

## Monitoramento de risco elétrico dentro de sala de cirurgia utilizando sistemas embarcados: status de internacionalização de pesquisa

### ELECTRIC RISK MANAGEMENT INSIDE OPERATING ROOM USING EMBEDDED SYSTEMS: STATUS OF INTERNATIONALIZATION OF RESEARCH

#### Autores:

Luiz Eduardo Schardong Spalding<sup>1,2</sup>  
Andréa Teresa Riccio Barbosa<sup>1,3</sup>  
Fábio Iaione<sup>1,3</sup>  
Marcelo Trindade Rebonatto<sup>1,2,4</sup>  
Felipe Rettore Andreis<sup>1,2</sup>  
Fabiano Passuelo Hessel<sup>4</sup>  
Artur Agostinho dos Santos Capelo Cardoso<sup>5</sup>  
Emanuele Zennaro<sup>6,7</sup>  
Carlo Mazzetti di Pietralata<sup>6</sup>  
Fabio Fiamingo<sup>7</sup>  
Concetta Barrese<sup>7</sup>  
Leo Poggi<sup>7</sup>  
Rasam Teymouri<sup>8</sup>  
Azzam Fouad George Taktak<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Hospital São Vicente de Paulo, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade de Passo Fundo, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

<sup>4</sup> Pontifícia Universidade Católica do RS, Brasil.

<sup>5</sup> Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

<sup>6</sup> Universidade Sapienza di Roma, Itália.

<sup>7</sup> Universidade Campus Bio- Médico, Roma, Itália.

<sup>8</sup> Hospital Universitário Royal Liverpool, Inglaterra.

#### Correspondências:

Luiz Eduardo Schardong Spalding  
Passo Fundo, RS, Brasil  
E-mail: spalding@upf.br

#### RESUMO

O artigo apresenta os últimos resultados da pesquisa Protegemed e os passos que conduziram à sua internacionalização. Protegemed é composto por um sistema eletrônico embarcado e software de apoio, executado em computadores, visando o monitoramento do risco de microchoques durante procedimentos cirúrgicos. Tal risco é causado por equipamentos eletromédicos, considerando que falhas de isolamento podem produzir pequenas correntes possivelmente danosas ao paciente. As formas de onda dessas correntes são enviadas a um engenheiro supervisor que utiliza o software de apoio para efetuar uma análise de riscos da falha detectada. A internacionalização do projeto teve início em setembro de 2014 através de encontros com pesquisadores e equipes técnicas em Portugal, Inglaterra e Itália. Três protótipos do Protegemed foram entregues a essas equipes, objetivando possibilitar estudos e aprimoramentos no projeto por parte das mesmas. Em 2014, em um hospital brasileiro, o Protegemed detectou 13.990 eventos de corrente de fuga em uma sala cirúrgica, dos quais, 49 apresentavam algum risco, mesmo que pequeno. É esperado que os grupos internacionais confirmem os resultados obtidos no Brasil e levem suas próprias pesquisas em direções que possam expandir a utilidade do Protegemed.

#### Unitermos:

Aplicação de monitoramento; Protegemed; Microchoque; Sala de Cirurgia; Computação Aplicada.

Monitoramento de risco elétrico dentro de sala de cirurgia utilizando sistemas embarcados: status de internacionalização de pesquisa

#### INTRODUÇÃO

Em hospitais modernos, todas as salas de cirurgia devem ter instalados o sistema IT-médico de acordo com a norma IEC 60 361 (1). O uso do sistema IT-médico é extremamente importante, mas sozinho, não é suficientemente seguro. Qualquer equipamento está suscetível a falhas enquanto utilizado em cirurgia, expondo o paciente a riscos consideráveis, podendo estar sujeito a microchoques elétricos sem ser notado pela equipe da sala cirúrgica.

O objetivo principal dessa pesquisa é detectar o risco de microchoques em pacientes quando ocorrem falhas nos equipamentos médicos. Assim, através de monitoramento remoto e em tempo real, as correntes de alimentação e diferencial dos equipamentos eletromédicos (EEM) utilizados em uma sala cirúrgica, são registradas e, caso sejam percebidas falhas de segurança elétrica, há a ativação de alertas que chegam até o serviço de engenharia biomédica do hospital. Além deste objetivo, os equipamentos e softwares instalados pela pesquisa conseguem fazer a supervisão do tempo de uso de cada EEM. A pesquisa também vai observar se é possível perceber a degradação do isolamento elétrico dos EEM com o passar do tempo e, com isto, determinar o momento adequado de fazer a manutenção do EEM antes que ocorra alguma falha de funcionamento.

A pesquisa recebeu o nome de Protegemed e iniciou como um projeto público em 2004. Entretanto, em 1991, quando o centro de Engenharia Biomédica do Hospital São Vicente de Paulo (HSVP) foi criado, a equipe de engenheiros eletricitistas já havia notado que existiam problemas de segurança elétrica nas salas de cirurgia que utilizavam o sistema de aterramento TN-S (condutor neutro aterrado), mesmo estando de acordo com as normas vigentes. A partir do momento em que as normas brasileiras foram sendo aperfeiçoadas, o hospital passou a construir suas salas de cirurgia com o sistema IT- médico (1), que é mais seguro, pois seus condutores de alimentação não são referenciados ao aterramento. Isto significa que nenhum dos condutores de alimentação dos EEM possuíam uma tensão elétrica de 220Volts em relação aos condutores de proteção (que são ligados ao solo-aterramento). Ou seja, era esperado que não pudessem produzir choque elétrico, tampouco faíscas em caso de ocorrer alguma falha nos EEM. Quando todas as salas cirúrgicas do HSVP começaram

a utilizar sistema IT-médico, os problemas foram amplamente reduzidos. Entretanto, os engenheiros estavam curiosos para observar como os EEM funcionavam enquanto estavam sendo usados na sala de cirurgia. Era esperado que as capacitâncias parasitas (nas instalações elétricas e também dentro dos equipamentos médicos) pudessem mudar com o tempo, diminuindo a impedância e aumentando o risco de microchoque. A Figura 1 ilustra a instalação do Protegemed num centro de cirúrgico.

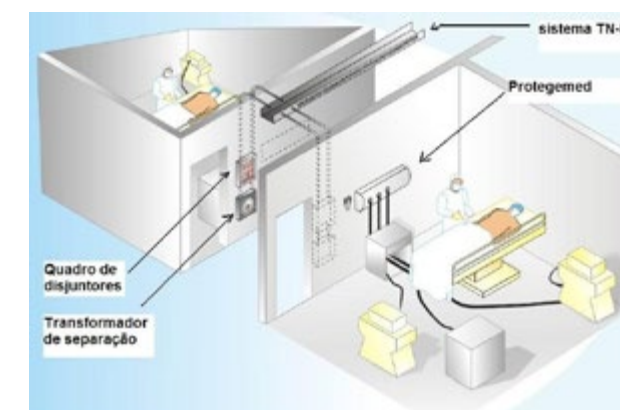


Figura 1: Desenho de parte de um centro cirúrgico e de uma sala de cirurgia mostrando onde o Protegemed é instalado.

Outro problema é o grande número de EEM utilizados em cirurgia: Quanto maior o número de equipamentos, maior o valor das capacitâncias e impedâncias de fuga, aumentando as correntes de fuga. Este problema foi detalhado e apresentado a comunidade científica sob a forma de experimentos de laboratório e simulações matemáticas em 2009 (2). Portanto, a partir de observações que iniciaram em 1991 os engenheiros do HSVP foram percebendo que era necessário o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de risco elétrico para cada EEM utilizado na cirurgia. O método desenvolvido e os equipamentos utilizados para os experimentos foram protegidos pela patente de invenção Brasileira, submetida em 1997 (PI # 9701995) que foi reconhecida em 2004. Em 2017 será de domínio público.

Esse artigo objetiva divulgar na comunidade científica os resultados obtidos pela pesquisa que agora inicia sua fase de internacionalização. Espera-se que a divulgação das informações permita que outros grupos de pesquisa também se juntem a essa rede de trabalho.

Após esta breve história sobre a pesquisa, vamos mostrar os métodos e ferramentas que foram

utilizados para desenvolver a pesquisa e também o que fizemos para estabelecer as conexões com os demais grupos que aderiram à pesquisa em Portugal, Inglaterra e Itália, assim como vamos mostrar o estado da pesquisa nestes países.

### MÉTODOS E MATERIAIS

O Protegemed é baseado em uma placa eletrônica capaz de medir correntes de fase e diferenciais ( $I_s$  e  $I_d$ ) de cada EEM utilizado em cirurgia. A Figura 2 mostra o kit de peças entregue a cada grupo de pesquisa e a caixa de tomadas elétricas, com o kit montado internamente.

A placa captura as formas de onda dessas correntes e mede o valor eficaz (RMS) de cada corrente elétrica. Se esse valor exceder um limite, um alerta será enviado através da rede Ethernet do hospital para um computador que registra as formas de onda e as informações necessárias para a gestão desse evento. O computador registra, entre outros, os seguintes dados (3):

- Número de identificação do EEM (ID).
- Identificação da tomada elétrica.
- Horário (dia, hh, mm, ss) em que o equipamento foi ligado e desligado.
- Horário (dia, hh: mm: ss) que as correntes de fuga ocorreram.
- A forma de onda de funcionamento normal ou defeituoso no EEM.

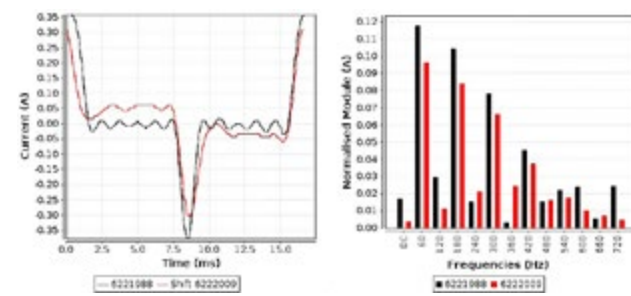


**Figura 2:** Instalação do kit Protegemed - A: Uma fonte de energia elétrica (110/240 Vac para 7,5 Vdc); B: Placa do microcontrolador; C: sensores de corrente elétrica (3 pares); D: Caixa de metal com tomadas, com kit do Protegemed dentro (A, B, C).

Um computador executa o software de apoio em uma sala do setor de engenharia biomédica. O software do Protegemed recebe os eventos de alarmes de correntes de fuga, a forma de onda dessas correntes, executa as estatísticas sobre esses eventos e também registra com que frequência o equipamento é ligado e desligado em cada dia de utilização na sala cirúrgica. Dessa forma, é possível saber o tempo total de operação de cada EEM. Essa informação, em alguns casos, é importante para o departamento de engenharia clínica do hospital definir o período de manutenção preventiva e estimar o tempo médio entre falhas (TMEF) de cada EEM. Outro procedimento possível com o Protegemed é a realização de testes de segurança elétrica imediatamente antes de cada cirurgia e não apenas em períodos de manutenção preventiva.

Quando a cirurgia inicia (ou antes do início), o software é usado no seu modo “supervisão on line”. Nesse modo, os eventos de corrente fuga de cada EEM, o seu valor RMS e sua forma de onda são mostrados na tela para avaliação do engenheiro de supervisão. Esse profissional avalia quais ações são necessárias, por exemplo, substituição do equipamento com problemas durante a cirurgia. É importante notar que o Protegemed permite esse nível de proteção ao paciente mesmo quando o defeito não é detectado pela equipe médica.

O software também está sendo desenvolvido para comparar a forma de onda da corrente de alimentação (Fig. 3) para perceber degradação do isolamento ao longo de sua vida útil. Outra aplicação já em funcionamento é a comparação das formas de onda de corrente de fuga de dois ou mais EEM conectados ao paciente. Se o índice de similaridade é maior que, por exemplo, 0,97 (em uma escala de 0 a 1,0), isso significa que há um grande risco de que a corrente de fuga esteja circulando pelo paciente.



**Figura 3:** Uma tela do software do Protegemed – Forma de onda da corrente de fase de um monitor multiparamétrico.

O software básico, que produz as imagens e informações mostradas na Figura 3 é de código aberto (de livre utilização) e pode ser instalado seguindo as instruções. Sendo um código aberto, também possibilita a modificação do código.

### RESULTADOS

Em outubro de 2013, os pesquisadores concluíram que os resultados obtidos no HSVP deveriam ser discutidos com outros hospitais. Um exemplo do tipo de resultados é mostrado na Tabela 1. Esta tabela mostra os eventos de corrente de fuga em 2014, de julho a dezembro, em apenas uma sala cirúrgica localizada no HSVP.

Correntes de fuga - $I_d$ (mA)	Número de eventos
$I_d \leq 0.1$	11.320
$0.1 < I_d \leq 0.5$	2.631
$0.5 < I_d \leq 2.0$	49

**Tabela 1:** Números de eventos detectados em seis meses:

Esses são números significativos (13.990), pois são eventos de correntes de fuga para seis meses de supervisão. Contudo, o software do Protegemed também detectou que nenhum desses eventos, com valores de corrente maior que 0,5 mA ocorreram simultaneamente em dois equipamentos médicos e no mesmo paciente. Se isso tivesse ocorrido, o risco adicional teria sido avaliado pelo engenheiro de supervisão, que teria que medir a similaridade entre as formas de onda dessas duas correntes. Essa coincidência indicaria um risco muito alto de que a corrente elétrica poderia estar passando pelo corpo do paciente.

Os engenheiros perceberam que mesmo não tendo detectado risco significativo aos pacientes, os números foram mais elevados do que se imaginava. Novos experimentos e simulações foram realizados e o grupo entendeu que era necessário buscar a adesão de outros hospitais, universidades e engenheiros com interesse em pesquisar sobre o assunto. Foram encontrados alguns grupos de pesquisa e foi enviado a eles um vídeo de duração de 2 minutos com um

resumo da pesquisa. Além disso, agências de apoio financeiro concederam ao pesquisador sênior, uma bolsa de pós-doutorado (PDE-CNPq) em outubro de 2014 e uma bolsa de pesquisador visitante especial (PVE-Capes) em novembro de 2014.

Em outubro e novembro de 2014, reuniões foram feitas para demonstrar a pesquisa Protegemed na Itália, Portugal e Inglaterra. Após as reuniões os grupos realizaram discussões internas em suas instituições, pois envolvem divisões de tarefas e responsabilidades entre hospitais, estudantes e professores universitários. Todos os grupos contatados aderiram a pesquisa. A tabela 2 mostra que participam até então seis grupos com 22 pesquisadores.

Instituição	Países	Cidade/Grupos	# Res.
FEUP-UP	Portugal	Porto	1
HSVP/UPF	Brasil	Passo Fundo, RS	8
Sapienza/Campus Bio-Medico	Itália	Roma	5
PUC-RS	Brasil	Porto Alegre, RS	2
RLUH	Inglaterra	Liverpool	4
UFMS	Brasil	Campo Grande, MS	2
Total	4	6	22

**Tabela 2:** Número de Pesquisadores (#RES):

A Tabela 2 resume o estado atual do esforço de internacionalização do projeto, que tem sido possível pelas diversas visitas técnicas e o fornecimento do hardware (Kit da Figura 2) e do software (Figura 3). O grupo de Passo Fundo é mais antigo do que os outros grupos e talvez por isso, seja o maior.

A seguir apresentamos o estado atual da pesquisa em cada grupo, mostrando que a decisão de estender o projeto com outros grupos de pesquisa tem sido correta.

#### A. Status em Roma

O grupo de Roma, composto por pesquisadores da Sapienza University of Rome e da University Campus Bio-Medico, publicou o artigo (4) que foi reconhecido pelos

pesquisadores Brasileiros e foi importante para o contato inicial. O encontro ocorreu no campus de Sapienza em Out de 2014.

A visita ao Campus Bio-Médico Polyclinic, permitiu a visita às salas de cirurgia e a conversa sobre os passos necessários para a execução dos experimentos. Ademais, o hardware do Protegemed foi instalado na caixa de metal (Figura 2) e o software de apoio em computador de pesquisa.

As inspeções nas salas cirúrgicas do Hospital Campus Bio-Médico revelaram alguns pontos para a instalação do Protegemed. Foi sugerido que o hardware do Protegemed deve ser instalado dentro da coluna de tomadas elétricas da fabricante Maquet.

Um estudante de mestrado em Engenharia Biomédica do Campus Bio-Médico realizou em 2015 uma verificação do desempenho do Protegemed em relação à sua segurança. Foram realizados testes elétricos, eletromagnéticos e mecânicos. Uma das sugestões do grupo da Itália é adicionar ao Protegemed uma medição da corrente do condutor de aterramento.

#### B. Resultados em Liverpool

O grupo envolvido no projeto em Liverpool pertence ao Royal Liverpool University Hospital (RLUH), departamento de física médica e engenharia clínica. O departamento tem ministrado cursos de treinamento em segurança elétrica em equipamentos médicos para funcionários de diversas organizações da saúde e fabricantes de dispositivos médicos do Reino Unido. Esses cursos ocorrem de 2 a 3 vezes por ano e são oferecidos a 35 anos.

O encontro em Liverpool foi precedido por uma visita, quatro meses antes, de dois estudantes de graduação de um programa de intercâmbio brasileiro chamado Ciências sem Fronteiras (CsF). Esses estudantes são integrantes da pesquisa Protegemed no Brasil e informaram a equipe brasileira sobre os pesquisadores de Liverpool (5). Essa informação é relevante, pois as ações governamentais são significativas, assim como a iniciativa dos estudantes. Após o encontro e a demonstração,

uma caixa de tomadas com o kit do Protegemed (Figura 2) foi entregue na RLUH para estudo e avaliação. O grupo inglês pretende utilizar o Protegemed em uma sala eletrofisiologia. Em 2015 foram realizados vários testes de avaliação no Protegemed e sua utilização na sala de eletrofisiologia foi aprovada.

#### C. Status em Portugal

A Universidade de Porto recebeu um dos pesquisadores brasileiros desse projeto como professor visitante, para estudos de pós-doutorado em 2014/2015. Em 2016, é esperado que um estudante de mestrado dessa universidade seja selecionado para trabalhar na pesquisa. O Hospital Santo Antônio em Porto aceitou o convite para trabalhar nessa pesquisa.

#### D. Status no Brasil

No Brasil existem três grupos trabalhando no projeto, localizados em Passo Fundo/RS, Porto Alegre/RS e Campo Grande/MS.

O grupo da Pontifícia Universidade (PUC-RS, Porto Alegre) desenvolveu um software para comparar duas ou mais formas de onda usando o coeficiente de correlação de Spearman. Esse é um trabalho de doutorado e a sua conclusão ocorreu em fevereiro de 2015.

No HSVP, já existem duas salas de cirurgia supervisionadas pelo sistema Protegemed. A Figura 4 mostra uma sala cirúrgica com o sistema sendo instalado e validado.

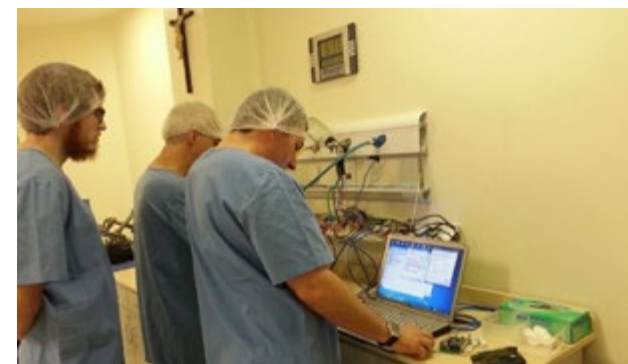


Figura 4: Sala de cirurgia do HSVP com o Protegemed instalado dentro dos painéis de gases e tomadas elétricas. A figura mostra o momento da instalação em que é feita a calibração para a medida correta dos valores das correntes de fuga.

Os pesquisadores podem acessar o firmware das placas eletrônicas via internet e mudar os limites de correntes de fuga. Isso é importante,

pois permite o engenheiro a fazer experimentos sem estar na sala de cirurgia. O engenheiro supervisor, fora do HSVP, acessa o Protegemed (placas embarcadas e software de apoio) por uma Virtual Private Network (VPN). Na Figura 5, uma tela de computador com uma interface amigável, usada pelo engenheiro é mostrada. As ferramentas do software são: Java, MySQL, Apache web server and PHP (6). Em 2015 existem oito pesquisadores envolvidos, incluindo dois estudantes de graduação e três estudantes de mestrado. Os últimos trabalham com os novos softwares, incluindo medidas em três fases, custo de energia e identificação do EEM por forma de onda.

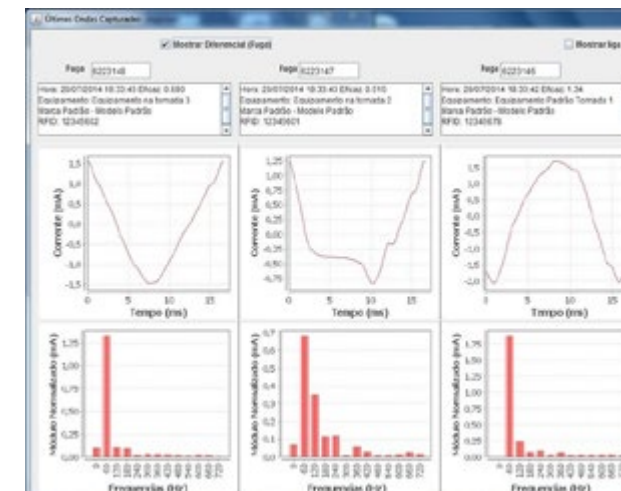


Figura 5: Fuga simulada para mostrar a capacidade do software em detectar eventos simultâneos, em três EEM (ocorrida em 07/08/2014 as 16:17:26).

Em Campo Grande, Mato Grosso do Sul - Brasil, o grupo consiste de dois engenheiros eletricitas e um estudante de mestrado na área de eficiência energética e sustentabilidade, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). O trabalho será desenvolvido em 2015 e 2016, em um hospital local, que visa avaliar, além da segurança, a qualidade da energia elétrica fornecida para salas cirúrgicas. O Protegemed será usado como ferramenta para coleta de dados. A intenção é verificar se os eventos transitórios (sobre tensão, distorção harmônica e outros) na malha energética tem relação com os eventos de corrente de fuga nos EEM.

#### DISCUSSÕES

O Protegemed é um projeto de pesquisa que iniciou devido a percepção dos engenheiros de um hospital de que era possível melhorar a segurança do paciente em uma cirurgia. Eles buscaram o trabalho de outros pesquisadores, como Dalziel (7), o qual desenvolveu um sistema de interrupção de energia baseado na corrente diferencial para reduzir o risco de choque. Perceberam que dispositivos que interrompem a energia não podem ser usados em salas cirúrgicas, mas a ideia de medições de corrente diferencial é interessante. Por outro lado, Cappa, Marinozzi e Sciuto desenvolveram um circuito eletrônico para medir a corrente de fuga saindo de um EEM por um condutor de terra (8). Seria uma boa solução, mas pesquisadores do HSVP perceberam que em alguns casos, essa corrente de fuga não vai para o condutor de aterramento, mas sim pelas capacitâncias parasitas, entre os condutores de corrente de fase e pontos de aterramento. Outro projeto que busca melhorar a segurança para pacientes é o FUSE (9). É esperado prevenir, por ações como treinamento de profissionais da saúde, potenciais acidentes com eletricidade em cirurgia. FUSE, no entanto, não utiliza equipamento para detecção de risco de microchoque durante cirurgia. O grupo do HSVP estudou e usou algumas dessas ideias, mas também decidiu desenvolver o Protegemed para explorar as técnicas de detecção apresentadas nesse artigo.

Muitos hospitais ao redor do mundo não têm equipes de engenharia clínica para cuidar dos seus EEM. Naqueles em que elas existem, os grupos de engenharia clínica estão geralmente sobrecarregados e muitos deles não desenvolvem pesquisas científicas ou raramente trabalham com grupos de pesquisa universitários. Assim sendo, apenas poucos grupos têm meios para conduzir pesquisas como a de riscos de microchoques durante cirurgia. O tema também pode não parecer muito interessante dado que os dados obtidos no HSVP mostram que o número de incidentes que poderiam ser considerados graves é muito baixo. Não obstante, a possibilidade de melhoramento de segurança ao paciente não deve ser negligenciada. Além da supervisão de risco de microchoque o Protegemed está sendo utilizado para outras finalidades muito úteis ao gerenciamento da qualidade do serviço de engenharia clínica. O sistema existente mede o valor da corrente elétrica, o tempo de funcionamento e captura a forma de onda da corrente de alimentação

dos EEM em uso. Tais dados podem ser utilizados para outros propósitos. Mudanças na forma de onda da corrente de alimentação, por exemplo, pode indicar uma degradação do isolamento elétrico. Essa supervisão dos EEM enquanto em uso podem ainda levar ao desenvolvimento de novas ferramentas que irão possibilitar aos engenheiros clínicos a melhora dos sistemas de manutenção preventiva e corretiva desse tipo de equipamento.

## CONCLUSÕES

O consenso entre o grupo do HSVP/UPF para iniciar a internacionalização da pesquisa tem sido apoiado por diversas instituições brasileiras como CNPq, Capes, Finep, Fapergs e Sebrae. Pesquisadores em hospitais e Universidades na Itália, Inglaterra e Portugal foram visitados e a eles foram entregues hardwares e softwares do Protegemed para avaliar a possibilidade da utilização dessa tecnologia em seus respectivos hospitais.

Cada uma dessas instituições tem agora a possibilidade de conduzir, com seus próprios recursos, os seus respectivos desafios para levar a pesquisa adiante. Cada grupo é capaz de trabalhar no seu próprio ritmo, sem depender de nenhum outro grupo. Apesar dessa independência, é esperado que o resultado de cada grupo seja compartilhado, como

## REFERÊNCIAS

1. IEC 60364-7-710:2002 | IEC Webstore [Internet]. [cited 2015 Dec 4]. Available from: <https://webstore.iec.ch/publication/1998>
2. Spalding LES, Carpes WP, Batistela NJ. A Method to Detect the Microshock Risk During a Surgical Procedure. *IEEE Trans Instrum Meas.* IEEE; 2009 Jul 1;58(7):2335–42.
3. Rebonatto MT, Spalding LES, Hessel FP, Amaral LA. Protegemed2: an extended platform based on RFID to identify EME and improve the detection of microshocks. *Med Biol Eng Comput.* 2013 Jun;51(6):719–27.
4. Zennaro E, Mazzetti C, Fiamingo F, Amicucci GL. Circuit model of medical equipment for electrical safety purposes. In: *RISK ANALYSIS 2014.* 2014. p. 507–17.
5. Taktak AG, Brown MC. Evidence-based analysis of field testing of medical electrical equipment. *Conf Proc . Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc IEEE Eng Med Biol Soc Annu Conf.* 2006 Jan;1:4078–80.

novos desenvolvimentos de hardware, firmware e software, e que os diversos grupos se sintam estimulados a trabalhar em cooperação.

É esperado que esses grupos, alguns já estabelecidos, outros apenas começando, serão capazes no futuro, de desenvolver novas aplicações para o Protegemed, dentro e até fora de hospitais.

Um aspecto que deve revelar-se especialmente gratificante é o fato de que grupos em diferentes países podem encontrar problemas singulares em distintas situações com EEM que são improváveis no Brasil.

Os primeiros passos em direção a internacionalização do Protegemed foram dados em 2014 e 2015, e é esperado que num futuro próximo mais grupos se interessem em estudar melhores métodos para monitorar e administrar a qualidade dos EEM em uso.

## RECONHECIMENTO

Os autores agradecem as universidades, empresas parceiras e os programas de pesquisa brasileiros pela sua logística e suporte financeiro: CNPq, Capes, Finep, Fapergs, Universidade de Passo Fundo e Hospital São Vicente de Paulo.

6. Rebonatto MT, Hessel FP, Spalding LES. EME Electric Supervision Embedded on Gas Panel with Microshock Dangerousness Degree. In: 2014 27th International Conference on VLSI Design and 2014 13th International Conference on Embedded Systems. IEEE; 2014. p. 180–5.
7. Dalziel CF. Transistorized ground-fault interrupter reduces shock hazard. *IEEE Spectr.* 1970 Jan 1;7(1):55–62.
8. Fuchshuber P, Jones S, Jones D, Feldman LS, Schwaizberg S, Rozner MA. Ensuring Safety in the Operating Room. *Int Anesthesiol Clin.* 2013;51(4):65–80.
9. Cappa P, Marinozzi F, Sciuto SA. The “Leakage Current Sentinel”: A novel plug-in socket device for online biomedical equipment electrical safety surveillance. *Rev Sci Instrum.* AIP Publishing; 2000 Jul 1;71(7):2862.

## Electric risk management inside operating room using embedded systems: status of internationalization of research

### MONITORAMENTO DE RISCO ELÉTRICO DENTRO DA SALA DE CIRURGIA UTILIZANDO SISTEMAS EMBARCADOS: STATUS DE INTERNACIONALIZAÇÃO DE PESQUISA

#### Authors:

Luiz Eduardo Schardong Spalding <sup>1,2</sup>  
Andréa Teresa Riccio Barbosa <sup>1,3</sup>  
Fábio Iaione <sup>1,3</sup>  
Marcelo Trindade Rebonatto <sup>1,2,4</sup>  
Felipe Rettore Andreis <sup>1,2</sup>  
Fabiano Passuelo Hessel <sup>4</sup>  
Artur Agostinho dos Santos Capelo Cardoso <sup>5</sup>  
Emanuele Zennaro <sup>6,7</sup>  
Carlo Mazzetti di Pietralata <sup>6</sup>  
Fabio Fiamingo <sup>7</sup>  
Concetta Barrese <sup>7</sup>  
Leo Poggi <sup>7</sup>  
Rasam Teymouri <sup>8</sup>  
Azzam Fouad George Taktak <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Hospital São Vicente de Paulo, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade de Passo Fundo, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

<sup>4</sup> Pontifícia Universidade Católica do RS, Brasil.

<sup>5</sup> Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

<sup>6</sup> Universidade Sapienza di Roma, Itália.

<sup>7</sup> Universidade Campus Bio- Médico, Roma, Itália.

<sup>8</sup> Hospital Universitario Royal Liverpool, Inglaterra.

#### Correspondences:

Luiz Eduardo Schardong Spalding  
Passo Fundo, RS, Brasil  
E-mail: [spalding@upf.br](mailto:spalding@upf.br)

#### SUMMARY

This article presents the latest results in the Protegemed research and the steps which led to internationalization. Protegemed is composed by an embedded electronic system and support software, executed in computers, seeking for the monitoring of micro-shock risk during surgical procedures. Such risk is caused by electromedical equipments, considering that insulation failures can produce small currents possibly harmful to patient. The waveforms of these currents are sent to the supervisor engineer who uses the software risk to conduct an analysis of the failure risks detected. The internationalization of this research began in September 2014 through meetings with researchers and technical teams in Portugal, England and Italy. Three Protegemed prototypes were delivered to these teams, aiming to allow studies and improvements in the project, by the same. In 2014, in a Brazilian hospital, Protegemed detected 13,990 events of current leakage in a surgical room, of which 49 showed some risk, even if small. It is expected that the international groups confirm the results obtained in Brazil and bring their own researches in directions that may expand the usefulness of Protegemed.

#### Keywords:

Monitoring application; Protegemed; Micro-shock; Operating Room; Applied Computing.