bicombustíveis.

Desde a inauguração do Laboratório em 2016 o IEE já realizou mais de 6000 ensaios de caracterização e desempenho em materiais e EPIs para proteção contra arcos elétricos, atendendo mais de 200 empresas do segmento de fabricação de EPIs no Brasil e América Latina. Estima-se que o Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico contribuiu com a redução de mais de US\$ 1.500.000,00 anuais em ensaios que seriam obrigatoriamente realizados no exterior, contribuindo com mais de 11 milhões de dólares em economia de divisas para o País, desde sua inauguração. Além disso, o laboratório atende regularmente empresas usuárias dos EPIs em auditorias de qualificação, aceitação e análise de desempenho de seus EPIs em uso, um trabalho de monitoramento da qualidade dos produtos em sua vida útil, fechando a cadeia de controle de segurança e qualidade, indo além das prescrições normativas e regulamentos nacionais e internacionais.

O IEE assumiu protagonismo nacional e internacional na pesquisa e desenvolvimento na área de avaliação de equipamentos de proteção individual contra efeitos térmicos de arcos elétricos, participando, através do dr. Marcio Bottaro, como coordenador na ABNT nos comitês de EPI, e, na IEC como membro de todas as comissões de estudo e desenvolvimento normativo, coordenando grupos Ad-hoc em temas ainda em desenvolvimento internacional, e também como convidado em comissões de estudos da América do Norte como ASTM, IEEE, NMX – Mexico, na América do Sul e Central em instituições de normalização como o IRAM – Argentina, CIER - Comisión de Integración Energética Regional e CECACIER – CIER para Centroamericana y el Caribe.

Ocorreu a participação em eventos nacionais e internacionais para entrevistas, debates e apresentações de pesquisas visando avanços nos temas de proteção ao trabalhador, em atividades promovidas por sindicatos, empresas produtoras e usuários do sistema de geração,

transmissão e distribuição de energia, assim como instituições consagradas como a ABRACOPEL, ANIMASEG, SEESP, PETROBRAS, CPFL, EPE Argentina, ICE Costa Rica, etc. A partir de 2023 o IEE USP assumiu a coordenação do IEEE ESW Brazil, evento internacional de segurança nos trabalhos com energia elétrica de maior impacto técnico e acadêmico do país na área, indexado ao IEEE ESW USA. Também houve produção científica voltada ao aprimoramento dos procedimentos laboratoriais internacionais e a conduta de seleção da proteção adequada ao trabalhador também foi marcante em revistas técnicas de circulação nacional como Eletricidade Moderna, Potência, CIPA, Proteção, entre outras, bem como publicações em revistas científicas com IEEE Industrial Application Society, Measurement Journal, IEEE Transactions in Instrumentations and Measurements.

No limiar da primeira década de operação do Laboratório, este documento ilustra a concretização do paradigma de atuação coordenada entre universidade, empresas e governo, para a aplicação da ciência na prática e assim promover o desenvolvimento autônomo do País. Os méritos são de todos os atores cuja ação está registrada neste opúsculo.

Ildo Luís Sauer

Diretor do IEE 2011 a 2015

Supervisor científico, técnico e administrativo do projeto

SUMÁRIO

Prólogo	7
1 O Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico Histórico	13
2 Concepção do Projeto	20
3 Solução Execução do Projeto	25
Sistemas Eletrônicos e Softwares	35
4 Primeiro Arco Elétrico Aberto Padronizado produzido no Hemisfério Sul	38
Arranjos para corpos de prova	41
Ajustes após a primeira série de validações	44
Primeiras participações em comitês normativos e ensaios Piloto	47
Divulgação na imprensa nacional e internacional	50
Apoio e parcerias para a proficiência	51
5 Inauguração e Acreditação	54
6 Desafios após os primeiros meses de operação	59
7 Impactos na atualidade	62
8 Depoimentos	64
Maria Elizabeth Guimarães	64
Luiz Carlos Lumbreiras	67
José Manuel Teixeira	71
Aguinaldo Bizzo	73
Maria do Carmo Chies	75
REFERÊNCIAS	77



1

O LABORATÓRIO BRASILEIRO DE ARCO ELÉTRICO

A preocupação com os acidentes elétricos relacionados a perigos diferentes dos relacionados com o choque elétrico, como os que envolvem fenômenos térmicos de arcos elétricos que ocorrem principalmente nos ambientes industriais ou na geração, transmissão e distribuição de energia, ou seja, no Sistema Elétrico de Potência, teve origem na América do Norte na década de 1980. A principal publicação que motivou o estudo aprofundado do tema Efeitos Térmicos de Arcos Elétricos ocorreu em 1982, pelo Engenheiro Sênior filiado a IEEE e Pesquisador na empresa DuPont (USA), Dr. Ralph H. Lee. O artigo *The Other Electrical Hazard: Electrical Arc Blast Burns* estabeleceu esse marco internacional e foi inserido no campo regulatório pela Norma NFPA 70E: 1995, intitulada *Standard for Electrical Safety in the Workplace*, publicada pela primeira vez em 1979 nos EUA, pela *National Fire Protection Association* por solicitação da *Occupational Safety and Healthy Administration* (OSHA). O documento da NFPA abrange os requisitos de segurança elétrica para os trabalhadores do setor elétrico e é até hoje a maior referência internacional no tema Segurança Elétrica.

A partir do estudo desenvolvido nos anos 60 pelas pesquisadoras da Marinha Americana Alice Stoll e Maria Chianta sobre a reação da pele humana a exposição térmica, por simulações de queimaduras até a formação uma bolha, foi publicada Curva de Stoll. O resultado do Estudo é utilizado em várias normas e procedimentos e, desde a década de 1980 até os anos atuais, a evolução no tema de proteção contra acidentes envolvendo arcos elétricos evoluiu muito internacionalmente e promoveu vários temas, dentre os quais podem ser destacados: Análise e Gerenciamento de Riscos de Arcos Elétricos, Estimativas de Energias Incidentes de Arcos Elétricos e Dimensionamento de Equipamentos de Proteção Coletiva e Individual.

Alice Stoll contribuiu ainda para o aprimoramento da indústria têxtil americana na área técnica de proteção térmica, colaborando para o desenvolvimento de tecidos com propriedades de proteção térmica para uso nos campos de combate a incêndios e na indústria militar, com o desenvolvimento de materiais e estudos específicos quanto aos efeitos térmicos de fontes de calor radiante, convectivo e condutivo (explosões e batalhas aéreas).

No Brasil, a preocupação com os efeitos térmicos de arcos elétricos foi pautada no cumprimento da legislação com base nas normas regulamentadoras, que, até 2004, não faziam qualquer menção aos perigos térmicos a que os trabalhadores do setor elétrico estavam sujeitos. A Norma Regulamentadora NR 10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE teve seu texto alterado pela Portaria MTE nº 598, de 07 de dezembro de 2004, trazendo no capítulo pertinente à proteção individual a inclusão de considerações sobre inflamabilidade das vestimentas de proteção do trabalhador, que figura até hoje em um único item da norma. De qualquer forma, essa sutil alteração de 2004 na NR 10 trouxe à luz a preocupação e a necessidade de uma abrangência técnica e legal no tema Proteção contra Efeitos Térmicos nos Trabalhos com Eletricidade. Cabe ressaltar que a NR 10 sofreu inúmeras atualizações para acompanhar a dinâmica do de-

envolvimento científico, normativo e tecnológico nos últimos anos, abordando de forma mais contundente a proteção contra acidentes que envolvem arcos elétricos.

Avançando no ambiente regulatório, a portaria de número 121 de 2009 do Ministério do Trabalho foi um marco importante no processo de regulamentação estabelecendo algumas diretrizes básicas relacionadas ao registro controlado (por meio do CA – Certificado de Aprovação) dos equipamentos de proteção individual junto ao Ministério do Trabalho, relacionando os regulamentos técnicos básicos para as Vestimentas de Proteção e outros EPIs relacionados aos perigos de um arco elétrico, já que os EPIs para essa categoria ainda não eram tipificados nacionalmente. A portaria nº 121 instituiu a necessidade de conformidade dos equipamentos de proteção individual por meio de certificação no sistema SINMETRO ou por meio de relatórios de ensaios quando o EPI não estivesse enquadrado na lista de produtos cobertos pelo processo de certificação. No entanto, alguns produtos continuavam obtendo o CA por meio de Termo de Responsabilidade emitido pelo fabricante, o que abrangia as vestimentas de proteção e outros EPIs para arcos elétricos.

Ainda em 2009, foi instituída, pelo Ministério do Trabalho, uma comissão de trabalho para tratar as especificidades das vestimentas de proteção contra calor e chamas com o intuito de tipificá-las como EPIs, objetivando estabelecer requisitos de ensaio que abrangessem a proteção contra arco elétrico e fogo repentino.

Nesse momento, foi inserida a possibilidade de utilização do referencial normativo norte-americano (ASTM/NFPA) ou internacional (IEC/ISSO), já que não existiam normas brasileiras para subsidiar os requisitos técnicos, e também foi iniciada a elaboração pelo Ministério do Trabalho do “Manual para Especificação de Vestimentas”, que complementava a norma regulamentadora número NR 6 – Equipamento de Proteção Individual, para interpretação dos conjuntos normativos,

dada a especificidade desse equipamento de proteção, desde a seleção até o uso e cuidados, tema que ainda é foco de todos os comitês nacionais e internacionais no tema “Perigos relacionados a Arcos Elétricos”.

Três portarias ministeriais foram resultado desse trabalho: a Portaria nº 184 de 21 de maio de 2010, a Portaria nº 205 de 10 de fevereiro de 2011 e a Portaria nº 295 de 16 de dezembro de 2011, que trouxeram algumas contribuições para a regulamentação dos equipamentos de proteção na área de efeitos térmicos:

- Inclusão dos requisitos de ensaio para arco elétrico e fogo repentino de acordo com a série normativa internacional e americana.
- Estabelecimento dos ensaios para o tecido (matéria prima e insumo crítico essencial do EPI) e para a vestimenta pronta (EPI propriamente dito).
- Reconhecimento de laboratórios acreditados com escopo similar e de laboratórios não acreditados já adotados pelo mercado.

Nesse cenário, o Brasil enfrentava ainda em 2011 alguns problemas críticos na cadeia de fornecimento de serviços técnicos para garantir a segurança nos trabalhos que envolviam os perigos térmicos de arcos elétricos, como: inexistência de laboratórios nacionais; aceitação de certificação ou relatórios de ensaio de laboratórios estrangeiros acreditados; aceitação excepcional e temporária dos resultados de ensaio de determinados laboratórios acreditados com escopo de acreditação similar.

O desenvolvimento e inovação na indústria nacional de tecidos e vestimentas de proteção para efeitos térmicos de arcos elétricos e também de fogo repentino estavam condicionados ao uso de laboratórios estrangeiros que impunham alto custo de avaliação da matéria prima (tecido), e dificuldades com relação a avaliação da proteção final, o EPI do tipo Vestimenta, resultando em altos investimentos em exportação

de amostras de prova e importação de serviços técnicos de ensaios bem como de serviços burocráticos relacionados à tradução técnica juramentada de relatórios de ensaios. Além desse déficit na cadeia de fornecimento de serviços técnicos especializados, o Brasil não desenvolvia, de forma adequada, a cultura de proteção do trabalhador, não tinha amparo tecnológico e científico para a orientação de usuários do sistema elétrico de potência ou mesmo das indústrias e seus parques de equipamentos elétricos. Diante desse cenário o Ministério do Trabalho em parceria com representações sindicais e da Indústria Nacional estabelece algumas frentes na busca de apoio nacional para alavancar o setor, o caminho delineado era o desenvolvimento de laboratórios nacionais nas áreas de arco elétrico e fogo repentino.

Os primeiros contatos na tentativa de utilizar recursos nacionais pré-existentes para o desenvolvimento laboratorial foram feitos em 2010, por membros da Secretaria de Inspeção do Trabalho, vinculada ao Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho do Ministério do Trabalho, como o Auditor Fiscal do Ministério do Trabalho, Sr. Luiz Carlos de Lumbreras Rocha, em conjunto com os diretores do Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo (SEESP), os Engenheiros José Manoel Teixeira e Aguinaldo Bizzo, e representantes da Indústria Nacional, como a Técnica de Segurança do Trabalho da Petrobrás, Maria Elizabeth Guimarães. O objetivo era resgatar experiências anteriores realizadas, por exemplo, no CEPEL, por concessionárias como a CEMIG e CPFL, que buscavam auditar fornecedores em instalações elétricas de potência capazes de proporcionar ensaios em arcos trifásicos abertos.

A identificação de possíveis instituições para instalação do laboratório levou à aproximação desta comitiva ao ambiente acadêmico que tinha forte relação com a indústria de desenvolvimento nacional, e foi assim que essa delegação encontrou o IEE-USP (Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo) por intermédio de contatos com o Ex-Diretor de Energia da Petrobras e Diretor

do IEE-USP, Prof. Dr. Ildo Luís Sauer, nesse mesmo ano de 2011. No IEE USP estava instalado o Laboratório do Serviço Técnico de Altas Potências (SVALPOT), que demonstrou atender os requisitos técnicos essenciais para a produção do arco elétrico aberto padronizado, requisitado pelas normas técnicas de ensaios de EPIs, e que necessitaria de poucos investimentos adicionais em estrutura para o desenvolvimento da técnica em sua integridade.

Em 2012 os contatos foram intensificados e uma comitiva do IEE USP apoiada pela Petrobras e pela Fabricante de Tecidos internacional Westex, que tinha uma grande cadeia de confeccionistas de EPIs no Brasil, representada pela Gerente de Desenvolvimento de Produtos, engenheira Maria do Carmo Chies, participou de uma visita técnica para acompanhamento de ensaios no laboratório da Kinectrics, com o objetivo de compreender melhor os procedimentos de ensaios e a infraestrutura laboratorial, não somente em relação à fonte de energia elétrica para produção dos efeitos térmicos requisitados para os ensaios, mas também a análise técnica do aparato eletrônico e de processamento de dados para que o sistema de caracterização e avaliação de desempenho de materiais ignífugos pudesse ser desenvolvido em sua totalidade no Brasil. A comitiva incluía os Doutores Marcio Bottaro e Hélio Sueta, e pelo Engenheiro Jorge Nicolau Rufca, todos especialistas do IEE USP.

Com o apoio técnico da Sra. Maria Elizabeth Silva Guimaraes, a necessidade de implantação de uma instalação destinada aos ensaios, albergada por um projeto de P&D, foi demandada pela Petrobrás, em favor de suas demandas próprias e do Ministério do Trabalho. Além disso o Sindicato (SEESP) apoiou o processo participando das visitas, todos como membros da Comissão Tripartite Tripartite Paritária Permanente (CTPP) - NR10.

O trabalho de elaboração do Projeto de P&D ocorreu primeiro internamente na Petrobras com a concordância da parte interessada,

o IEE-USP. O Pré-Projeto de P&D foi então enviado à ANP para aprovação tendo como partes interessadas Petrobras MATERIAIS/DEMF/DM - IEE-USP/ FUSP (Fundação da Universidade de São Paulo, agente interveniente), sendo efetivamente autorizado em junho de 2013. O Projeto foi realizado em Parceria com o Setor de Desenvolvimento de Engenharia de Materiais e Fornecedores/ Desenvolvimento de Materiais representado pelo Engenheiro Gerente do Projeto, Flávio Gonçalves da Cruz Ribeiro, e pela Gerente Técnica Maria Elizabeth Silva Guimarães e o Serviço Técnico de Desempenho e Segurança de Equipamentos e Materiais Elétricos (DESEME/IEE-USP) e com os esforços conjuntos de todos os entes interessados nesta iniciativa, foi aberta a encomenda de projeto de P&D à ANP em 2012 intitulado “Estruturação Laboratorial para Fortalecimento da Cadeia de Fornecedores de Vestimenta de Proteção contra Arco Elétrico”.

O projeto elaborado pela equipe técnica do IEE durante o restante do ano de 2013, sob a Coordenação Científica do Prof. Ildo Sauer e Coordenação Executiva do Dr. Marcio Bottaro do DESEME/IEE-USP, e foi encaminhado e aprovado nesse mesmo ano, com um aporte de aproximadamente R\$ 1.500.000,00 (um milhão e quinhentos mil reais) ao IEE USP, dividido em duas etapas de desembolso, com execução estabelecida para o biênio 2014-15. Deu-se início, aí, ao desenvolvimento do quarto laboratório mundial de arco elétrico aberto padronizado para ensaios em Vestimentas e outros EPIs para arco elétrico, único laboratório nesta área no Hemisfério Sul até o presente momento.



2

CONCEPÇÃO DO PROJETO

Um ponto fundamental para a implantação do Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico, que posteriormente foi designado Laboratório de Ensaios de Vestimentas (LEVe) do IEE USP, foi a condição de dependência total de provedores de serviços do exterior em que o Brasil se encontrava, a custos muito elevados e impeditivos para o progresso do desenvolvimento e inovação da indústria nacional têxtil, bem como o abismo tecnológico provocado pela falta do domínio dessa tecnologia que impacta não somente o desenvolvimento de produtos relacionados à segurança do trabalhador, mas também outras demandas dos setores de energia, petróleo e gás, como o entendimento e aprimoramento de profissionais de segurança do trabalho no conhecimento das estimativas dos efeitos dos arcos elétricos em programas de desenvolvimento de proteção ao trabalhador, afetando diretamente a análise e gerenciamento de riscos, via de regra amparados por acompanhamento de equipamentos e materiais que são disponibilizados no mercado. Isso visa estudar e aprimorar a vida útil da proteção, suprimindo a falta de referência técnica para estudos de falhas que podem impactar os processos de proteção e seletividade nos sistemas de transmissão e distribuição de energia, além de combater a ausência de orientação técnica e de infraestrutura para avaliação de acidentes que ocorrem nas mais diversas plantas de energia, desde sua geração

até os usos finais. Soma-se a isso a pouca ou nenhuma representatividade técnica e científica em comitês normativos internacionais, que contribuem para a padronização e para o atingimento de níveis de excelência em produtos e serviços ofertados no Brasil.

Até o ano de 2011, estavam disponíveis para o mercado internacional e Brasileiro de produção técnica têxtil e de confecção de vestimentas de proteção para arco elétrico dois laboratórios internacionais: Kinectrics – Canadá, e o laboratório de primeira parte da DuPont Electric Arc Testing – ARCMAN - CEF em Morges, Suíça, que não atendia a demanda de ensaios necessários para obtenção do CA no Brasil. Um terceiro laboratório padronizado, AITEX – Espanha, também integrava o grupo de laboratórios internacionais, inaugurado em 2012. Os laboratórios de Arco Elétrico internacionais, na América do Norte e Europa vinham desempenhando esse papel de apoio ao desenvolvimento regional, e o Brasil vinha seguindo boas práticas e regras que não estavam em seu domínio de conhecimento, o que o colocava refém de diretrizes e outras imposições do mercado internacional.

Dentro da concepção inicial proposta pela Petrobras no projeto de Estruturação Laboratorial, havia algumas premissas importantes visando a rápida implantação da estrutura de ensaio, levando em conta que o IEE-USP tinha o domínio para estabelecer o sistema de altas correntes responsável pela produção e manutenção do arco elétrico aberto. Essas premissas eram focadas no sistema de aquisição de dados de medição relacionados a efeitos térmicos próprios dos ensaios, e na implantação dentro dos moldes internacionais já consagrados dos calorímetros e manequins simuladores, que seriam dentro desse contexto importados de empresas que já supriam componentes e sistemas de medição para os outros laboratórios no hemisfério norte. No entanto, após pesquisa de mercado por parte dos pesquisadores do IEE-USP envolvidos no projeto, algumas dúvidas quanto ao funcionamento e manutenção a longo prazo foram levantadas:

- O sistema de aquisição e processamento de dados sugerido pela equipe técnica da Petrobras era comercializado sem transferência de tecnologia, e condicionado a manutenções periódicas estabelecidas pelo fornecedor, uma empresa norte-americana que também desenvolvia sistemas de aquisição de dados para outras áreas de calorimetria, como laboratórios de fogo repentino.
- Os manequins importados custariam cerca de 60% dos recursos do Projeto, com um conjunto completo para utilização por um período de seis meses a um ano, o que reduziria muito os recursos para o desenvolvimento de outras etapas fundamentais.

Dessa forma, o IEE-USP propôs a Petrobras recursos adicionais aos colocados pelos técnicos da Petrobras, para o desenvolvimento de fornecedor nacional de manequins e também, com a experiência dos pesquisadores no desenvolvimento de sistemas automatizados para aquisição e processamento de sinais de medição elétrica e térmica já vivenciado nos laboratórios do DESEME e SVALPOT, o desenvolvimento interno do sistema de aquisição e medição, tratamento de dados e produção automatizada de relatórios, bem como o sistema de integração de imagens de vídeo e fotográficas para registro de todas as etapas dos ensaios. Com esta configuração o laboratório do IEE USP teria uma cadeia de fornecimento de Manequins, Sistemas Mecânicos e Arranjos de Ensaio totalmente nacional, baseado em projetos e especificações técnicas desenvolvidas e elaboradas pela equipe de pesquisadores e técnicos dos serviços técnicos da Divisão Científica de Tecnologia de Sistemas Elétricos, com o desenvolvimento interno de sistemas Elétrico, Eletrônico, Software e Automação.

Como o laboratório faria uso compartilhado da fonte de energia já utilizada pelo SVALPOT nos ensaios de Altas Correntes oferecido para o setor de equipamentos elétricos, era necessário adequar o espaço físico das instalações, levando em consideração que os ensaios

com arco elétrico aberto de Vestimentas e outros EPIs destinados a proteção contra dos trabalhadores produziriam elevados níveis de emissão de fumaça, ejeção de metal fundido, propagação de altas temperaturas à distâncias consideráveis, materiais carbonizados em suspensão, entre outros efeitos com potencial de risco às equipes laboratoriais, ao meio ambiente à segurança patrimonial e também com potencial destrutivo em relação a equipamentos e infraestrutura laboratorial pré-existente. Essa adequação consistia na instalação e uma estrutura isolada desmontável interna, ou seja, alocada dentro do prédio onde se desenvolviam as atividades de altas potências, mas isolada para captação de fumaça e outros produtos provenientes da produção de sucessivos arcos elétricos abertos, por meio de sistemas de exaustão apropriados, bem como para garantir isolamento térmico e elétrico essencial nos eventos de ensaios. A solução apresentada foi a construção de um container de ensaios, sob medida e com as provisões elétricas, acústicas, de exaustão e tratamento de gases provenientes dos ensaios, mantendo também o compromisso do IEE USP com as questões ambientais.

O pré-projeto foi encaminhado à ANP. Nesta fase, constavam itens importados e o seu desenvolvimento no mercado nacional possibilitou uma economia que pode suportar o desenvolvimento do container, sendo necessária apenas realocação dos recursos para aprovação na avaliação de custos, resultando no valor total de R\$ 1.484.000,00 dividido nos seguintes aportes:

- Primeira Parcela – R\$ 1 000 000,00 (~US\$ 410.000,00- 2013/2014)
- Segunda Parcela – R\$ 442 000,00 (~US\$ 180.500,00 - 2015)

Que contemplavam:

- Equipamento: R\$ 740 000,00 (US\$ 302.000,00)
- Infraestrutura: R\$160 000,00 (US\$ 65.300,00)
- Contratação de Profissionais: R\$214 000,00 (US\$ 88.000,00)

- Contratação de Serviços: R\$ 370 000,00 (151.000,00)

O desafio estava lançado, e as equipes de desenvolvimento, que também contaram com contratações de estagiários e profissionais brasileiros, atuaram para auxiliar principalmente nas atividades de compras com a organização de especificações técnicas que atenderiam os critérios da Petrobras. A ANP, aprovando o Pré-Projeto, estabeleceu o acompanhamento dos desembolsos, com as justificativas de realocação, que foram organizadas com seus prazos e metas definidos, tendo sempre o propósito de atingir o nível de excelência na tecnologia operacional do Laboratório.



3

SOLUÇÃO

EXECUÇÃO DO PROJETO

O projeto foi oficialmente iniciado em fevereiro de 2014 com ações simultâneas que envolveram a equipe do IEE-USP no atendimento ao cronograma.

A adequação das instalações foi iniciada em 13 de fevereiro de 2014 com a participação da equipe de técnicos e engenheiros do Serviço Técnico de Altas Potências para preparação do local onde seria instalado o container de ensaios. Também nessa data, foram iniciados o cálculo e a especificação de barramento de altas correntes para dimensionamento elétrico e mecânico do barramento que ligariam o secundário do transformador de ensaio (após circuito de controle) ao circuito do laboratório de ensaios de vestimentas em conformidade com as Normas Estrangeiras e Internacionais vigentes na época, ASTM F1959 e IEC 61482-1-1, respectivamente.

Em paralelo, a equipe do Serviço Técnico de Desempenho e Segurança de Equipamentos e Materiais Elétricos organizava a especificação de um sistema integrado e autônomo para controle das chaves síncronas e produção do arco elétrico dentro das especificações do projeto. Além disso, com parte do estudo para implantação do sistema de medição, foram iniciadas pesquisas bibliográficas de *softwares* de cálculo de energia incidente para comparação das tecnologias,

viabilidade e conveniência de aplicação nas atividades previstas para o laboratório no projeto.

Os projetos mecânicos contaram com o apoio das equipes do IEE-USP e de colaboradores contratados, padronizando as etapas de projeto e especificações e trazendo empresas fornecedoras para discutir cada etapa do processo e a adequação às tecnologias de usinagem, montagem e fabricação de peças especiais que iriam compor o arranjo de ensaios. Uma das grandes dificuldades foi a usinagem de materiais isolantes elétricos e térmicos, à base de silicato de cálcio, como os suportes e corpos de calorímetros construídos em Marinite P, material com um único fornecedor nacional (Athenas Brasil) na época do projeto, condição que ainda existe atualmente. Poucas empresas se habilitaram a usinar esse material pelo alto teor de contaminação que produziam no ferramental e máquinas de usinagem, e foi necessário o desenvolvimento de fornecedores especializados para esse trabalho, o que tornou o projeto desafiador, mas, ainda assim, mais viável do que importar todos os componentes dos EUA.

O sistema de calorimetria também gerou desafios para a equipe de projeto, pois as normas internacionais que embasaram todo o projeto passavam por modificações consideráveis na época do projeto. Isso levou a equipe do projeto a inúmeras reuniões para desenvolvimento não somente de protótipos de medição, mas também originou a necessidade de participação de membros do laboratório nas comissões normativas para desenvolvimento dos projetos e especificações de ensaios, e, nesse momento, ocorreu uma grande aproximação dos especialistas do IEE-USP à ABNT, COBEI e, conseqüentemente, aos grupos da IEC.

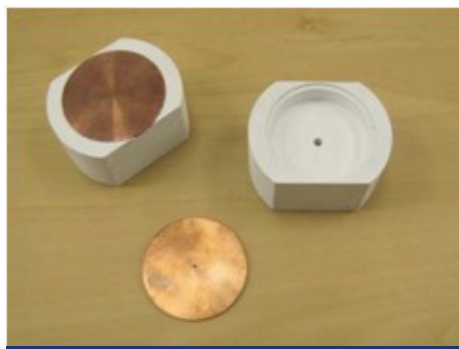
Não menos importante, o desenvolvimento dos manequins de ensaio já começou a ser trabalhados nesse primeiro momento do projeto, e uma busca por fornecedores de manequins com capacidade mecânica, térmica e elétrica passou a ser alvo da Coordenação Técnica do projeto, com apoio da Petrobras, e novamente o apoio voluntário da Westex

Latin América. Mais de 40 fornecedores e fabricantes nacionais de Manequins foram consultados em um período de dois meses e as indicações não eram as mais animadoras, já que nenhuma das empresas se propunha a desenvolver os suprimentos necessários para o desenvolvimento do projeto.

PRIMEIROS PROTÓTIPOS

Boa parte do desenvolvimento do projeto contou com o Serviço de Apoio Operacional do IEE-USP, que dispõe de infraestrutura básica mecânica com ferramental e máquinas para usinagens e retrabalhos, o que possibilitou o desenvolvimento de protótipos iniciais, bem como o acompanhamento na usinagem final de dispositivos de ensaio junto às empresas contratadas para orientação, análise e validação da entrega de cada etapa de execução de peças e partes essenciais dos arranjos de ensaio.

Figura 1. Primeiro protótipo de calorímetro usinado no IEE-USP para verificação da viabilidade de execução de peças em série para montagem do arranjo total de ensaio



Fonte: os autores.

Juntamente com os protótipos calorimétricos, já foram iniciados os primeiros desenvolvimentos de automação dos sistemas de medição com aplicação das tecnologias disponíveis nos laboratórios do IEE-USP para automação de ensaios. Essencialmente, a medição de temperatura por meio de sistemas de digitalização e cálculos

com base nas normas técnicas de referência utilizadas no processo de medição de energias incidentes e transmitidas foram sendo desenvolvidas e colocadas em práticas por meio de simuladores de calor irradiado, como lâmpadas de alta intensidade.

Figura 2. Primeiros testes com sistema de aquisição de sinais de elevação de temperatura por calor irradiado, simulada por meio de lâmpadas de alta intensidade



Fonte: os autores.

Até o mês de junho de 2014, a empresa internacional *Measurement Technology*, indicada pela equipe técnica da Petrobras, não havia conseguido elaborar uma especificação que atendesse as expectativas do projeto devido ao alto custo e inadequação do manequim de cintura, mostrando inviabilidade técnica e financeira para aquisição. Uma segunda empresa sugerida no início do projeto, a *Precision Technology*, que figurava entre as poucas fornecedoras internacionais para área de equipamentos especiais relacionados a ensaios térmicos, também não apresentou mais respostas para que a equipe de projeto continuasse com o processo de aquisição de manequins.

Em julho de 2014, finalmente, a equipe técnica do Projeto conseguiu uma visita técnica em conjunto com técnicos da Petrobrás à Fábrica Paulista de Manequins, que fabricava manequins para área de moda, incluindo protótipos resistentes a calor para casos de incêndios em estabelecimentos comerciais. Após alguns meses de pesquisa de mercado, com apoio da Westex Brasil na organização de reuniões com os proprietários, a empresa aceitou o desafio de desenvolver um manequim protótipo para testes preliminares no IEE-USP.

O desenvolvimento do primeiro protótipo foi concluído em dezembro de 2014, e vários ensaios que foram realizados em uma estrutura adaptada para simulação do arco aberto normalizado, dentro do laboratório de altas potências do SVALPOT, entre janeiro e fevereiro de 2015, comprovaram a possibilidade da fabricação nacional dos manequins para os ensaios de arco elétrico e o suprimento nacional deste importante insumo de ensaio estava a um passo de ser nacionalizado.

Figura 3. Ensaio piloto no manequim desenvolvido pela Fábrica Paulista de Manequins



Fonte: os autores.

Em paralelo ao projeto dos Manequins que efetivamente seriam utilizados nos ensaios laboratoriais a equipe do IEE-USP mantinha os trabalhos de desenvolvimento dos sistemas eletrônicos de con-

trole e medição de parâmetros elétricos e térmicos, desenvolvimento dos softwares para operação conjunta com os hardwares de controle e aquisição de dados, bem como o desenvolvimento do registro automatizado de corpos de prova e ensaios, por meio de transmissão de dados de fotografias e filmagens pela rede interna de computadores do IEE-USP, e também o desenvolvimento da automação dos relatórios das diferentes modalidades de ensaios e Equipamentos de Proteção Individual que seriam atendidos pelo LEVe.

ADEQUAÇÃO DA INFRAESTRUTURA

Ainda em julho de 2014 o laboratório de Altas Potências começava a receber os primeiros componentes elétricos para adequação das Instalações Elétricas, como barramentos de altas correntes e barramentos para os quadros de alta tensão e, também, começava a adequação de espaço para que o container de ensaios fosse instalado.

Figura 4. Início da instalação do container de ensaios de arco elétrico.



Fonte: os autores.

Os barramentos foram concluídos juntamente com a estrutura externa básica do container em agosto de 2014.

Figura 5. Foto da instalação do container para abrigar o ensaio de Arco Elétrico.



Fonte: os autores.

Para assegurar a total estanqueidade do container, foram projetados circuitos de sinalização (sonoro e luminoso) e intertravamento para assegurar a proteção dos colaboradores e instalações nos momentos de energização das barras e circuitos, assim como assegurar a liberação da abertura após a total purga do ambiente de ensaio.

Um dos componentes fundamentais para a realização dos ensaios de arco elétrico aberto vertical, que serve de suporte aos eletrodos e é utilizado como parte do circuito de ignição e manutenção do arco elétrico é conhecida como Gaiola de Ensaio. O projeto mecânico e a especificação técnica de fabricação e entrega detalhada da gaiola de ensaio foi desenvolvido pela equipe técnica do Serviço Técnico de Altas Potências com auxílio de um consultor em mecânica, o engenheiro Jesiel Rodrigues, e do Serviço de Apoio Operacional do IEE-USP.

Em setembro de 2014 foi efetuada reunião de início dos trabalhos de produção e montagem do projeto que em dezembro de 2014 foi entregue no IEE-USP para a montagem dentro do container de ensaio.

Esse foi um passo fundamental na infraestrutura laboratorial e a partir dessa instalação havia condições técnicas de implantação dos componentes mecânicos auxiliares, como suportes de corpos de prova e sistemas de sustentação de calorímetros externos, o que viabilizaria a produção dos primeiros arcos padronizados do LEVe.

Figura 6. Montagem inicial da gaiola de ensaios no container instalado no SVALPOT/IEE-USP



Fonte: os autores.

Na sequência à montagem da gaiola de ensaios, já estavam em produção os dispositivos para montagem de amostras, que foram divididos nos seguintes sistemas:

- Sistema de mesa 3 eixos para suporte geral de materiais e amostras de ensaios;
- Sistema de painéis para caracterização térmica de tecidos componentes de vestimentas de proteção;
- Manequins de ensaios para Dorso, Pernas e cabeça;

- Sistema de painéis para caracterização térmica e avaliação de desempenho de luvas de proteção contra arco elétrico.

Figura 7. Gaiola com as mesas de três eixos para suporte de materiais e corpos de prova



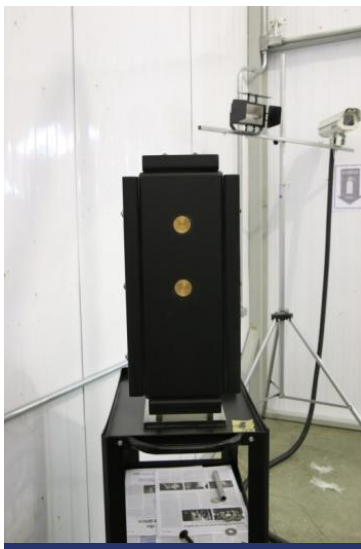
Fonte: os autores.

Figura 8. Dispositivo para ensaios de luvas de proteção contra efeitos térmicos de arcos elétricos



Fonte: os autores.

Figura 9. Painel para ensaios de caracterização térmica de tecidos contra efeitos térmicos de arcos elétricos



Fonte: os autores.

Figura 10. Primeiro manequim de cabeça com sensores para avaliações em protetores dos olhos, da face e cabeça



Fonte: os autores.

Figura 11. Manequins de Torso/Pernas desenvolvidos no Brasil para avaliações de desempenho contra os efeitos térmicos de arcos elétricos



Fonte: os autores.

SISTEMAS ELETRÔNICOS E SOFTWARES

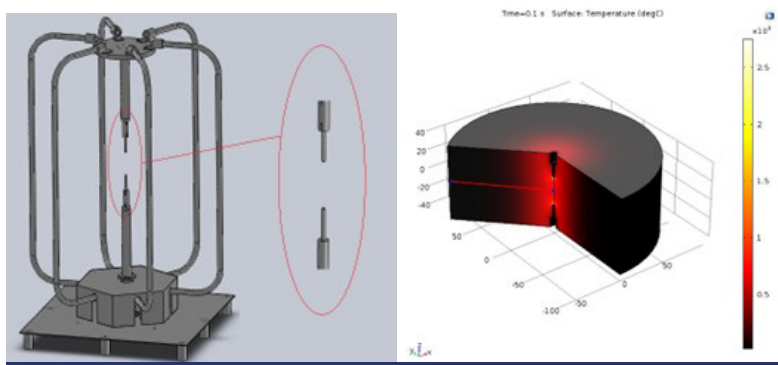
Em julho de 2014, começavam a chegar ao IEE-USP os primeiros módulos para automação do processo de controle de ignição e manutenção de arcos elétricos, sistemas de digitalização para medição da Tensão e Corrente de ensaio, e os digitalizadores para medição de temperatura dos calorímetros empregados nos ensaios. Essas aquisições permitiram um avanço considerável no desenvolvimento dos softwares relacionados às diferentes etapas do processo, que objetivava uma automação completa do sistema.

Adicionalmente, o IEE-USP trabalhava na avaliação de softwares desenvolvidos na área de simulação e estimativa de energias incidentes, amplamente utilizados por equipes de engenharia de segurança (ARC-PRO e DUKE *Heat Calculations*), de forma a avaliar os efeitos térmicos do arco elétrico padronizado, e desta forma promover dados

de entrada para as primeiras simulações de calorimetria com o sistema em desenvolvimento. Além dos softwares tradicionais, a equipe de desenvolvimento do projeto começava a explorar modelos numéricos para modelagem do arco elétrico padronizado, que permitissem avaliar, a longo prazo, o transporte de calor em diferentes materiais submetidos à ensaios. Esses estudos foram viabilizados com a manutenção, com os recursos do projeto, da licença do simulador COMSOL Multiphysics™, que já era utilizado no Laboratório de Alta Tensão do IEE-USP, e ao qual foram agregados alguns módulos de interesse do projeto, principalmente o módulo de transferência de calor.

Além do progresso obtido para o desenvolvimento dos processos de cálculo posteriormente reproduzidos nos primeiros experimentos, o IEE-USP desenvolveu um dos primeiros modelos numéricos de arco elétrico aberto que mais tarde, em 2019, foi publicado no IEEE ESW Brasil 2019.

Figura 12. Modelagem numérica de temperatura de um arco aberto padronizado, resultado do projeto do LEVe

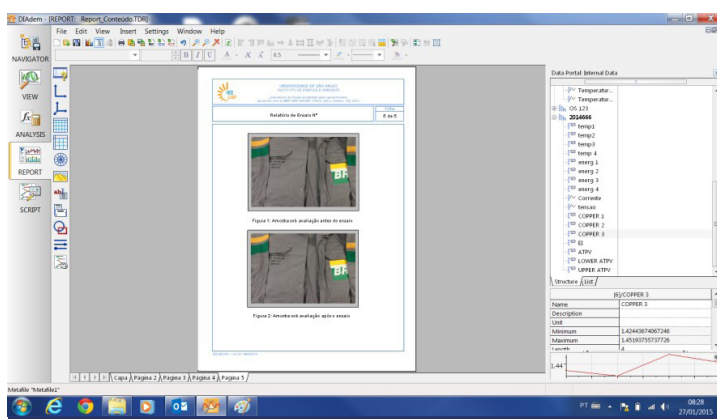


Fonte: os autores.

Acessórios importantes como câmeras fotográficas e filmadoras digitais que operam em rede de dados também foram fundamentais para a automação dos processos e à medida que foram sendo adquiridos tais equipamentos no projeto, sua integração ao sistema foi avançando

rapidamente. Em janeiro de 2015 o sistema de automação de ensaios já integrava de forma digital, com base em transmissão sem fio de imagens fotográficas, o registro fotográfico de corpos de prova ao que seria o futuro relatório de ensaios. As filmagens sincronizadas com o sistema de controle e aquisição de dados de arcos elétricos também já começava a nascer dentro do processo automatizado.

Figura 13. Primeiro piloto de relatório com integração de imagem digitalizada no processo de ensaio



Fonte: os autores.



4

PRIMEIRO ARCO ELÉTRICO ABERTO PADRONIZADO PRODUZIDO NO HEMISFÉRIO SUL

Anteriormente, a produção do arco elétrico padronizado para os ensaios de vestimentas, tecidos e outros materiais ignífugos, uma série de validações foram necessárias dentro do projeto do laboratório. O objetivo das validações prévias aos ensaios propriamente ditos era ajustar a exatidão e precisão dos sistemas de medição e avaliar aspectos importantes da confiabilidade de transmissão de dados, imagens e vídeos dos ensaios. Todas essas etapas foram projetadas em conformidade com as normas técnicas aplicáveis ao laboratório, desde as estrangeiras, como as normas ASTM F1959, ASTM F2178, ASTM F2621, ASTM F2675, ASTM F887 e ASTM F18914, e internacionais, como a IEC 61482-1-1.

As primeiras validações foram realizadas em abril de 2015 nos calorímetros externos, primeiros sensores entregues ao IEE-USP e montados junto ao sistema eletrônico de medição. Um sistema de validação com aplicação de calor irradiado por meio de luz direta (*spotlight*), conforme estabelecido pelas normas de ensaio, foi empregado em todos os sensores para a avaliação inicial da resposta em tempo, exatidão e precisão do sistema de medição e do software que estava em desenvolvimento.

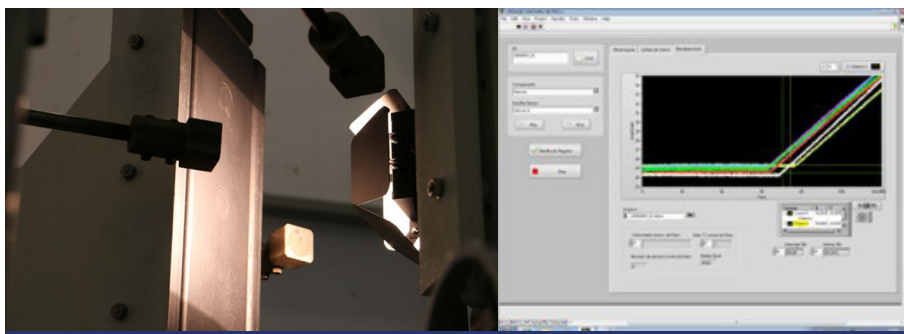
Figura 14. Sensores calorímetros externos montados em suportes junto a gaiola de ensaios



Fonte: os autores.

Os resultados auxiliaram o aprimoramento do software e o ajuste do posicionamento dos sensores para ensaio, delineando melhorias que foram implantadas no projeto para o aperfeiçoamento do sistema de aquisição de dados.

Figura 15. Primeiras validações de aquisição de dados de calor irradiado aplicado aos calorímetros externos utilizando uma fonte de luz direcionada de 500 W

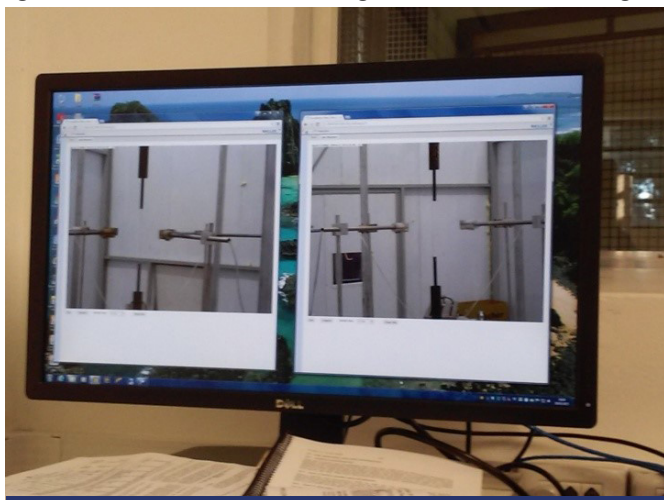


Fonte: os autores.

Ainda em abril de 2015 as primeiras filmagens piloto com as câmeras digitais integradas ao sistema de controle e aquisição de dados foram realizadas, com validações de armazenamento e transferência

de dados online. O sistema de dados estava praticamente concluído, restando apenas o módulo final de controle do arco elétrico e aquisição de sinais de temperatura para determinação das energias incidente e transmitida pelos calorímetros.

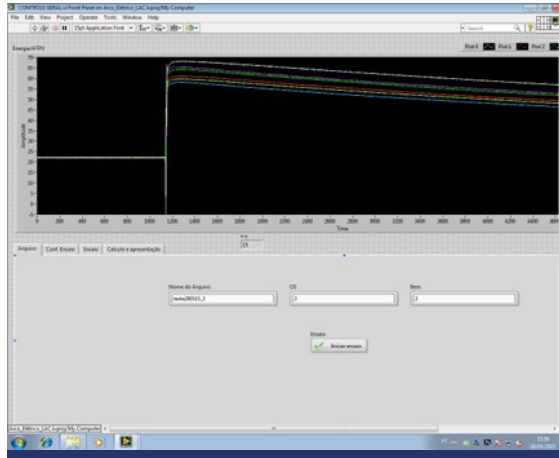
Figura 16. Monitoramento de filmagem com duas câmeras digitais



Fonte: os autores.

Avançando no mês de maio de 2015, com a chegada das mesas de três eixos e sua montagem no arranjo de ensaio, o primeiro Arco Elétrico padronizado, conforme estabelecido nas normas internacionais, foi gerado no IEE-USP. Os sensores de calorimetria externa e o sistema de medição estavam todos operantes. Pela primeira vez a equipe de projeto pode medir, analisar e trabalhar em informações reais de calorimetria do arco elétrico aberto que seria utilizado nos ensaios dali em diante.

Figura 17. Primeiro registro obtido pelo software desenvolvido no IEE-USP, de temperatura obtida por calorímetros externos (Energia Incidente) em um ensaio padronizado de arco elétrico aberto



Fonte: os autores.

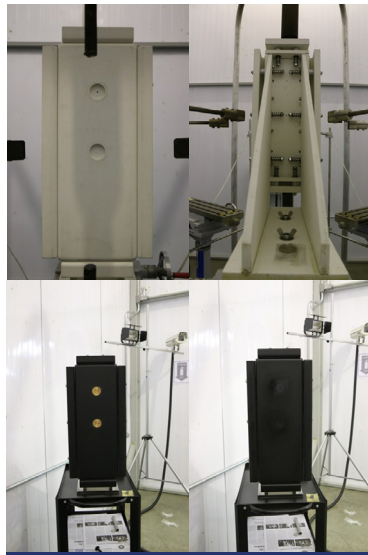
Após a produção do primeiro arco piloto, o projeto avançava muito rápido e agora os suportes de corpos de prova para mais validações e desenvolvimento dos processos de medição de energia transmitida.

ARRANJOS PARA CORPOS DE PROVA

O primeiro arranjo para suporte de corpos de prova desenvolvido e confeccionado no projeto foi o de Painéis para posicionamento e medição de energia transmitida em tecidos. Sem dúvida esse era um dos maiores apelos do projeto pois a cadeia de suprimento de EPIs no mercado brasileiro era fundamentalmente pautada em vestimentas de proteção para arco elétrico, o que fazia de os tecidos resistentes a efeitos térmicos de arcos elétricos serem os protagonistas desse processo.

Como todos os calorímetros foram projetados para uma utilização universal em todos os dispositivos de ensaios, a implantação dos painéis foi facilitada e, ainda no mês de maio de 2015, eles estavam prontos para os primeiros testes práticos e ensaios de validação.

Figura 18. Primeiro painel para ensaios de tecidos igníficos instalado no IEE-USP



Fonte: os autores.

Em paralelo a equipe de projeto desenvolvia junto à Fábrica Paulista de Manequins, o manequim de cabeça com quatro sensores, que permitiria os ensaios em protetores faciais, demanda importante do setor elétrico e que também fazia parte do escopo de EPIs tipificados pelo Ministério do Trabalho. Em junho de 2015 os primeiros protótipos de cabeça chegaram ao IEE-USP para validações dimensionais e de desempenho térmico.

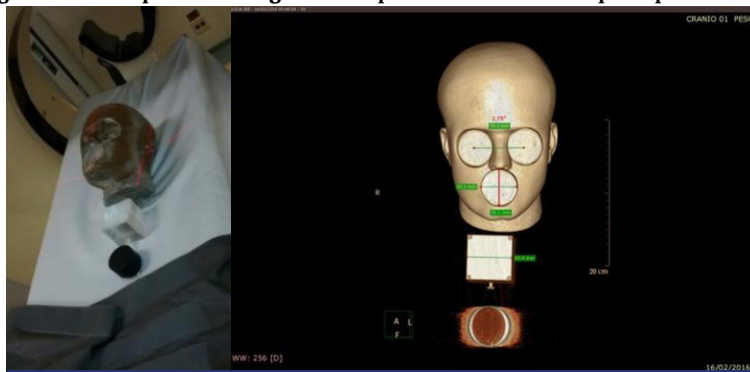
Figura 19. Primeiros protótipos de manequim de cabeça para validação dimensional e térmica



Fonte: os autores.

A validação térmica foi realizada com êxito, pois os materiais desenvolvidos para o manequim de corpo foram empregados na cabeça. No entanto, o processo de validação dimensional mostrou-se muito complexo. A equipe do DESEME então desenvolveu um processo de validação por tomografia computadorizada, com apoio da equipe técnica do Hospital Universitário, o que permitiu ajustes nos moldes e a fabricação de um protótipo revisado, validado e aprovado pela equipe de projeto.

Figura 20. Exemplo de Tomografia computacional dos manequins para ensaios

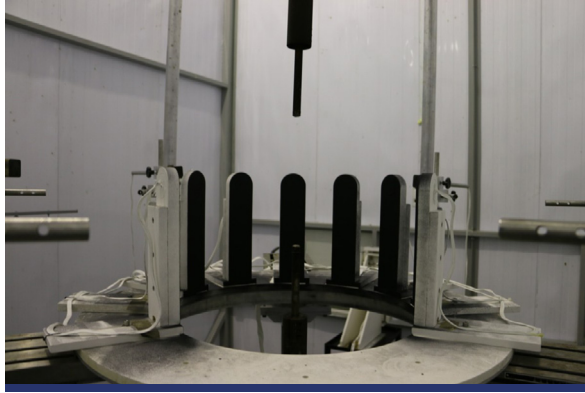


Fonte: os autores.

A efetividade do método foi muito satisfatória e, a partir desse momento, todos os demais manequins de ensaio que faziam parte do projeto do LEVe foram submetidos a seções de tomografia para validação dimensional.

Além do manequim de cabeça, o último suporte de corpos de prova, destinado a luvas de proteção contra arcs elétricos passou a ser trabalhado pela equipe de projeto e ensaios de avaliação de desempenho do sistema passaram a ser realizados em julho de 2015.

Figura 21. Ensaios de validação do sistema de ensaios de luvas de proteção contra efeitos térmicos de arcos elétricos



Fonte: os autores.

O mês de julho de 2015 foi um marco importante no projeto, pois praticamente todos os processos macro do ensaio foram avaliados, principalmente os voltados à calorimetria de Energia Incidente e Energia Transmitida. Essa avaliação geral foi reportada à Petrobras e várias adaptações de arranjos de ensaio, melhoria nos sistemas de medição, software, filmagem, fotografia, controle elétrico e eletrônico, bem como transmissão e armazenamento de dados foram propostos. A Petrobras acatou as solicitações do IEE-USP e prorrogou o projeto em seis meses, o que colocou como marco final para a conclusão técnica do desenvolvimento do Laboratório de Ensaios de Vestimentas do IEE-USP o Mês de Julho de 2016.

AJUSTES APÓS A PRIMEIRA SÉRIE DE VALIDAÇÕES

Adequações na estrutura mecânica foram necessárias para estabilidade do sistema em função dos efeitos eletromagnéticos do arco elétrico percebidos durante o processo de validação. A instabilidade não comprometia os resultados iniciais, mas os efeitos de vibração e deslocamento mecânico poderiam acarretar problemas técnicos em médio prazo.

Com a contribuição fundamental do técnico Ivan Bueno Raposo do IEE-USP, em agosto de 2015 melhorias na estrutura da gaiola de ensaio e adaptações dos calorímetros externos a estrutura de suporte melhoraram a estabilidade do sistema e o alinhamento dos medidores de energia incidente, o que trouxe ganhos inclusive no processo de alinhamento.

Figura 22. Técnico Ivan Bueno Raposo acompanhando o processo de melhorias do sistema mecânico no arranjo de ensaio



Fonte: os autores.

Além dessas contribuições foram implementadas pela equipe de projeto ações para facilitar e garantir o alinhamento de suportes de amostras com o desenvolvimento do primeiro sistema de alinhamento óptico.

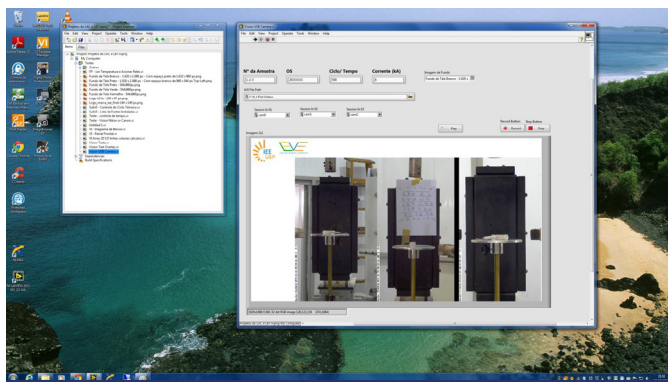
Figura 23. Alinhamento do sistema utilizando sistema óptico e guia graduado



Fonte: os autores.

No sistema de vídeo de ensaios foi implantado uma nova versão de software desenvolvido no IEE-USP que permitiu melhorar o sincronismo com o ensaio e garantir imagens de melhor qualidade. Um servidor apropriado para o armazenamento dessas filmagens foi instalado junto ao laboratório e mais um passo importante foi dado no desenvolvimento do projeto.

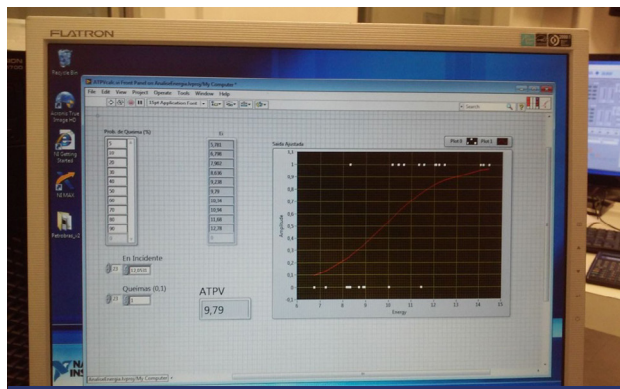
Figura 24. Software atualizado de monitoramento e armazenamento de vídeos de ensaios



Fonte: os autores.

A partir desses ajustes e em cooperação com a Petrobrás e a Empresa Westex, neste mesmo mês de agosto de 2015, foi rodado o primeiro ensaio completo de determinação de caracterização de um tecido quanto ao Valor de Desempenho Térmico ao Arco Elétrico, o ATPV (do inglês *Arc Thermal Performance Value*), comemorado pelo IEE-USP, Petrobras e parceiros, como marco inicial dos ensaios de arco elétrico aberto padronizado no Brasil. Os resultados foram muito satisfatórios e com isso já se iniciou a busca pela proficiência nesse ensaio, um processo que mais tarde se revelou um complicador na conclusão do projeto.

Figura 25. Resultado do primeiro processo completo de determinação de ATPV no Brasil



Fonte: os autores.

O laboratório, em agosto de 2015, já se encontrava em condições análogas a seus pares internacionais, no entanto era necessário rodar pilotos de ensaios reais, de caracterização e avaliação de desempenho de vestimentas e outros EPIs utilizados nos trabalhos onde os perigos relacionados ao arco elétrico estavam presentes.

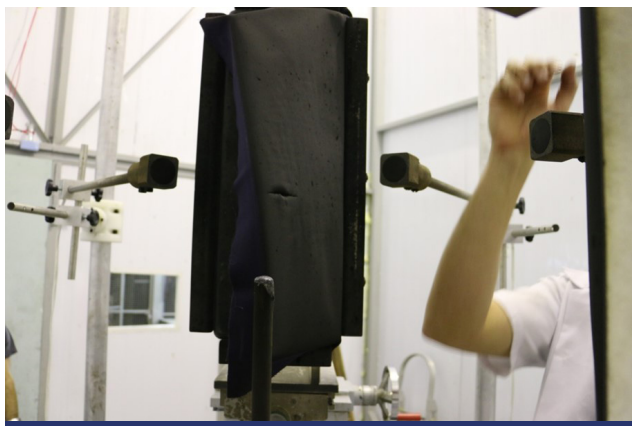
PRIMEIRAS PARTICIPAÇÕES EM COMITÊS NORMATIVOS E ENSAIOS PILOTO

A equipe do projeto, particularmente o coordenador técnico Marcio Bottaro e o técnico Ivan Bueno Raposo, já participavam das reuniões junto ao comitê ABNT/CB 32 na Comissão de Estudos de EPIs para efeitos térmicos desde o início de 2013, trabalhando inicialmente na norma internacional IEC 61482-1-1, que passava por revisão no comitê internacional da IEC junto ao TC78. Em 2014 foi viabilizada com ajuda do ABNT/CB32 a participação como membro efetivo e delegado Brasileiro do COBEI junto ao TC78 do coordenador técnico do Projeto Dr. Marcio Bottaro. Esta reunião ocorreu no Brasil, na cidade de São Paulo, e possibilitou uma visão geral por parte da equipe do projeto, dos desafios que viriam adiante com relação ao desenvolvimento normativo.

Esta aproximação com o CB32 trouxe também o contato com a cadeia produtiva de Tecidos, Materiais, Vestimentas e outros EPIs rela-

cionados a proteção térmica contra arcos elétricos. A presença de muitos fabricantes desses produtos no CB32, e o contato com os especialistas do projeto do LEVe, foi fundamental para alavancar os primeiros ensaios piloto dentro do IEE-USP, permitindo a equipe uma análise sistemática de todas as etapas do processo de ensaio, desde o condicionamento de amostras até a emissão dos relatórios.

Figura 26 . Ensaios Piloto em tecidos realizados no IEE-USP – início do processo de proficiência



Fonte: os autores.

Figura 27. Ensaios piloto em luvas de proteção térmica



Fonte: os autores.

Dada a complexidade dos processos de medição e construção dos manequins de cabeça, os primeiros ensaios de validação nessa área ocorreram em fevereiro de 2016, dentro da prorrogação do projeto, e obtiveram grande êxito.

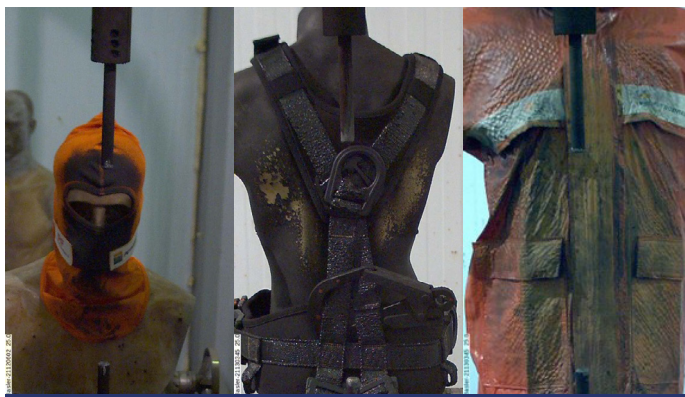
Figura 28. Ensaios piloto em protetores faciais utilizando o manequim de cabeça



Fonte: os autores.

Juntamente com esses ensaios o IEE-USP expandiu o escopo, com apoio de empresas como a LEAL Equipamentos de Proteção, para outros equipamentos que não estavam tipificados pela NR6, mas que tinham necessidade de avaliação de desempenho térmico ao arco elétrico, como por exemplo os equipamentos de trabalho em altura e impermeáveis.

Figura 29. Ensaios piloto em balaclavas, cinturão paraquedista e impermeáveis



Fonte: os autores.

Esses ensaios pilotos foram determinantes para o avanço e consolidação dos processos de ensaios e foram sendo executados mais avanços e aprimoramentos técnicos no projeto. No entanto, havia dificuldade em se estabelecer programas de comparação interlaboratorial, pois os laboratórios internacionais já começavam a se movimentar com o surgimento de um laboratório entendido como concorrente no mercado Brasileiro.

No momento do projeto, as empresas nacionais que fabricavam e importavam tecidos, materiais e equipamentos de proteção individual, destinados à área de proteção térmica nos trabalhos com eletricidade ainda utilizavam dois laboratórios internacionais de terceira parte para obtenção de seus certificados de aprovação (CA), os laboratórios da Kinectrics no Canadá e AITEX na Espanha. Esse último já se mobilizava e tentava uma aproximação com o IEE-USP para uma parceria de atuação no mercado nacional, que não foi bem recebida pelo financiador do projeto, a Petrobras. Um terceiro laboratório internacional, a CEF da Suíça, pertencente ao grupo DuPont, e figurando como laboratório de primeira parte, ou seja, sem conflitos comerciais com o IEE, também se aproximou e aí foi dada a primeira oportunidade de uma parceria para um programa de proficiência de ensaios bilaterais.

DIVULGAÇÃO NA IMPRENSA NACIONAL E INTERNACIONAL

A relação com o CB32 e a Animaseg (Associação Nacional da Indústria de Material de Segurança e Proteção ao Trabalho) trouxe a aproximação com o setor produtivo e chamou a atenção da imprensa nacional e internacional. Importantes veículos do setor elétrico com escopo voltado a temas de segurança no trabalho passaram a contatar o IEE-USP, como as revistas Safe Work, FIRE, Eletricidade Moderna, Setor Elétrico, Revista Lumiere, Revista CIPA, Proteção, ENZINE USA, entre outras.

Figura 30. Matéria revista CIPA novembro de 2015



Fonte: os autores.

Figura 31. Matéria revista EZINE USA em dezembro de 2015



Fonte: os autores.

APOIO E PARCERIAS PARA A PROFICIÊNCIA

O primeiro apoio para um programa Bilateral foi promovido numa parceria entre IEE-USP, Petrobras, SEESP, LEAL Equipamentos de Proteção e Westex by Milliken. Ensaio em tecidos e Protetores faciais foram promovidos voluntariamente pelas empresas LEAL

Equipamentos de Proteção e Westex by Milliken, no formato de avaliação de competência dos laboratórios. Os ensaios foram realizados em fevereiro de 2016 nos laboratórios da Kinectrics, contratados pelas empresas LEAL Equipamentos de Proteção e Westex by Milliken, com acompanhamento de colegas da SEESP, e posteriormente, em abril de 2016 foram realizados no IEE-USP com a presença dos colegas engenheiros. O controle de amostragem e garantia de homogeneidade de lote foi realizado pelas próprias empresas proprietárias dos corpos de prova, e os resultados foram analisados pelo grupo. O êxito nessa proficiência permitiria ao IEE-USP a acreditação do laboratório junto à “CGCRE/INMETRO”.

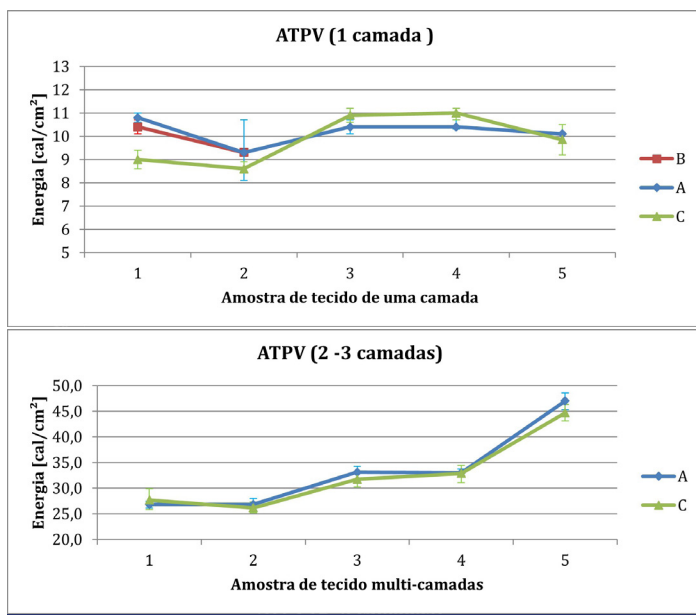
Na sequência desses ensaios, em maio de 2016, foram concluídos os registros de documentos para operação, manutenção e segurança das operações laboratoriais, concluindo-se a instalação do laboratório de vestimentas como Laboratório Operacional dentro do IEE-USP.

Todas as instruções de trabalho, procedimentos, registros, validações e documentos para garantia da qualidade foram gerados, arquivados e analisados pela equipe da Qualidade do IEE-USP, e a solicitação de credenciamento junto ao Ministério do Trabalho foi efetuada eletronicamente e por meio de ofício.

Relatórios experimentais para avaliação e validação do sistema completo foram gerados pela equipe técnica como etapa de conclusão dos trabalhos.

Os resultados de uma bateria adicional de 10 ensaios em tecidos que já tinham um portfólio de caracterização em laboratórios internacionais de terceira parte foram analisados pelos especialistas do IEE-USP, pelos técnicos da Petrobras e pelos colegas do Ministério do Trabalho. Os dados foram considerados satisfatórios e fizeram parte do processo de credenciamento junto ao Ministério do Trabalho.

Figura 32. Resultados de ensaios de proficiência em tecidos de uma, duas e três camadas realizados no exterior e no IEE. A codificação dos laboratórios foi mantida em sigilo entre IEE-USP, Petrobras e Ministério do Trabalho



Fonte: os autores.

A partir da segunda quinzena de junho de 2016, o laboratório passava por credenciamento do Ministério do Trabalho e iniciava suas atividades junto ao setor produtivo. O IEE-USP também efetuava a solicitação de acreditação junto ao CGCRE/INMETRO em agosto de 2016 para integração à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE), que ocorreria efetivamente em abril de 2017.

5

INAUGURAÇÃO E ACREDITAÇÃO

Figura 33. Imagens da recepção no dia da inauguração do Laboratório de Arco Elétrico Brasileiro, destaque aos apoiadores do evento



Fonte: os autores.

Em 25 de agosto de 2016, o Laboratório de Ensaios de Vestimentas, designado como LEVe dentro do Projeto Petrobras – IEE-USP, era finalmente inaugurado.

A inauguração contou com o apoio de várias empresas associadas à ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil) e, também, à ANIMASEG, como DUPont, Westex, CEDRO Têxtil e Ideal Work, além

da participação de diversos membros do Ministério do Trabalho e do Sindicato dos Engenheiros Eletricistas do Estado de São Paulo.

Toda a equipe técnica e de Coordenação da Petrobras esteve presente, bem como representantes da sociedade civil e do corpo de bombeiros do estado de São Paulo.

Figura 34. Da esquerda para direita: Elizabeth Guimarães (Petrobras), Dr. Marcio Bottaro (IEE), Luiz Carlos Lumberas (MTE), Prof. Dr. Ildo Sauer (IEE) e José Manuel Teixeira (SEESP)



Fonte: os autores.

Figura 35. Da esquerda para direita: Dr. Marcio Bottaro (IEE) e Eng. Flávio Ribeiro (Gestor de Projetos Petrobrás)



Fonte: os autores.

Figura 36. Equipe Técnica do IEE-USP – Serviços Técnicos de Altas Potências e de Desempenho e Segurança Elétrica



Fonte: os autores.

Figura 37. Diretores e Equipe de Coordenação Técnica da Petrobras e do IEE- USP



Fonte: os autores.

Figura 38. Inauguração Oficial em 25 de agosto de 2016



Fonte: os autores.

Figura 39. Da esquerda para Direita: José Manuel Teixeira (SEESP), Maria do Carmo Chies (Westex), Elizabeth Guimarães (Petrobras) e Aguinaldo Bizzo (SEESP)



Fonte: os autores.

Após a inauguração foram formalizados os processos de certificação junto ao Ministério do trabalho que ocorreu no mesmo mês de 2016, e foi dado andamento na formalização do pedido de extensão de escopo do IEE-USP junto à CGCRE/INMETRO que ocorreria em 2017 após auditoria realizada no IEE-USP nesse mesmo ano. A acreditação permitiria o avanço para atendimento ao mercado internacional, com enfoque nos países vizinhos do Brasil.

Figura 40. Prospectos com dados do projeto distribuídos aos presentes na inauguração do Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico



Fonte: os autores.

Em 2018, uma comitiva do sindicato dos eletricitas de Santa Fé, na Argentina, visita o LEVe em um evento apoiado pela empresa Marschal Moffat de Buenos Aires, parceira da Westex na área de confecção de vestimentas de proteção térmica contra arcos elétricos. Essa visita abre espaço para que o Dr. Marcio Bottaro realize a primeira apresentação oficial do LEVe em um evento internacional que atraiu mais de 400 trabalhadores do país vizinho que passaram a conhecer e utilizar o laboratório do IEE-USP para ensaios de auditoria e prova de suas vestimentas de trabalho. A partir dessa data, diversas visitas de colegas de outros países como Colômbia, Peru, Panamá, Costa Rica e Mexico ao laboratório brasileiro.



6

DESAFIOS APÓS OS PRIMEIROS MESES DE OPERAÇÃO

O desenvolvimento do Laboratório Brasileiro contou com muitos desafios em seu planejamento e execução, prezou pela cadeia de fornecedores de manutenção nacional e teve êxito em sua implantação. Muitos colegas no Brasil acreditavam ser difícil a conclusão do laboratório pelas barreiras tecnológicas de seu desenvolvimento, principalmente as que envolviam a ignição e manutenção controlada de um arco aberto monofásico, mas fundamentalmente o processo de medição de calor com a exatidão e precisão requeridas pelas normas técnicas internacionais.

Vários questionamentos técnicos sobre os pontos fundamentais dos ensaios foram surgindo durante o desenvolvimento do laboratório e, como membros do IEE-USP envolvidos no projeto já integravam as comissões de normalização da ABNT/COBEI e da IEC, esses questionamentos começavam a ser levados para os grupos nacionais e internacionais. No Brasil, a experiência dos fabricantes na utilização dos serviços no exterior ainda era pequena, e o conhecimento sobre o processo de ensaios em seus aspectos técnicos mais complexos era quase inexistente. A atuação direta de especialistas do IEE-USP nos comitês da IEC era fundamental, e, com apoio das comissões de estudos da ABNT/COBEI, foi possível essa participação a partir de 2014.

Até 2015, essa participação foi pouco ativa no sentido de proposições e questionamentos, mas, com o avanço do conhecimento da técnica de ensaios e o aprofundamento científico nos aspectos fundamentais que envolviam desde a geração dos arcos elétricos até a calorimetria e familiarização com aspectos do tratamento dos corpos de prova, bem como diversos outros fatores de influência no processo de ensaio como um todo, em 2016, o Brasil tinha vários questionamentos ao IE TC78, particularmente ao grupo de trabalho WG15 que trata até hoje o tema “Proteção contra Arco Elétrico”. Em 2016, em reunião presencial na Espanha é que o representante do IEE-USP, e delegado especialista brasileiro pelo COBEI Dr. Marcio Bottaro (coordenador técnico do projeto do LEVe), sentiu as dificuldades que viriam da atuação do Brasil como um dos poucos laboratórios mundiais nessa área.

O impacto econômico dos ensaios de caracterização e avaliação de desempenho em tecidos, vestimentas e outros equipamentos de proteção individual que eram realizados fora do Brasil nos últimos anos, passava a ser concentrado no mercado interno. O mercado com mais de 5000 EPIs tipificados e com certificados de aprovação (CA) emitidos pelo Ministério do Trabalho passava a utilizar os laboratórios nacionais e na visão dos laboratórios internacionais o IEE-USP passava a ser um concorrente comercial. Mesmo não sendo esse o aspecto fundamental do LEVe no Brasil, e não sendo papel deste laboratório, dentro da Universidade de São Paulo, de concorrer com qualquer atuação da iniciativa privada, o fornecimento de serviços tão exclusivos no Brasil trouxe impacto econômico aos laboratórios estrangeiros e a dificuldade na aceitação do laboratório, desde proposições técnicas até parcerias para programas de proficiência, foi marcante entre os anos de 2016 e 2017.

A atuação de um importante especialista internacional com atuação de muitas décadas na IEC, entusiasta do projeto no Brasil e simpaticante de nosso país em vários aspectos como social e ambiental, além de nossa língua Portuguesa, na qual tinha fluência, foi fundamental

para a orientação da participação do Brasil de forma mais efetiva nesses fóruns. O Dr. Helmut Einchinger, pesquisador egresso da DuPont, e que infelizmente faleceu em novembro de 2022, mostrou ao longo de diversas participações em grupos técnicos da IEC e em suas várias visitas ao laboratório Brasileiro, os caminhos e formas de atuação mais eficientes nos grupos de trabalho, o que propiciou uma mudança tanto na forma de proposição de esclarecimentos e alterações nas normas técnicas, bem como na integração ao grupo com reconhecimento da atuação científica do IEE-USP na área.

Em 2018, a equipe do laboratório publica o artigo na *IEEE-Transactions IAS*: “*Analysis of Asymmetrical Component Influence on Arc Current in the Determination of Arc Thermal Performance Value of Protective Personal Equipment*”, um estudo que mudou o nível de participação do Brasil no TC 78, apoiado pelo Dr. Helmut Eichinger.

Em 2019, o IEE-USP começava então a participar da Comparação Interlaboratorial Internacional promovida dentro do IEC TC 78, que contava com os quatro laboratórios internacionais e que continua até a atualidade, promovendo a harmonização internacional do processo de ensaios em todos os seus detalhes. O Dr. Helmut Eichinger foi consultor desse programa interlaboratorial até o ano de 2022.



7

IMPACTOS NA ATUALIDADE

O Laboratório de Ensaios de Vestimentas para proteção contra efeitos térmicos de arcos elétricos foi um marco Nacional. Ainda único laboratório de ensaios padronizado no Hemisfério Sul, o LEVe IEE-USP mantém o atendimento ao mercado nacional e internacional e foi um dos responsáveis por alavancar os processos de certificação de vestimentas de proteção no Brasil, que se tornou realidade em dezembro de 2023.

Os membros do IEE-USP integram hoje o grupo de estudos e proficiência internacional da IEC, participando do primeiro programa interlaboratorial de grande abrangência na área de proteção contra arcos elétricos. O coordenador técnico do Projeto LEVe, Dr. Marcio Bottaro, atua como Especialista na IEC em todos os grupos de trabalho e projeto relacionados ao tema, o que faz com que o laboratório brasileiro se mantenha alinhado a normalização internacional que impacta direto o escopo técnico dos serviços oferecidos pelo Brasil.

Além dessas participações importantes, o protagonismo na América Latina ganhou repercussão e a participação do IEE-USP se estendeu a grupos de trabalho em normas de cálculo de Energia incidente dentro da IEEE *Industrial Applications* nos EUA, no comitê Técnico de Vestimentas de Trabalho do México e, a convite da CEN

(Comissão Europeia de Normalização), atuação nos novos guias e especificações técnicas essenciais para trabalhos com energia elétrica da IEC, o PC 128.

Atualmente, o IEE-USP tem o reconhecimento de seus pares internacionais pela atuação no mercado e nos comitês de normalização internacional, e vem intensificando sua atuação em pesquisa na área de proteção contra arcos elétricos, desenvolvendo e aprimorando a instrumentação, metodologia de ensaios e, também, colaborando nos processos de seleção, uso e cuidados com EPIs junto à ABNT e ao Ministério do Trabalho.



8

DEPOIMENTOS

MARIA ELIZABETH GUIMARÃES

Em 2004, atender à demanda de fornecimento de vestimentas e EPI de proteção aos efeitos térmicos do arco elétrico em cumprimento ao estabelecido nas Normas regulamentadora NR6 e 10, lançou um novo olhar sobre a atividade da análise de riscos elétricos exigindo adequações e adoção de medidas preventivas a danos sobre plantas e instalações, induzindo ainda a absorção de novos conhecimentos técnicos para especificação de itens de proteção para os colaboradores. Nessa realidade foi possível identificar que o Brasil não dispunha de condições para atender as novas exigências. O cenário era desanimador, permitindo aos usuários somente a aplicação de boas práticas e aquisição de itens importados como medidas de adequação ao novo requisito legal. Além disso, as carências de laboratórios de avaliação e de conjuntos normativos que tratassem o assunto tornaram o processo muito dispendioso.

A partir de 2008, visitas a fabricantes e laboratórios no exterior, assim como uma cultura empresarial determinada a vencer desafios, solucionar problemas e contribuir para a cadeia de suprimento nacional, conforme dita no próprio slogan o “desafio é a nossa energia”,

conjecturar que estes métodos poderiam ser desenvolvidos no Brasil passou a ser um sonho possível.

Demandas elevadas justificaram alavancar esse setor, estabelecendo-se parcerias para o desenvolvimento de fabricantes, laboratórios e entidades normativas. No segmento laboratório, a maior dificuldade era que as instalações deste já disponibilizassem estrutura adequada para gerar os arcos elétricos nas condições estabelecidas nos ensaios.

No primeiro contato com o IEE-USP em 2012, o Engenheiro Helio Sueta nos deu um fio de esperança, se dispondo a verificar se a fonte de arco das instalações do Laboratório do Serviço Técnico de Altas Potências (SVALPOT) atenderiam tal demanda. Após validação dessa informação, várias reuniões com o corpo técnico e com o Diretor Ildo Sauer, foi possível iniciar a tramitação da proposta de acordo de parceria através de Projeto de P&D, vindo este a ser aprovado pela ANP em junho de 2013.

Durante todo o processo, desde o pré-projeto, projeto e readequação e execução do projeto encontramos uma equipe engajada e motivada, buscando solucionar problemas, encontrar novas soluções e superar desafios antes inimagináveis. Além disso, a equipe do Laboratório do Serviço Técnico de Altas Potências (SVALPOT), mostrou-se extremamente competente tecnicamente e receptiva a comentários, sugestões e críticas.

Trabalhar neste projeto foi extremamente motivador e gratificante. Durante todo esse período nas inúmeras reuniões, visitas e ensaios foi possível estabelecer um clima de efetiva amizade e colaboração, nos fazendo acreditar nas nossas potencialidades como fomentador de novos processos e tecnologias para elevar o Instituto e o Brasil a uma posição de destaque e participação no mercado nacional e no cenário internacional. Hoje o LEVe é reconhecido e respeitado por seus pares e por toda a comunidade acadêmica como referência em nível de domínio e conhecimento na área de riscos térmicos de arcos elétricos.

Meus agradecimentos ao Diretor Professor Ildo Sauer pelo apoio e aprovação da ideia, em especial ao Dr. Marcio Bottaro, pela sua dedicação e apreço na coordenação do Projeto, a toda equipe técnica do LEVe, em especial ao Engenheiros Hélio Sueta e Paulo Obase, aos técnicos Ivan Bueno Raposo, Eduardo Chinen, Rogério Masaro e a doutoranda Fernanda Cristina Salvador Soares, por terem participado e tornado esse Projeto possível.

Maria Elizabeth Silva Guimarães

Técnica em Segurança do Trabalho (aposentada)
Responsável Técnica da Petrobras na Elaboração e Suporte ao Projeto

LUIZ CARLOS LUMBREIRAS

Quando fui convidado pelos professores Marcio Bottaro e Ildo Sauer para escrever um depoimento para este livro, a respeito do Laboratório Brasileiro de Arco Elétrico da USP, senti-me extremamente honrado e muito feliz; honrado por ter de alguma forma participado do processo de criação do Laboratório, sendo, agora, convidado a escrever a respeito de um projeto que considero o mais exitoso que vivenciei com Universidades no Brasil; feliz pela maravilhosa ideia do professor Ildo de materializar este projeto numa publicação, servindo de exemplo e inspiração não só em nosso país mas para todo o mundo.

Antes de tecer comentários a respeito dessa exitosa iniciativa, gostaria, aqui, de rememorar o ponto de partida de todo este trabalho, que, como referido no início desta obra, teve suas bases no magnífico trabalho realizado pelo Grupo de Trabalho Tripartite responsável pela revisão da Norma Regulamentadora sobre Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade, liderado pelo nosso colega Joaquim Gomes Pereira, que consumou em dezembro de 2004 com a publicação da nova NR-10. Esta versão da NR-10 trouxe diversas inovações, principalmente quanto ao trabalho de Setor Elétrico de Potência, em linha com os requisitos da NFPA 70-E. Foram necessários alguns anos para que determinado item da NR-10, que tratava da necessidade das vestimentas de trabalho, como equipamentos de proteção individual, serem adequadas às atividades, contemplando aspectos como a condutibilidade, **inflamabilidade** e influências eletromagnéticas fosse materializado.

Como equipamento de proteção individual originou a necessidade de certificar estes equipamentos por parte do Ministério do Trabalho, conforme preceitua a CLT, trazendo um novo desafio - como implementar uma sistemática que assegurasse que os equipamentos existentes no mercado proporcionariam ao trabalhador uma proteção adequada considerando a energia incidente quando de um arco elétrico, tendo em vista as análises desses possíveis eventos? Recebi este desafio

do colega Joaquim, quando este passou a coordenação da CPNSEE – Comissão Permanente Nacional de Segurança em Energia Elétrica, comissão criada para acompanhar a implementação da NR-10, para a também colega Edna Lucia Alves Pereira da Rocha, que me deu esse encargo, ao coordenar a Subcomissão criada para discutir as vestimentas de trabalho no âmbito da CPNSEE.

Foram muitas reuniões e muitos anos de trabalho árduo de todos os representantes desta Subcomissão Tripartite, até conseguirmos estabelecer uma sistemática de ensaios robusta que permitiram a certificação das vestimentas contra os efeitos térmicos do arco elétrico e, também, do fogo repentino, sem que esses critérios representassem um entrave aos produtos existentes e ao desenvolvimento de novos produtos no mercado. Desta forma, conseguimos saltar um degrau, o de passar da certificação por termo de compromisso do fabricante para a certificação por análise de um modelo de EPI. Ocorre que este equipamento é de suma importância quando da ocorrência de um arco elétrico, podendo o seu bom desempenho representar o cruzamento da linha divisória entre um alto percentual de queimadura de segundo e terceiro graus, e consequente morte do trabalhador, e a proteção contra esses efeitos térmicos levando ao aumento significativo da probabilidade de sobrevivência após um arco ou fogo repentino, o que traria a necessidade de um processo de certificação mais abrangente do que a certificação de modelo. A certificação do processo de produção envolveria não apenas a realização de ensaios iniciais, mas também de acompanhamento e a verificação de amostras coletadas pela Inspeção do Trabalho, o que seria inviável face ao grande número de fabricantes de vestimentas e modelos e os custos e agendas dos laboratórios estrangeiros existentes, que à época exigiam mais de sete meses para a realização de um ensaio.

A Subcomissão concluiu que este novo salto no processo de certificação do processo produtivo só seria possível com a existência de um laboratório nacional que atendesse esta demanda de ensaios, o que

poderia também adicionalmente alavancar o desenvolvimento de novos produtos neste setor emergente no país. A partir desta premissa, fizemos várias visitas à inúmeras instituições que pudessem albergar este laboratório de ensaios, quer seja pela compra de tecnologia ou parceria com outros laboratórios estrangeiros. Ao contatarmos a USP, as portas não só foram abertas, como também os pesquisadores se dispuseram não somente a implantar o laboratório, como também a incluir um segundo e maior desafio o de desenvolver toda a tecnologia necessária para a realização dos ensaios. Acreditamos na USP, mas confesso que fui até um pouco cético no início, esperava apenas parte do desenvolvimento e sua complementação com tecnologia cedida por um dos players internacionais, mas quando no decorrer do trabalho percebi a qualidade técnica e o comprometimento desses profissionais meu ceticismo se transformou em êxtase, pois não só desenvolveram e conduziram todo o trabalho em tempo e custo inferior ao estipulado como realizaram estudos que até hoje estão impactando nos requisitos normativos internacionais.

Hoje, com o LEVE, o Brasil se posiciona como um dos poucos países no mundo detentores desta tecnologia, além de podermos garantir, sem sombra de dúvidas que os resultados dos ensaios aí realizados por este laboratório acreditado nos dão total confiança para certificar as vestimentas existentes no mercado e implementar uma sistemática de fiscalização dos produtos. Ainda restam desafios que o LEVE certamente nos ajudará a enfrentar, como a extensão da certificação para outros equipamentos que venham a ser classificados como EPIs nesta categoria, a continuidade do processo de certificação de processo de produção, com etapas avançadas em curso, e o citado processo de revisão da NR-10, que incluirá outras atividades nem sempre consideradas como albergadas pela NR-10 e a inclusão de Sistema Elétrico de Consumo - SEC.

Não poderia finalizar o meu depoimento sem trazer aqui uma referência a três Instituições e pessoas que foram fundamentais em todo

este desenvolvimento, peço desculpas por não citar todos, o Engenheiro José Manoel Teixeira da Federação Nacional dos Engenheiros, a Técnica Elisabeth Guimarães da Petrobrás e a nossa guerreira, a Engenheira Maria do Carmo Chies da Westex.

Luiz Carlos Lumbreras Rocha

Auditor Fiscal do Trabalho e Coordenador da Subcomissão de Vestimentas da CPNSEE

JOSÉ MANUEL TEIXEIRA

Após inúmeras mutilações e, mesmo, vidas perdidas, fatos ocorridos por falta de segurança em instalações e serviços em eletricidade, em 1978 foi criada a Norma Regulamentadora (NR) 10. O objetivo foi transformar a lamentável situação de exposição dos trabalhadores ao risco, promovendo-se a prevenção de acidentes no Sistema Elétrico de Potência (Geração, Transmissão e Distribuição).

Após um período de uso e aplicação da norma, além da utilização de novos materiais e tecnologias, foi necessária atualização cuja implementação teve início em 2004. Essa trazia novidade importante, que era a inclusão do Sistema Elétrico de Consumo (indústria, comércio e todas as frentes e atividades que utilizam energia elétrica).

Com muito empenho e dedicação, a engenheira Maria do Carmo Chies (Westex) conseguiu levar ao exterior um grupo de profissionais (ligados ao governo, a empresas e aos trabalhadores) para trocar experiências e conhecer o laboratório de Arco Elétrico KEMA nos Estados Unidos. A oportunidade deixou clara a necessidade de se construir uma estrutura similar no Brasil.

Para tanto, o Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo (SEESP), representando o grupo tripartite, procurou o Prof. Dr. Ildo Sauer, do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) e apresentou-lhe a ideia, que foi prontamente acolhida. O projeto, que contou com a participação do Prof. Dr. Marcio Bottaro, excelente pesquisador, desenvolvendo componentes e equipamentos de excelência, foi concluído em 2015.

Esse esforço coletivo, guiado pelo espírito público, é feito que enobrece a engenharia nacional e demonstra a capacidade de articulação e realização das suas instituições. É, portanto, uma grande honra ter participado dessa empreitada, cujos resultados são promotores do bem-estar do trabalhador brasileiro.

Neste ano em que o SEESP, a USP e o Crea-SP completam 90 anos de história e a Petrobras, empresa que também teve papel fundamental na iniciativa, chega aos 70, o Laboratório de Ensaios de Vestimentas do IEE-USP deve também ser celebrado como um orgulho da tecnologia brasileira.

José Manoel Teixeira

Engenheiro Eletricista\Segurança do Trabalho

Membro do GGT da NR10- representante da Bancada dos Trabalhadores

AGUINALDO BIZZO

A revisão da Norma Regulamentadora NR10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade publicada em dezembro de 2004 trouxe mudanças significativas relativas à segurança em trabalhos com eletricidade, onde uma das mais relevantes foi o reconhecimento da exposição ao risco de arco elétrico, condição intrínseca aos profissionais que realizam atividades de operação e manutenção em instalações elétricas de todos os segmentos produtivos. No aspecto relativo a equipamentos de proteção individual – EPIs, introduziu a obrigatoriedade do uso de Vestimentas de Proteção adequadas às atividades, devendo contemplar a condutibilidade, inflamabilidade e influências eletromagnéticas. Essa conquista representou um grande avanço na proteção dos trabalhadores visto a predominância de acidentes com lesões graves e mortes devido a queimaduras oriundas de arco elétrico. Era necessário, então, a “regulamentação” de ensaios para esses EPIs, atendendo requisitos de gênero existentes em legislação nacional, mas, principalmente, a criação de laboratório específico no Brasil que além de atender legislação a internacional, propiciasse a efetiva eficácia desses EPIs na proteção do trabalhador. A convite da Westex, que teve atuação fundamental nesse processo, durante anos realizamos inúmeras visitas a diversos laboratórios no EUA e Canada, bem como em empresas, buscando aprendizagem no tema arco elétrico em locais de referência onde esse tema já estava efetivamente regulamentado.

Durante aproximadamente 10 anos, evoluímos muito tecnicamente, e, contando com o esforço de vários profissionais e instituições, em destaque o patrocínio da Petrobras e apoio do SESP - Sindicato dos Engenheiros do Estado de São Paulo, em 2016, inauguramos em nosso país o LEVe – Laboratório de Ensaios de Vestimentas, sendo o Brasil um dos poucos países no mundo a ter esse tipo de infraestrutura.

Essa conquista permitiu a evolução de nossa legislação onde saímos de uma Certificação baseada em Termo de Responsabilidade,

que não garantia a efetiva eficácia desse EPI, para a Certificação Plena de Conformidade, que representa um avanço significativo na garantia da integridade física dos trabalhadores que utilizam vestimentas AR cotidianamente na realização de atividades em instalações elétricas.

Destaco a atuação do Dr. Marcio Bottaro que, com seu conhecimento e efetiva participação, coloca-nos em destaque no cenário internacional, e, aos demais colegas que incansavelmente participaram desse processo, de que tenho orgulho de fazer parte, levando a essa expressiva conquista que eleva o nome de nosso país, e, que principalmente, é de vital importância na garantia da integridade física daqueles que realizam atividades em instalações elétricas.

Aguinaldo Bizzo de Almeida

Engenheiro Eletricista\Segurança do Trabalho

Membro do GGT da NR10- representante da Bancada dos Trabalhadores

MARIA DO CARMO CHIES

A notícia do final de 2015 anunciava a inauguração breve de um laboratório para ensaios de efeitos térmicos de arcos elétricos no Brasil, que representou um verdadeiro marco após uma jornada de quase uma década. Essa conquista foi fruto do esforço, dedicação e coragem de muitos participantes ao longo desse período.

Durante os anos de 2004 a 2015, vivenciamos no Brasil um intenso aprendizado sobre a utilização adequada dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para os efeitos do Arco Elétrico com foco principal na vestimenta, tendo como referência a experiência dos Estados Unidos, que já realizavam ensaios há alguns anos. Passamos de uma certificação baseada em termos de responsabilidade para a certificação plena de conformidade, um avanço notável que não teria sido possível sem a realização desse grandioso projeto.

A parceria constante da Westex, uma presença fundamental, foi crucial para o sucesso desse empreendimento. Com o empenho incansável do Dr. Marcio Bottaro, o patrocínio da Petrobras e o apoio do Sindicato dos Engenheiros Eletricistas de São Paulo (SEESP), em agosto de 2016, inauguramos com orgulho o LEVe - Laboratório de Ensaio de Vestimentas, tornando o Brasil o único país no Hemisfério Sul e o terceiro no mundo a contar com essa infraestrutura.

A existência desse laboratório especializado em ensaios de arco elétrico em vestimentas é de importância ímpar. Além do desenvolvimento e aprimoramento contínuo de vestimentas de proteção, ele contribui para a conformidade com normas internacionais, participando ativamente de seus comitês, promovendo pesquisas e incentivando a inovação.

Contudo, o aspecto mais relevante desse laboratório é o impacto positivo na vida dos trabalhadores, resultando na significativa redução de riscos e acidentes. Proporciona um ambiente seguro e propício

ao crescimento profissional, estabelecendo um novo padrão para a segurança no trabalho no Brasil.

Essa conquista é um testemunho do comprometimento e da visão pioneira daqueles que contribuíram para tornar realidade esse projeto que, sem dúvida, elevou os padrões de segurança e inovação em nosso país. Participar da criação e implementação do Laboratório de Ensaio de Vestimentas foi uma experiência enriquecedora e transformadora, que certamente moldou não apenas minha trajetória profissional, mas também meu entendimento sobre a grande importância da segurança no ambiente de trabalho.

Encerro este relato expressando profunda gratidão por ter tido a oportunidade de participar ativamente desse capítulo significativo na história da segurança elétrica no Brasil. Agradeço a todos os envolvidos, desde os colaboradores dedicados, mentores incansáveis, parceiros valiosos, até as instituições que acreditaram e apoiaram este grandioso projeto.

Maria do Carmo Chies

Gerente América Latina da empresa Westex: a Milliken Brand

REFERÊNCIAS

BOTTARO M. Interview: New Arc Flash Testing Laboratory in Brazil. **EZINE Magazine USA**, 2015.

BOTTARO, M. Arco da sobrevivência. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, p. 78 - 79, 10 jan. 2017.

BOTTARO, M. *et al.* Analysis of Asymmetrical Component Influence on Arc Current in the Determination of Arc Thermal Performance Value of Protective Personal Equipment. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 55, n. 2, p. 2130-2137, mar.-abr. 2019.

BOTTARO, M. L.; CAIRES, Eduardo; FUTOSHI OBASE, P.; OHARA DE CARVALHO, T.; TATIZAWA, H. A Comprehensive Analysis of the Influence of Thermal Insulating Materials on Arc Rating Tests. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 74, p. 1-9, 2025. Art no. 1500609, doi: 10.1109/TIM.2025.3529562.

BOTTARO, M. Laboratório de Arco Elétrico. **Revista Proteção**, Novo Hamburgo - RS, v. 275, p. 30 - 30, 03 nov. 2014.

BOTTARO, M.; CAIRES, L. E.; OBASE, P. F.; RAPOSO, I. B.; CARVALHO, T. O.; SUETA, H. E.; TATIZAWA, H. Análise da influência da componente simétrica da corrente de arco elétrico na determinação do valor do ATPV em equipamentos de proteção. *In: IEEE ESW BRASIL*, 8., 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: IEEE, 2017. v. 1. p. 89-97.

BOTTARO, M.; CHIES, M. C. Laboratório do Arco. **Revista Fire**, São Paulo - SP, p. 44 - 46, 01 dez. 2015.

BOTTARO, M.; EICHINGER, H. Uncertainties in the heat energy calculation process and influences on determination of arc thermal performance value (ATPV) of heat- and flame-resistant materials tests. **Measurement**, v. 123, p. 275-284, jul. 2018.

BOTTARO, M.; RAPOSO, I. B. Uma abordagem sobre a resistência ao arco elétrico e as novas tendências de avaliação de equipamento de proteção individual para efeitos térmicos. **O Setor Elétrico**, São Paulo - SP, p. 70 - 75, 04 jan. 2016.

BOTTARO, M.; RAPOSO, I. B.; CHINEN, E. Brasil Fará Ensaio em EPIs Contra Arcos Elétricos. **Revista CIPA**, São Paulo - SP, p. 70 - 74, 02 nov. 2015.

BOTTARO, M.; RAPOSO, I. B.; RIBEIRO, F. G. C. Ensaio para avaliação de efeitos térmicos de arcos elétricos em EPIs. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo - SP, p. 30 - 35, 01 fev. 2016.

BOTTARO, Marcio. A importância da capacitação no uso de EPIs para arco elétrico: reduzindo riscos e aumentando a conscientização – Parte 1. **Abracopel**, 08 nov. 2024. Disponível em: <https://abracopel.org>. Acesso em: 02 ago. 2025.

BOTTARO, Marcio. A importância da capacitação no uso de EPIs para arco elétrico: reduzindo riscos e aumentando a conscientização – Parte 2. **Abracopel**, 06 dez. 2024. Disponível em: <https://abracopel.org>. Acesso em: 02 ago. 2025.

BOTTARO, Marcio. Educação, capacitação e conscientização contra os perigos da educação deficitária! **Abracopel**, 10 out. 2024. Disponível em: <https://abracopel.org>. Acesso em: 02 ago. 2025.

BOTTARO, Marcio. Estudo do IEE/USP: Risco do uso de máscara facial em locais de trabalho com eletricidade. **PlayCipa**, 2020. Disponível em: <https://playcipa.com.br/estudo-do-iee-usp-risco-do-uso-de-mascara-facial-em-locais-e-trabalho-com-eletricidade/>. Acesso em: 02 ago. 2025.

BOTTARO, Marcio. Quais oportunidades temos para melhoria da segurança elétrica nacional? **Abracopel**, 21 fev. 2025. Disponível em: <https://abracopel.org>. Acesso em: 02 ago. 2025.

BOTTARO, Marcio; REIS, Lorena. Protetores Faciais - Trajetória para Certificação da Proteção contra Arcos Elétricos. **Abracopel**, 09 abr. 2025. Disponível em: <https://abracopel.org>. Acesso em: 02 ago. 2025.

CAMPBELL, R. B.; DINI, D. A. Occupational Injuries from Electrical Shock and Arc Flash Events. **The Fire Protection Research Foundation**, 2015

HOAGLAND, H.; MAURICE, C.; EBLEN, M.; PHILLIPS, J. Matching ARC Rated PPE to the Hazard: Why Does it Work? **IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW)**, Reno, NV, USA, p. 1-8, 2020. doi: 10.1109/ESW42757.2020.9188328.

IEC STANDARD: **Live working** – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc – Part 2: Requirements, IEC 61482-2: 2018.

IEC STANDARD: **Live working** – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc – Part 1-1: Test methods – Method 1: Determination of the arc rating (ELIM, ATPV, and/or EBT50) of clothing materials and of protective clothing using an open arc, IEC 61482-1-1: 2019.

IEEE STD 1584. **IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations**. New York, EUA: IEEE Press, 2018.

LEE, R. H. The other Electrical Hazard: Electric Arc Blast Burns. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. IA-18, n. 3, maio 1982.

NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2024.

OLIVEIRA, Amâncio Jorge *et al.* **USP novos tempos, novos olhares**. 2022.

SAUER, I.L. Anotações Sobre Conhecimento, Ciência, Universidade E Observações Sobre O Desafios Da USP. 2022. In: OLIVEIRA, A. J. *et al.* **USP: Novos tempos, novos olhares**. São Paulo: Annablume, 2022.

SAUER, Ildo Luís. Anotações sobre conhecimento, ciência, universidade e observações sobre desafios da USP. In: AGOPYAN, Vahan; CHAIMOVICH, Hernan (orgs.). **USP 90 anos: ciência, universidade, sociedade**. São Paulo: Edusp, 2024. cap. 18. DOI: <https://doi.org/10.4322/978-65-5684-054-3.c18>.

STOLL, A. M.; CHIANTA, M. A. Heat Transfer Through Fabrics as Related to Thermal Injury. **Ann. N. Y. Acad. Sci.**, v. 33, p. 649-670, 1970.



DR. MÁRCIO BOTTARO

Especialista em Laboratório no Instituto de Energia e Ambiente na Universidade de São Paulo (IEE-USP) há mais de 28 anos, participando de vários processos de criação e acreditação de laboratórios exclusivos no Brasil e no mundo desde 1995. Graduado em Tecnologia em Eletrônica pela Faculdade de Tecnologia de Sorocaba (1995), possui especialização em Engenharia da Qualidade (1998) pelo PECE na Escola Politécnica da USP, mestrado (2007) e doutorado (2012) na área de Tecnologia Nuclear pelo IPEN - Universidade de São Paulo. Atuou como coordenador técnico entre 2012 e 2016 na elaboração, execução e acreditação do primeiro laboratório do Hemisfério Sul para caracterização e ensaios em materiais e EPI para arco elétrico (LAEVe-IEE-USP). Atualmente é Supervisor do Serviço Técnico de Segurança e Desempenho de Equipamentos e Materiais Elétricos do IEE-USP e Pesquisador Associado ao LAEVe-IEE-USP, atuando como coordenador da CE-032:006.004 - Comissão de Estudo de Vestimentas de Proteção – Riscos Térmicos – Calor e Chamas, e secretário da CE-032:006.005 - Comissão de Estudo de EPI para Riscos Elétricos, do Comitê Brasileiro de Equipamentos de Proteção Individual ABNT/CB32. Desde 2014 foi designado pelo ABNT/CB32 como Especialista Brasileiro no IEC/TC78 nos grupos de trabalho de Proteção contra Arco Elétrico, especialmente nos temas Vestimentas, Proteção das Mãos, Proteção dos olhos, da Face e Cabeça, Requisitos Gerais para fabricação, seleção, uso e cuidados com EPI para efeitos térmicos de arcos elétricos. Atualmente também integra o IEC PC128 - Gerenciamento de Operações com Energia Elétrica.



PROF. DR. ILDO SAUER

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1977), mestrado em Engenharia Nuclear e Planejamento Energético pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1981) e doutorado em Engenharia Nuclear - Massachusetts Institute of Technology (1985). Atualmente é professor titular da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Energia, com ênfase em Organização da Indústria de Energia e Organização da Produção e Apropriação Social de Energia, atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento energético, modelos de demanda e recursos e oferta de energia, uso racional de energia, avaliação e desenvolvimento de recursos, produção descentralizada de energia, regulação e controle, políticas energéticas, análise econômica, histórica e social da evolução das formações sociais e apropriação da energia. Petróleo, gás natural, bioenergia, energia nuclear, energia eólica, hidráulica

DEIXE SUA MARCA, PUBLIQUE COM A GUARÁ



TESES, DISSERTAÇÕES E TCC'S
Adaptamos seu trabalho para publicação,
levando seu trabalho para mais pessoas.



CAPÍTULO DE LIVRO
Transforme seu artigo ou trabalho acadêmico
em um capítulo de livro.



EBOOKS
Publique na versão digital e tenha seu
trabalho disponível em diversos dispositivos.



@guaraeditora



64 9 9604-0121



contato@guaraeditora.com.br



guaraeditora.com.br



