RESUMO EXPANDIDO - VI. PESQUISA CIENTÍFICA RELACIONADA ÀS SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS ARTICULADAS AO CUIDADO DE ENFERMAGEM

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA: MÁSCARA HELP E FILTRO SOSTENTÁVEL PARA PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA EM SALAS CIRÚRGICAS

Helenize Ferreira Lima Leachi (helenizeleachi@uel.br)

Ana Paula Da Silva (ana.paula.enf.89@gmail.com)

Francieli Faustino (francielifaustino1@hotmail.com)

Aline Franco Da Rocha (alineafr@uel.br)

Leila Droprinchinski Martins (leilamartins@utfpr.edu.br)

Renata Perfeito Ribeiro (perfeito@uel.br)

Introdução: no Centro Cirúrgico, a exposição ocupacional a agentes químicos e biológicos é uma realidade frequente devido à fumaça cirúrgica gerada pela eletrocirurgia. Essa fumaça é composta por partículas ultrafinas, microrganismos viáveis, gases tóxicos, vapores e compostos químicos resultantes da coagulação e dissecção dos tecidos. Esses contaminantes podem ser inalados e atingir diferentes regiões do trato respiratório, representando risco à saúde, sobretudo diante da exposição frequente e

prolongada. Além disso, por não haver nível de exposição considerado seguro, é fundamental a adoção de medidas de controle e proteção. Embora máscaras cirúrgicas e N95/PFF2 sejam utilizados como proteção, apresentam limitações relacionadas à vedação, conforto e adsorção de gases, vapores e compostos químicos. Objetivo: Desenvolver uma máscara ergonômica e sustentável, associada a um filtro como tecnologia de proteção respiratória ocupacional para trabalhadores da saúde expostos a riscos químicos e biológicos em salas cirúrgicas. Método: pesquisa exploratória de desenvolvimento tecnológico. A máscara HeLP foi desenvolvida entre março de 2019 e dezembro de 2021, com base no Processo de Desenvolvimento de Produtos e em metodologias de design, em sete etapas voltadas à identificação de necessidades e soluções técnicas: Sense Intent, Know Context, Know People, Frame Insights, Explore Concepts, Frame Solutions e Realize Offerings. O desenvolvimento contou com abordagem multidisciplinar, envolvendo profissionais da enfermagem, química, toxicologia e design industrial, além de ser fundamentado em normas técnicas aplicáveis a materiais não tecidos, máscaras cirúrgicas e equipamentos de proteção respiratória. O filtro SOStentável foi desenvolvido entre abril e outubro de 2025, no Laboratório de Análises em Poluição do Ar da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, por meio de estudo metodológico, analítico-descritivo, com participação de pesquisadoras e alunos da Universidade Estadual de Londrina - UEL, vinculadas ao Grupo de Estudos em Gestão do Cuidado, Editoração Científica e Saúde do Trabalhador - GeeST, e de pesquisadoras da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. A pesquisa foi conduzida de forma multidisciplinar, envolvendo conhecimentos das áreas da Enfermagem, Saúde do Trabalhador, Química e Engenharia de Materiais, considerando tanto as necessidades de proteção respiratória dos trabalhadores da saúde quanto os aspectos técnicos necessários para a produção de nanofibras para depósito no substrato Spunbond-Meltblown-Spunbond. O desenvolvimento do filtro foi conduzido conforme as etapas do Processo de Desenvolvimento de Produtos Composto pelas fases de Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento. Pré-Desenvolvimento: realizou-se o planejamento do estudo, elaboração de cronograma, busca em bases científicas e definição dos requisitos técnicos e funcionais necessários para a construção do filtro. Desenvolvimento: foram

confeccionados filtros em Spunbond-Meltblown-Spunbond, novo e esterilizado, proveniente de invólucros utilizados no processo de esterilização hospitalar, o qual foi empregado com a finalidade de avaliar a possibilidade de reaproveitamento de um material comumente descartado nos serviços de saúde. Essa escolha buscou integrar a proteção respiratória à redução de resíduos hospitalares, aproximando o desenvolvimento tecnológico dos princípios da sustentabilidade. Foi utilizado a técnica de eletrofiação com solução polimérica composta por acetato de celulose 21%) e brometo de cetilpiridínio (0,5%), em solventes de ácido acético e água ultrapura na proporção 3:1, sob parâmetros controlados, garantindo deposição uniforme no substrato. O acetato de celulose foi empregado por se tratar de um polímero biodegradável, enquanto o brometo de cetilpiridínio foi incorporado à solução devido ao seu potencial biocida. Foram produzidas amostras em diferentes tamanhos da máscara HeLP, classificadas conforme o tipo de substrato e o tempo de eletrofiação, sendo utilizados os tempos de 10 a 11 minutos e de 20 a 21 minutos. A produção em diferentes tamanhos buscou manter a compatibilidade do filtro com os modelos da máscara HeLP, enquanto a variação no tempo de deposição permitiu observar a influência do tempo de eletrofiação na formação, cobertura e distribuição das nanofibras sobre os substratos. Após a produção, as amostras foram acondicionadas em dessecador contendo sílica gel por 48 horas para remoção da umidade e, posteriormente armazenadas em embalagens ziplock, devidamente identificadas com data de produção, tamanho e condição do substrato. A caracterização microestrutural foi avaliada por Microscopia Eletrônica de Varredura com análise da distribuição e diâmetro das nanofibras, permitindo avaliar a morfologia das nanofibras, a uniformidade da deposição, a presença ou ausência de falhas, a formação de beads/pérolas, a aderência das fibras ao substrato e a integridade microestrutural do Spunbond-Meltblown-Spunbond após o processo de eletrofiação. A análise do diâmetro das nanofibras possibilitou a caracterização morfométrica do material produzido, subsidiando a avaliação da viabilidade técnica do filtro para futura aplicação na máscara HeLP. A fase de Pós-Desenvolvimento não foi contemplada nesta etapa do estudo, pois se faz necessário pesquisas subsequentes, incluindo ensaios de eficiência de filtração, respirabilidade, conforto, usabilidade e avaliação com trabalhadores

da saúde, em andamento. Resultados: o protótipo da máscara HeLP apresentou vedação facial superior, cobrindo totalmente o queixo e adaptando-se anatomicamente à face. A tampa do filtro foi dimensionada para favorecer a mecânica respiratória, com fácil encaixe e manutenção. No desenvolvimento do filtro SOStentável, observou-se viabilidade técnica na associação do Spunbond-Meltblown-Spunbond às nanofibras eletrofiadas, com cobertura homogênea, distribuição uniforme e baixa formação de pérolas, indicando estabilidade do jato polimérico. A análise de 300 fibras mostrou diâmetro médio de 0,084 µm no Spunbond-Meltblown-Spunbond novo e 0,046 µm no esterilizado, fibras mais finas podem favorecer menor porosidade e maior retenção de partículas ultrafinas. O filtro SOStentável acoplado à máscara HeLP, observou-se adequada integração entre os componentes do protótipo. O sistema de encaixe permitiu a fixação estável do filtro à estrutura da máscara, favorecendo a substituição e a manutenção do componente filtrante sem comprometer a funcionalidade do equipamento. A tampa do filtro apresentou dimensionamento compatível com a mecânica respiratória, possibilitando a passagem do fluxo de ar pela área filtrante de forma direcionada. A associação entre a estrutura reutilizável da máscara HeLP e o filtro SOStentável demonstrou viabilidade técnica para composição de um equipamento de proteção respiratória ocupacional voltado à exposição à fumaça cirúrgica. Conclusão: O desenvolvimento integrado da máscara HeLP e do filtro SOStentável representa uma inovação tecnológica para a proteção respiratória de trabalhadores da saúde expostos à fumaça cirúrgica. A proposta une ergonomia, sustentabilidade e potencial filtrante, contribuindo para a segurança ocupacional em salas cirúrgicas e alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. Os próximos passos incluem testes essenciais para validação da viabilidade da eficiência de filtração, a ergonomia e a viabilidade do uso e estão em condução pelo Grupo de estudos em Gestão do cuidado, Editoração Científica e Saúde do Trabalhador da Universidade Estadual de Londrina.

Innovación tecnológica: Mascarilla HeLP y filtro SOStentável para la protección respiratoria en quirófanos.

Introducción: En el centro quirúrgico, la exposición ocupacional a agentes químicos y biológicos es una realidad frecuente debido al humo quirúrgico generado por la electrocirugía. Este humo se compone de partículas ultrafinas, microorganismos viables, gases tóxicos, vapores y compuestos químicos resultantes de la coagulación y disección de tejidos. Estos contaminantes pueden inhalarse y alcanzar diferentes regiones del tracto respiratorio, lo que representa un riesgo para la salud, especialmente con exposiciones frecuentes y prolongadas. Además, dado que no existe un nivel de exposición considerado seguro, la adopción de medidas de control y protección es fundamental. Si bien se utilizan mascarillas quirúrgicas y N95/PFF2 como protección, presentan limitaciones relacionadas con el sellado, la comodidad y la adsorción de gases, vapores y compuestos químicos. Objetivo: Desarrollar una mascarilla ergonómica y sostenible, con filtro incorporado, como tecnología de protección respiratoria ocupacional para trabajadores de la salud expuestos a riesgos químicos y biológicos en quirófanos. Método: investigación exploratoria de desarrollo tecnológico. La mascarilla HeLP se desarrolló entre marzo de 2019 y diciembre de 2021, basándose en el Proceso de Desarrollo de Producto y metodologías de diseño, en siete etapas enfocadas en la identificación de necesidades y soluciones técnicas: Sentir Intención, Conocer Contexto, Conocer Personas, Enmarcar Perspectivas, Explorar Conceptos, Enmarcar Soluciones y Realizar Ofertas. El desarrollo implicó un enfoque multidisciplinario, involucrando a profesionales de enfermería, química, toxicología y diseño industrial, y se basó en estándares técnicos aplicables a materiales no tejidos, mascarillas quirúrgicas y equipos de protección respiratoria. El filtro SOStentável se desarrolló entre abril y octubre de 2025 en el Laboratorio de Análisis de Contaminación del Aire de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná – UTFPR, a través de un estudio metodológico, analítico-descriptivo, con la participación de investigadores y estudiantes de la Universidad Estatal de Londrina - UEL, vinculados al Grupo de Estudio en Gestión de Cuidados, Publicaciones Científicas y Salud Ocupacional - GeeST, e investigadores de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná - UTFPR. La

investigación se llevó a cabo de manera multidisciplinaria, involucrando conocimientos de las áreas de Enfermería, Salud Ocupacional, Química e Ingeniería de Materiales, considerando tanto las necesidades de protección respiratoria del personal sanitario como los aspectos técnicos necesarios para la producción de nanofibras para su deposición sobre el sustrato Spunbond-Meltblown-Spunbond. El desarrollo del filtro se realizó según las etapas del Proceso de Desarrollo de Producto, compuesto por las fases de Predesarrollo, Desarrollo y Postdesarrollo. Predesarrollo: Se planificó el estudio, se creó un cronograma, se consultaron bases de datos científicas y se definieron los requisitos técnicos y funcionales para la construcción del filtro. Desarrollo: Se fabricaron filtros utilizando Spunbond-Meltblown-Spunbond nuevo y esterilizado, derivado de las carcasas utilizadas en el proceso de esterilización hospitalaria. Este material se utilizó para evaluar la posibilidad de reutilizar un material que se desecha habitualmente en los servicios sanitarios. Esta elección tuvo como objetivo integrar la protección respiratoria con la reducción de residuos hospitalarios, alineando el desarrollo tecnológico con los principios de sostenibilidad. La técnica de electrohilado se empleó con una solución polimérica compuesta de acetato de celulosa (21%) y bromuro de cetilpiridinio (0,5%), en disolventes de ácido acético y agua ultrapura en una proporción 3:1, bajo parámetros controlados, asegurando una deposición uniforme sobre el sustrato. Se utilizó acetato de celulosa por ser un polímero biodegradable, mientras que el bromuro de cetilpiridinio se incorporó a la solución debido a su potencial biocida. Se produjeron muestras de la máscara HeLP en diferentes tamaños, clasificadas según el tipo de sustrato y el tiempo de electrohilado, utilizando tiempos de 10 a 11 minutos y de 20 a 21 minutos. La producción en diferentes tamaños tuvo como objetivo mantener la compatibilidad del filtro con los modelos de máscara HeLP, mientras que la variación en el tiempo de deposición permitió observar la influencia del tiempo de electrohilado en la formación, cobertura y distribución de nanofibras sobre los sustratos. Tras la producción, las muestras se colocaron en un desecador con gel de sílice durante 48 horas para eliminar la humedad y posteriormente se almacenaron en bolsas con cierre hermético, debidamente identificadas con la fecha de producción, el tamaño y el estado del sustrato. La caracterización microestructural se evaluó mediante microscopía electrónica de barrido con

análisis de la distribución y el diámetro de las nanofibras, lo que permitió evaluar la morfología de las nanofibras, la uniformidad de la deposición, la presencia o ausencia de defectos, la formación de perlas/esferas, la adhesión de las fibras al sustrato y la integridad microestructural del Spunbond-Meltblown-Spunbond tras el proceso de electrohilado. El análisis del diámetro de las nanofibras permitió la caracterización morfométrica del material producido, lo que respalda la evaluación de la viabilidad técnica del filtro para su futura aplicación en la mascarilla HeLP. La fase de posdesarrollo no se incluyó en esta etapa del estudio, ya que es necesaria investigación posterior, que incluye la eficiencia de filtración, la transpirabilidad, la comodidad, las pruebas de usabilidad y la evaluación con profesionales sanitarios, las cuales se encuentran actualmente en curso. Resultados: El prototipo de mascarilla HeLP mostró un sellado facial superior, cubriendo completamente la barbilla y adaptándose anatómicamente al rostro. La cubierta del filtro se dimensionó para favorecer la mecánica respiratoria, con fácil ajuste y mantenimiento. En el desarrollo del filtro SOStentável, se observó viabilidad técnica en la asociación de Spunbond-Meltblown-Spunbond con nanofibras electrohiladas, con cobertura homogénea, distribución uniforme y baja formación de perlas, lo que indica estabilidad del chorro de polímero. El análisis de 300 fibras mostró un diámetro promedio de 0,084 µm en el nuevo Spunbond-Meltblown-Spunbond y 0,046 µm en el esterilizado; las fibras más finas pueden favorecer una menor porosidad y una mayor retención de partículas ultrafinas. El filtro SOStentável acoplado a la mascarilla HeLP mostró una integración adecuada entre los componentes del prototipo. El sistema de fijación permitió una sujeción estable del filtro a la estructura de la mascarilla, facilitando la sustitución y el mantenimiento del componente filtrante sin comprometer la funcionalidad del equipo. La cubierta del filtro se dimensionó para ser compatible con la mecánica respiratoria, permitiendo que el flujo de aire pasara a través del área de filtración de forma dirigida. La combinación de la estructura reutilizable de la mascarilla HeLP y el filtro SOStentável demostró la viabilidad técnica para la composición de un dispositivo de protección respiratoria ocupacional destinado a la exposición al humo quirúrgico. Conclusión: El desarrollo integrado de la mascarilla HeLP y el filtro SOStentável representa una innovación tecnológica para la protección respiratoria de los trabajadores sanitarios expuestos al humo quirúrgico. La

propuesta combina ergonomía, sostenibilidad y potencial de filtración, contribuyendo a la seguridad laboral en quirófanos y alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Los próximos pasos incluyen pruebas esenciales para validar la viabilidad de la eficiencia de filtración, la ergonomía y la viabilidad de uso, y están siendo realizadas por el Grupo de Estudio sobre Gestión de Cuidados, Publicaciones Científicas y Salud Ocupacional de la Universidad Estatal de Londrina.

Technological Innovation: HeLP mask and SOStentável filter for respiratory protection in operating rooms.

Introduction: In the surgical center, occupational exposure to chemical and biological agents is a frequent reality due to surgical smoke generated by electrosurgery. This smoke is composed of ultrafine particles, viable microorganisms, toxic gases, vapors, and chemical compounds resulting from the coagulation and dissection of tissues. These contaminants can be inhaled and reach different regions of the respiratory tract, representing a health risk, especially with frequent and prolonged exposure. Furthermore, since there is no level of exposure considered safe, the adoption of control and protection measures is fundamental. Although surgical and N95/PFF2 masks are used as protection, they have limitations related to sealing, comfort, and adsorption of gases, vapors, and chemical compounds. Objective: To develop an ergonomic and sustainable mask, associated with a filter, as an occupational respiratory protection technology for healthcare workers exposed to chemical and biological risks in operating rooms. Method: exploratory technological development research. The HeLP mask was developed between March 2019 and December 2021, based on the Product Development Process and design methodologies, in seven stages focused on identifying needs and technical solutions: Sense Intent, Know Context, Know People, Frame Insights, Explore Concepts, Frame Solutions, and Realize Offerings. The development involved a multidisciplinary approach, involving professionals from nursing, chemistry, toxicology, and industrial design, and was based on technical standards applicable to non-woven materials, surgical masks, and respiratory protection equipment. The

SOStentável filter was developed between April and October 2025 at the Air Pollution Analysis Laboratory of the Federal Technological University of Paraná – UTFPR, through a methodological, analytical-descriptive study, with the participation of researchers and students from the State University of Londrina - UEL, linked to the Study Group on Care Management, Scientific Publishing and Occupational Health - GeeST, and researchers from the Federal Technological University of Paraná - UTFPR. The research was conducted in a multidisciplinary manner, involving knowledge from the areas of Nursing, Occupational Health, Chemistry and Materials Engineering, considering both the respiratory protection needs of healthcare workers and the technical aspects necessary for the production of nanofibers for deposition on the Spunbond-Meltblown-Spunbond substrate. The development of the filter was conducted according to the stages of the Product Development Process, composed of the Pre-Development, Development and Post-Development phases. Pre-Development: The study was planned, a schedule was created, scientific databases were searched, and the technical and functional requirements for filter construction were defined. Development: Filters were manufactured using new and sterilized Spunbond-Meltblown-Spunbond, derived from casings used in the hospital sterilization process. This material was used to evaluate the possibility of reusing a material commonly discarded in healthcare services. This choice aimed to integrate respiratory protection with the reduction of hospital waste, aligning technological development with the principles of sustainability. The electrospinning technique was used with a polymeric solution composed of cellulose acetate (21%) and cetylpyridinium bromide (0.5%), in acetic acid and ultrapure water solvents in a 3:1 ratio, under controlled parameters, ensuring uniform deposition on the substrate. Cellulose acetate was used because it is a biodegradable polymer, while cetylpyridinium bromide was incorporated into the solution due to its biocidal potential. Samples of the HeLP mask were produced in different sizes, classified according to substrate type and electrospinning time, using times of 10 to 11 minutes and 20 to 21 minutes. Production in different sizes aimed to maintain filter compatibility with the HeLP mask models, while variation in deposition time allowed observation of the influence of electrospinning time on the formation, coverage, and distribution of nanofibers on the substrates. After production, the samples were placed in a desiccator

containing silica gel for 48 hours to remove moisture and subsequently stored in ziplock bags, properly identified with the production date, size, and substrate condition. Microstructural characterization was evaluated by Scanning Electron Microscopy with analysis of the distribution and diameter of the nanofibers, allowing assessment of nanofiber morphology, deposition uniformity, presence or absence of defects, bead/pearl formation, fiber adhesion to the substrate, and microstructural integrity of the Spunbond-Meltblown-Spunbond after the electrospinning process. Analysis of nanofiber diameter enabled morphometric characterization of the produced material, supporting the evaluation of the filter's technical feasibility for future application in the HeLP mask. The Post-Development phase was not included in this stage of the study, as subsequent research is necessary, including filtration efficiency, breathability, comfort, usability tests, and evaluation with healthcare workers, which are currently underway. Results: The HeLP mask prototype exhibited superior facial sealing, fully covering the chin and anatomically adapting to the face. The filter cover was sized to favor respiratory mechanics, with easy fitting and maintenance. In the development of the SOStentável filter, technical feasibility was observed in the association of Spunbond-Meltblown-Spunbond with electrospun nanofibers, with homogeneous coverage, uniform distribution, and low bead formation, indicating stability of the polymer jet. Analysis of 300 fibers showed an average diameter of 0.084 μm in the new Spunbond-Meltblown-Spunbond and 0.046 μm in the sterilized one; finer fibers may favor lower porosity and greater retention of ultrafine particles. The SOStentável filter coupled to the HeLP mask showed adequate integration between the prototype components. The fitting system allowed for stable fixation of the filter to the mask structure, facilitating the replacement and maintenance of the filtering component without compromising the functionality of the equipment. The filter cover was dimensioned to be compatible with respiratory mechanics, allowing airflow to pass through the filtering area in a directed manner. The combination of the reusable structure of the HeLP mask and the SOStentável filter demonstrated technical feasibility for the composition of an occupational respiratory protection device aimed at exposure to surgical smoke. Conclusion: The integrated development of the HeLP mask and the SOStentável filter represents a technological innovation for the respiratory protection of healthcare workers exposed to surgical smoke. The

proposal combines ergonomics, sustainability, and filtering potential, contributing to occupational safety in operating rooms and aligning with the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda. The next steps include essential tests to validate the feasibility of filtration efficiency, ergonomics, and viability of use, and are being conducted by the Study Group on Care Management, Scientific Publishing, and Occupational Health at the State University of Londrina.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT). Não tecido para artigos de uso odonto-médico-hospitalar – determinação da eficiência da filtração bacteriológica. NBR – 14873 [internet]. 2002 [cited 2022 jan 25]; 1-8. Available from: https://www.abntcatalogo.com.br

Leachi, H. F. L., & Ribeiro, R. P. (2023). HeLP: Development of occupational protection mask against surgical smoke. Revista Brasileira de Enfermagem, 76(Suppl. 4), e20220647. https://doi.org/10.1590/0034-7167-2022-0647pt

Almeida, D. S., Duarte, E. H., Hashimoto, E. M., Turbiane, F. R. B., Muniz, E. C., Souza, P. R., & Martins, L. D. (2020). Development and characterization of electrospun cellulose acetate nanofibers modified by cationic surfactant. Polymer Testing, 81, 106206. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106206

Zhou, Y., Wang, C., Zhou, M., Li, Z., Chen, D., Lian, A., et al. (2023). Surgical smoke: A hidden killer in the operating room. Asian Journal of Surgery, 46, 3447–3454. https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2023.03.066

Medeiros, G. B., Lima, F. A., Almeida, D. S., Guerra, V. G., & Aguiar, M. L. (2022). Modification and functionalization of fibers formed by electrospinning: A review. Membranes, 12(861). https://doi.org/10.3390/membranes12090861

Palavras-chave: dispositivos de proteção respiratória; saúde dos trabalhadores; centro cirúrgico dispositivos de protección respiratoria; salud laboral; servicio de cirugía en hospital respiratory protective devices; occupational health; surgery department; hospital.