



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Enfermagem
Programa de Pós-Graduação em Enfermagem

Viviane Lopes Vimieiro

Análise da integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2 em protocolos de reuso e uso estendido e a segurança dos profissionais de saúde

Belo Horizonte

2025

Viviane Lopes Vimieiro

Análise da integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2 em protocolos de reuso e uso estendido e a segurança dos profissionais de saúde

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Enfermagem, da Escola de Enfermagem da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Enfermagem.

Área de concentração: Saúde e Enfermagem

Linha de pesquisa: Cuidar em Saúde e Enfermagem

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Adriana C. Oliveira

Belo Horizonte

2025

V764a Vimeiro, Viviane Lopes.
Análise da integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2 em protocolos de reuso e uso estendido e a segurança dos profissionais de saúde [recurso eletrônico]. / Viviane Lopes Vimeiro. - - Belo Horizonte: 2025.
149f.: il.
Formato: PDF.
Requisitos do Sistema: Adobe Digital Editions.

Orientador (a): Adriana Cristina de Oliveira.
Área de concentração: Saúde e Enfermagem.
Tese (doutorado): Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Enfermagem.

1. Respiradores N95. 2. Saúde Ocupacional. 3. Reutilização de Equipamento. 4. Segurança do Paciente. 5. Dissertação Acadêmica. I. Oliveira, Adriana Cristina de. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Enfermagem. III. Título.

NLM: WX 185

Bibliotecário responsável: Fabian Rodrigo dos Santos CRB-6/2697



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENFERMAGEM
COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENFERMAGEM

ATA DE DEFESA DE TESE

ATA DE NÚMERO 231 (DUZENTOS E TRINTA E UM) DA SESSÃO PÚBLICA DE ARGUIÇÃO E DEFESA DA TESE APRESENTADA PELA CANDIDATA VIVIANE LOPES VIMIEIRO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTORA EM ENFERMAGEM.

Aos 21 (vinte e um) dias do mês de outubro de dois mil vinte e cinco, às 08:00 horas, realizou-se por Webconferência na Escola de Enfermagem da Universidade Federal de Minas Gerais, a sessão pública para apresentação e defesa da tese "*ANÁLISE DA INTEGRIDADE E FUNCIONALIDADE DAS MÁSCARAS N95/PFF2 EM PROTOCOLOS DE REUSO E USO ESTENDIDO E A SEGURANÇA DOS PROFISSIONAIS DE SAÚDE*", da aluna **Viviane Lopes Vimieiro**, candidata ao título de "Doutora em Enfermagem", linha de pesquisa "Cuidar em Saúde e Enfermagem". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes professores doutores: Adriana Cristina de Oliveira (orientadora), Eline Lima Borges, Maria Helena Barbosa, Isabela Silva Cancio Velloso e Barbara Maximino Rezende Gonçalves, sob a presidência da primeira. Abrindo a sessão, a Senhora Presidente da Comissão, após dar conhecimento aos presentes do teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado final:

APROVADA;

REPROVADA.

O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pela Senhora Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, eu, Tássia Pires Pena, Assistente Administrativa do Colegiado de Pós-Graduação da Escola de Enfermagem da Universidade Federal de Minas Gerais, lavrei a presente Ata, que depois de lida e aprovada será assinada por mim e pelos membros da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 21 de outubro de 2025.

Prof^ª. Dr^ª. Adriana Cristina de Oliveira
Orientadora (EEUFMG)

Prof^ª. Dr^ª. Eline Lima Borges
(EEUFMG)

Ao meu marido, **Prof. Dr. Claysson Bruno Santos Vimieiro**, meu primeiro e maior apoiador. Obrigada por acreditar no meu potencial e por não permitir que, em nenhum momento, eu duvidasse da minha capacidade. Como ensinou Paulo Freire: **“Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhando, refazendo e retocando o sonho pelo qual se pôs a caminhar”**. Obrigada por caminhar comigo, me encorajar e fortalecer meus passos todos os dias.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** e a **Nossa Senhora Aparecida**, que têm me abençoado em todos os dias da minha vida.

À minha orientadora, **Profa. Dra. Adriana Oliveira**, pela oportunidade de realizar um sonho. Um amigo me disse certa vez que eu não escolhi o doutorado, mas sim a orientadora – e isso se confirmou em minha trajetória. Durante os dez anos em que atuei como enfermeira no SCIH, utilizei suas publicações e artigos como referência e guia. Sempre admirei o fato de a senhora ter conquistado a área de controle de infecção com tanta excelência, tornando-se uma referência e inspiração para minha formação. Minha eterna admiração e gratidão.

À Profa. **Dra. Thábata Coaglio Lucas** (*in memoriam*), minha coorientadora, cuja partida precoce deixou um vazio profundo, mas cujas contribuições, apoio e ensinamentos foram valiosos para a construção desta tese e sempre serão lembrados com carinho.

À minha mãe, **Leni**, e à minha avó **Josephina** (*in memoriam*), por sempre acreditarem na educação e me ensinarem que ela é a base das maiores conquistas. Esse legado permanece como alicerce em minha vida e é aquilo que desejo transmitir aos meus filhos.

Aos meus filhos, **Bruno e Valentina**. Que vocês cresçam sempre acreditando que os sonhos podem ser alcançados com coragem, dedicação e amor. Este doutorado é, sobretudo, para vocês – pela força que encontro em cada abraço e pelo desejo enorme de ser exemplo nas histórias que ainda irão escrever. Com todo o meu coração.

Ao grupo de pesquisa **NEPIRCS**, pela oportunidade de convivência, pelas trocas enriquecedoras e pelas amizades construídas ao longo desta caminhada.

À equipe do Labbio da UFMG, em especial ao **Prof. Dr. Rudolf Huebner**, ao **Prof. Dr. Guilherme de Paula Rúbio**, ao doutorando **Matheus Carvalho Barbosa Costa** e aos **alunos de iniciação científica**; ao Núcleo de bioengenharia da PUC Minas, ao **Prof. Dr. Pedro Brito**; à **Edilene Braga Carvalho**, técnica do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da PUC Minas; ao doutorando **Wálter** e à equipe do Laboratório de Ensaios Mecânicos da PUC Minas, pelo apoio e pelas contribuições decisivas ao longo desta pesquisa.

Aos **profissionais de enfermagem** das unidades de terapia intensiva, que dedicaram parte do seu tempo a este estudo e reconheceram a relevância de práticas seguras na adoção dos protocolos de reutilização das máscaras N95/PPF2.

Ao amigo **Claudio**miro, minha dupla, pela parceria constante, pelos incentivos e pelas discussões intermináveis, especialmente no período em que as aulas ainda eram online, durante a pandemia. Quanto aprendido compartilhado.

Aos meus amigos de todas as horas, pela presença constante, apoio e amizade sincera.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro relacionado ao processo nº APQ 00415-22, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo Código de Financiamento 001. Agradeço, ainda, a ambas as instituições pela concessão da bolsa de doutorado

E, enfim, a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o meu processo de doutoramento.

VIMIEIRO, V. L. Análise da integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2 em protocolos de reuso e uso estendido e a segurança dos profissionais de saúde. Tese (Doutorado em Enfermagem) - Escola de Enfermagem. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

RESUMO

Introdução: Diante da escassez global de máscaras N95/PFF2 durante a pandemia da COVID-19, protocolos de reutilização e uso estendido foram adotados, apesar da ausência de evidências científicas sobre seus impactos. **Objetivo:** Determinar a eficácia das máscaras N95/PFF2 quanto à integridade e funcionalidade, considerando as características de vedação e filtração após o uso estendido e reutilização, com foco na segurança ocupacional dos profissionais de saúde. **Método:** Pesquisa experimental conduzida no laboratório de Bioengenharia da Universidade Federal de Minas Gerais e de Microscopia Avançada e Ensaios Mecânicos da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, com apoio do Núcleo de Bioengenharia. Foram analisadas máscaras N95/PFF2 utilizadas por profissionais de enfermagem em Unidades de Terapia Intensiva de um hospital público e outro privado. A coleta de dados ocorreu em três etapas: questionário estruturado; recolhimento dos dispositivos; e avaliações de inspeção visual, microscopia eletrônica de varredura, ensaio de tração e eficiência de filtração por meio do protótipo experimental desenvolvido para esse fim. Foram empregadas estatísticas descritivas, Qui-quadrado, Exato de Fisher, t de Student e ANOVA, com $\alpha = 5\%$ e intervalo de confiança de 95%. **Resultados:** Participaram 265 profissionais de enfermagem. A maioria não se sentia segura com o protocolo, destacando umidade, sujidade e armazenamento como principais preocupações. Eficiência de filtração foi citada uma vez em ambos os protocolos e treinamento apenas no de 15 dias. Receberam treinamento sobre uso da máscara N95/PFF2 53,6% (sete dias) e 74,1% (quinze dias), majoritariamente em 2020, com foco em paramentação e desparamentação. A verificação da vedação e a inspeção visual foram realizadas por 20,9% e 46,4% (sete dias) e por 26,8% e 35,7% (quinze dias). No protocolo de sete dias, o treinamento associou-se à verificação da vedação ($p = 0,002$). Houve ausência de local exclusivo para armazenamento. Na inspeção visual, após sete dias observaram-se dobras (5,7%), marcas de identificação (17,1%), sujidade interna (31,4%), afrouxamento das tiras (34,3%) e sujidade externa (60%). Após quinze dias: identificaram-se rasgos (2,9%), marcas de identificação (28,6%), dobras (37,1%), sujidade externa (54,3%) e sujidade interna e afrouxamento das tiras em 100% das máscaras N95/PFF2. A frequência de dobra, sujidade interna, rasgos e afrouxamento foi maior após quinze dias ($p < 0,001$). Microscopia eletrônica revelou aumento de poros, afrouxamento das tramas, microfuros e detritos presentes a partir de sete dias, intensificando-se aos quinze dias. No ensaio de tração, as tiras de fixação sem uso apresentaram maior elasticidade, força e tempo até a ruptura. Após sete e quinze dias, houve redução progressiva dessas propriedades ($p < 0,001$). Quanto à eficiência de filtração, ambos protocolos apresentaram médias $< 94\%$ (91,5% e 91,9%) com proporções semelhantes de dispositivos abaixo desse critério (45,7% versus 51,4%; $p = 0,632$), indicando equivalência. **Conclusão:** A reutilização comprometeu a integridade, a morfologia das fibras, a resistência e a elasticidade das tiras de fixação, além de reduzir a eficiência de filtração. A percepção de segurança mostrou-se frágil e a capacitação para o reuso seguro foi insuficiente, reforçando a necessidade de reavaliar os protocolos de reutilização visando à segurança ocupacional dos profissionais de saúde.

VIMIEIRO, V. L. Análise da integridade e funcionalidade das máscaras N95/PPF2 em protocolos de reuso e uso estendido e a segurança dos profissionais de saúde. Tese (Doutorado em Enfermagem) - Escola de Enfermagem. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

Palavras-chave: respiradores N95; reutilização de equipamentos; pessoal de saúde; saúde ocupacional; segurança do paciente; enfermagem; controle de infecções.

VIMIEIRO, V. L. Analysis of the integrity and functionality of N95/PFF2 respirators in reuse and extended-use protocols and the safety of healthcare professionals. Thesis (Doctorate in Nursing). School of Nursing, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

ABSTRACT

Introduction: In the context of the global shortage of N95/PFF2 respirators during the COVID-19 pandemic, protocols for extended use and reuse were adopted despite the lack of scientific evidence regarding their impact. **Objective:** To determine the effectiveness of N95/PFF2 respirators in terms of integrity and functionality, considering sealing and filtration performance after extended use and reuse, with a focus on the occupational safety of healthcare professionals. **Method:** Experimental research conducted in the Bioengineering Laboratory of the Universidade Federal de Minas Gerais and in the Advanced Microscopy and Mechanical Testing Laboratories of the Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais, with support from the Bioengineering Centre. N95/PFF2 respirators used by nursing professionals in Intensive Care Units of one public and one private hospital were analysed. Data collection occurred in three phases: structured questionnaire; retrieval of the devices; and assessments including visual inspection, scanning electron microscopy, tensile testing and filtration efficiency testing using a dedicated experimental prototype. Descriptive statistics, Chi-square, Fisher's Exact test, Student's t-test and ANOVA were applied, with $\alpha = 0.05$ and a 95% confidence interval. **Results:** A total of 265 nursing professionals participated. Most did not feel safe with the protocol, highlighting moisture, dirt and storage conditions as major concerns. Filtration efficiency was mentioned once in both protocols, while training appeared only in the fifteen-day protocol. Training on respirator use was received by 53.6% (seven days) and 74.1% (fifteen days), mainly in 2020, with emphasis on donning and doffing. Seal checking and visual inspection were performed by 20.9% and 46.4% (seven days) and by 26.8% and 35.7% (fifteen days). In the seven-day protocol, training was associated with seal checking ($p = 0.002$). There was no exclusive location for storing respirators. After seven days, visual inspection revealed folds (5.7%), identification marks (17.1%), internal dirt (31.4%), strap loosening (34.3%) and external dirt (60%). After fifteen days, tears (2.9%), identification marks (28.6%), folds (37.1%), external dirt (54.3%) and internal dirt and strap loosening (100%) were identified. Fold, internal dirt, tears and strap loosening were more frequent after fifteen days ($p < 0.001$). Scanning electron microscopy revealed increased pore size, fibre loosening, micro-holes and debris from seven days onwards, intensifying at fifteen days. In tensile testing, unused straps showed greater elasticity, strength and time to rupture; after seven and fifteen days, there was progressive reduction in these properties ($p < 0.001$). Regarding filtration efficiency, both protocols presented mean values $< 94\%$ (91.5% and 91.9%), with similar proportions of respirators below this threshold (45.7% versus 51.4%; $p = 0.632$), indicating equivalence. **Conclusion:** Reuse compromised structural integrity, fibre morphology, strap strength and elasticity, as well as reducing filtration efficiency. Perceived safety was low and training for safe reuse was insufficient, reinforcing the need to reassess reuse protocols to ensure the occupational safety of healthcare professionals. **Descriptors:** N95 respirators; equipment reuse; health personnel; occupational health; patient safety; nursing; cross infection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Representação dos Cinco Momentos para Higienização das Mãos conforme diretriz da Organização Mundial da Saúde, adotada em publicações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária..... | 35 |
| Figura 2 - Composição das quatro camadas de uma máscara N95/PFF2 | 43 |
| Figura 3 - Fatores determinantes para a eficácia da máscara N95/PFF2..... | 48 |
| Figura 4 - Orientações sobre a paramentação da máscara N95/PFF2 | 49 |
| Figura 5 - Orientações sobre a desparamentação da máscara N95/PFF2..... | 50 |
| Figura 6 - Lente óptica com ampliação de dez vezes utilizada na inspeção visual das máscaras N95/PFF2. Tomshin. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 73 |
| Figura 7 - Etapas de preparação das máscaras N95/PFF2 para obtenção de micrografias das quatro camadas por microscopia eletrônica de varredura. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 74 |
| Figura 8 - Protótipo desenvolvido para o ensaio de eficiência de filtração das máscaras N95/PFF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 76 |
| Figura 9 - Vistas do desenho 3D do tubo Venturi projetado. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 77 |
| Figura 10 - Corte longitudinal do tubo Venturi indicando as dimensões consideradas (em milímetros). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 78 |
| Figura 11 - Etapas de preparação e inserção das amostras de máscaras N95/PFF2 fixadas em anéis de nylon no protótipo de ensaio de filtração. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 80 |
| Figura 12 - Amostra da tira de fixação da máscara N95/PFF2 inserida na máquina de ensaio de tração. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 82 |
| Figura 13 - Fluxograma do quantitativo dos profissionais de enfermagem (n = 265) das unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 86 |
| Figura 14 - Fluxograma do quantitativo de máscaras N95/PFF2 coletadas (n = 70) após o uso por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| Figura 15 - Danos estruturais identificados em máscaras N95/PFF2 após uso conforme protocolos de sete dias (n = 2) durante plantões de 12 horas em unidade de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 97 |
| Figura 16 - Danos estruturais identificados em máscaras N95/PFF2 após uso conforme protocolos de quinze dias (n = 2) durante plantões de 12 horas em unidade de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 98 |
| Figura 17 - Microscopia eletrônica de varredura da camada externa da máscara N95/PFF2 sem uso (controle, n = 1) e dos dispositivos utilizados conforme protocolos de sete (n = 5) e quinze dias (n = 5) durante plantões de 12 horas em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 99 |
| Figura 18 - Microscopia eletrônica de varredura da camada estrutural da máscara N95/PFF2 sem uso (controle, n = 1) e dos dispositivos utilizados conforme protocolos de sete (n = 5) e quinze dias (n = 5) durante plantões de 12 horas em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 100 |
| Figura 19 - Microscopia eletrônica de varredura da camada filtrante da máscara N95/PFF2 sem uso (controle, n = 1) e dos dispositivos utilizados conforme protocolos de sete (n = 5) e quinze dias (n = 5) durante plantões de 12 horas em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 101 |
| Figura 20 - Microscopia eletrônica de varredura da camada interna da máscara N95/PFF2 sem uso (controle, n = 1) e dos dispositivos utilizados conforme protocolos de sete (n = 5) e quinze dias (n = 5) durante plantões de 12 horas em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 102 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 1 - Percepção dos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112) sobre a segurança do protocolo de reutilização da máscara N95/PFF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 88 |
| Gráfico 2 - Aspectos de proteção respiratória dos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 89 |
| Gráfico 3 - Conteúdos abordados no treinamento de profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112) sobre o uso da máscara N95/PFF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 91 |
| Gráfico 4 - Locais de acondicionamento da máscara N95/PFF2 por profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 94 |
| Gráfico 5 - Alterações estruturais nas máscaras N95/PFF2 após uso por profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 96 |
| Gráfico 6 - <i>Box plot</i> da deformação (elasticidade) das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2025..... | 104 |
| Gráfico 7 - <i>Box plot</i> da força exercida (resistência) das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2025..... | 104 |
| Gráfico 8 - <i>Box plot</i> do tempo até a ruptura das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2025..... | 105 |
| Gráfico 9 - Dispersão da eficiência média de filtração entre máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete dias (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 108 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Limites máximos de penetração para aerossóis de cloreto de sódio, avaliados sob fluxo de ar contínuo de 95 litros por minuto..... | 44 |
| Tabela 2 - Características sociodemográficas, laborais e de formação dos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 87 |
| Tabela 3 - Participação dos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112) em treinamentos sobre o uso da máscara N95/PFF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 90 |
| Tabela 4 - Verificação da vedação e inspeção visual das máscaras N95/PFF2 por profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 92 |
| Tabela 5 - Associação entre treinamento e adoção de práticas seguras por profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112) relacionadas à verificação da vedação e à inspeção visual das máscaras N95/PFF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 93 |
| Tabela 6 - Tempo, força (resistência) e deformação (elasticidade) das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 103 |
| Tabela 7 - Eficiência média de filtração dos três ensaios consecutivos e da média final das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 107 |
| Tabela 8 - Proporção de máscaras N95/PFF2 que atingiram o desempenho mínimo de eficiência de filtração de 94% reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e de quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025..... | 108 |

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação dos serviços de saúde conforme protocolos de sete, quinze e trintas dias das máscaras N95/PPF2 (n = 16). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025.....55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANVISA | Agência Nacional de Vigilância Sanitária |
| CA | Certificado de Aprovação |
| CCIH | Comissão de Controle de Infecção Hospitalar |
| CDC | <i>Center for Disease Control and Prevention</i> |
| CEN | <i>European Committee for Standardization</i> |
| CEP | Comitê de Ética e Pesquisa |
| CM | Centro de Microscopia |
| CNES | Cadastro Nacional de Estabelecimentos em Saúde |
| COVID-19 | <i>Coronavirus Disease 2019</i> |
| EPI | Equipamento de Proteção Individual |
| EN | <i>European Norm</i> |
| EUA | Estados Unidos da América |
| FDA | <i>Food and Drug Administration</i> |
| FIOCRUZ | Fundação Oswaldo Cruz |
| FUNDACENTRO | Fundação Jorge Duprat e Figueiredo |
| LABBIO | Laboratório de Bioengenharia |
| MERS | <i>Middle East Respiratory Syndrome</i> |
| MEV | Microscopia Eletrônica de Varredura |
| MTE | Ministério de Trabalho e Emprego |
| MS | Ministério da Saúde |
| NIOSH | <i>National Institute for Occupational Safety and Health</i> |
| NR | Norma Regulamentadora |
| NNU | <i>National Nurses United</i> |
| NPPTL | <i>National Personal Protective Technology Laboratory</i> |
| OMS | Organização Mundial de Saúde |
| OPAS | Organização Pan-Americana da Saúde |
| OSHA | <i>Occupational Safety and Health Administration</i> |
| PPF | Peça Semifacial Filtrante para Partículas |
| PSI | <i>Public Services International</i> |
| PUC-MINAS | Pontifícia Universidade Católica de Minas Gérias |

| | |
|------|--|
| RDC | Resolução da Diretoria Colegiada |
| SARS | <i>Severe Acute Respiratory Syndrome</i> |
| SMSA | Secretaria Municipal de Saúde |
| SCIH | Serviço de Controle de Infecção Hospitalar |
| SRAG | Síndrome Respiratória Aguda Grave |
| SUS | Sistema Único de Saúde |
| TCLE | Termo de Consentimento Livre e Esclarecido |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| UTI | Unidade de Terapia Intensiva |
| VSR | Vírus Sincicial Respiratório |
| WHO | <i>World Health Organization</i> |

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 20 |
| 1.1 Objetivo geral..... | 26 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 26 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 27 |
| 2.1 Doenças respiratórias transmissíveis: histórico, agentes etiológicos e impacto na saúde pública..... | 27 |
| 2.2 Estratégias para o controle e prevenção da transmissão de vírus respiratórios em ambientes de saúde..... | 30 |
| 2.3 Proteção respiratória pelo uso da máscara N95/PFF2..... | 41 |
| 2.4 Uso estendido e reutilização limitada da máscara N95/PFF2..... | 51 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 54 |
| 3.1 Delineamento do estudo..... | 54 |
| 3.2 Local do estudo..... | 54 |
| 3.3 Amostra do estudo..... | 56 |
| 3.4 População do estudo..... | 57 |
| 3.5 Critério de inclusão e exclusão..... | 58 |
| 3.5.1 Critério de inclusão..... | 58 |
| 3.5.2 Critério de exclusão..... | 58 |
| 3.6 Variáveis do estudo..... | 58 |
| 3.6.1 Variável dependente: eficácia das máscaras N95/PFF2..... | 59 |
| 3.6.2 Variáveis independentes..... | 59 |
| 3.7 Coleta de dados..... | 70 |
| 3.8 Análise dos dados | 83 |
| 3.9 Aspectos éticos..... | 83 |
| 4 RESULTADOS..... | 85 |
| 4.1 Período Pré-Intervenção (Fase 1) | 85 |
| 4.2 Período Pré-Intervenção (Momento 2) | 95 |
| 4.3 Fase experimental..... | 98 |
| 5 DISCUSSÃO..... | 110 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 122 |

| | |
|--|------------|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 123 |
| APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO..... | 137 |
| APÊNDICE B - TERMO DE ANUÂNCIA DA INSTITUIÇÃO PARA PARTICIPAÇÃO..... | 141 |
| APÊNDICE C - INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PARA OS PROFISSIONAIS DE ENFERMAGEM DA UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA | 145 |

1. INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2019, a cidade de Wuhan, na província de Hubei, China, tornou-se o epicentro dos primeiros casos de uma grave pneumonia causada pelo novo coronavírus, identificado como SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus*). Este vírus foi isolado como o agente etiológico da COVID-19, doença que, devido à alta transmissibilidade, rapidamente se espalhou por mais de 190 países, afetando milhões de pessoas (Liu *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020). Em resposta à ameaça crescente, a *World Health Organization* (WHO) declarou a pandemia em 11 de março de 2020 (WHO, 2023a). No Brasil, o primeiro caso foi confirmado em 26 de fevereiro de 2020. No panorama global, mais de 700 milhões de casos confirmados foram registrados, com mais de sete milhões de óbitos. O Brasil ocupa a segunda posição em número absoluto de mortes (716.587), ficando atrás apenas dos Estados Unidos da América (EUA), que ultrapassaram 1,2 milhão de óbitos (Brasil, 2025; WHO, 2025).

Particularmente entre profissionais de saúde, aproximadamente um em cada 10 trabalhadores da linha de frente foi infectado pelo SARS-CoV-2 durante a pandemia, totalizando cerca de 284 mil profissionais em 27 países. A taxa de letalidade foi estimada em nove óbitos para cada 1.000 infecções, valor inferior ao da população geral, mas representando um impacto expressivo devido à redução da força de trabalho em saúde (Bansal *et al.*, 2025). No Brasil, segundo a *Public Services International* (PSI, 2022), com base em registros do Ministério da Saúde e do Trabalho (MTE), a mortalidade ultrapassou 4.500 óbitos nos dois primeiros anos da pandemia, dos quais 70% eram técnicos e auxiliares de enfermagem; 25% enfermeiros e 5% médicos.

A transmissão do SARS-CoV-2 ocorre principalmente por gotículas respiratórias emitidas ao falar, espirrar ou tossir, sobretudo quando há proximidade inferior a um metro (Chang *et al.*, 2020; Hamner *et al.*, 2020; Ong *et al.*, 2020). O contágio também pode acontecer por contato direto com pessoas infectadas ou indiretamente por objetos contaminados (fômites). Entretanto, essa via é menos provável quando medidas de precaução padrão, como higienização das mãos, desinfecção de superfícies e limpeza do ambiente, são aplicadas de forma regular (Agência Nacional de Vigilância Sanitária [ANVISA], 2025; WHO, 2022b; Onakpoya *et al.*, 2021; Burke *et al.*, 2020; Doremalen *et al.*, 2020; Ong *et al.*, 2020).

O novo coronavírus pode ainda ser transmitido por aerossóis em procedimentos específicos, como ressuscitação cardiopulmonar, intubação, aspiração traqueal e

ventilação mecânica não invasiva ou manual que geram partículas menores que cinco microns (μm) (Wei; Li, 2016; Heneghan *et al.*, 2021; WHO, 2022b; ANVISA, 2024). Nesses contextos, profissionais de saúde, especialmente os atuantes em Unidades de Terapia Intensiva (UTI), estão mais expostos ao vírus devido ao contato próximo e frequente com pacientes em condições graves, aumentando a carga viral recebida (Chang *et al.*, 2020; Nguyen *et al.*, 2020; Bernades *et al.*, 2021; WHO, 2022b).

Para prevenir e controlar a exposição a patógenos transmitidos por aerossol, recomenda-se o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), como óculos de proteção ou protetor facial (*face shield*), luvas de procedimento, capote ou avental, gorro e máscara N95/PPF2 (ANVISA, 2024; *Centers for Disease Control and Prevention* [CDC], 2024; Siegel *et al.*, 2023; WHO, 2022b). A máscara N95/PPF2 se destaca por sua capacidade de vedar a área do nariz e boca e por apresentar alta eficiência de filtração de partículas aéreas de até $0,3 \mu\text{m}$, sendo de 95% para a certificação do *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH, EUA) e de 94% para a certificação da Peça Facial Filtrante tipo 2 (PPF2), conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, NBR 13698/2011) e a norma europeia EN 149/FFP2 (NIOSH, 2025; EU, 2023; ABNT, 2023; CDC, 2024; ANVISA, 2024).

Segundo a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, 2021), este dispositivo deve ser de uso único descartado após sua utilização. Contudo, a pandemia do novo coronavírus gerou uma demanda global sem precedentes por máscaras N95/PPF2, resultando em desabastecimento e preocupação com a escassez (Cohen; Rodgers, 2020; De Perio *et al.*, 2020; Jain, 2020; Noguee; Tomassoni, 2020; WHO, 2020).

Diante deste contexto, a *Food and Drug and Administration* (FDA), o CDC e o NIOSH propuseram diretrizes para o uso estendido e reutilização limitada das máscaras N95/PPF2 nos serviços de saúde. O uso estendido refere-se à utilização contínua do mesmo dispositivo por um período prolongado, durante múltiplos atendimentos a pacientes diferentes, sem retirá-la entre os contatos. A reutilização, por sua vez, consiste no reuso do equipamento em diferentes atendimentos ou plantões, seguido de remoção e armazenamento adequado para uso posterior, visando maximizar sua vida útil (ANVISA, 2024; CDC, 2021; WHO, 2020).

A emergência de saúde pública internacional da COVID-19 teve duração de três anos e três meses, entre 30 de janeiro de 2020 e 5 de maio de 2023. Entretanto, mesmo após a Organização Mundial de Saúde (OMS) declarar o fim dessa emergência, as diretrizes de uso estendido e reutilização de máscaras N95/PPF2 permaneceram em vigor

(WHO, 2023a). A prática de otimizar o uso desses dispositivos já havia sido adotada anteriormente nos Estados Unidos, no guia “Proteja-se Contra a Tuberculose – Um Guia de Proteção Respiratória para Profissionais de Saúde” (NIOSH, 1995), e, posteriormente, no Brasil, com a “Cartilha de proteção respiratória contra agentes biológicos para trabalhadores de saúde”, elaborada pela ANVISA e Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO, 2009). Esse documento recomendava a adoção dessas estratégias também em outras doenças de transmissão aérea, como sarampo, varicela, hantavírus e gripe aviária, reforçando sua relevância para a prevenção de diferentes patologias (ANVISA; FUNDACENTRO, 2009).

Em 2024, o Boletim Epidemiológico nº 158 do Ministério da Saúde registrou, apenas nos dois primeiros meses do ano, aproximadamente 300 mil casos de COVID-19 e 1.500 óbitos pela doença no Brasil. No mesmo período, foram notificados cerca de 3.300 casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), dos quais 63% estavam associados ao SARS-CoV-2 e 12% ao vírus sincicial respiratório (VSR). Entre os óbitos por SRAG, 92% foram atribuídos ao SARS-CoV-2 e 5% à influenza, evidenciando o impacto da COVID-19 na mortalidade por casos graves (Brasil, 2024). Em 2025, esse cenário manteve-se preocupante: até a 19ª Semana Epidemiológica, foram notificados 50.090 casos de SRAG, dos quais 22.235 (44,4%) apresentaram confirmação laboratorial para vírus respiratórios, com predominância do VSR (40,4%), seguido por rinovírus (27,2%), SARS-CoV-2 (18,6%), influenza A (13%) e influenza B (1,5%) (Brasil, 2025).

Diante desse panorama, mesmo após a pandemia da COVID-19, os vírus respiratórios, especialmente SARS-CoV-2, influenza e VSR, permanecem como importantes causas de infecções graves. A persistência desse risco reforça a necessidade de assegurar a disponibilidade e o uso adequado de máscaras N95/PFF2, indispensáveis para proteção dos profissionais de saúde. Nesse contexto, torna-se fundamental a adoção de protocolos de uso estendido e reutilização, estratégias que contribuem para otimizar custos institucionais e prevenir o desabastecimento em períodos de alta demanda (CDC, 2021; Chu *et al.*, 2021).

Embora os protocolos de reutilização e uso estendido visem à otimização dos recursos, nenhum estudo ratificou a inexistência de riscos para o usuário. Evidências apontam que práticas podem aumentar a exposição do profissional de saúde a patógenos, devido ao potencial contato com as superfícies externas e internas da máscara N95/PFF2 e, conseqüentemente, com as mucosas faciais (De Perio *et al.*, 2020; WHO, 2020). Esse risco tende a se intensificar em atividades rotineiras, como a paramentação e

desparamentação, os ajustes realizados durante o uso e as formas de armazenamento adotadas pelas instituições (CDC, 2021; Nguyen *et al.*, 2020; WHO, 2020; Vuma *et al.*, 2019). Além disso, a rotina de trabalho, que envolve pausas para higiene, alimentação e descanso, exige manuseio frequente do dispositivo, favorecendo o desgaste, comprometendo sua funcionalidade e integridade e aumentando o contato recorrente das mãos com o rosto, comportamento comum durante longos períodos de uso. (CDC, 2021; De Perio *et al.*, 2020; Fisher; Shaffer, 2014).

A reutilização das máscaras N95/PFF2 também contribui para a aceleração da degradação estrutural do dispositivo, com o surgimento de dobras, vincos, furos e rasgos que comprometem diretamente a vedação (Duarte *et al.*, 2010). Danos em componentes cruciais, como cliques nasais e tiras de fixação, podem prejudicar o ajuste ao rosto e aumentar o risco de exposição a patógenos respiratórios (Bergman *et al.*, 2012; Roberge; Niezgodá; Benson, 2012). Ademais, o armazenamento adequado em envelopes de papel pardo ou sacos plásticos porosos, mantidos em ambientes limpos e ventilados é vital para prevenir danos relacionados à umidade e à proliferação de microrganismos (ANVISA, 2025). É igualmente importante destinar locais específicos para o acondicionamento e a identificação das máscaras N95/PFF2, a fim de evitar o uso compartilhado. No entanto, a falta de espaço físico em muitas instituições resulta em práticas improvisadas, como o armazenamento em gavetas, armários, mochilas e bolsas pessoais, o que aumenta o risco de contaminação e deterioração do equipamento (Patel; Carval, 2021; Toomey *et al.*, 2021; Duarte *et al.*, 2010).

Outro aspecto relevante refere-se aos eventos adversos decorrentes do uso prolongado das máscaras N95/PFF2, incluindo dermatite de contato ou alérgica provocadas pelas tiras de fixação e cliques nasais, além do surgimento de marcas e, em casos mais severos, lesões por pressão na face do usuário (Jiang *et al.*, 2020; Koh, 2020). Tais condições foram intensificadas em contextos de sobrecarga assistencial, como os vivenciados nas UTIs durante a pandemia de COVID-19, em que a combinação entre exaustão física, escassez de recursos humanos e necessidade de uso contínuo do dispositivo resultou também em impactos psicossociais relevantes, como estresse crônico, ansiedade, labilidade do humor e maior sensibilidade emocional (Kunstler, 2022; Darlenski; Tsankov *et al.*, 2020; Gheisari *et al.*, 2020). Em situações mais extremas, esses efeitos culminaram em afastamentos das atividades assistenciais, comprometendo tanto a saúde ocupacional dos profissionais de saúde quanto a segurança do cuidado prestado (Garra; Parmentier; Garra, 2021).

O desconforto gerado pela umidade acumulada no interior da máscara N95/PFF2 e pelo aumento do esforço respiratório, especialmente durante períodos prolongados de uso, também merece destaque. Para alguns indivíduos, essas condições tornam o uso contínuo dificultoso ou até intolerável, constituindo uma barreira à adesão às boas práticas e favorecendo condutas de não conformidade, com consequente elevação do risco ocupacional (Houghton *et al.*, 2020; Patel; Carval, 2021).

Com foco na segurança ocupacional, a eficácia do equipamento de proteção respiratória depende diretamente da preservação de sua integridade e funcionalidade, iniciando-se pela capacidade de manter um ajuste adequado à face do usuário (REGLI *et al.*, 2021). Estudos conduzidos em ambientes laboratoriais e serviços de saúde têm evidenciado uma elevada proporção de dispositivos incapazes de fornecer proteção consistente, com falhas atribuídas ao vazamento facial decorrente do uso prolongado ou da reutilização (Check *et al.*, 2021; Jung *et al.*, 2021; Degeys *et al.*, 2020; Vuma *et al.*, 2019). Diante dessas preocupações, o CDC recomenda limitar o número de reutilizações das máscaras N95/PFF2 a, no máximo cinco vezes. Contudo, não há consenso global entre os órgãos sanitários sobre o número seguro de reutilizações (ANVISA, 2024; CDC, 2021; WHO, 2020). Assim, as diretrizes enfatizam que cabe à Comissão de Controle de Infecção Hospitalar (CCIH), em conjunto com as equipes assistenciais, elaborar protocolos institucionais que orientem os profissionais de saúde quanto ao uso adequado, paramentação e desparamentação, avaliação rotineira da integridade, acondicionamento, tempo de uso e descarte seguro das máscaras N95/PFF2 (ANVISA, 2024; CDC, 2021; WHO, 2020).

No contexto da pandemia, a organização americana *National Nurses United* (NNU) manifestou discordância em relação às orientações do CDC sobre a adoção de protocolos de uso estendido ou reutilização em instituições hospitalares, argumentando que não existem evidências científicas suficientes que assegurem a proteção dos trabalhadores de saúde durante a assistência a pacientes infectados por vírus respiratórios (NNU, 2020). Essa crítica ganha força diante do número expressivo de profissionais de saúde afetados pelo novo coronavírus, incluindo casos que evoluíram para óbito. No Brasil, por exemplo, durante o pico da pandemia em março de 2021, a cada três mil mortes por complicações da COVID-19, cinco eram de trabalhadores de saúde, o que evidencia a gravidade do problema e reforça as preocupações da NNU sobre a efetividade e a segurança das medidas de proteção implementadas (Machado *et al.*, 2023).

Apesar de existirem evidências indicando que a perda de eficiência das máscaras N95/PFF2 ao longo do uso estendido ou da reutilização, ainda é escassa a literatura que investigue de forma sistemática a manutenção de suas características de vedação e filtração em diferentes intervalos de tempo. Essa lacuna, já ressaltada por diversos autores, reforça a necessidade de avaliar de maneira mais abrangente o conjunto de atributos relacionados à integridade e funcionalidade desses dispositivos, de modo a subsidiar estratégias mais eficazes de prevenção e controle de infecções (Kirubarajan *et al.*, 2020; Toomey *et al.*, 2020; Sancho; González-Maria; Abad-Corpa, 2021; Vimieiro; Vimieiro; Oliveira, 2024).

Em suma, a adoção de protocolos de reutilização e uso estendido configura uma estratégia desafiadora e complexa, em razão da ausência de diretrizes claras e precisas por parte das instituições e dos efeitos variáveis sobre o nível de proteção oferecido (Jung *et al.*, 2021; Vimieiro; Vimieiro; Oliveira, 2024).

Diante do exposto, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: qual é a eficácia das máscaras N95/PFF2 quanto à integridade e funcionalidade, considerando as características de vedação e filtração após uso estendido e reutilização, com foco na segurança dos profissionais de saúde?

Nesse sentido, ao identificar lacunas do conhecimento nessa área, pretende-se contribuir para a definição de protocolos mais seguros e baseados em evidências, aplicáveis tanto no setor público quanto no privado. Tais achados poderão, ainda, fundamentar intervenções direcionadas para o enfrentamento de novas emergências sanitárias, sobretudo em contextos de elevada transmissibilidade por aerossóis.

1.1 Objetivo geral

Determinar a eficácia das máscaras N95/PFF2 quanto à integridade e funcionalidade, considerando as características de vedação e filtração após o uso estendido e reutilização, com foco na segurança ocupacional dos profissionais de saúde

1.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar os profissionais de enfermagem segundo variáveis sociodemográficas.
- b) Identificar os treinamentos recebidos pelos profissionais de saúde relacionados à paramentação, desparamentação, acondicionamento, verificação de vedação e inspeção visual das máscaras N95/PFF2.
- c) Investigar a percepção e as práticas dos profissionais de saúde sobre o uso seguro das máscaras N95/PFF2 em protocolos de uso estendido e reutilização
- d) Inspeccionar as condições de preservação das máscaras N95/PFF2, com ênfase na integridade estrutural e nos componentes de fixação.
- e) Analisar a integridade das máscaras N95/PFF2 quanto à morfologia das fibras, presença de fissuras, microfuros e alterações de porosidade.
- f) Verificar a resistência e elasticidade das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2.
- g) Avaliar a funcionalidade do material filtrante das máscaras N95/PFF2 quanto à sua capacidade em reter partículas de 0,3 micron, considerando como critério de eficácia mínima uma eficiência de filtração de 94%, conforme estabelecido pela ABNT NBR 13698:2011.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente referencial teórico foi estruturado em eixos temáticos que abordam as principais doenças de transmissão respiratória, as estratégias de controle e prevenção de infecções virais, bem como a importância da proteção respiratória, com ênfase nas máscaras N95/PPF2. Por fim, discutiu-se a implementação de protocolos de uso estendido e a reutilização desses dispositivos, com foco em estratégias destinadas a maximizar sua eficácia na prevenção na disseminação de patógenos aéreos e assegurar a segurança ocupacional dos profissionais de saúde.

2.1 Doenças respiratórias transmissíveis: histórico, agentes etiológicos e impacto na saúde pública

As infecções respiratórias representam uma das principais preocupações de saúde pública global, devido à sua elevada incidência e do potencial de desencadear surtos, epidemias e pandemias. São causadas por diversos agentes patogênicos, especialmente vírus e bactérias, que acometem o trato respiratório e apresentam elevada capacidade de disseminação (De Perio *et al.*, 2022).

Entre essas infecções, figuram a tuberculose, de origem bacteriana, e a gripe, de origem viral, ambas com expressivo impacto na saúde pública global. A tuberculose, causada pelo *Mycobacterium tuberculosis*, também conhecido como bacilo de Koch, acomete milhões de pessoas a cada ano, com aproximadamente 10 milhões de novos casos e cerca de 1,4 milhão de mortes registradas em 2019 (WHO, 2022a). A gripe, por sua vez, é provocada pelo vírus influenza, da família *Orthomyxoviridae*, e chama atenção por sua alta capacidade de mutação e potencial para causar pandemias. O vírus influenza é classificados nos tipos: A, B, C e D, sendo os tipos A e B mais frequentemente associados a desfechos clínicos graves. No entanto, apenas o tipo A apresenta risco de disseminação em larga escala, com sintomas que variam de leves a severos (WHO, 2023b; WHO, 2014).

Ao longo dos séculos XX e XXI, o vírus influenza A esteve associado a quatro importantes pandemias. A primeira delas, a gripe espanhola (1918 -1920), acometeu cerca de 50% da população mundial e resultou em uma mortalidade estimada entre 40 e 50 milhões de pessoas afetando, sobretudo adultos jovens entre 20 e 40 anos (Silveira, 2005). Trata-se de um dos episódios mais letais da história recente. Na sequência, a pandemia

de 1957, originada na China pela cepa H2N2, impactou entre 40% e 50% da população global, com expressiva taxa de hospitalizações e óbitos especialmente entre jovens e idosos e indivíduos com doença cardiopulmonar, totalizando aproximadamente quatro milhões de mortes (WHO, 2023b).

Uma década mais tarde, em 1968, a cepa H3N2 foi responsável pela gripe de Hong Kong, que, embora menos letal que as anteriores, teve alcance significativo. Em 2009, a pandemia causada pela variante Influenza A(H1N1), conhecida como gripe suína, apresentou elevada transmissibilidade, afetando predominantemente pessoas com menos de 65 anos, faixa etária que, diferentemente da população idosa, não parecia dispor de imunidade cruzada advinda de exposições anteriores a variantes semelhantes (Araújo *et al.*, 2020). Nesse período foram contabilizados cerca de 18 mil óbitos, embora estimativas apontem que o número real pode ter sido até 15 vezes superior. No Brasil, os primeiros registros ocorreram em maio de 2009, com 2.051 mortes, sendo a região Sul a mais impactada (WHO, 2023b).

Cada uma dessas pandemias foi marcada pelo isolamento de novas cepas de influenza, resultante de rearranjos genéticos entre variantes aviária, suína e humana. Essas cepas pandêmicas demonstram elevada capacidade de disseminação global, infectando pessoas independentemente da idade ou condição social (WHO, 2023b).

Outro agente infeccioso relevante é o coronavírus, pertencente à família *Coronaviridae*, responsável por infecções respiratórias em humanos e animais. Até o momento foram identificadas sete cepas com capacidade de infectar seres humanos, classificadas em dois gêneros principais: Alfa-CoV e Beta-CoV. Entre os alfas coronavírus, destacam-se as cepas 229E (HCoV-229E) e NL63 (HCoV-NL63); entre os betas coronavírus, encontram-se OC43, HKU1, SARS-CoV, MERS-CoV e SARS-CoV-2 (WHO, 2023b). Os quatro primeiros estão associados a quadros clínicos leves, como resfriados, sendo superados em prevalência apenas pelos rinovírus. Por outro lado, os três últimos, SARS-CoV, MERS-CoV (*Middle East Respiratory Syndrome*) e SARS-CoV-2, estão vinculados a síndromes respiratórias grave e marcaram profundamente a saúde pública global em razão das epidemias e da pandemia que desencadearam (Bermingham *et al.*, 2012).

Esta diferenciação é crucial para compreender o impacto das epidemias virais no século XXI, iniciando-se com a epidemia de SARS-CoV, ocorrido em 2002 na região de Hong Kong, China. O vírus foi o agente etiológico da Síndrome Respiratória Aguda Grave em humanos (Petersen *et al.*, 2020). Entre 2002 e 2003, foram notificados mais de

8.000 casos em 29 países, com 774 óbitos e uma letalidade estimada de cerca de 10%, embora algumas fontes, como a Organização Mundial de Saúde, reportem uma taxa inferior, em torno de 3% (PEIRIS *et al.*, 2003; WHO, 2003). A emergência de outras cepas, como o HCoV-NL63 e o HCoV-HKU1, nos anos seguintes, evidencia a contínua evolução dos coronavírus e seu impacto sobre a saúde pública (Who, 2023b).

De forma semelhante, o coronavírus MERS-CoV, responsável pela Síndrome Respiratória do Oriente Médio (MERS) e identificado pela primeira vez na Arábia Saudita em 2012, constitui uma expressão significativa do potencial patogênico dos Beta-CoV. Esse vírus apresentou uma taxa de mortalidade alarmante de aproximadamente 35% (WHO, 2019; Senhoras, 2020). No entanto, essa estimativa deve ser interpretada com cautela, pois, a limitação dos sistemas de vigilância pode ter resultado em subnotificação de casos leves ou assintomáticos, levando a uma possível superestimação da letalidade (Ezhilan; Suresh; Nesakumar, 2021).

O surgimento do SARS-CoV-2 representou um ponto crítico na história da saúde pública global. Detectado inicialmente em 31 de dezembro de 2019, em Wuhan, China, o vírus de origem à doença denominada COVID-19 (WHO, 2022b). A identificação do SARS-CoV-2 evidenciou, de forma contundente, a persistente ameaça representada pelos coronavírus, sobretudo em função de sua elevada transmissibilidade. Em um curto intervalo de tempo, o vírus ultrapassou fronteiras geográficas e sanitárias, disseminando-se por todos os continentes em uma velocidade sem precedentes na história na era contemporânea da saúde pública (WHO, 2022b).

A gravidade da situação foi reconhecida em 30 de janeiro de 2020, quando o surto de COVID-19 foi classificado como emergência de Saúde Pública de importância internacional, o mais alto nível de alerta previsto pelo Regulamento Sanitário Internacional (WHO, 2022b). A contínua escalada de casos levou, em 11 de março de 2020, a sua reclassificação como pandemia, evidenciando a extensão e a seriedade do desafio imposto aos sistemas de saúde em todo o mundo (WHO, 2022b).

Apesar da Organização Mundial de Saúde ter declarado o fim da Emergência de Saúde Pública relacionada à Covid-19 em 05 de maio de 2023, a ameaça permanece, com a circulação do vírus em âmbito global (WHO, 2023a). Em 13 de novembro de 2023, a Comissão Nacional de Saúde da China relatou aumento na incidência de doenças respiratórias, atribuído à circulação de patógenos conhecidos, como o SARS-CoV-2, o vírus influenza e o vírus sincicial respiratório (United Nations, 2024). As autoridades

destacaram a importância de reforçar a vigilância dentro e fora das unidades de saúde, bem como ampliar a capacidade de resposta dos sistemas assistenciais (WHO, 2023a).

No Brasil, em fevereiro de 2024 foram registradas cerca de 300 mil infecções e 1.536 óbitos (BRASIL, 2024). O Observatório de Saúde na Infância da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) notificou 48 mortes por COVID-19 e 148 por SRAG, entre crianças e adolescentes com menos de 14 anos, no mesmo período (FIOCRUZ, 2024). Diante desse cenário, a Portaria SMSA/SUS-BH nº 0205/2024, emitida pela Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte, estabeleceu protocolos gerais de vigilância em saúde pública para o município. Entre as medidas, destaca-se o uso obrigatório da máscara N95/PFF2 por profissionais de saúde durante procedimentos que geram aerossóis e no atendimento a casos suspeitos ou confirmados de doenças transmitidas por aerossóis (Belo Horizonte, 2024).

A pandemia de COVID-19, juntamente com os surtos causados por outros vírus respiratórios, reforçou a relevância das medidas de precaução, como uso de máscaras, a higiene das mãos, o distanciamento social e a vacinação, na prevenção da disseminação de agentes infecciosos. Tais práticas se consolidam como estratégias essenciais para a proteção da saúde individual e coletiva, ressaltando a necessidade contínua de vigilância epidemiológica, preparação estruturada e resposta global coordenada diante de futuras emergências sanitárias (CDC, 2024).

2.2 Estratégias para o controle e prevenção da transmissão de vírus respiratórios em ambientes de saúde

Indubitavelmente, as infecções por vírus respiratórios, particularmente a COVID-19, afetaram de forma desproporcional os profissionais de saúde em comparação à população geral. Embora esse grupo represente menos de 3% da população mundial, foi responsável por cerca de 14% dos casos reportados durante a pandemia de SARS-CoV-2, evidenciando uma exposição relevante e risco elevado (Teixeira *et al.*, 2020). Esse cenário ressalta a necessidade urgente de compreender profundamente os mecanismos de transmissão viral e os contextos em que esses agentes se disseminam com maior facilidade. Tal compreensão é essencial para a formulação e implementação de estratégias eficazes de prevenção e controle de infecções em ambientes de saúde, visando à proteção dos trabalhadores, pacientes e da comunidade (CDC, 2024).

A diversidade de agentes patogênicos capazes de causar infecções é vasta, incluindo bactérias, fungos, parasitas, príons e vírus. Esses organismos podem se propagar por diversas vias, de acordo com suas características e o ambiente. Alguns patógenos possuem a capacidade de se espalhar por múltiplos modos de transmissão, o que torna a prevenção e o controle ainda mais complexos (Siegel *et al.*, 2024). Reconhecendo essa complexidade, o *Centers for Disease Control and Prevention* (2024) destaca três principais vias de transmissão: contato (direto e indireto), gotículas respiratórias e aerossóis.

A transmissão dos patógenos respiratórios como SARS-CoV-2, influenza e outros vírus ocorre predominantemente por gotículas respiratórias, expelidas por espirros, tosse ou fala (ANVISA, 2025; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024). Essas partículas, com diâmetro entre 5 e 10 μm , transportam microrganismos capazes de atingir mucosas orais, nasais ou conjuntivas de indivíduos situados geralmente a até um metro de distância (ANVISA, 2025; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024). Fatores ambientais como velocidade de emissão, umidade, ventilação e temperatura do ambiente influenciam substancialmente a transmissão (Chan *et al.*, 2020; Hamner *et al.*, 2020; Ong *et al.*, 2020).

Entre outras rotas de disseminação, destaca-se a transmissão por contato direto e indireto. No primeiro caso, as secreções exaladas por uma pessoa infectada podem ser transferidas durante o contato físico, como um aperto de mão, possibilitando a entrada de patógenos pelas mucosas (Siegel *et al.*, 2024; Onakpoya *et al.*, 2021). Por outro lado, a transmissão indireta ocorre por meio de fômites, isto é, objetos e superfícies contaminados como estetoscópios, termômetros, barras protetoras de camas, maçanetas, equipamentos médicos, que, quando manipulados sem a higienização adequada das mãos, favorecem a contaminação cruzada entre pacientes, superfícies e profissionais de saúde (ANVISA, 2025; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024).

A viabilidade do SARS-CoV-2 em superfícies inanimadas depende do tipo de material, das condições ambientais e da carga viral presente, o que reforça a importância da adoção de protocolos rigorosos de limpeza e desinfecção em ambientes de assistência à saúde (Eslami; Jalili, 2020). Embora estudos indiquem que o vírus pode permanecer viável por períodos prolongados: até 4 horas em cobre, 24 horas em madeira, tecido e papelão, 48 horas vidro, aventais, 72 a 96 horas em aço inoxidável e plástico, e até sete dias na parte externa de máscaras cirúrgicas, esses dados devem ser interpretados com cautela, uma vez que derivam de experimentos realizados sob condições laboratoriais

controladas, as quais nem sempre refletem a complexidade dos contextos clínicos (Doremalen *et al.*, 2020; Eslami; Jalili, 2020; Suman *et al.*, 2020).

Apesar do contato direto, indireto e as gotículas respiratórias sejam os principais modos de transmissão de vírus respiratórios, há evidências consistentes de que, em determinados contextos clínicos, a via aérea por aerossóis também se torna relevante (CDC, 2023). Procedimentos, classificados como geradores de aerossóis são capazes de liberar no ambiente partículas virais com diâmetro inferior a 5 µm, que, devido à sua baixa densidade, permanecem suspensas no ar por longos períodos e percorrem distâncias significativas (Siegel *et al.*, 2024). Quando inaladas, essas partículas podem atingir as porções mais profundas do trato respiratório, constituindo uma via altamente eficiente de disseminação viral (Siegel *et al.*, 2024; Heneghan *et al.*, 2021). Entre esses procedimentos, destacam-se a intubação traqueal, ressuscitação cardiopulmonar, traqueostomia, aspiração aberta, ventilação manual pré-intubação, ventilação não invasiva com pressão positiva, desconexão de ventiladores, broncoscopia, nebulização de medicamentos e a pronação do paciente (OPAS; OMS, 2021).

Profissionais de saúde, especialmente aqueles que atuam em unidades de terapia intensiva e estão diretamente envolvidos na realização de procedimentos geradores de aerossóis, encontram-se entre os grupos mais vulneráveis à infecção por COVID-19 e outras viroses respiratórias (Bernades *et al.*, 2021; Chang *et al.*, 2020; Nguyen *et al.*, 2020). Este risco é potencializado em ambientes fechados, com ventilação inadequada ou superlotados, nos quais a permanência prolongada de indivíduos (superior a 15 min), favorece substancialmente a disseminação aérea de patógenos respiratórios (Siegel *et al.*, 2024; Katelaris *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, torna-se imprescindível a adoção de estratégias rigorosas de prevenção e controle de infecções respiratórias, com foco tanto na segurança ocupacional dos profissionais de saúde quanto na proteção dos pacientes. Medidas como adequada ventilação dos ambientes assistenciais, o uso correto e consistente dos equipamentos de proteção individual, além da realização criteriosa de procedimentos geradores de aerossóis, apenas quando estritamente necessários, são fundamentais. A implementação dessas práticas, em conformidade com protocolos e diretrizes nacionais e internacionais, contribui significativamente para a mitigação dos riscos de transmissão nos serviços de saúde (Siegel *et al.*, 2024).

2.2.1 Precaução padrão em ambientes hospitalares

As precauções padrão consistem em um conjunto de medidas preventivas adotadas com o pressuposto de que todos os pacientes podem estar colonizados ou infectados por microrganismos potencialmente transmissíveis. Por esta razão, sua adoção deve ser universal e sistemática, independentemente do diagnóstico clínico ou condição apresentada (ANVISA, 2024; Siegel *et al.*, 2024; WHO, 2022b).

Considerando a alta prevalência e o potencial de transmissão de doenças infecciosas respiratórias em contextos hospitalares, a implementação efetiva dessas precauções é reconhecida como uma estratégia essencial de segurança, tanto para pacientes quanto para profissionais de saúde. A adesão inconsistente ou inadequada está diretamente associada ao aumento do risco de transmissão cruzada de microrganismos (ANVISA, 2024; Siegel *et al.*, 2024).

Entre as práticas fundamentais que compõe as precauções padrão, destacam-se: higienização adequada das mãos; a etiqueta respiratória, que envolve cobrir a área ao redor do nariz e da boca ao tossir e espirrar, bem como o uso de lenços descartáveis; o uso correto e criterioso de EPIs, conforme o risco inerente a cada procedimento; a limpeza e desinfecção sistemática de superfícies e equipamentos utilizados na assistência; e o manejo seguro de resíduos e materiais perfurocortantes, conforme os protocolos estabelecidos (ANVISA, 2024; Siegel *et al.*, 2024; WHO, 2022b).

Higienização das mãos

Evidências da literatura consolidam a higiene das mãos não apenas como uma prática essencial, mas como um dos pilares centrais na prevenção e controle da disseminação de agentes infecciosos respiratórios, bem como de outros microrganismos de relevância epidemiológica (ANVISA, 2024; CDC, 2024; WHO, 2022b; Haque, 2020). Trata-se de uma medida simples, eficaz e de baixo custo, amplamente reconhecida como ação prioritária dentro das precauções padrão (ANVISA, 2024; CDC, 2024; WHO, 2022b).

A higienização eficaz das mãos deve ser realizada com água e sabonete líquido em situações em que as mãos estejam visivelmente sujas ou contaminadas com sangue ou outros fluidos corporais, bem como após o contato com pacientes colonizados ou infectados por microrganismos formadores de esporos, como o *Clostridium difficile*. Para

outras circunstâncias, recomenda-se a aplicação de preparações alcoólicas, reconhecidas por sua ação antisséptica rápida e ampla (ANVISA, 2024; Siegel *et al.*, 2022). Além disso, é fundamental que as instituições disponibilizem infraestrutura e insumos adequados, promovam programas de educação continuada, reforcem a prática por meio de campanhas visuais educativas e incorporem a monitorização sistemática da adesão (ANVISA, 2024; Siegel *et al.*, 2024).

Neste contexto, a Organização Mundial de Saúde (2009) definiu os Cinco Momentos para Higienização das Mãos, visando maximizar o impacto dessa prática nas ações de cuidado ao paciente:

- a) **Antes de contato com o paciente:** para evitar a transferência de microrganismos do profissional de saúde para o paciente.
- b) **Antes da realização de procedimento asséptico:** para assegurar um ambiente asséptico, prevenindo a contaminação durante procedimentos.
- c) **Após risco de exposição a fluidos corporais:** para proteger o profissional de saúde e preservar a segurança do ambiente assistencial próximo ao paciente, evitando que microrganismos presentes em sangue, secreções ou outros fluidos corporais sejam disseminados para outros pacientes, profissionais ou superfícies.
- d) **Após contato com o paciente:** para evitar a disseminação de patógenos adquiridos durante o contato com um paciente para outras áreas do ambiente de cuidado, preservando a segurança de todos os indivíduos dentro da instituição de saúde.
- e) **Após contato com as áreas próximas ao paciente:** para impedir a transmissão indireta de microrganismos presentes em superfícies ou equipamentos próximos ao paciente.

A Figura 1 ilustra esses momentos, evidenciando a importância da higiene das mãos como uma das práticas mais eficazes na prevenção e controle de infecções em ambientes de saúde.

Figura 1 - Representação dos Cinco Momentos para Higienização das Mãos conforme diretriz da Organização Mundial de Saúde, adotada em publicações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária



Fonte: ANVISA (2024); WHO (2009)

Higiene respiratória/Etiqueta da tosse

A inclusão da etiqueta da tosse como componente essencial das precauções padrão representou um marco nas estratégias de controle de infecções respiratórias. Introduzidas durante a epidemia de SARS-CoV em 2003, essa medida preventiva visa conter a disseminação de gotículas potencialmente infecciosas por indivíduos sintomáticos, sejam pacientes, visitantes ou profissionais de saúde, em ambientes assistenciais (Siegel *et al.*, 2024; WHO, 2014). Desde então, sua importância foi amplamente reafirmada diante de outras emergências de saúde pública, como as pandemias de influenza H1N1 e de COVID-19, consolidando-a como uma prática indispensável para a prevenção da transmissão de agentes respiratórios (ANVISA, 2024; CDC, 2024; WHO, 2022b).

A etiqueta da tosse consiste em um conjunto de ações simples e eficazes, como cobrir nariz e boca com lenço descartável ao tossir ou espirrar, descartá-lo imediatamente e higienizar as mãos com água e sabão ou preparação alcoólica. Na ausência de lenço, recomenda-se utilizar a parte interna do antebraço, evitando o uso das mãos.

Adicionalmente, é fundamental evitar tocar o rosto, nariz e boca, a fim de prevenir a autoinoculação e a disseminação de microrganismos patogênicos (Siegel *et al.*, 2024).

Equipamentos de proteção individual para precauções padrão

No âmbito das precauções padrão, os equipamentos de proteção individual desempenham um papel essencial na prevenção da transmissão de infecções em ambientes de saúde (Siegel *et al.*, 2024; Chang *et al.*, 2020). Esses equipamentos são selecionados com base na natureza da interação entre o profissional de saúde e o paciente, bem como no tipo de exposição potencial a agentes infecciosos. A utilização adequada do EPI não só protege os profissionais de saúde, mas também minimiza o risco de transmissão cruzada para pacientes e outros indivíduos dentro do ambiente de saúde (ANVISA, 2024; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024; WHO, 2022b).

O emprego adequado dos EPIs deve ser determinado pela avaliação do risco de exposição ao patógeno e pelo entendimento da sua dinâmica de transmissão, seja por contato direto, por gotículas ou via aerossóis. Portanto, a adoção de uma abordagem racional no uso desses materiais é vital, dada a sua natureza de recurso limitado e indispensável para a proteção efetiva em ambientes de cuidado (WHO, 2022b).

Nos protocolos de precauções padrão, os principais EPIs recomendados incluem máscaras cirúrgicas ou de procedimento, luvas, proteção ocular (óculos de segurança ou protetores faciais) e aventais ou capotes, cada um com função específica na proteção contra a transmissão de patógenos (CDC, 2024; WHO, 2022b):

- a) **Máscaras Cirúrgicas ou de Procedimento:** utilizadas para evitar a inalação ou a emissão de gotículas, sendo indicadas tanto para profissionais de saúde quanto para pacientes com sintomas respiratórios.
- b) **Luvas:** destinadas à proteção das mãos durante o contato com sangue, fluidos corporais, secreções, excreções ou superfícies contaminadas.
- c) **Proteção Ocular (óculos de segurança ou protetores faciais):** recomendada em procedimentos que possam gerar respingos de fluidos corporais, protegendo as mucosas oculares.
- d) **Aventais ou Capotes:** indicados para proteger pele e roupas contra exposição a fluidos corporais, especialmente em procedimentos de maior risco à exposição a materiais infecciosos.

A efetividade dos EPIs depende diretamente de sua seleção apropriada e do uso correto em todas as etapas, desde a paramentação até a desparamentação. A manipulação inadequada desses equipamentos representa um fator de risco significativo para infecções ocupacionais, especialmente em emergências sanitárias (WHO, 2022b; Ribeiro *et al.*, 2020; Verbeek *et al.*, 2020). Dessa forma, é fundamental que instituições de saúde invistam em programas abrangentes de capacitação, com foco em técnicas seguras de uso, remoção e descarte dos EPIs, assegurando a proteção de profissionais, pacientes e do ambiente assistencial como um todo (CDC, 2024; WHO, 2022b).

Limpeza e desinfecção de superfícies no ambiente

A limpeza e desinfecção de superfícies em ambientes hospitalares configura-se como uma estratégia essencial na prevenção e controle de infecções, abrangendo ambientes e equipamentos frequentemente expostos à contaminação. Entre estes, incluem-se mobiliário, paredes, interruptores, dispositivos de uso clínico como termômetros, estetoscópios, manguitos de esfigmomanômetros, cadeiras de rodas e incubadoras. Tais superfícies e instrumentos, frequentemente expostos a procedimentos ou de uso compartilhado entre pacientes, constituem potenciais reservatórios de vírus respiratórios infecciosos (Ong *et al.*, 2020; Ye *et al.*, 2020).

Pesquisas evidenciam maior risco de contaminação em unidades de terapia intensiva, em comparação a setores de internação geral, especialmente em áreas frequentemente tocadas, como grades de camas, equipamentos eletrônicos e maçanetas (Guo *et al.*, 2020; Ye *et al.*, 2020). Em um estudo que analisou a presença de material genético do SARS-CoV-2 antes e após procedimento da limpeza e desinfecção, observou-se uma redução significativa na detecção viral, de 61% para 0%, reforçando a eficácia dessas práticas na contenção da disseminação de patógenos (Ong *et al.*, 2020).

Neste contexto, a implementação sistemática de medidas rigorosas de limpeza e desinfecção, especialmente em superfícies de contato frequente e equipamentos compartilhados, é fundamental para interromper a cadeia de transmissão de microrganismos. Tais ações promovem um cuidado mais seguro, protegendo profissionais, pacientes e demais frequentadores dos serviços de saúde (ANVISA, 2024; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024; Kampf *et al.*, 2020; Koh, 2020).

Descarte de material perfurocortante

O descarte adequado de materiais perfurocortantes representa uma mediada essencial de biossegurança nos serviços de saúde, sendo reconhecido como um componente crítico das estratégias de prevenção de acidentes ocupacionais e infecções cruzadas (CDC, 2024; ANVISA, 2018). Itens, como agulhas, seringas e outros objetos perfurantes ou cortantes devem ser descartados imediatamente após o uso, pelo próprio profissional que os manuseou, no local de realização do procedimento (CDC, 2024; ANVISA, 2018).

É importante destacar que a eliminação de agulhas e seringas descartáveis deve ocorrer de forma integral, sem desconexões ou recapeamento, práticas que aumentam significativamente o risco de acidentes com exposição a material biológico. Os coletores utilizados para este fim, devem ser confeccionados com material rígido e resistente à perfuração, ruptura ou vazamentos, mesmo sob condições adversas, como quedas ou pressões acidentais e que não ultrapassem 75% da sua capacidade total, respeitando os limites indicados para prevenir transbordamentos (CDC, 2024; ANVISA, 2018).

Esses recipientes devem ser devidamente identificados quanto ao conteúdo e aos riscos envolvidos, possuir tampas com fechamento e ser instalados em suportes técnicos, em locais de fácil visualização e acesso, próximos ao ponto de uso, otimizando a segurança durante o descarte e reduzindo a probabilidade de acidentes com exposição ocupacional (CDC, 2024; ANVISA, 2018). A adoção sistemática dessas práticas reforça o compromisso institucional com a segurança do profissional de saúde e a integridade do ambiente assistencial.

2.2.2 Precauções específicas ou baseadas na transmissão

As precauções específicas, também denominadas precauções baseadas nas vias de transmissão, referem-se a um conjunto de condutas complementares adotadas em situações nas quais as precauções padrão não são suficientes para evitar a propagação de determinados microrganismos. Sua aplicação depende de avaliação clínica individualizada, considerando a via predominante de transmissão do agente infeccioso, a gravidade da doença provocada, as características do ambiente assistencial e os procedimentos realizados (Siegel *et al.*, 2024). São classificadas em três categorias: precaução de contato, precaução por gotículas respiratórias e precaução por aerossóis,

cada uma orientada para a contenção de patógenos conforme seu modo de disseminação (Siegel *et al.*, 2024).

a) **Precaução de contato**

A precaução de contato é indicada para evitar a disseminação de agentes infecciosos por meio do contato direto com o paciente ou indireto, via superfícies e equipamentos. Essa medida exige medidas específicas para reduzir o risco de transmissão cruzada (Siegel *et al.*, 2024; WHO, 2014):

- **Isolamento do paciente:** sempre que possível, o paciente deve ser mantido em quarto privativo. Quando não houver disponibilidade, recomenda-se o isolamento em coorte, agrupando pacientes com o mesmo agente etiológico, mantendo-se ao menos um metro de distância entre os leitos. Em caso de infecções respiratórias, é importante separar os casos suspeitos dos confirmados.
- **Uso de EPI:** aventais e luvas descartáveis devem ser utilizadas em toda manipulação direta do paciente, bem como durante o manuseio de dispositivos e superfícies próximas ao leito, como sondas, cateteres venosos, circuitos ventilatórios, equipamentos médicos e grades da cama. A paramentação deve ser realizada imediatamente antes do contato com o paciente ou com as superfícies e a desparamentação logo após a conclusão da atividade.

A higienização das mãos deve anteceder a paramentação dos EPIs e ser realizada novamente após sua remoção. Luvas e aventais devem ser cuidadosamente retirados dentro do quarto ou na área destinada ao isolamento e descartados como resíduos infectantes, prevenindo riscos adicionais de contaminação.

Equipamentos médicos, como termômetros e estetoscópios, devem ser de uso individual e submetidos à limpeza e desinfecção após cada atendimento, prevenindo sua atuação como fontes de transmissão de microrganismos.

Recomenda-se ainda limitar a quantidade de materiais e dispositivos armazenados no quarto do paciente. Itens que não possam ser submetidos a processos seguros de limpeza, desinfecção ou esterilização devem ser descartados como resíduo infectante logo após a desocupação do leito, assegurando um ambiente assistencial seguro e livre de agentes patogênicos.

- **Limpeza e desinfecção:** superfícies frequentemente tocadas e equipamentos

localizados no ambiente do paciente devem ser submetidos à limpeza e desinfecção diária.

- **Restrição de transporte:** a movimentação de pacientes sob precaução de contato para outras áreas do hospital deve ser evitada sempre que possível. Quando o transporte for estritamente necessário, as medidas de precaução devem ser mantidas durante todo o deslocamento. O profissional responsável deve estar adequadamente paramentado, e, ao término do trajeto, a maca ou cadeira de rodas utilizada deve ser imediatamente higienizada, com limpeza e desinfecção conforme os protocolos institucionais vigentes.

b) Precaução por gotículas respiratórias

A precaução por gotículas é indicada para a contenção de microrganismos transmitidos por partículas respiratórias com diâmetro superior a 5 μm , que podem ser expelidas durante a fala, tosse ou espirro por indivíduos infectados. Essas gotículas tendem a percorrer curtas distâncias e se depositam rapidamente em superfícies, representando risco significativo de contaminação em ambientes assistenciais (ANVISA, 2024; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024).

Entre as medidas recomendadas, destaca-se o uso obrigatório de máscaras cirúrgicas por todos que mantêm contato próximo com o paciente, bem como a preferência pela alocação em quarto privativo. Na indisponibilidade desse recurso, o isolamento em coorte é uma alternativa viável, desde que sejam agrupados pacientes com o mesmo agente etiológico e respeitado o distanciamento mínimo entre os leitos (ANVISA, 2024; CDC, 2024).

A adoção rigorosa da higiene das mãos, antes e após qualquer contato com o paciente ou superfícies do seu entorno, é fundamental para interromper possíveis cadeias de transmissão. Adicionalmente, o uso de proteção ocular ou facial é recomendado em situações com risco aumentado de exposição, especialmente durante procedimentos que possam intensificar a emissão de gotículas (ANVISA, 2024; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024).

c) Precaução por aerossóis

As precauções destinadas à contenção de agentes infecciosos transmitidos por aerossóis compreendem medidas específicas voltadas à proteção contra partículas respiratórias menores que 5 μm , os chamados núcleos de gotículas, que permanecem suspensas no ar por longos períodos e podem percorrer distâncias consideráveis (ANVISA, 2024; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024).

Neste cenário, preconiza-se a substituição da máscara cirúrgica por máscaras N95/PFF2 para profissionais de saúde que atendem pacientes com suspeita ou confirmação de doenças transmitidas por aerossóis, como tuberculose, sarampo e afins. Esses dispositivos também são indicados durante a realização ou assistência em procedimentos geradores de aerossóis em casos de COVID-19, influenza, rinovírus e outros (Siegel *et al.*, 2024). Adicionalmente, seu uso torna-se imprescindível em ambientes com ventilação inadequada, onde o risco de transmissão aérea é potencializado (CDC, 2024).

Cabe ressaltar, ainda, a importância do uso complementar de outros EPIs. Aventais de mangas longas, com gramatura adequada à exposição a fluidos corporais, no mínimo de 30 g/m^2 em situações padrão e 50 g/m^2 para ambientes com risco de exposição a grandes volumes de fluidos corporais, são essenciais para evitar a contaminação da pele e das vestimentas. O uso de gorros contribui para a proteção das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2, do cabelo e da cabeça, enquanto óculos de proteção ou *face shields* formam barreiras eficazes contra respingos de sangue, secreções e excreções e demais fluidos, garantindo proteção ocular (ANVISA, 2024; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024).

Nas precauções aéreas, os pacientes devem ser alocados, preferencialmente, em quartos privativos com portas permanentemente fechadas. O transporte para fora da unidade deve ser restrito a situações clinicamente necessárias e, nesse caso, é fundamental definir rotas seguras e garantir o uso da máscara cirúrgica pelo paciente, afim de reduzir a dispersão de partículas no ambiente e proteger profissionais, outros pacientes e visitantes (ANVISA, 2024; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024).

2.3 Proteção respiratória pelo uso da máscara N95/PFF2

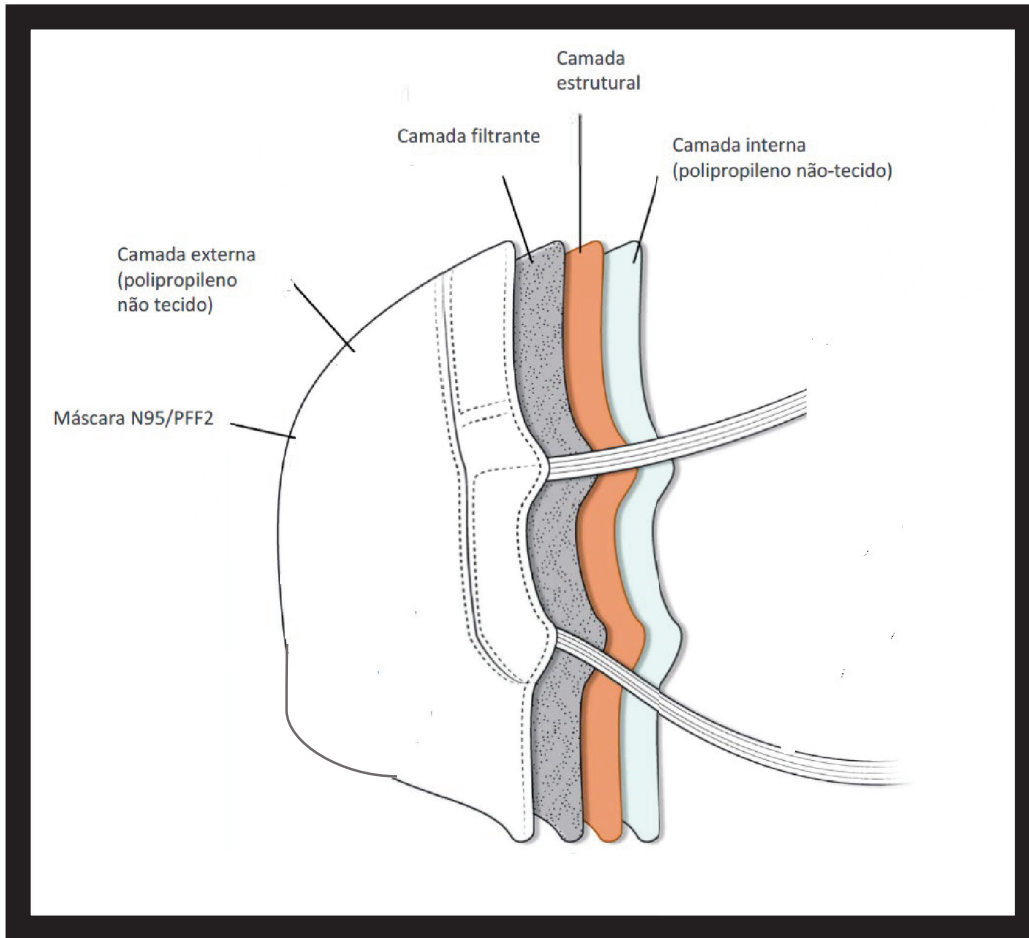
As máscaras N95/PFF2 são reconhecidas como um equipamento proteção individual prioritário para prevenção da transmissão de doenças respiratórias por

aerossóis, como tuberculose, COVID-19 e outras infecções de alta transmissibilidade (Siegel *et al.*, 2024; CDC; NIOSH, 2018). Dessa forma, torna-se relevante conhecer seus mecanismos de proteção para melhor compreensão dos riscos de transmissão de agentes infecciosos associados ao seu uso.

Em termos de composição, as máscaras N95/PPF2 são constituídas por quatro a seis camadas de materiais fibrosos não tecidos, cuja disposição e função variam conforme o fabricante (O'Dowd *et al.*, 2020; CDC; NIOSH, 2018). As camadas externas e interna entram em contato direto com o ambiente e com a face do usuário, respectivamente, e, são compostas por polipropileno com propriedades hidrofóbicas, desenvolvidas para repelir tanto a umidade do meio externo quanto aquela gerada pela respiração. Essa característica é essencial para preservar a integridade estrutural do filtro, mantendo o dispositivo seco e sua capacidade de retenção de partículas durante todo o período de uso.

Entre essas camadas, destacam-se as intermediárias: a camada filtrante e a camada de suporte. A primeira é formada por uma rede de fibras eletrostaticamente carregadas, projetadas para capturar partículas contaminantes por meio de diferentes mecanismos: impactação inercial, interceptação e difusão, assegurando uma barreira altamente eficiente contra partículas de variados tamanhos. Já a camada de suporte tem a função de conferir estrutura, estabilidade e espessura ao dispositivo, contribuindo para manutenção do formato anatômico, funcionalidade e conforto durante o uso (Tcharkhtchi *et al.*, 2021; O'Dowd *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2018). A organização dessas camadas é ilustrada na Figura 2.

Figura 2 - Composição das quatro camadas de uma máscara N95/PFF2



Fonte: Adaptado Zhou *et al.* (2018)

Além das camadas que compõem a máscara N95/PFF2, os componentes de fixação são essenciais para assegurar tanto a vedação adequada quanto o conforto do usuário (CDC; NIOSH, 2020). Esses elementos, que incluem tiras elásticas ajustáveis, são fabricados a partir de elastômeros como poliisopreno, látex (natural ou sintético) e poliuretano, oferecendo flexibilidade e resistência. Essas propriedades permitem que as alças se adaptem a diferentes tamanhos e formatos de cabeça, promovendo estabilidade durante o uso (CDC; NIOSH, 2020). Adicionalmente, a máscara N95/PFF2 possui um clipe nasal moldável, geralmente confeccionado em metal revestido, que possibilita um ajuste preciso ao contorno do nariz, minimizando o vazamento do ar e contribuindo para a eficácia da vedação (CDC; NIOSH, 2020).

Crucialmente, a máscara N95/PFF2, destinada a cobrir a área ao redor do nariz e da boca, é projetada para filtrar partículas aéreas de até $0,3 \mu\text{m}$, atendendo a rigorosos padrões de eficiência de proteção respiratória (CDC; NIOSH, 2020). Para garantir sua

máxima eficácia, três características fundamentais devem ser observados: (1) alta capacidade de filtração, (2) ajuste adequado ao rosto do usuário, assegurando vedação completa, e (3) uso correto e contínuo durante todo o período de exposição (CDC; NIOSH, 2020). Estes elementos são determinantes para a efetividade da máscara N95/PFF2 na proteção contra agentes patogênicos, promovendo a segurança ocupacional dos profissionais de saúde em ambientes de alto risco.

2.3.1 Eficiência de filtração da máscara N95/PFF2

As máscaras N95/PFF2 são categorizadas com base na sua capacidade de filtragem de partículas em suspensão no ar. No Brasil, a classificação segue a norma ABNT NBR 13698:2011, que estabelece três categorias: PFF1, PFF2 e PFF3 (Peça Semifacial Filtrante para Partículas), conforme a resistência do material filtrante e o grau de retenção de partículas. A avaliação é realizada por meio de testes com aerossóis de cloreto de sódio sob fluxo de ar contínuo de 95 litros por minuto, como demonstrado na Tabela 1 (ABNT, 2011).

Tabela 1 - Limites máximos de penetração para aerossóis de cloreto de sódio, avaliado sob fluxo de ar contínuo de 95 litros por minuto

| Classe do filtro | Penetração máxima permitida (%) |
|------------------|---------------------------------|
| | % |
| PFF1* | 20 |
| PFF2 | 6 |
| PFF3 | 1 |

Nota: PFF – Peça Semifacial Filtrante para Partículas

Fonte: Norma Brasileira ABNT NBR 13698:2011

A partir desses critérios, observa-se que a PFF3 é a mais eficiente (mínimo de 99% de retenção), seguida pela PFF2 (94%) e PFF1 (80%). Essa classificação é compatível com os padrões internacionais, como a Norma Europeia EN 149:2001 + A1:2009, evidenciando uniformidade nas exigências globais dos critérios de desempenho aplicados a dispositivos de proteção respiratória (ABNT, 2011; EU, 2023).

Cabe esclarecer que, nos EUA, os dispositivos equivalentes às máscaras N95/PFF2 são denominados respiradores N95, cuja certificação é regulamentada pelo NIOSH. A classificação considera três tipos de resistência a óleo: N (não resistente), R (moderadamente resistente) e P (altamente resistente), combinada a três níveis de

eficiência: 95%, 99% e 99,97%, formando categorias como N95, N99, N100, entre outras (NIOSH, 2019).

A certificação exige, no mínimo, 95% de eficiência para partículas com diâmetro médio de 0,3 μm . Entretanto, os testes conduzidos pela norma NIOSH 42 CFR Part 84 são particularmente exigentes, utilizando aerossóis de cloreto de sódio com partículas menores (diâmetro de 0,075 $\mu\text{m} \pm 0,020 \mu\text{m}$) e um fluxo de ar constante de 85 L/min, simulando condições de respiração intensa (NIOSH, 2025).

Dessa forma, embora a classificação PFF2, segundo a norma brasileira, exija uma eficiência mínima de 94%, os diferentes protocolos de ensaio, com variações no tipo de aerossol e fluxo de teste, conferem equivalência prática entre os dois dispositivos. Isso ocorre porque, apesar das metodologias distintas, ambas apresentam rigor técnico comparável, assegurando níveis semelhantes de proteção respiratória em contextos clínicos (ABNT, 2011; NIOSH, 2025).

Adicionalmente, é fundamental que as máscaras N95/PFF2 cumpram integralmente os requisitos regulatórios estabelecidos em cada país. No contexto brasileiro, isso inclui a obtenção do Certificado de Aprovação (CA), emitido pelo MTE, conforme estipulado pela Norma Regulamentadora nº6 (NR-06), além do registro junto à ANVISA, conforme a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 185, de 22 de outubro de 2001. A observância dessas normas regulatórias assegura que o EPI comercializados no Brasil atendam aos padrões exigidos de qualidade e segurança, proporcionando proteção eficaz aos profissionais de saúde em contextos de exposição a riscos.

2.3.2 Vedação da máscara N95/PFF2

A eficácia das máscaras N95/PFF2 vai além da capacidade de filtração, sendo a vedação adequada ao rosto do usuário um fator determinante para garantir proteção efetiva contra aerossóis infecciosos. Um ajuste preciso ao contorno facial, cobrindo nariz e boca sem deixar espaços por onde possa ocorrer a entrada de ar não filtrado, é indispensável. Para alcançar esse ajuste, são necessários procedimentos específicos e a realização de testes específicos (CDC; NIOSH, 2020).

Entre os métodos recomendados para assegurar a vedação das máscaras N95/PFF2, destacam-se três abordagens principais: o *fit* test qualitativo, um método subjetivo que avalia a percepção do usuário quanto à presença de substâncias com sabor ou odor - como soluções sacarinas (adoçantes) ou amargas - como indicativo de falha no

ajuste; o *fit test* quantitativo, considerado padrão ouro, que mede objetivamente a concentração de partículas de aerossol dentro e fora do dispositivo; e a verificação da vedação (*seal check*), realizada pelo próprio usuário antes de cada uso (CDC, NIOSH, 2020).

A diversidade de tamanhos e formatos disponíveis globalmente para as máscaras N95/PFF2 reforça a importância desses testes, tanto qualitativos quanto quantitativos, para assegurar uma vedação eficaz e, conseqüentemente, uma proteção eficaz. Recomenda-se que os *fit test* sejam realizados periodicamente, ou sempre que houver alterações relevantes na fisionomia do profissional, como perda ou ganho de peso, cirurgias faciais ou cicatrizes recentes (CDC; NIOSH, 2020).

Apesar de sua importância reconhecida, a implementação sistemática do *fit test* nas instituições hospitalares enfrenta obstáculos em diversos países, incluindo a escassez de programas de treinamento especializados, a limitada disponibilidade de modelos que se ajustem a diferentes formatos faciais (CDC; NIOSH, 2020). Esses desafios tornam-se ainda mais evidentes considerando a necessidade de tempo, recursos financeiros e da escassez de equipes clínicas qualificadas para conduzir as avaliações, especialmente durante emergências sanitárias, como pandemias (Regli *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, a verificação da vedação pelo próprio usuário representa uma etapa prática e essencial para garantir o ajuste ao rosto do usuário. Trata-se de um procedimento simples, que deve ser realizado imediatamente após a paramentação e antes de ingressar em áreas de risco, ou sempre que for necessário reajustar o dispositivo, sobretudo em contextos de uso prolongado. Organizações sanitárias mundiais recomendam o treinamento contínuo dos profissionais de saúde para promover a correta execução dessa prática (ANVISA, 2024; WHO, 2022b; CDC; NIOSH, 2020)

Existem dois métodos de verificação de vedação: o teste de pressão positiva, em que o usuário realiza uma expiração forçada com a máscara N95/PFF2 em posição e avalia se há vazamento de ar; e o teste de pressão negativa, baseado em uma inspiração profunda que deve causar uma leve sucção do dispositivo contra o rosto. Caso qualquer um dos testes indique falhas na vedação, é necessário ajustar a posição da máscara N95/PFF2 e/ou as tiras de fixação até obter um ajuste apropriado. Essa prática reitera a conexão entre a implementação eficaz do *fit test* e a verificação de vedação, sublinhando a importância de superar os desafios iniciais para assegurar a proteção adequada dos profissionais de saúde (ANVISA, 2024; CDC; NIOSH, 2020).

2.3.3 Uso adequado da máscara N95/PFF2

O uso correto das máscaras N95/PFF2 é fundamental para a proteção dos profissionais de saúde contra partículas transportadas pelo ar, atuando como uma barreira eficaz na prevenção da exposição a agentes infecciosos. Estudos demonstraram que o uso adequado desses dispositivos reduz substancialmente o risco de infecções respiratórias, especialmente em ambientes de alta exposição, como unidades de terapia intensiva (WHO, 2022b).

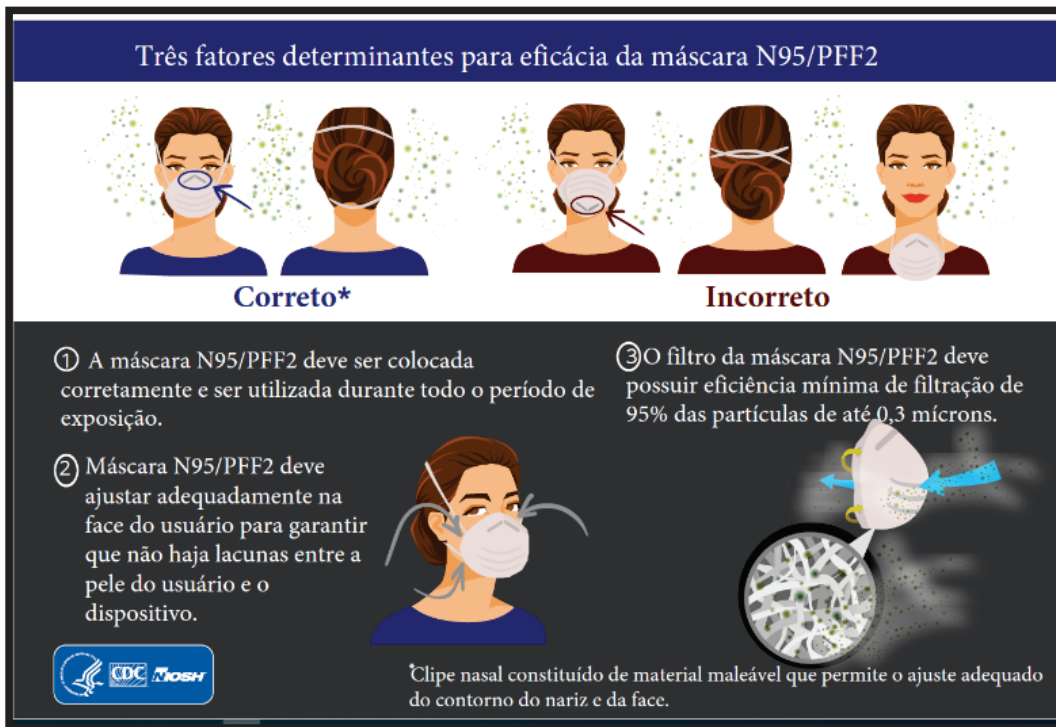
Para garantir a eficácia da proteção, algumas práticas são indispensáveis. Em primeiro lugar, o posicionamento correto da máscara N95/PFF2 é essencial: ela deve cobrir completamente o nariz e a boca, estendendo-se até abaixo do queixo. As tiras de fixação devem ser ajustadas de modo que a superior fique posicionada sobre a parte alta da cabeça, acima das orelhas, e a inferior, abaixo, na região da nuca, proporcionando vedação segura e confortável (CDC; NIOSH, 2020).

O ajuste do clipe nasal também merece atenção especial. Com as pontas dos dedos, o clipe deve ser moldado para se adaptar ao formato do nariz e das laterais do rosto, minimizando a entrada de partículas pelo espaço existente entre o dispositivo e a pele (CDC; NIOSH, 2020).

Além disso, o manuseio e o descarte adequado das máscaras N95/PFF2 são indispensáveis. Deve-se evitar tocar a parte frontal do dispositivo durante o uso, pois essa região pode estar contaminada. A máscara N95/PFF2 deve ser descartada imediatamente em caso de dificuldade respiratória, ou se apresentar sinais de sujidade, umidade, integridade comprometida, ou quando contaminada com sangue ou fluidos corporais (CDC; NIOSH, 2020).

A figura 3 ilustra os principais fatores determinantes para a eficácia da máscara N95/PFF2, destacando a importância do uso e ajuste correto. Tais orientações são essenciais para garantir a segurança dos profissionais de saúde em ambientes com risco elevado de exposição.

Figura 3 - Fatores determinantes para a eficácia da máscara N95/PFF2



Fonte: Adaptado CDC; NIOSH (2020)

2.3.4 A importância da paramentação e desparamentação segura com foco na máscara N95/PFF2

A correta paramentação e desparamentação, ou seja, os procedimentos de colocação e retirada segura da máscara N95/PFF2, são etapas críticas para o uso eficaz desse equipamento de proteção individual. Essas práticas visam minimizar o risco de contaminação do profissional de saúde, sobretudo devido ao contato inadvertido com a superfície externa da máscara N95/PFF2, e devem sempre ser acompanhadas de rigorosa higienização das mãos antes e após o manuseio (CDC, 2021; De Perio *et al.*, 2020).

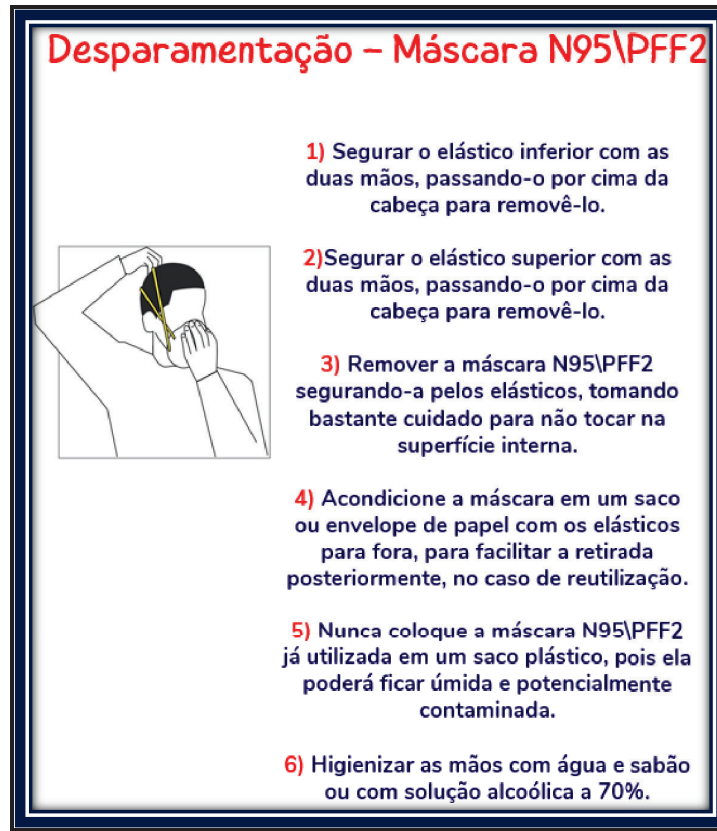
As orientações detalhadas para a paramentação e desparamentação das máscaras N95/PFF2 estão apresentadas nas Figuras 4 e 5, com destaque para as etapas e recomendações de boas práticas a serem seguidas pelos profissionais de saúde (Conselho Federal de Enfermagem [COFEN]; Conselho Regional de Enfermagem [COREN], 2020):

Figura 4 - Orientações sobre a paramentação da máscara N95/PFF2



Fonte: Adaptado de COFEN; COREN (2020)

Figura 5 - Orientações sobre a desparamentação da máscara N95/PFF2



Fonte: Adaptado de COFEN; COREN (2020)

Além desses cuidados, a gestão da reutilização das máscaras N95/PFF2 exige atenção especial quanto ao armazenamento. Os serviços de saúde devem disponibilizar locais adequados para o acondicionamento desses dispositivos, garantindo a proteção contra danos estruturais, contaminação, exposição à poeira, luz solar direta, variações extremas de temperaturas, umidade excessiva e exposição a produtos químicos (ANVISA, 2024; CDC, 2024).

Nesse panorama, é imprescindível que os estabelecimentos promovam treinamentos específicos sobre os processos de paramentação e desparamentação e armazenamento das máscaras N95/PFF2. Tais iniciativas são fundamentais para assegurar um desempenho satisfatório desses dispositivos, contribuindo para a proteção respiratória dos profissionais de saúde e para a segurança de um ambiente assistencial (ANVISA, 2024; CDC, 2024).

2.4 Uso estendido e reutilização limitada da máscara N95/PPF2

O *Centers for Disease Control and Prevention* destaca a importância de adaptar práticas de uso das máscaras N95/PPF2 diante de circunstâncias excepcionais, como surtos e pandemias de doenças respiratórias, quando a demanda global excede a oferta disponível. A implementação do uso estendido e da reutilização desses dispositivos é uma medida estratégica para otimizar os recursos de proteção individual, especialmente em momentos críticos caracterizados pela escassez de suprimentos (NIOSH, 2023; CDC, 2021; De Perio *et al.*, 2020).

O uso estendido é definido como a prática de utilizar a mesma máscara N95/PPF2 continuamente ao atender múltiplos pacientes, sem a necessidade de remoção entre os atendimentos, sendo particularmente recomendado em áreas designadas a pacientes com o mesmo agente infeccioso respiratório. Esta abordagem visa reduzir a exposição do profissional de saúde ao patógeno e otimizar o uso dos dispositivos disponíveis (CDC, 2021; De Perio *et al.*, 2020; NIOSH, 2020).

Por outro lado, a reutilização limitada refere-se ao uso consecutivo da mesma máscara N95/PPF2 por um único profissional de saúde para atender diferentes pacientes, desde que o dispositivo seja armazenado adequadamente entre os usos. Em condições ideais, uma máscara N95/PPF2 pode ser utilizada por até oito horas de forma contínua, desde que se mantenha bem ajustada ao rosto e sem sinais de dano ou contaminação (WHO, 2020).

A prática de reutilizar das máscaras N95/PPF2 não é recente, sendo respaldada há décadas por órgãos sanitários internacionais e nacionais, não apenas em situações emergenciais, mas também no manejo de doenças respiratórias infecciosas, como a tuberculose, cuja transmissão não ocorre por contato direto (CDC, 2021; ANVISA, 2009; CDC, 1995). Essas recomendações partem do pressuposto de que a integridade e a funcionalidade das máscaras N95/PPF2 estejam preservadas, e que a reutilização não ultrapasse cinco ciclos de paramentação e desparamentação, salvo em casos em que o fabricante estabeleça limites diferentes (CDC, 2021).

A máscara N95/PPF2 deve ser descartada imediatamente em caso de contaminação por fluidos corporais, sangue, secreções respiratórias ou se a parte interna for contaminada inadvertidamente. Para potencializar a proteção, recomenda-se o uso complementar de protetores faciais (*face shield*) durante procedimentos geradores de aerossóis.

Entre as medidas recomendadas para garantir a reutilização segura das máscaras N95/PFF2, destacam-se (CDC; NIOSH, 2020; WHO, 2020).

- **Uso individualizado:** a máscara N95/PFF2 deve ser utilizada exclusivamente por um único profissional de saúde, sendo estritamente proibido o compartilhamento entre usuários, mesmo após descontaminação.
- **Armazenamento adequado entre os usos:** após a desparamentação, a máscara N95/PFF2 deve ser acondicionada em local limpo, seco e ventilado, preferencialmente em envelope de papel ou recipiente respirável identificado com o nome do usuário e data de uso, evitando contaminações cruzadas.
- **Evitar contato com a parte interna do dispositivo:** ao manusear a máscara N95/PFF2, deve-se tocar apenas nas tiras de fixação, nunca na superfície filtrante ou na parte interna. Caso ocorra contato acidental com a face interna, o dispositivo deve ser imediatamente descartado.
- **Higienização das mãos:** realizar antissepsia rigorosa antes e após qualquer contato com a máscara N95/PFF2, utilizando água e sabão ou preparações alcoólicas a 70%.
- **Inspeção visual antes de cada reutilização:** avaliar a integridade estrutural da máscara N95/PFF2, verificando a presença de sujidade, deformidades, perda da capacidade de ajuste facial, danos visíveis, afrouxamento das tiras de fixação ou deterioração do clipe nasal.
- **Descartar a máscara N95/PFF2 imediatamente:** em caso de umidade excessiva, presença de sangue, secreções respiratórias, fluidos corporais ou falha na vedação durante o uso.

2.4.1 Validade e prazo de uso das máscaras N95/PFF2

Além das estratégias de uso estendido e reutilização limitada, é fundamental considerar a validade do equipamento, conforme estabelecido pelos fabricantes e órgãos reguladores. As máscaras N95/PFF2 possuem um prazo de validade definido, geralmente de 2 a 5 anos, determinado por testes de estabilidade realizados sob condições controladas de temperatura, umidade e exposição à luz. Após esse período, mesmo que o produto permaneça selado em sua embalagem original, não há garantia de que manterá suas

propriedades de filtração, vedação e integridade estrutural, podendo comprometer a eficácia da proteção oferecida (ANVISA, 2024; CDC, 2021).

Adicionalmente, é imprescindível observar as condições de armazenamento recomendadas pelo fabricante, incluindo a proteção contra calor excessivo, umidade, poeira, agentes químicos e radiação solar direta. Máscaras N95/PPF2 armazenadas inadequadamente podem sofrer degradação dos materiais poliméricos, perda de carga eletrostática da camada filtrante ou ressecamento das tiras de fixação, o que compromete o ajuste ao rosto e, conseqüentemente, a vedação (NIOSH, 2020).

Por fim, a utilização de máscaras N95/PPF2 com data de validade vencida só deve ocorrer em emergências e após avaliação criteriosa das condições do dispositivo, conforme orientação de órgãos de saúde pública. Nesses casos, deve-se priorizar o uso em cenários de menor risco biológico e associar o EPI vencido a proteções complementares, como *face shields*, para mitigar potenciais falhas de barreira (CDC, 2021; WHO, 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento do estudo

Trata-se de um estudo experimental que envolveu a comparação entre dois grupos, manipulando intencionalmente uma única variável independente (tempo de reutilização/uso estendido) para analisar as consequências desta manipulação sobre as variáveis dependentes (a funcionalidade e a integridade a partir das características de vedação e filtração das máscaras N95/PFF2) dentro de uma situação controle.

3.2 Local do estudo

Para a coleta das máscaras N95/PFF2 após o reuso, foi realizado um levantamento das Unidades de Terapia Intensiva da região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, por meio do Cadastro Nacional de Estabelecimentos em Saúde (CNES). Foram identificados 18 UTI classificadas como tipo II, cada uma com no mínimo 10 leitos. Essas unidades são destinadas a assistência a pacientes que demandam cuidados intensivos complexos e monitoramento contínuo, conforme definição da legislação sanitária brasileira vigente (BRASIL, 2020). Com base na lista obtida, estabeleceu-se contato telefônico com os profissionais responsáveis pelos Serviços de Controle de Infecção (SCIH) de cada instituição, a fim de identificar quais protocolos de uso estendido e/ou reutilização de máscaras N95/PFF2 estavam em vigência na prática assistencial. Os dados coletados, incluindo tipo de protocolo adotado, tempo de uso, critérios de descarte, entre outros aspectos, estão sintetizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Relação dos serviços de saúde conforme protocolos de sete, quinze e trinta dias das máscaras N95/PFF2 (n = 16). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025

| Número de leitos na unidade de terapia intensiva | Protocolo de reutilização das máscaras N95/PFF2 |
|--|--|
| Protocolo de reutilização de sete dias das máscaras N95/PFF2 | |
| 80 | Disponibiliza-se uma máscara N95/PFF2 para reutilização por até sete plantões , desde que o dispositivo se mantenha íntegro, seco, limpo e livre de contaminação por fluidos corporais sangue ou secreções respiratórias. |
| 60 | |
| 30 | |
| 28 | |
| 10 | |
| Protocolo de reutilização de quinze dias das máscaras N95/PFF2 | |
| 60 | Disponibiliza-se uma máscara N95/PFF2 para reutilização por até 15 plantões , desde que o dispositivo se mantenha íntegro, seco, limpo e livre de contaminação por fluidos corporais, sangue ou secreções respiratórias. |
| 54 | |
| 52 | |
| 37 | Disponibiliza-se quatro máscaras N95/PFF2 por até 60 dias, desde que o dispositivo se mantenha íntegro, seco, limpo e livre de contaminação por fluidos corporais, sangue ou secreções respiratórias. Cada um desses dispositivos deve ser reutilizado por até 15 plantões . Recomenda-se a reutilização em sistema de rodízio, assegurando um descanso mínimo de 96 horas entre os usos. |
| 35 | Disponibiliza-se duas máscaras N95/PFF2 por até 30 dias. desde que o dispositivo se mantenha íntegro, seco, limpo e livre de contaminação por fluidos corporais, sangue ou secreções respiratórias. Cada um desses dispositivos deve ser reutilizado por até 15 plantões . |
| 30 | |
| 20 | |
| 11 | |
| 10 | |
| Protocolo de reutilização de trinta dias das máscaras N95/PFF2. | |
| 95 | Disponibiliza-se uma máscara N95/PFF2 para reutilização por até 30 plantões , desde que o dispositivo se mantenha íntegro, seco, limpo e livre de contaminação por fluidos corporais, sangue ou secreções respiratórias |
| 10 | Disponibiliza-se cinco máscaras N95/PFF2 para reutilização, desde que o dispositivo se mantenha íntegro, seco, limpo e livre de contaminação por fluidos corporais, sangue ou secreções respiratórias. Não se estabelece tempo para o descarte. |

Com base nos dados levantados, foram selecionadas quatro unidades de terapia intensiva, identificadas neste estudo como A, B, C e D, pertencente a duas instituições hospitalares localizadas em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. As UTIs A e B integram uma instituição privada e disponibilizam 40 leitos de terapia intensiva geral (UTI A) e 20 leitos de terapia intensiva cardiovascular (UTI B), totalizando 60 leitos destinados a pacientes particulares e conveniados. Enquanto as unidades C e D, pertencentes a um hospital público, são exclusivas para usuários do Sistema Único de Saúde (SUS), possuem 19 leitos de terapia intensiva coronariana (UTI C) e 18 leitos de terapia intensiva geral (UTI D).

Todas as UTIs identificadas são especializadas no atendimento a pacientes adultos, contemplando uma ampla variedade de especialidades clínicas e cirúrgicas,

incluindo clínica médica, ortopedia, neurologia, urologia, bem como cirurgias vasculares, ortopédicas, bucomaxilofaciais, plásticas, ginecológicas e neurocirúrgicas.

Para a seleção das instituições participantes, considerou-se a diversidade nos protocolos adotados para a reutilização das máscaras N95/PFF2, especificamente os intervalos de trocas de sete e 15 dias. Outro critério decisivo foi o número expressivo de leitos disponíveis, o que implica em uma equipe de enfermagem quantitativamente relevante. Além disso, buscou-se homogeneidade nos serviços assistenciais prestados, a fim de assegurar a comparabilidade das práticas de reutilização dos dispositivos em diferentes contextos clínicos, mas com perfil assistencial semelhante.

Durante o processo de seleção, duas UTIs foram excluídas: uma por adotar protocolos de reutilização com tempo considerado excessivo (30 dias), e outra por não apresentar critérios claros para o descarte das máscaras N95/PFF2, o que poderia comprometer a uniformidade metodológica do estudo.

A partir da definição das UTIs para a coleta das amostras, o estudo foi conduzido em parceria com diferentes instituições de pesquisa. com experimentos realizados no Laboratório de Bioengenharia (Labbio) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas), no Laboratório de Microscopia Avançada e no Laboratório de Ensaio Mecânicos, contando ainda com o apoio do Núcleo de Bioengenharia.

3.3 Amostra do estudo

A amostra de conveniência foi subdividida em dois grupos de comparação: um composto por máscaras N95/PFF2 utilizadas por sete dias e outro por máscaras N95/PFF2 utilizadas por quinze dias, conforme os protocolos institucionais de reutilização. Todos os dispositivos avaliados eram da mesma marca e modelo, com tamanho único, e possuíam Certificado de Aprovação (CA) emitido pelo TEM, assegurando conformidade com os padrões de segurança e qualidade estabelecidos pela legislação brasileira.

A quantidade de dispositivos avaliados variou conforme cada etapa do estudo, sendo detalhada nas seções subsequentes.

3.3.1 Cálculo amostral

Foram realizados dois cálculos amostrais distintos, considerando as diferentes naturezas das análises propostas neste estudo.

Para os testes experimentais com máscaras N95/PFF2, o tamanho amostral foi determinado por meio de comparação de médias, com poder estatístico de 80%, teste de hipótese bicaudal, desvio padrão de eficiência de filtração das máscaras N95/PFF2 de 98% no grupo controle e 1,2% no grupo experimental, diferença esperada entre as médias de 48 pontos percentuais, nível de significância de 5% e um intervalo de confiança de 95%. Com base nesses parâmetros, o cálculo resultou em um n igual a 33 máscaras N95/PFF2 por protocolo (sete e 15 dias). Para garantir a robustez dos resultados, esse número foi arredondado para 35, totalizando 70 máscaras N95/PFF2 a serem avaliada.

Para a aplicação do questionário estruturado com profissionais de enfermagem, o cálculo amostral foi realizado com base no método de estimativa de proporções para população finita, considerando um total de 377 profissionais de enfermagem elegíveis nas unidades selecionadas. Adotou-se uma proporção estimada de 50% ($p = 0,5$), margem de erro de 5% e nível de confiança de 95%, resultando em uma amostra mínima de 191 participantes. No entanto, a amostra final obtida foi composta por 265 profissionais, superando o número inicialmente previsto.

3.4 População do estudo

A população elegível foi composta por profissionais de enfermagem que atuavam diretamente na assistência a pacientes em unidades de terapia intensiva selecionadas, utilizando máscaras N95/PFF2 em protocolos institucionais de reutilização com intervalos previamente estabelecidos de sete ou 15 dias.

A escolha por esse grupo profissional se justifica por representarem a maior parcela da equipe multiprofissional e por estarem em contato prolongado e direto com os pacientes, o que os expõe a uma elevada carga viral e os coloca em risco aumentado para infecções respiratórias.

Os profissionais de enfermagem foram convidados a participar pesquisa e manifestaram sua concordância por meio da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE A), o qual apresentou informações detalhadas sobre

os objetivos do estudo, os procedimentos adotados, os possíveis riscos e benefícios envolvidos, bem como as garantias de sigilo, anonimato e voluntariedade.

3.5 Critério de inclusão e exclusão

3.5.1 Critério de inclusão

Foram incluídos:

- Máscaras N95/PFF2 utilizadas por profissionais de enfermagem durante o turno diurno, em conformidade com os protocolos de reutilização (sete e quinze dias). A escolha desse turno deveu-se à maior quantidade de procedimentos realizados nesse período.
- Profissionais de enfermagem que atuavam na assistência direta nas unidades de terapia intensiva, utilizavam máscaras N95/PFF2 conforme protocolos institucionais de reutilização (sete e 15 dias).

3.5.2 Critérios de exclusão

Foram excluídos:

- Máscaras N95/PFF2 utilizadas por profissionais que não seguiam os intervalos de tempo determinados pelos protocolos institucionais de reutilização, bem como aquelas contaminadas por sangue, fluidos corporais ou secreções respiratórias.
- Profissionais de enfermagem que estavam em férias, licença médica ou maternidade no período da coleta de dados, que não utilizavam as máscaras N95/PFF2 conforme os protocolos de reutilização adotados, ou que se recusaram a responder ao questionário.

3.6 Variáveis de estudo

Para o alcance dos objetivos propostos, foram definidas variáveis relacionadas à eficácia das máscaras N95/PFF2 em protocolos de reutilização, conforme descritas a seguir:

3.6.1 Variável dependente: eficácia das máscaras N95/PPF2

A variável dependente deste estudo foi a eficácia das máscaras N95/PPF2, compreendida como a preservação de sua integridade estrutural e funcionalidade, com base nas características de vedação e filtração, conforme critérios estabelecidos pelos órgãos reguladores internacionais (CDC; NIOSH, 2020) e nacionais, incluindo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2024) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 13698:2011).

A eficácia foi categorizada de forma dicotômica, da seguinte maneira:

0. Sim (eficaz)
1. Não (ineficaz)

Os seguintes parâmetros foram considerados para avaliação da eficácia das máscaras N95/PPF2:

- Integridade: avaliação dos aspectos estruturais das máscaras N95/PPF2 e de seus componentes de fixação (tiras de fixação e clipe nasal), além da análise morfológica das fibras para identificação de alterações como porosidade, fissuras e microfuros.
- Funcionalidade: determinada por meio de ensaios de eficiência de filtração.
- Filtração: análise da capacidade da camada filtrante de reter partículas em suspensão com diâmetro médio de 0,3 μm . Como critério mínimo de eficiência, adotou-se 94%, conforme especificado pela ABNT NBR 13698:2011.
- Vedação: avaliação da capacidade da máscara N95/PPF2 de ajustar-se adequadamente ao rosto do usuário, com ênfase na integridade e resistência das tiras de fixação, evitando a entrada e vazamento de ar.

3.6.2 Variáveis independentes

As variáveis independentes (ou explicativas) foram organizadas de acordo com as duas etapas distintas da coleta de dados, conforme descrito a seguir.

- **Etapa I:** englobou variáveis relacionadas às características sociodemográficas, laboral e de formação dos profissionais de enfermagem. Abrangeu informações sobre o protocolo de reutilização adotado pela instituição, a percepção dos profissionais quanto à segurança desse protocolo, a participação em treinamentos institucionais, bem como a realização da verificação da vedação e a avaliação da integridade e do armazenamento das máscaras N95/PFF2 na prática clínica.
- **Etapa II:** contemplou variáveis associadas à integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2, analisadas a partir de seus atributos de vedação e filtração. Essa etapa envolveu inspeção visual, análise morfológica por microscopia eletrônica de varredura, ensaios de tração e ensaios de eficiência de filtração.

Etapa I: Questionário estruturado aplicado aos profissionais de enfermagem

Nesta etapa, foram coletadas informações por meio de um questionário estruturado, a fim de identificar as variáveis relacionadas aos profissionais de enfermagem participantes do estudo. As variáveis independentes desta fase estão apresentadas conforme a formatação e as seqüência do instrumento da coleta de dados.

1. Dados sociodemográficos, laboral e de formação do profissional de enfermagem da unidade de terapia intensiva

1.1 Categoria profissional

0. Enfermeiro.
1. Técnico de Enfermagem.

1.2 Titulação

0. Graduação.
1. Especialista.
2. Mestre.
3. Doutor.

1.3 Idade

Avaliada em anos, definidas as medidas de dispersão e variabilidade da amostra.

1.4 Sexo

- 0. Feminino.
- 1. Masculino.

1.5 Tempo de formação profissional

Avaliada em anos, definidas as medidas de dispersão e variabilidade da amostra.

1.6 Tempo de atuação profissional

Avaliada em anos, definidas as medidas de dispersão e variabilidade da amostra.

1.7 Tempo de atuação na instituição

Avaliada em anos, definidas as medidas de dispersão e variabilidade da amostra.

1.8 Tempo de atuação na unidade de terapia intensiva

Avaliada em anos, definidas as medidas de dispersão e variabilidade da amostra.

1.9 Turno de trabalho

- 0. Diurno.
- 1. Noturno.
- 2. Ambos.

1.10 Jornada de trabalho (carga horária semanal em horas)

- 0. 20
- 1. 30
- 2. 36
- 3. 40

1.11 Outro vínculo empregatício

- 0. Sim.
- 1. Não.

1.12 Jornada de trabalho em outro vínculo (para quem atua em outra instituição)

- 0. 20
- 1. 24

2. 30
3. 36
4. 40

2. Protocolo adotado e percepção de segurança do profissional de saúde

2.1 Nesta instituição, qual protocolo adotado para substituição das máscaras N95/PFF2?

0. Um dia/plantão.
1. Menos que cinco dias/plantões.
2. Cinco dias/plantões.
3. Sete dias/plantões.
4. 15 dias/plantões.
5. 30 dias/plantões.
6. Sem prazo previamente estabelecido para descarte, a substituição da máscara N95/PFF2 ocorre apenas em caso de perda da integridade, presença de sujidade ou umidade, rompimento dos componentes de fixação ou clipe nasal, vedação inadequada ou contaminação com sangue, fluidos corporais, secreções respiratórias ou nasais.
7. Outro.

2.2 Você se sente seguro(a) com o protocolo adotado para a substituição de máscaras N95/PFF2 nesta instituição?

0. Sim.
1. Não.
2. Não sei informar.

2.3 Na sua opinião, qual aspecto deve ser avaliado para assegurar a proteção do usuário em protocolos de uso estendido e/ou reutilização das máscaras N95/PFF2?

3. Participação em e treinamentos, execução da verificação da vedação e avaliação da integridade, além de armazenamento das máscaras N95/PFF2

3.1 Você recebeu treinamento sobre o uso da máscara N95/PPF2?

0. Sim.
1. Não.
2. Não sei informar.

3.1.1 Caso você tenha recebido treinamento, especifique em qual(is) ano(s) você participou?**3.1.2 Caso você tenha recebido de treinamento sobre o uso da máscara N95/PPF2, qual foi a duração total em horas?**

0. Menos de duas horas.
1. Mais de duas horas.
2. Não sei informar.

3.1.3 Caso você tenha recebido treinamento sobre o uso da máscara N95/PPF2, qual tema foi abordado?

0. Uso correto e seguro.
1. Paramentação e desparamentação.
2. Verificação da vedação.
3. Avaliação da integridade.
4. Higienização das mãos.
5. Critérios para descarte.
6. Condições segura de armazenamento.

3.1.4 Caso você tenha recebido treinamento sobre o uso da máscara N95/PPF2, onde o treinamento ocorreu?

0. Na própria instituição.
1. Em outra instituição.
2. Ambos.
3. Outro local.

3.2 Após vestir a máscara N95/PPF2 você realiza a verificação da vedação? Se sim, com que frequência?

0. Nunca.

1. Raramente.
2. Sempre ou mais de 95% das vezes após vestir a máscara N95/PFF2.
3. Não sei o que é verificação da vedação.

3.3 Antes de cada uso ou reutilização, você realiza a inspeção da máscara N95/PFF2 para verificar sua integridade (observando presença de umidade, sujidade, rasgos, dobras, furos, comprometimento do clipe nasal e das tiras de fixação)?
Se sim, com que frequência?

0. Nunca.
1. Raramente.
2. Sempre ou mais de 95% das vezes antes de colocar a máscara N95/PFF2.

3.4 Você recebeu treinamento sobre forma de acondicionamento das máscaras N95/PFF2 dentro da instituição de saúde onde trabalha?

0. Sim.
1. Não.

3.5 Na instituição de saúde em que você trabalha, há local exclusivo para armazenar sua máscara N95/PFF2 após o uso?

0. Sim.
1. Não.

3.6 Qual local você armazena sua máscara N95/PFF2 após o uso?

Etapa II - Verificação da integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2 a partir das características de vedação e filtração

Este momento compreenderá a observação das variáveis relacionadas às máscaras N95/PFF2, a saber:

- 1. Variáveis relacionadas à inspeção visual das máscaras N95/PFF2 no tocante ao comprometimento da sua estrutura e seus componentes de fixação.**

Esta etapa consistiu na inspeção realizada de forma padronizada das máscaras N95/PFF2 por meio de uma lente de aumento (dez vezes).

1.1 Tempo de uso da máscara N95/PFF2 pelo protocolo da instituição?

- 0. Sete dias.
- 1. 15 dias.

1.2 Categoria profissional do usuário?

- 0. Enfermeiro.
- 1. Técnico de Enfermagem.
- 2. Acadêmico de enfermagem

1.3 Presença de marcas de identificação pessoal

- 0. Sim.
- 1. Não.

1.4 Presença de dobras na máscara N95/PFF2.

- 0. Sim.
- 1. Não.

1.5 Presença de furos ou rasgos na máscara N95/PFF2.

- 0. Sim.
- 1. Não.

1.6 Presença de manchas e sujidade na parte externa da máscara N95/PFF2.

- 0. Sim.
- 1. Não.

1.6.1 Se sim, qual o tipo de mancha ou sujidade na máscara N95/PFF2:

- 0. Vestígios de maquiagem.
- 1. Manchas amareladas ou enegrecidas de origem indeterminada.
- 2. Fâneros.
- 3. Café.
- 4. Rabiscos de caneta.

5. Outros. Especifique: _____.

1.7 Presença de manchas e sujidade na parte interna da máscara N95/PFF2.

- 0. Sim.
- 1. Não.

1.7.1 Se sim, qual o tipo de mancha ou sujeira na máscara N95/PFF2:

- 0. Vestígios de maquiagem.
- 1. Manchas amareladas ou enegrecidas de origem indeterminada.
- 2. Manchas de café.
- 3. Presença de tintas de caneta.
- 4. Outros. Especifique: _____.

1.7.2 Estime a proporção da área afetada quanto a sujidade ou manchas na máscara N95/PFF2 (estimativa de múltiplos de 25%):

- 0. 25%.
- 1. 50%.
- 2. 75%.
- 3. 100%.

1.8 Estado de conservação das tiras de fixação (da máscara N95/PFF2.

- 0. Íntegras.
- 1. Esticadas.

1.9 Estado de conservação do clipe nasal da máscara N95/PFF2.

- 0. Íntegro.
- 1. Quebrado.

As variáveis descritas a seguir referem-se às análises experimentais realizadas nas máscaras N95/PFF2, compreendendo microscopia eletrônica de varredura, ensaio de tração e ensaio de eficiência de filtração.

- 1. **Variáveis relacionadas à avaliação morfológica das fibras de cada camada da máscara N95/PFF2.**

Esta etapa consistiu na realização da microscopia eletrônica de varredura para avaliar a morfologia das camadas das máscaras N95/PFF2, com foco na identificação de alterações como porosidade, fissuras, microfuros e presença de detritos entre as fibras.

1.1 Tempo de uso da máscara N95/PFF2.

0. Sete dias.
1. 15 dias.

1.2 Categoria profissional.

0. Enfermeiro.
1. Técnico de Enfermagem.

1.3 Camada da máscara N95/PFF2.

As máscaras N95/PFF2 utilizadas possuíam quatro camadas, classificadas da seguinte forma:

0. Camada externa
1. Camada intermediária 1 (estrutural)
2. Camada intermediária 2 (filtro)
3. Camada interna

1.4 Região da máscara N95/PFF2.

Foi analisada a região próxima à área nasal, por ser mais suscetível à umidade devido à respiração do usuário.

0. Região próxima região nasal.

1.5 Características superficiais da fibra.

0. Superfície de contorno preservada.
1. Superfície de contorno irregular.
2. Superfície de contorno altamente irregular.

Critérios adotados:

- Preservada: livre de irregularidades visíveis.
- Irregular: presença de irregularidade superficiais.
- Altamente irregular: presença de irregularidades superficiais e profundas.

1.6 Presença de imperfeições superficiais?

- 0. Sim.
- 1. Não.

1.6.1 **Caso afirmativo, qual(is) tipo(s) de imperfeições?** (Pode marcar mais de uma alternativa)

- 0. Porosidade.
- 1. Microfuros.
- 2. Fissuras.
- 3. Mais de um tipo de imperfeições.

1.7 Presença de detritos na fibra?

- 0. Sim.
- 1. Não.

2. Variáveis relacionadas ao ensaio de tração na máscara N95/PFF2.

Esta etapa consistiu no ensaio de tração para verificar a resistência e a elasticidade das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2.

2.1 Tempo de uso da máscara N95/PFF2.

- 0. Sete dias.
- 1. 15 dias.

2.2 Categoria profissional.

- 0. Enfermeiro.
- 1. Técnico de Enfermagem.
- 2. Acadêmico de Enfermagem.

2.3 Tempo do ensaio de tração

Refere-se ao tempo decorrido entre o início do ensaio e o rompimento da tira de fixação das máscaras N95/PFF2. A variável foi avaliada em segundos (s) e analisadas por meio de medidas de tendência central, dispersão e variabilidade.

2.4 Força máxima da tira de fixação

Compreende à maior força aplicada sobre a tira de fixação das máscaras N95/PFF2 até o momento do rompimento. A variável foi expressa em Newtons (N) e analisada por meio de medidas de tendência central, dispersão e variabilidade.

2.5 Deslocamento máximo das tiras de fixação

Indica a elasticidade das tiras de fixação durante o ensaio de tração, desde o início do alongamento até o seu rompimento completo. Essa variável foi avaliada em milímetros (mm), sendo descrita por meio de medidas de tendência central, dispersão e variabilidade

3. Variáveis relacionadas à funcionalidade da camada filtrante da máscara N95/PFF2

Esta etapa envolveu a avaliação da eficiência de filtração para analisar a funcionalidade da camada filtrante das máscaras N95/PFF2 quanto a capacidade de reter partículas com diâmetro de até 0,3 μm , garantindo eficiência mínima de 94%, conforme estabelecido pela ABNT NBR 13698:2011.

3.1 Tempo de uso da máscara N95/PFF2.

0. Sete dias.
1. 15 dias.

3.2 Categoria profissional.

0. Enfermeiro
1. Técnico de Enfermagem
2. Acadêmico de Enfermagem.

3.3 Camada da máscara N95/PFF2.

Foi definida a camada intermediária responsável pela filtração.

0. Camada intermediária 2 (elemento filtrante)

3.4 Região da máscara N95/PFF2.

A área analisada foi definida como:

0. Região próxima à região nasal

Essa área foi selecionada por apresentar maior umidade em virtude da respiração do usuário.

3.5 Eficiência de filtração para aerossóis de NaCl com diâmetro de 0,3 µm

A eficiência de filtração foi avaliada por meio de ensaios com aerossóis de cloreto de sódio (NaCl), com partículas de 0,3 µm de diâmetro, aplicando-se um fluxo contínuo de ar de 95 litros por minuto. A classificação dos resultados seguiu os critérios estabelecidos pela norma brasileira ABNT NBR 13698:2011:

0. $\geq 94\%$ - desempenho satisfatório
1. $< 94\%$ - desempenho insatisfatório

3.7 Coleta de dados

Os dois serviços de saúde potencialmente elegíveis foram convidados a participar do estudo, conforme critérios específicos: o tempo de protocolo de reutilização das máscaras N95/PFF2 (sete ou 15 dias) e o número de leitos das unidades de terapia intensiva. Com a aceitação formal e assinatura em termos de anuência institucional (APÊNDICE B), esses serviços foram incorporados ao projeto como coparticipantes, com a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

Após a aprovação institucional, os profissionais de saúde elegíveis foram convidados a participar da pesquisa e, simultaneamente, receberam o TCLE (APÊNDICE A). O documento detalhou os objetivos do estudo, justificativa, relevância, benefícios esperados, riscos potenciais, dados de contato do pesquisador principal, além das garantias de confidencialidade e a natureza voluntária da participação.

A coleta de dados foi realizada em duas etapas distintas: a fase pré-experimento, e a fase experimental.

Etapa 1 - Fase pré-experimento

Esta fase foi composta por dois momentos:

Momento 1: Aplicação do questionário estruturado

Consistiu na realização de entrevistas com os profissionais participantes, utilizando-se um questionário estruturado elaborado com base em diretrizes nacionais e

internacionais (ANVISA, 2024; CDC, NIOSH, 2020). O instrumento foi dividido em três seções:

- Parte 1 - Informações sobre características sociodemográficas, laboral e de formação: sexo, idade, categoria profissional, titulação, tempo de formação, de atuação profissional, tempo de atuação na instituição e na unidade de terapia intensiva, turno de trabalho e carga horária de trabalho.
- Parte 2 - Protocolo de reutilização adotado e a percepção de segurança do profissional de saúde.
- Parte 3 - Participação em treinamentos institucionais sobre o uso das máscaras N95/PFF2, realização da verificação da vedação e avaliação da integridade, além das práticas de armazenamento do dispositivo.

As entrevistas foram conduzidas pela pesquisadora principal, respeitando o horário e a disponibilidade do profissional, preferencialmente em ambiente reservado e presencialmente. A duração média das entrevistas foi de 10 minutos. Foi entregue ao participante um “caderno do entrevistado” para acompanhamento das questões, enquanto as respostas eram registradas exclusivamente no instrumento do entrevistador (APÊNDICE C). O questionário não incluía campos de identificação pessoal, garantindo sigilo e anonimato. A codificação dos participantes foi realizada apenas pela pesquisadora, visando vincular informações relevantes (como instituição), mantendo a confidencialidade dos dados.

Momento 2: Coleta das máscaras N95/PFF2

Diariamente, ao término do turno diurno, as máscaras N95/PFF2 utilizadas pelos profissionais de enfermagem, em protocolos de sete ou 15 dias, foram coletadas e substituídas por novas, fornecidas pela equipe da pesquisa. A coleta seguiu um cronograma previamente acordado com as instituições participantes.

Cada máscara N95/PFF2 coletada foi acondicionada individualmente em envelope pardo, conforme orientações da ANVISA (2024), e identificada com a data, o local da coleta, o tempo de uso e a categoria profissional do usuário. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em caixas rígidas previamente higienizadas com água e sabão, mantidas em local seco e arejado. Todo o processo de coleta seguiu medidas

estritas de segurança, incluindo o uso de avental, luvas de procedimento e máscaras cirúrgicas.

a) Transporte das amostras para os laboratórios

A pesquisadora foi responsável pelo transporte das máscaras N95/PFF2, previamente acondicionadas em caixas rígidas, a partir das unidades de terapia intensiva participantes.

As amostras destinadas ao teste piloto por microscopia eletrônica de varredura foram inicialmente submetidas à inspeção visual no Núcleo de Bioengenharia da Pontifícia PUC-Minas e, posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Microscopia Avançada da mesma instituição para realização da análise.

As máscaras N95/PFF2 que compuseram a amostra final do estudo seguiram o mesmo fluxo de transporte, sendo submetidas à inspeção visual no Núcleo de Bioengenharia da PUC-Minas, ao ensaio de tração no Laboratório de Ensaios Mecânicos na mesma instituição e ao ensaio de filtração no Labbio da UFMG. Ressalta-se que a etapa de microscopia eletrônica de varredura foi exclusiva da amostra piloto.

b) Inspeção subjetiva das máscaras N95/PFF2

Antes do início da fase experimental, as máscaras N95/PFF2 foram encaminhadas ao Núcleo de Bioengenharia da PUC-Minas, onde foi realizada a análise de sua integridade estrutural por meio de inspeção visual sob luz natural. Para isso, utilizou-se uma lente ótica com ampliação de dez vezes (Tomshin S.A., São Paulo, SP, Brasil), conforme ilustrado na Figura 6. A lente foi posicionada sobre uma bancada previamente desinfetada com álcool 70%, possibilitando a identificação de marcas de identificação, dobras, furos ou rasgos, manchas e sujidade, além da avaliação do estado de conservação dos componentes das máscaras N95/PFF2. As marcas de identificação consistem em marcações feitas pelo próprio usuário, geralmente com caneta esferográfica, com a finalidade de distinguir seu dispositivo e controlar o tempo de uso. Todos os achados foram registrados em formulários individuais, específicos para cada amostra analisada.

Figura 6 - Lente óptica com ampliação de dez vezes utilizada na inspeção visual das máscaras N95/PFF2. Tomshin. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: imagem gerada para a pesquisa (2025)

Etapa 2 - Fase experimental

Nesta fase, foram realizadas análises para verificar a integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2. A integridade foi avaliada por meio de microscopia eletrônica de varredura, considerando a morfologia das fibras, presença de porosidade, fissura, microfuros e detritos entre as fibras das camadas.

A funcionalidade foi analisada com base na capacidade do material filtrante de reter partículas com diâmetro de até $0,3 \mu\text{m}$, utilizando um protótipo específico desenvolvido para esse fim. Como critério de desempenho, adotou-se uma eficiência mínima de filtração de 94%, conforme estabelecido pela ABNT NBR 13698:2011.

Adicionalmente, a resistência e elasticidade das tiras de fixação foram verificadas por meio de ensaios de tração.

a) Análise morfológica das camadas das máscaras N95/PFF2 por meio da microscopia eletrônica de varredura

Após a coleta e inspeção visual, as máscaras N95/PFF2 foram encaminhadas para o Laboratório de Microscopia Avançada da PUC Minas. Nesse local, utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura (JSM-6610LV, Jeol, Tokio, Japão) para analisar a morfologia das fibras nas diferentes camadas do dispositivo.

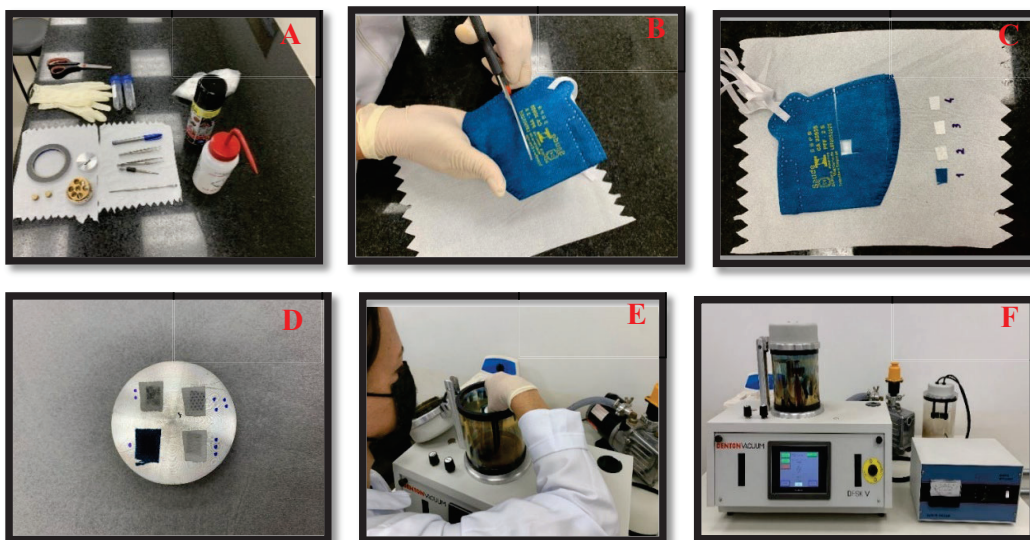
A manipulação das amostras foi realizada sobre bancada previamente higienizada com álcool 70%, utilizando luvas e avental não estéreis. As máscaras N95/PFF2 foram

seccionadas próximo à região do nariz, no lado direito, em dimensões aproximadas de 1,0 X 1,0 cm, com tesoura limpa e higienizada com álcool 70%.

Em seguida, as camadas foram separadas e fixadas diretamente em “*stub*” de alumínio com fita adesiva de carbono dupla face. Para tornar as superfícies condutoras e viabilizar a visualização no MEV foi depositada uma película de ouro com espessura de 15 nanômetros sobre as amostras, utilizando um sistema de revestimento à vácuo de alta pressão (*Denton Vacuum Desk S.A*, New Jersey, EUA).

As micrografias foram obtidas em ampliações de 100x, 500x e 1000x. A Figura 7, ilustra as etapas de preparação às quais as máscaras N95/PFF2 foram submetidas para obtenção das imagens das quatro camadas.

Figura 7 - Etapas de preparação das máscaras N95/PFF2 para obtenção de micrografias das quatro camadas por microscopia eletrônica de varredura. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



(A) Materiais utilizados para microscopia eletrônica de varredura; (B) Máscaras N95/PFF2 seccionadas transversalmente com tesoura, na região próxima ao nariz e boca, com dimensões aproximadas de 1,0 X 1,0 cm; (C) Separação das quatro camadas: externa, estrutural, filtrante e interna; (D) Amostras fixadas diretamente em "stub" de alumínio com fita adesiva de carbono dupla face; (E) Recobrimento com película de ouro de 15 *nanômetros* de espessura; (F) Sistema de revestimento a alto vácuo, modelo Denton Vacuum DESK.

Fonte: imagem gerada para a pesquisa (2025)

Cabe ressaltar que, logo após a chegada ao Núcleo de Bioengenharia e ao Laboratório de Microscopia, as máscaras N95/PFF2 foram imediatamente submetidas aos testes. Essa conduta visou evitar a interferência de quaisquer variáveis ambientais associado ao armazenamento inadequado, que poderiam comprometer os resultados das análises.

b) Ensaio de eficiência de filtração das máscaras N95/PFF2 com uso de protótipo experimental

No LABBIO da UFMG, foi desenvolvido um protótipo experimental para a condução de ensaios destinados à avaliação da eficiência de filtração das máscaras N95/PFF2. O intuito foi verificar a capacidade da camada filtrante em reter aerossóis com diâmetro máximo de 0,3 μm , mesmo após protocolos de reutilização de sete e 15 dias. Os resultados foram analisados com base no critério mínimo de eficiência de 94%, conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 13698:2011.

Construção do protótipo experimental

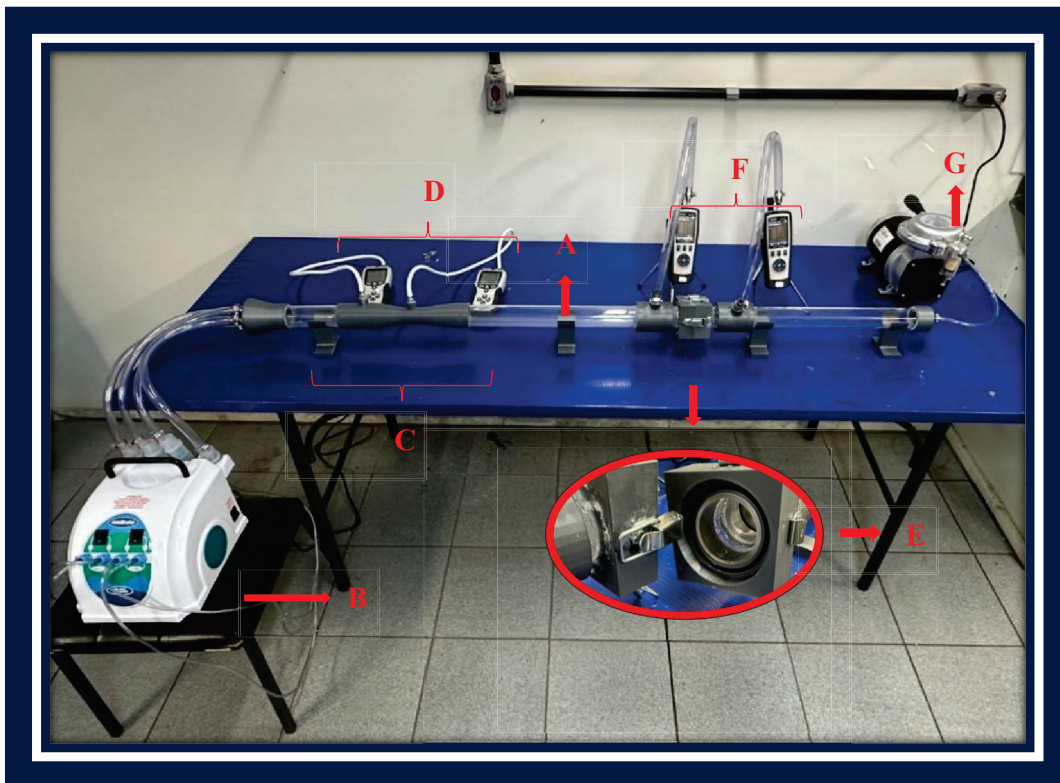
O protótipo foi construído utilizando um tubo de acrílico com diâmetro de 50 milímetros (mm), que compôs o circuito de escoamento de ar utilizado nos ensaios. Ao longo desse tubo, foram acoplados os seguintes componentes:

- **Nebulizador hospitalar do tipo pneumático** (MD400-BP, *Medicate*, São Paulo, Brasil): posicionado na extremidade inicial do circuito, foi responsável pela geração contínua de aerossóis de solução de NaCL a 10% (p/p), produzindo partículas com ampla distribuição de tamanhos, com ênfase em 0,3 μm , foco principal deste estudo.
- **Tubo de Venturi**: fabricado em ácido polilático por impressão 3D, com geometria baseada na norma ISO 5167-4:2003. Foi inserido no circuito para aferição da vazão, por meio da diferença de pressão entre suas seções. A calibração foi realizada com o uso de um ventilador de rotação variável, manômetros digitais (PRF-100) e anemômetro (TESTO 416).
- **Manômetro digital** (PRF-100, *Instrutherm*, São Paulo, Brasil): acoplado ao tubo de acrílico, permitiu o monitoramento contínuo da pressão e da velocidade do fluxo de ar, assegurando o controle e estabilidade dos parâmetros experimentais.
- **Câmara de fixação da amostra**: localizada no segmento central do tubo, foi destinada à inserção da amostra circular (5 cm de diâmetro), recortada da máscara N95/PFF2. A fixação foi realizada com o auxílio de anéis de nylon entre flanges, com vedação por anéis de borracha prevenindo vazamentos.

- **Contadores ópticos de partículas (CPT-100, Instrutherm, São Paulo, Brasil):** posicionados antes e depois da amostra, permitiram a detecção de partículas com diâmetro de $0,3 \mu\text{m}$, sendo utilizados no cálculo da eficiência de filtração.
- **Bomba de vácuo (VAC29, Ion, China):** instalada na extremidade final do circuito, com capacidade de 128 L/min, regulada para manter um fluxo constante de 95 L/min.

A Figura 8 ilustra o protótipo completo com todos os componentes acoplados. Antes do início dos ensaios, foi realizado um teste de vedação em todo o sistema para garantir a integridade do circuito e a ausência de vazamentos nos pontos de conexão.

Figura 8 - Protótipo desenvolvido para o ensaio de eficiência de filtração das máscaras N95/PPF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



(A) Tubo de acrílico; (B) Nebulizador hospitalar do tipo pneumático (MD400-BP, Medicate); (C) Tubo de Venturi; (D) Manômetros digitais (PRF-100, Instrutherm); (E) Câmara de fixação da amostra; (F) Contadores de partículas (CPT-100, Instrutherm); (G) Bomba à vácuo (VAC29, Ion).

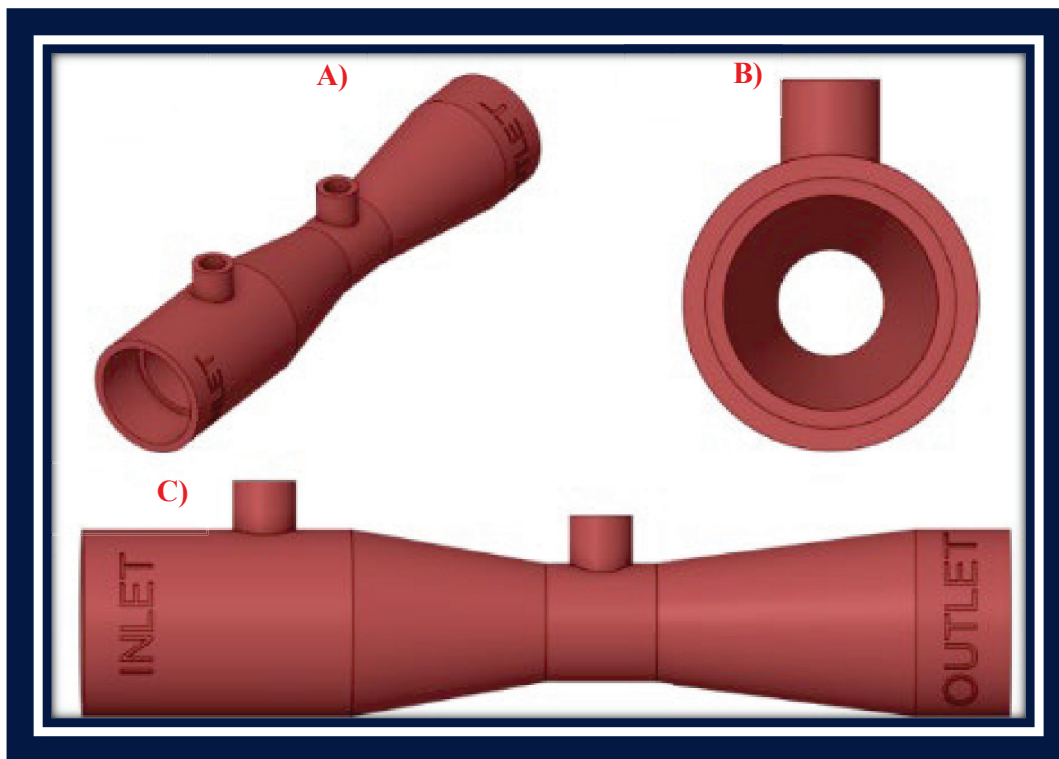
Fonte: imagem gerada para a pesquisa (2025)

Tubo Venturi: projeto, fabricação e calibração

Para possibilitar a medição precisa da vazão de ar fixada em 95 L/min durante os ensaios de eficiência de filtração, foi incorporado ao protótipo um tubo de Venturi. Esse componente permite calcular a vazão a partir da diferença de pressão entre dois pontos: na entrada e na região de estrangulamento do tubo. O dispositivo foi desenvolvido especificamente para integração ao tubo acrílico de 50 mm de diâmetro que compõe o circuito principal do protótipo.

O projeto tridimensional do tubo de Venturi seguiu os parâmetros estabelecidos pela norma ISO 5167-4:2003, que define as proporções geométricas de medidores de vazão em condutos. A Figura 9 apresenta as vistas isométrica, frontal e lateral do modelo projetado.

Figura 9 - Vistas do desenho 3D do tubo Venturi projetado. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



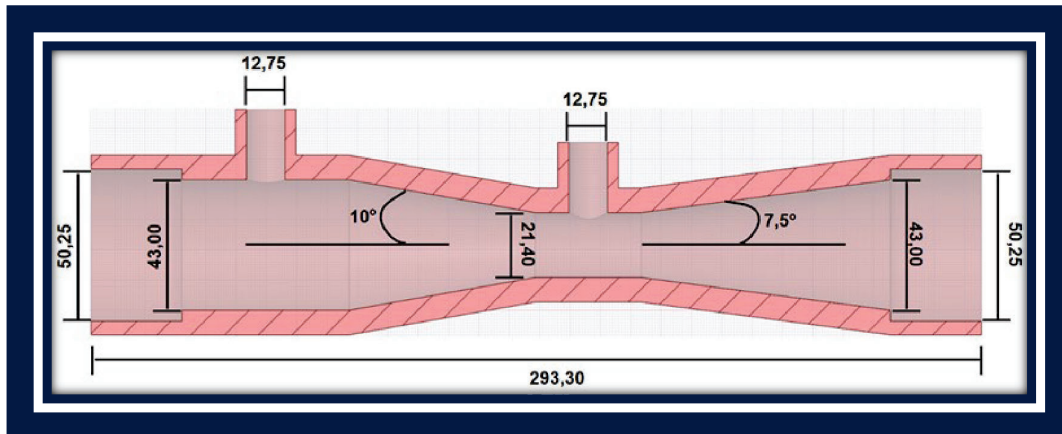
(A) Vista isométrica; (B) Vista frontal; (C) Vista lateral.

Fonte: imagem gerada para a pesquisa (2025)

A geometria interna do tubo de Venturi foi dimensionada com base em parâmetros técnicos previamente definidos, apresentando: diâmetro de entrada e saída de 43,0 mm;

diâmetro da garganta (estreitamento) de 21,4 mm; ângulo de 10° na seção convergente, ângulo de $7,5^\circ$ na seção divergente e comprimento total de 293,3 mm. Essas dimensões estão ilustradas na Figura 10, com corte longitudinal e cotas expressas em milímetros.

Figura 10 - Corte longitudinal do tubo Venturi indicando as dimensões consideradas (em milímetros). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: imagem gerada para a pesquisa (2025)

A fabricação do tubo foi realizada por impressão 3D (GTMax 3D Core A3), utilizando ácido polilático como material. Os parâmetros de impressão incluíram: temperatura de 215°C , altura de camada de 0,2 mm e preenchimento interno do tipo giróide, com densidade de 15%. Após a impressão, a superfície interna do tubo foi lixada e polida para reduzir a rugosidade e evitar a formação de turbulência durante o escoamento do ar.

A calibração do tubo de Venturi permitiu estabelecer a correlação entre a diferença de pressão nas tomadas laterais e a vazão volumétrica real do fluxo de ar, assegurando o funcionamento estável do sistema em 95 L/min, conforme exigido pela ABNT NBR 13698:2011 para ensaios de filtração.

Durante a calibração, rotação constante foi mantida na bomba de vácuo acoplada à extremidade direita do sistema, promovendo escoamento contínuo no interior do tubo. As pressões foram monitoradas em duas tomadas localizadas na região convergente e na garganta do Venturi, com uso dos manômetros digitais PRF-100 (*Instrutherm*).

Paralelamente, a velocidade do fluxo de ar foi medida com um anemômetro de ventoinha (TESTO 416), posicionado em cinco diferentes pontos da seção transversal da saída do tubo acrílico. Esses pontos foram escolhidos para representar o perfil do escoamento e compensar eventuais variações laterais da velocidade do ar.

A velocidade média (V_{med}) foi calculada e, multiplicada pela área da seção transversal (A_{sec}), resultou na vazão volumétrica (Q) do sistema, conforme a equação:

$$Q = V_{med} \cdot A_{sec}$$

Esse procedimento validou a utilização do tubo de Venturi como instrumento de medição no controle do fluxo constante de 95 L/min durante os ensaios de filtração.

Teste de vedação e validação do sistema

Após a montagem completa do protótipo, realizou-se um teste de vedação com intuito de verificar a integridade do circuito e evitar perdas de ar. O sistema foi operado com fluxo de ar contínuo, enquanto a pressão era monitorada por meio dos manômetros digitais acoplados ao tubo de acrílico.

A estabilidade dos valores registrados indicou a ausência de vazamentos nos pontos de conexão. Esse procedimento foi fundamental para garantir que toda a vazão de ar passasse exclusivamente pela amostra da máscara N95/PFF2 em teste, assegurando a precisão e confiabilidade da medição da eficiência de filtração.

Realização do ensaio de eficiência de filtração

- **Preparação das amostras**

Após a montagem e calibração do protótipo, foram realizados os ensaios de eficiência de filtração em amostras de máscaras N95/PFF2 reutilizadas por profissionais de enfermagem, conforme protocolos institucionais de sete e 15 dias.

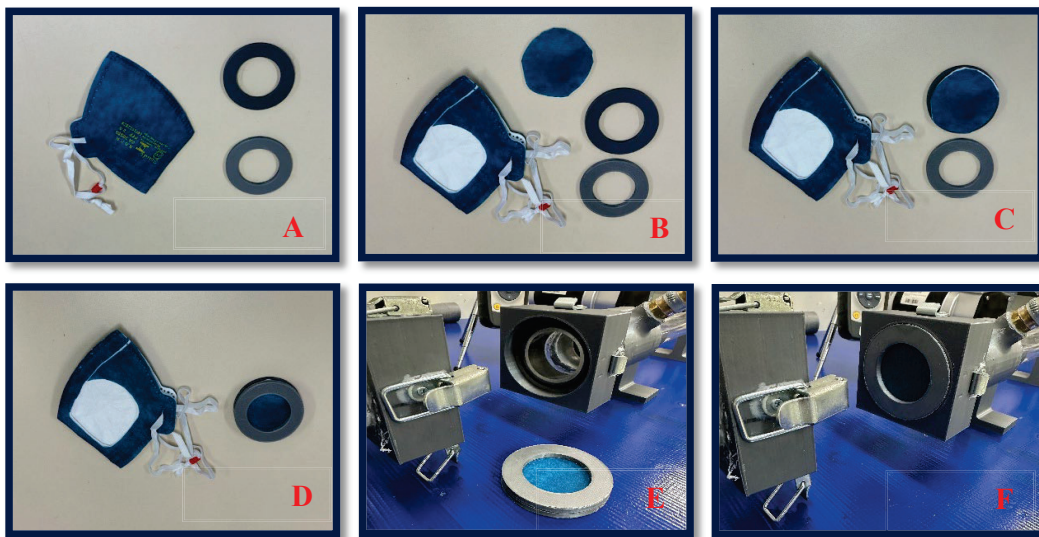
As amostras foram manipuladas com o uso de luvas e avental não estéreis. O recorte foi feito com tesoura previamente higienizada com álcool 70%, na região superior lateral esquerda da máscara N95/PFF2, próxima ao dorso nasal, área frequentemente sujeita à maior umidade e deformação durante o uso na prática clínica. Cada amostra foi seccionada em formato circular, com 5 cm de diâmetro, dimensão compatível com a câmera de fixação do protótipo.

Em seguida, as amostras foram coladas em anéis de nylon com adesivo instantâneo à base de cianoacrilato. Os anéis foram posicionados na região central da câmera de fixação, composta por duas flanges articuladas por dobradiça com fecho

lateral, que permite rápida abertura para substituição das amostras entre os testes. Para garantir a vedação adequada e evitar vazamentos de aerossol durante os ensaios, foram inseridos anéis de borracha na parte interna dos flanges.

Após o correto posicionamento, o sistema foi fechado com travas metálicas laterais, promovendo compressão do conjunto e garantindo que todo o fluxo de ar atravessasse exclusivamente a área da amostra. A Figura 11 ilustra as etapas de preparação e inserção das amostras de máscaras N95/PFF2 no protótipo.

Figura 11 - Etapas de preparação e inserção das amostras de máscaras N95/PFF2 fixadas em anéis de nylon no protótipo de ensaio de filtração. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



(A) Máscara N95/PFF2 e anéis de nylon; (B) Amostra circular de 5 cm de diâmetro seccionada com tesoura, na região próxima à boca e nariz; (C) Amostra colada em anel de nylon com adesivo instantâneo tipo cinoacrilato; (D) Anel de nylon com a amostra pronta para inserção na câmara de fixação; (E) Câmera aberta, com flanges e anéis de borracha internos para vedação, equipada com fecho metálico para travamento; (F) Amostra fixada na câmara de fixação antes do fechamento completo.

Fonte: imagens geradas para a pesquisa (2025)

• Execução do ensaio de eficiência de filtração

Com a amostra das máscaras N95/PFF2 devidamente fixada nos anéis de nylon e posicionada nos flanges da câmara de fixação, procedeu-se a vedação completa do sistema para dar início à calibração do fluxo de ar. A calibração foi realizada com o auxílio de um manômetro acoplado ao tubo de Venturi, assegurando uma vazão constante de 95 L/min

Finalizada a calibração, iniciou-se a geração do aerossol que simula o desafio particulado. Para isso, foi preparado uma solução de cloreto de sódio (NaCl) a 10% (p/p),

obtida pela dissolução de 10g de NaCL em 100 ml de água destilada. A solução foi inserida em um nebulizador amplamente utilizado na prática clínica para geração de aerossóis líquidos.

Cabe ressaltar que, diferentemente do recomendado pela ABNT NBR 13698:2011, que preconiza o uso de aerossol seco de NaCL com controle da carga eletrostática, o aerossol utilizado não passou por processo de secagem ou neutralização eletrostática. Ainda assim, a eficiência de filtração foi avaliada por meio de um contador óptico de partículas aéreas (CPT-100, *Instrutherm*, São Paulo, Brasil), capaz de realizar leituras por faixas de diâmetro, incluindo 0,3 µm, tamanho de partículas de maior penetração em filtros de máscaras N95/PFF2.

Para cada amostra, o tempo total de ensaio foi de cinco minutos. Os dois primeiros minutos foram dedicados à geração e estabilização do aerossol no interior do protótipo. Em seguida, foram realizadas três medições consecutivas. Em cada uma, o contador óptico de partículas permaneceu ligado por um minuto, registrando as concentrações de partículas antes e depois da amostra.

A eficiência de filtração (EF%) foi calculada a partir da média das três medições, utilizando a equação:

$$EF(\%) = \left(\frac{CP_{antes} - CP_{depois}}{C_{antes}} \right) * 100$$

em que: C_{antes} representa a concentração de partículas antes da amostra e C_{depois} , a concentração após a passagem pela camada filtrante da máscara N95/PFF2.

O ensaio de eficiência de filtração teve como intuito avaliar a capacidade de filtração de máscaras N95/PFF2 reutilizadas segundo protocolos institucionais de sete e quinze dias. Como critério mínimo de desempenho, foi adotado a eficiência de filtração $\geq 94\%$ para partículas de diâmetro médio de 0,3 µm, em conformidade com ABNT NBR 13698:2011 e a norma europeia EN 149:2001 + A1:2009, aplicáveis às máscaras do tipo PFF2/FFP2.

Embora a norma norte-americana NIOSH estabelece um limite de 95%, essa diferença decorre das características distintas do aerossol utilizados nos testes: a NIOSH emprega partículas secas de NaCL com diâmetro entre 0,075 e 0,2 µm, enquanto as normas brasileira e europeia utilizam partículas de 0,3 µm.

Adicionalmente, partículas respiratórias contendo vírus como o SARS-CoV-2 e o vírus influenza são frequentemente transportados em aerossóis com diâmetros iguais ou

superiores a $0,3 \mu\text{m}$. Dessa forma, esse parâmetro reflete uma condição experimental com os desafios enfrentados na prática clínica, especialmente em ambientes como unidades de terapia intensiva.

c) Ensaio de tração: avaliação da resistência e elasticidade das tiras de fixação

O ensaio de tração das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 foi realizado no laboratório de Ensaios Mecânicos da PUC-Minas, utilizando uma máquina de ensaio universal modelo 3400, (EMIC, Brasil, PR), equipada com uma célula de carga de 5000 N. Os ensaios seguiram o protocolo de avaliação da resistência de tiras de fixação proposto pelo NIOSH (2020), desenvolvido no contexto da pandemia de COVID-19.

As tiras de fixação, com largura de 7,5 mm e espessura de 1,0 mm, foram manuseadas com luvas de procedimento sobre uma bancada previamente limpa e higienizada com álcool 70%. Cada amostra foi seccionada com 14 cm de comprimento, sendo aproximadamente 2 cm destinados à fixação nas garras da máquina. Após o preparo, as amostras foram inseridas no equipamento, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Amostra da tira de fixação da máscara N95/PFF2 inserida na máquina de ensaio de tração. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: imagem gerada para a pesquisa (2025)

3.8 Análise dos dados

Os dados coletados foram organizados em planilhas no software Microsoft Excel[®] e posteriormente analisados no programa *Statistical Package for the Social Science* (SPSS), versão 28.0. Na análise descritiva, as variáveis qualitativas foram examinadas por meio de frequências absolutas e relativas, enquanto as variáveis quantitativas foram descritas por média, desvio padrão e medidas de amplitude (mínimo e máximo).

Para avaliar a relação entre a participação em treinamentos e a frequência com que os profissionais de enfermagem adotavam práticas de segurança ao utilizar máscaras N95/PFF2, especificamente em termos de verificação da vedação e inspeção visual, aplicaram-se os teste Qui-quadrado ou Exato de Fisher.

As variáveis categóricas relacionadas à integridade das máscaras N95/PFF2, como presença de dobras, sujidade na camada interna e camada externa, marcas de identificação, rasgos/furos e afrouxamento das tiras de fixação, foram comparadas entre os protocolos de reutilização de sete e quinze dias por meio dos mesmos testes estatísticos (Qui-quadrado ou Exato de Fisher).

As variáveis contínuas obtidas no ensaio de tração das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 (tempo até a ruptura, deformação (elasticidade) e força máxima) foram comparadas entre os protocolos de reutilização de sete e quinze dias utilizando o teste t de Student para amostras independentes. A distribuição desses resultados também foi representada por gráficos do tipo *box plot*.

Para análise da eficiência de filtração, inicialmente aplicou-se o teste ANOVA para comparar as médias entre os três grupos (controle, sete e 15 dias). Em seguida, utilizaram-se testes t de Student para comparação específica entre o grupo controle e cada protocolo (sete e 15 dias). A dispersão dos resultados foi representada por gráficos de linha.

Adotou-se o nível de significância de 5% ($p < 0,05$) em todas as análises estatísticas, além do intervalo de confiança de 95%.

3.9 Aspectos Éticos

A presente pesquisa obteve aprovação do CEP parecer número: 5.824.571, em conformidade com a resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde, que regulamenta pesquisas envolvendo seres humanos.

Após essa aprovação inicial, o projeto também foi submetido aos CEPs das instituições coparticipantes, assegurando o cumprimento de todos os princípios éticos durante as diferentes etapas da pesquisa.

A participação dos profissionais de enfermagem foi voluntárias, anônima e sem qualquer tipo de compensação financeira ou submissão a qualquer forma de coerção. Garantiu-se o direito de desistência a qualquer momento, sem prejuízos ou penalidades. O acesso ao conteúdo dos questionários foi permitido após a leitura e assinatura do TCLE.

4. RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados estruturados conforme as etapas do estudo, contemplando dados obtidos da aplicação de questionário estruturado, da inspeção visual das máscaras N95/PFF2, da análise morfológica das quatro camadas, do desenvolvimento do protótipo experimental, do ensaio de eficiência de filtração e do ensaio de tração das tiras de fixação.

4.1 Período Pré-Intervenção (Fase 1)

Esta fase apresenta os dados do questionário estruturado aplicado aos profissionais de enfermagem das UTIs que adotaram protocolos de reutilização das máscaras N95/PFF2 por sete e quinze dias, no período de dezembro de 2023 e agosto de 2024.

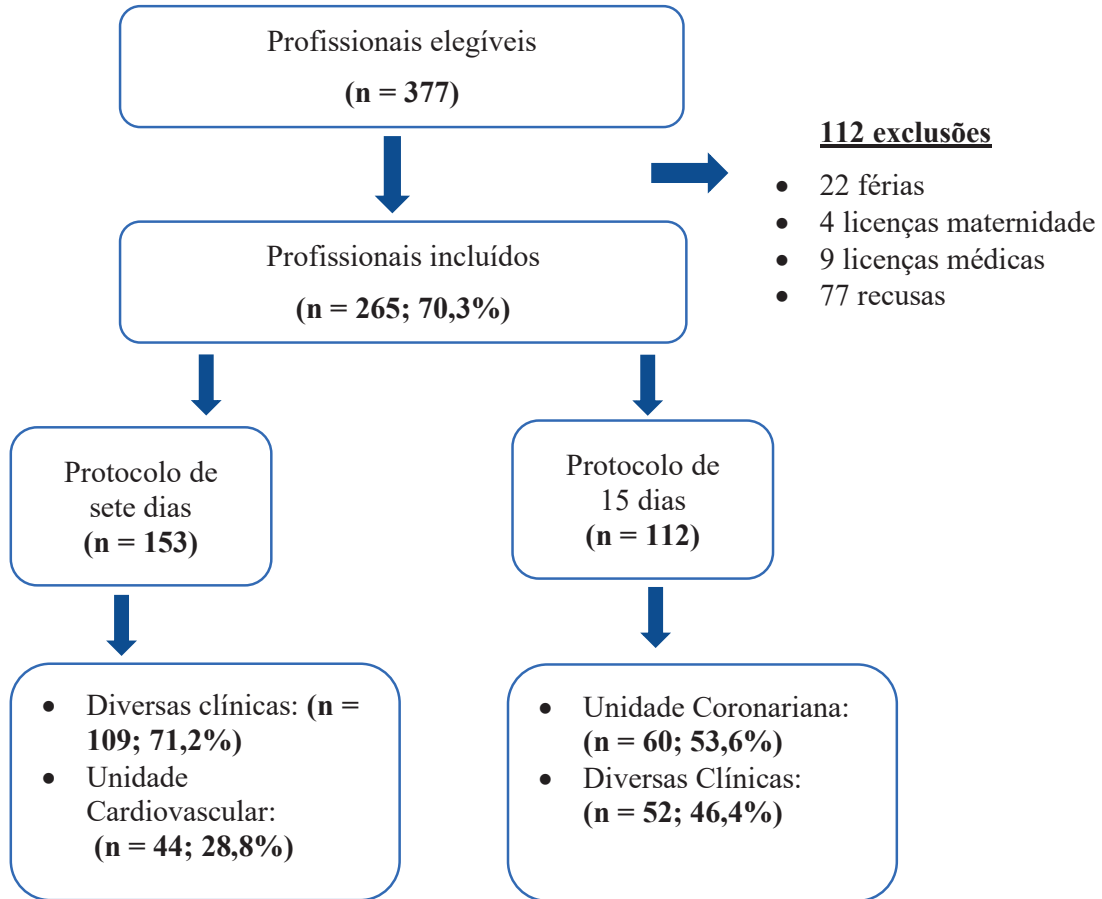
4.1.1 Aplicação do questionário aos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva

O estudo foi conduzido em quatro unidades de terapia intensiva, sendo duas UTIs de um hospital privado e duas de um hospital público de ensino e pesquisa, totalizando 377 profissionais de enfermagem elegíveis.

Nas unidades que adotaram o protocolo de reutilização de sete dias, 74,3% (n = 153) dos 206 profissionais elegíveis participaram do estudo como respondentes do instrumento. Entre os não participantes, 8,7% (n = 18) foram excluídos por estarem afastados (férias, licenças médicas ou maternidade) e 17% (n = 35) recusaram a participar.

Nas unidades que seguiram o protocolo de reutilização de 15 dias, 65,5% (n = 112) dos 171 profissionais de enfermagem elegíveis participaram do estudo como respondentes do instrumento. Entre os não participantes, 9,4% (n = 16) foram excluídos por motivos de férias, licenças médicas ou maternidade e 25,1% (n = 43) recusaram a participar. Os detalhes estão apresentados na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma do quantitativo dos profissionais de enfermagem (n = 265) das unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

4.1.2 Caracterização dos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva que adotaram protocolo de reutilização das máscaras N95/PFF2 de sete dias (n = 153) e 15 dias (n = 112).

Do total de 377 profissionais de enfermagem, 265 (70,3%) participaram da pesquisa, distribuídos entre dois protocolos de reutilização das máscaras N95/PFF2: sete dias (n = 153) e quinze dias (n = 112). A Tabela 2 apresenta a distribuição das características desses profissionais.

Tabela 2 - Características sociodemográficas, laborais e de formação dos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025

| Variáveis | Protocolo de sete dias (n = 153) | | Protocolo de 15 dias (n = 112) | |
|---|----------------------------------|------|--------------------------------|------|
| | n | % | n | % |
| Sexo | | | | |
| Feminino | 116 | 75,8 | 81 | 72,3 |
| Masculino | 37 | 24,2 | 31 | 27,7 |
| Categoria profissional | | | | |
| Enfermeiro | 25 | 16,3 | 68 | 60,7 |
| Técnico em enfermagem | 128 | 83,7 | 44 | 39,3 |
| Titulação | | | | |
| Graduação | 10 | 40,0 | 8 | 11,8 |
| Especialista | 15 | 60,0 | 53 | 77,9 |
| Mestre | 0 | 0,0 | 6 | 8,8 |
| Doutor | 0 | 0,0 | 1 | 1,5 |
| Idade (anos) | | | | |
| Média (DP/Amplitude) | 39,4 (8,9; 22-61) | | 40,8 (6,6; 25-57) | |
| Tempo formação profissional (anos) | | | | |
| Média (DP/Amplitude) | 13,4 (7,5; 2-34) | | 15,5 (5,8; 2-26) | |
| Tempo de atuação profissional (anos) | | | | |
| Média (DP/Amplitude) | 13,2 (7,5; 2-34) | | 15,2 (6,0; 2-26) | |
| Tempo atuação na instituição (anos) | | | | |
| Média (DP/Amplitude) | 8,1 (6,2; 1-34) | | 7,3 (4,6; 1-23) | |
| Tempo atuação na UTI (anos) | | | | |
| Média (DP/Amplitude) | 10,7 (6,7; 1-34) | | 8,6 (5,1; 1-24) | |
| Turno de trabalho | | | | |
| Diurno | 81 | 52,9 | 64 | 57,1 |
| Noturno | 72 | 47,1 | 48 | 42,9 |
| Carga horária semanal (horas) | | | | |
| ≤36 | 19 | 12,4 | 104 | 92,9 |
| ≥40 | 134 | 87,6 | 8 | 7,1 |
| Atuação em outra instituição | | | | |
| Sim | 44 | 28,8 | 42 | 37,5 |
| Não | 109 | 71,2 | 70 | 62,5 |

Nota: DP - Desvio padrão; UTI - Unidade de Terapia Intensiva

Fonte: dados da pesquisa (2025)

Entre os profissionais de enfermagem, observou-se um predomínio de mulheres em ambos os protocolos, sendo 116 (75,8%) no de sete dias e 81 (72,3%) no de quinze dias. No protocolo de sete dias, a maioria era técnico de enfermagem (n = 128; 83,7%), enquanto no de quinze dias, prevaleceram enfermeiros (n = 68; 60,7%).

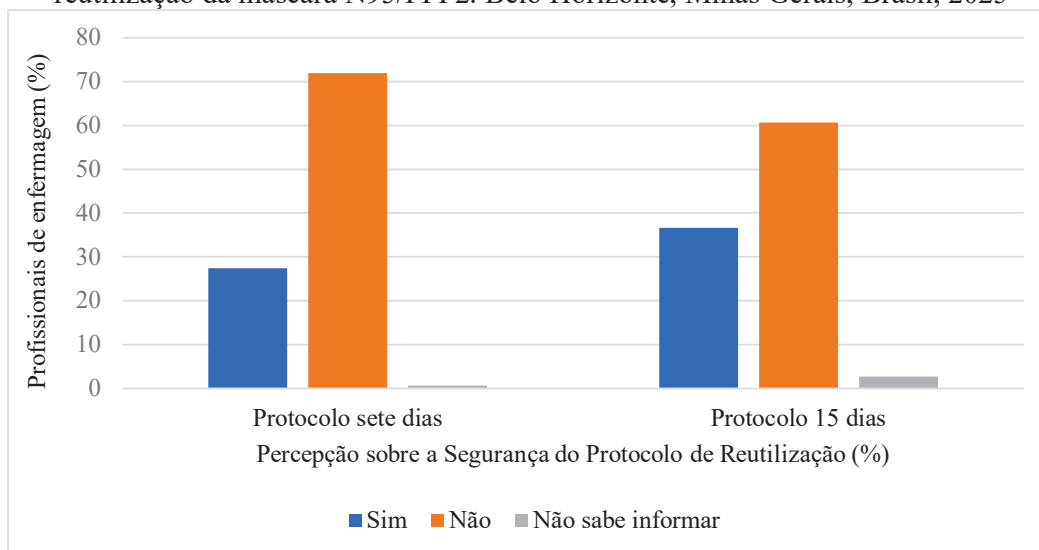
A titulação também diferiu entre os grupos. No protocolo de quinze dias, houve maior percentual de especialistas (n = 53; 77,9%), mestres (n = 6; 8,8%) e doutores (n = 1; 1,5%), enquanto no protocolo de sete dias, a maioria possuía graduação (n = 10; 40%) ou especialização (n = 15; 60%).

4.1.3 Protocolo adotado e segurança do profissional de saúde

No que diz respeito ao protocolo de reutilização da máscara N95/PFF2, duas unidades de terapia intensiva estabeleceram que cada dispositivo deveria ser utilizado, no máximo, por sete plantões, com jornada entre seis e 12 horas. Outras duas unidades adotaram protocolo de reutilização por quinze plantões, também com duração entre seis e 12 horas.

A percepção dos profissionais de enfermagem sobre a segurança desses protocolos é apresentada no Gráfico 1.

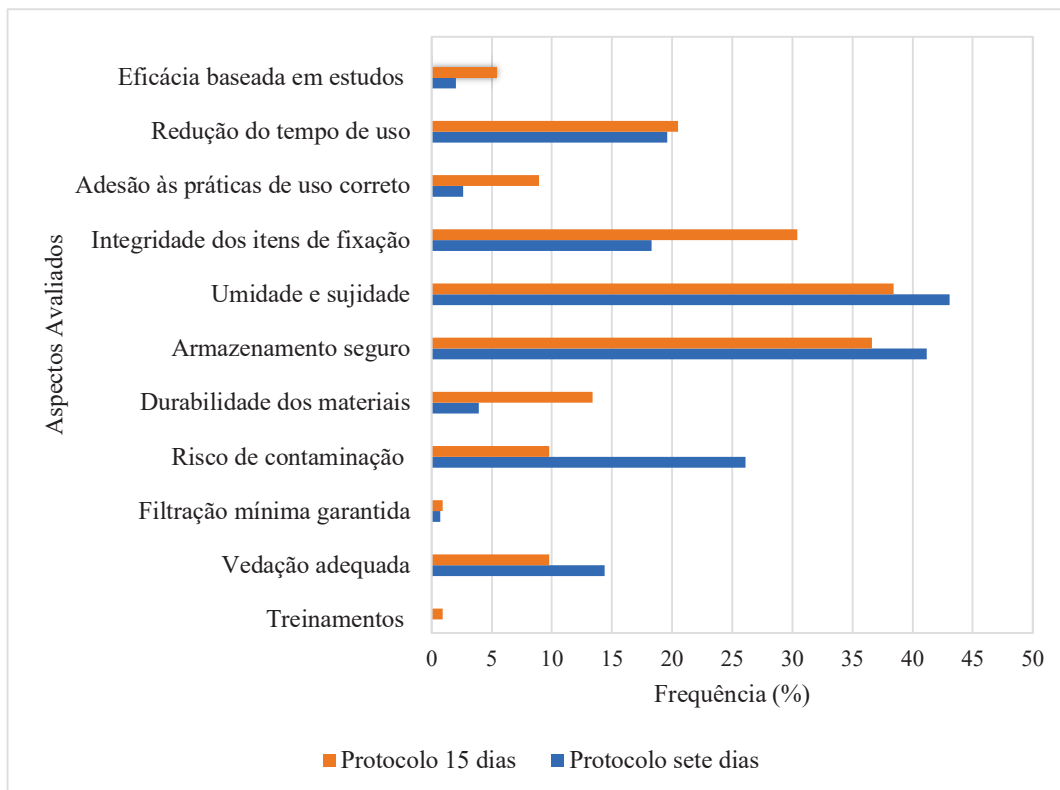
Gráfico 1- Percepção dos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e 15 dias (n = 112) sobre a segurança do protocolo de reutilização da máscara N95/PFF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

Adicionalmente, o Gráfico 2 ilustra os aspectos considerados em ambos os protocolos de reutilização da máscara N95/PFF2 para assegurar a proteção do usuário, conforme a percepção dos profissionais de enfermagem.

Gráfico 2 - Aspectos de proteção respiratória dos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e 15 dias (n = 112). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

Na análise do protocolo de reutilização da máscara N95/PFF2 por sete e 15 dias, aspectos como “umidade e sujidade” e “condições seguras de armazenamento” destacaram-se como pontos de atenção entre os profissionais de enfermagem.

Em contrapartida, a “garantia da capacidade mínima de filtração” foi mencionada por menos de 0,9% (n = 1) dos participantes em ambos os protocolos, enquanto a “realização de treinamentos” foi citada por um participante no protocolo de 15 dias e não foi mencionada no protocolo de sete dias. Esses dados indicam que, mesmo com a possibilidade de múltiplas respostas na questão aberta, esses critérios foram pouco observados pelos profissionais.

4.1.4 Treinamentos sobre o uso da máscara N95/PFF2

A participação em treinamentos sobre o uso da máscara N95/PFF2 foi maior entre os profissionais que seguiram o protocolo de reutilização por 15 dias (n = 83; 74,1%) em comparação ao de sete dias (n = 82; 53,6%). A maioria ocorreu em 2020, abrangendo 79,3% (n = 65) dos profissionais do protocolo de sete dias e 88% (n = 73) no de 15 dias.

A duração dos treinamentos foi predominantemente inferior a duas horas, envolvendo mais de 80% dos profissionais em ambos os protocolos. Quanto ao local de realização, a maior parte ocorreu na própria instituição, sendo 85,4% (n = 70) no protocolo de sete dias e 73,5% (n = 61) no de 15 dias. Esses aspectos estão detalhados na Tabela 3 abaixo.

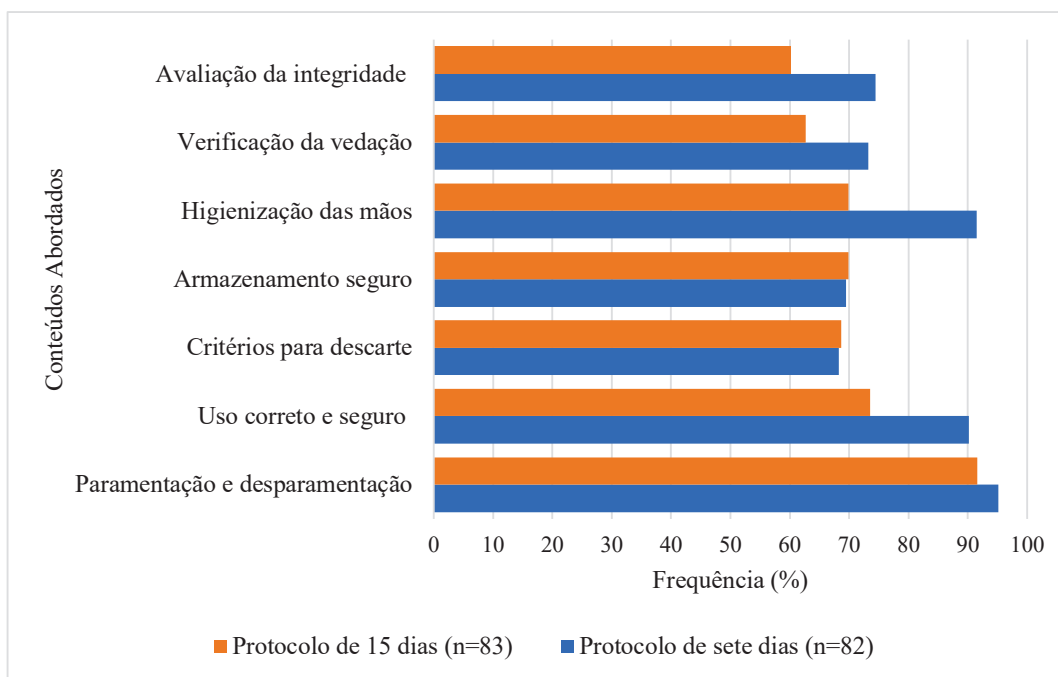
Tabela 3 - Participação dos profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112) em treinamentos sobre o uso da máscara N95/PFF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025

| Variáveis | Protocolo de sete dias (n = 153) | | Protocolo de 15 dias (n = 112) | |
|------------------------------------|-------------------------------------|------|-----------------------------------|------|
| | n | % | n | % |
| Participação em treinamento | | | | |
| Sim | 82 | 53,6 | 83 | 74,1 |
| Não | 66 | 43,1 | 26 | 23,2 |
| Não sei | 5 | 3,3 | 3 | 2,7 |
| Ano do treinamento | | | | |
| 2020 | 65 | 79,3 | 73 | 88,0 |
| 2020 e 2021 | 5 | 6,1 | | 3,6 |
| 2021 | 8 | 9,7 | | 4,8 |
| 2022 | 3 | 3,7 | | 2,4 |
| 2023 | 1 | 1,2 | | 1,2 |
| Duração do treinamento | | | | |
| Menos de duas horas | 69 | 84,2 | 77 | 98,2 |
| Mais de duas horas | 12 | 14,6 | 3 | 3,6 |
| Não sabe informar | 1 | 1,2 | 3 | 3,6 |
| Local do treinamento | | | | |
| Na própria instituição | 70 | 85,4 | 61 | 73,5 |
| Em outra instituição | 3 | 3,6 | 10 | 12,0 |
| Em ambos os locais | 9 | 11,0 | 12 | 14,5 |

Fonte: dados da pesquisa (2025)

O conteúdo abordado nos treinamentos sobre o uso de máscaras N95/PFF2, conforme relatado pelos participantes do estudo está apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Conteúdos abordados no treinamento de profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e 15 dias (n = 112) sobre o uso da máscara N95/PFF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

No contexto do treinamento sobre o uso de máscaras N95/PFF2, "paramentação e desparamentação" foi o tema mais abordado em ambos os protocolos, sendo mencionado por 77 (92,8%) profissionais no protocolo de 15 dias e 75 (91,5%) no de sete dias. No protocolo de sete dias, "uso correto e seguro" (72; 87,8%) e "higienização das mãos" (74; 90,2%) também receberam destaque.

Por outro lado, no protocolo de 15 dias, os conteúdos menos abordados foram "avaliação da integridade" (54; 65,1%) e "verificação da vedação" (56; 67,4%). Já no protocolo de sete dias, os temas menos tratados foram "armazenamento seguro" (58; 70,7%) e "critérios para descarte" (60; 73,2%).

4.1.5 Práticas seguras no uso da máscara N95/PFF2

Duas práticas essenciais garantem a segurança dos profissionais de saúde no uso da máscara N95/PFF2: a inspeção visual e a verificação da vedação. A inspeção visual deve ser realizada antes do uso para avaliar a integridade do dispositivo, enquanto a vedação deve ser testada imediatamente após a paramentação, assegurando um ajuste adequado ao rosto. A Tabela 4 apresenta a frequência com que essas práticas são adotadas pelos profissionais de enfermagem.

Tabela 4 - Verificação da vedação e inspeção visual das máscaras N95/PFF2 por profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025

| Variáveis | Protocolo de sete dias (n = 153) | | Protocolo de 15 dias (n = 112) | |
|-------------------------------|-------------------------------------|------|-----------------------------------|------|
| | n | % | n | % |
| Verificação da vedação | | | | |
| Desconheço essa prática | 21 | 13,7 | 6 | 5,4 |
| Nunca | 30 | 19,6 | 20 | 17,9 |
| Raramente | 70 | 45,8 | 56 | 50,0 |
| Sempre | 32 | 20,9 | 30 | 26,8 |
| Inspeção visual | | | | |
| Nunca | 9 | 5,9 | 4 | 3,6 |
| Raramente | 73 | 47,7 | 68 | 60,7 |
| Sempre | 71 | 46,4 | 40 | 35,7 |

Fonte: dados da pesquisa (2025)

Destacou-se que, no protocolo de 15 dias, 17,9% (n = 20) dos profissionais nunca verificaram a vedação, enquanto no de sete dias esse percentual foi ainda maior, alcançando 19,6% (n = 30). Além disso, 13,7% (n = 21) dos profissionais do protocolo de sete dias desconheciam essa prática, percentual superior do que registraram no protocolo de 15 dias, onde 5,4% (n = 6) relataram desconhecimento.

Quanto à inspeção visual, a ausência dessa prática foi mais frequente no protocolo de sete dias, com 5,9% (n = 9) dos profissionais relatando que nunca a realizam, em comparação com 3,6% (n = 4) no protocolo de 15 dias

4.1.6 Impacto do treinamento nas práticas seguras relacionadas ao uso da máscara N95/PFF2

A Tabela 5 estabeleceu uma relação entre a participação em treinamento e a frequência com que os profissionais de enfermagem adotavam práticas de segurança ao usar máscaras N95/PFF2, focando na verificação da vedação e na inspeção visual.

Tabela 5 – Associação entre treinamento e adoção de práticas seguras por profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e quinze dias (n = 112) relacionadas à verificação da vedação e à inspeção visual das máscaras N95/PFF2. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025

| Testes realizados | Variáveis | Treinamentos | | | | Valor - p |
|-------------------------------|------------|--------------|------|--------------|------|---------------|
| | | Sim (n = 82) | | Não (n = 66) | | |
| | | n | % | n | % | |
| Protocolo de sete dias | | | | | | |
| Verificação da vedação | Desconhece | 6 | 7,3 | 15 | 22,7 | 0,002* |
| | Nunca | 13 | 15,9 | 17 | 25,8 | |
| | Raramente | 44 | 53,6 | 21 | 31,8 | |
| | Sempre | 19 | 23,2 | 13 | 19,7 | |
| Inspeção visual | Nunca | 3 | 3,7 | 6 | 9,1 | 0,198** |
| | Raramente | 35 | 42,6 | 37 | 56,1 | |
| | Sempre | 44 | 53,7 | 23 | 34,8 | |
| Testes realizados | Variáveis | Treinamentos | | | | Valor - p |
| | | Sim (n = 83) | | Não (n = 29) | | |
| | | n | % | n | % | |
| Protocolo de 15 dias | | | | | | |
| Verificação da vedação | Desconhece | 3 | 3,6 | 3 | 10,3 | 0,374** |
| | Nunca | 15 | 18,1 | 5 | 17,2 | |
| | Raramente | 42 | 50,6 | 14 | 48,3 | |
| | Sempre | 23 | 27,7 | 7 | 24,1 | |
| Inspeção visual | Nunca | 2 | 2,4 | 2 | 6,9 | 0,298** |
| | Raramente | 54 | 65,1 | 14 | 48,3 | |
| | Sempre | 27 | 32,5 | 13 | 44,8 | |

Nota: *Qui-quadrado; **Exato de Fisher

Fonte: dados da pesquisa (2025)

A comparação entre profissionais de enfermagem treinados e não treinados na realização da verificação da vedação e da inspeção visual de máscaras N95/PFF2 mostrou diferença significativa na verificação da vedação no protocolo de sete dias ($p = 0,002$), onde os treinados apresentaram maior adesão. Para a inspeção visual, assim como no

protocolo de 15 dias, não houve diferença estatisticamente significativa, indicando que o treinamento não influenciou a adoção dessa prática.

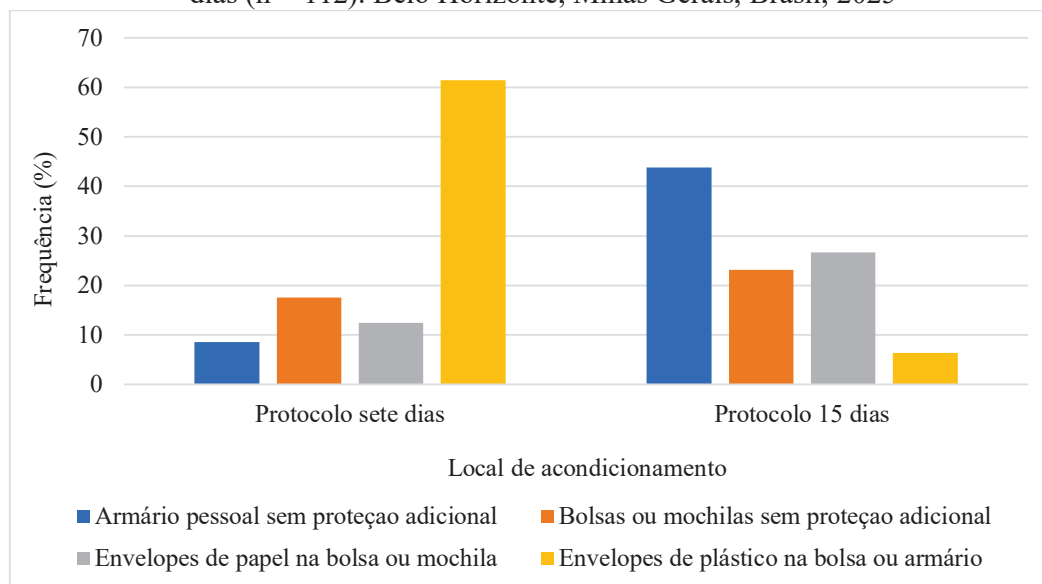
4.1.7 Armazenamento da máscara N95/PFF2

Em relação ao local de armazenamento, todos os participantes de ambos os protocolos (100%, n = 153; n = 112) relataram ausência de um espaço exclusivo para armazenar as máscaras N95/PFF2 após o uso nas instituições onde trabalhavam. Diante dessa limitação, os participantes adotaram diferentes estratégias de acondicionamento.

No protocolo de sete dias, a maioria armazenava as máscaras N95/PFF2 em envelopes de plástico dentro de bolsas ou armários pessoais (61,4%; n = 94). Já no protocolo de 15 dias, o armário pessoal foi o local preferencial, sendo adotado por 43,8% (n = 49), enquanto o uso de envelopes de plástico foi consideravelmente menor (6,3%; n = 7).

Os detalhes sobre as práticas de armazenamento das máscaras N95/PFF2 estão apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Locais de acondicionamento da máscara N95/PFF2 por profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva com protocolos de sete (n = 153) e 15 dias (n = 112). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

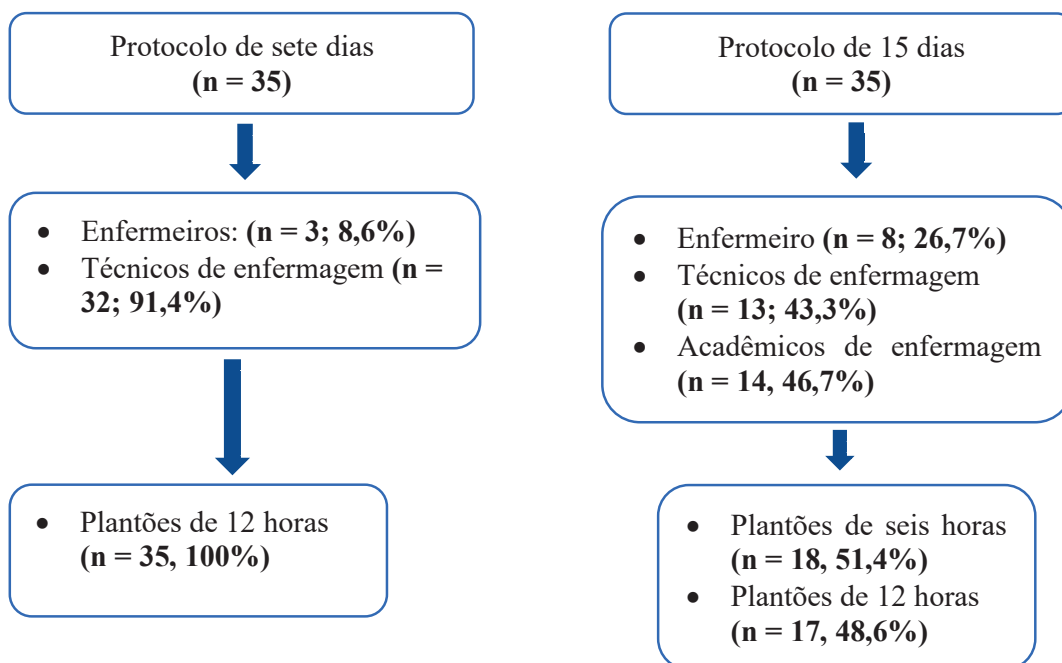
4.2 Período Pré-Intervenção (Momento 2)

4.2.1 Análise da integridade estrutural da máscara N95/PFF2 por meio da inspeção visual

Nessa etapa, inicia-se o Momento 2 da pesquisa, dedicado à inspeção visual das máscaras N95/PFF2 coletadas nas unidades de terapia intensiva participantes. Foram coletadas 70 máscaras N95/PFF2, sendo 35 utilizadas conforme o protocolo de sete dias e 35 conforme o protocolo de quinze dias. Todas foram recolhidas ao término dos plantões, devidamente identificadas quanto ao tempo de uso e à categoria profissional, e posteriormente encaminhadas ao laboratório do Núcleo de Bioengenharia da PUC Minas.

A inspeção visual foi realizada entre agosto e setembro de 2024, com auxílio de uma lente óptica com ampliação de dez vezes (Tomshin S.A., São Paulo, SP, Brasil), tendo como finalidade avaliar a integridade estrutural e os componentes de fixação das máscaras N95/PFF2 após protocolos de reutilização de sete e quinze dias nas unidades de terapia intensiva. O fluxograma a seguir apresenta a distribuição quantitativa das máscaras N95/PFF2 coletadas, conforme os protocolos estabelecidos.

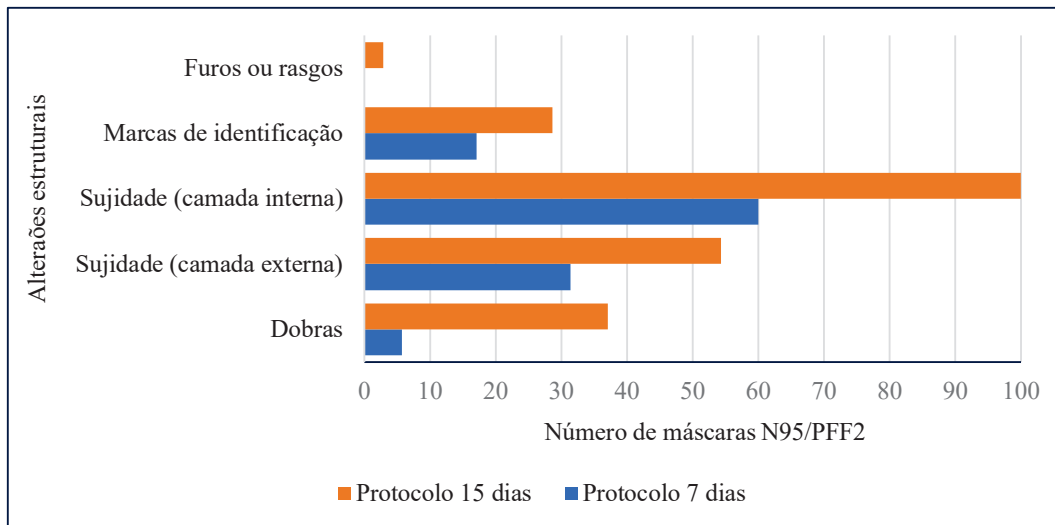
Figura 14 - Fluxograma do quantitativo de máscaras N95/PFF2 coletadas (n = 70) após o uso por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

As alterações estruturais identificadas estão detalhadas no Gráfico 5, que apresenta a distribuição dos principais danos observados nas máscaras N95/PFF2 após os protocolos de reutilização de sete e quinze dias.

Gráfico 5 - Alterações estruturais nas máscaras N95/PFF2 após uso por profissionais de enfermagem das unidades de terapia intensiva conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

Marcas de identificação pessoal feitas com canetas esferográficas foram observadas em 17,1% (6/35) das máscaras N95/PFF2 reutilizadas por sete dias e 28,6% (10/35) daquelas reutilizadas por quinze dias. Essas marcas, realizadas pelos profissionais de enfermagem, incluíam iniciais dos nomes e/ou a data de recebimento para facilitar a identificação e o controle do tempo de uso.

Quanto à sujidade, após sete dias, a camada externa das máscaras N95/PFF2 apresentava manchas amareladas ou enegrecidas de origem indeterminada. Em 72,3% (8/11) dos casos, a sujidade cobria menos de 50% da superfície, enquanto na camada interna, 57,1% (12/21) dos dispositivos exibiam sujidade em mais de 50% da área, com vestígios de maquiagem em 66,7% (14/21).

Nas amostras reutilizadas por quinze dias, 52,6% (10/19) dos casos apresentavam sujidade na camada externa cobrindo mais de 50% da superfície, com manchas amareladas ou enegrecidas sendo as mais comuns, observadas em 84,2% (16/19). Na camada interna, todas as máscaras N95/PFF2 tinham sujidade em mais de 50% da área, e 54,3% (19/35) delas apresentavam vestígios de maquiagem.

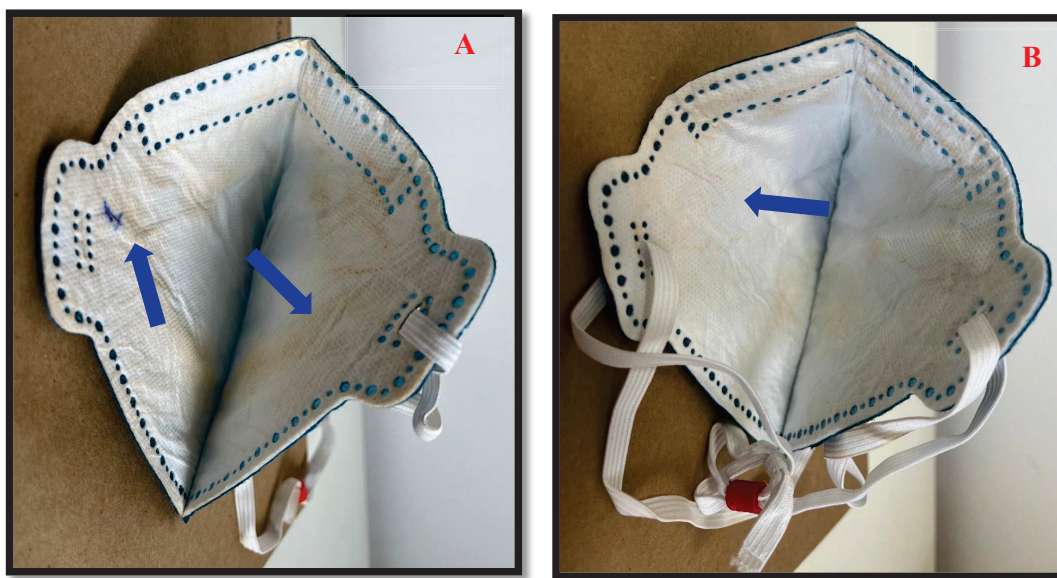
A inspeção visual dos componentes de fixação revelou que, após sete dias, 34,3%

(12/35) das tiras de fixação estavam afrouxadas. Após quinze dias, todas as máscaras N95/PFF2 (100%; n = 35) exibiram afrouxamento das tiras de fixação.

Os testes estatísticos revelaram diferenças significativas entre os protocolos de reutilização de sete e quinze dias quanto à presença de dobras ($p < 0,01$), sujidade na camada interna ($p < 0,01$), rasgos ($p < 0,01$) e afrouxamento das tiras de fixação ($p < 0,01$). Por outro lado, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas quanto à sujidade na camada externa ($p = 0,09$) e à presença de marcas de identificação ($p = 0,39$).

As Figuras 15 e 16 ilustram os danos estruturais observados nas máscaras N95/PFF2 após protocolos de reutilização de quinze e sete dias, respectivamente.

Figura 15 - Danos estruturais identificados em máscaras N95/PFF2 após uso conforme protocolos de sete dias (n = 2) durante plantão de 12 horas em unidade de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025

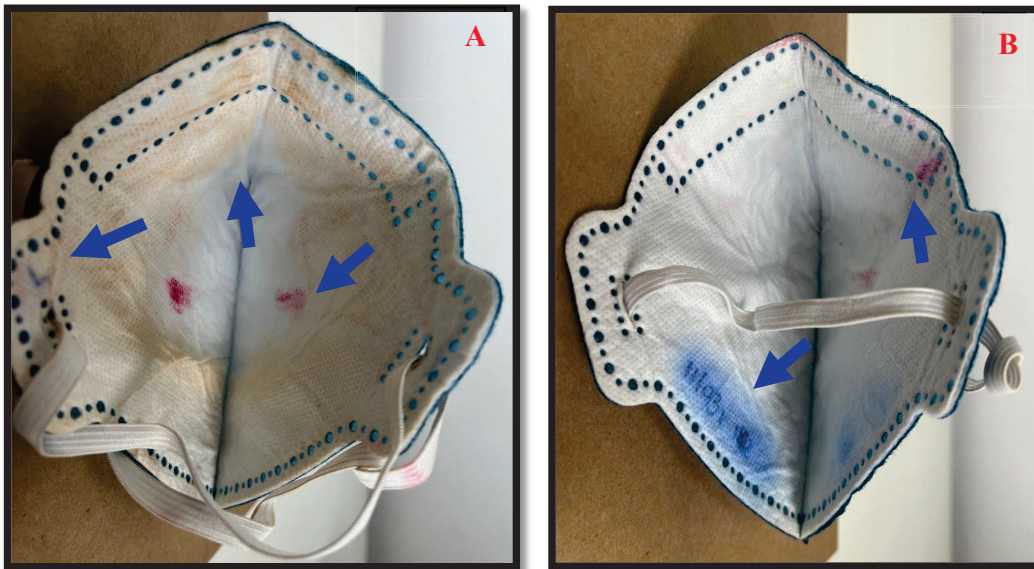


(A) Inspeção visual demonstrou vestígios de maquiagem e marcas de identificação pessoal feitas com canetas esferográficas na camada interna (B) Inspeção visual evidenciou também vestígios de maquiagem na camada interna das máscaras N95/PFF2 reutilizadas por sete dias em plantões de 12 horas.

Fonte: imagens geradas para a pesquisa (2025)

Nas máscaras N95/PFF2 reutilizadas por sete dias, observou-se a presença de vestígios de maquiagem na camada interna, bem como marcas de identificação feitas com caneta esferográfica. Conforme ilustrado na Figura 16, em protocolos de quinze dias essas alterações se mantêm, com recorrência dos vestígios de maquiagem e das marcas de identificação pessoal.

Figura 16 - Danos estruturais identificados em máscaras N95/PFF2 após uso conforme protocolos de quinze dias (n = 2) durante plantões de 12 horas em unidade de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



(A-B) Inspeções visuais demonstraram vestígios de maquiagem e marcas de identificação pessoal feitas com canetas esferográficas nas camadas internas das máscaras N95/PFF2 reutilizadas por quinze dias em plantões de 12 horas.

Fonte: imagens geradas para a pesquisa (2025)

4.3 Fase experimental

4.3.1 Análise morfológica das camadas da máscara N95/PFF2 por meio da microscopia eletrônica de varredura

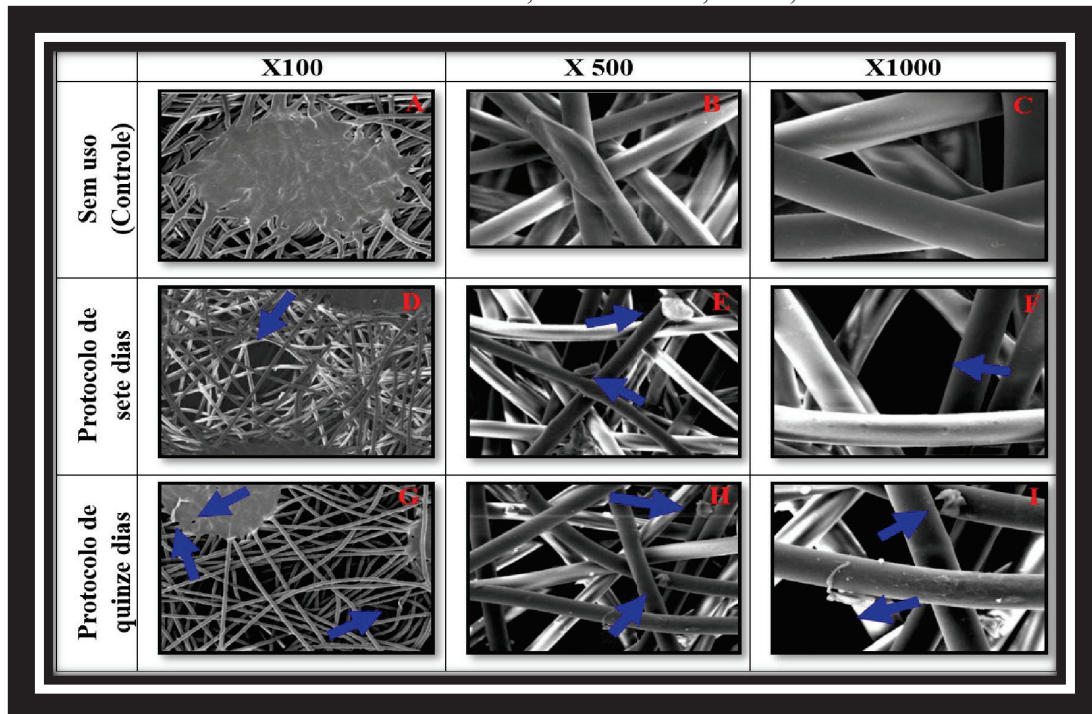
No que se refere às possíveis alterações morfológicas, as máscaras N95/PFF2 foram submetidas à análise das fibras de cada camada por meio da microscopia eletrônica de varredura, considerando os protocolos de reutilização de sete e 15 dias. Essa etapa experimental correspondeu ao teste piloto e foi realizada no período de fevereiro a abril de 2023.

Todas as amostras analisadas (n = 10), aparentaram apresentar modificações morfológicas semelhantes. Para fins ilustrativos, foi selecionada uma máscara N95/PFF2 representativa de cada protocolo de reutilização, apresentada nas figuras deste estudo. Uma amostra não utilizada foi incluída como controle na análise.

A máscara N95/PFF2 controle apresentou, nas micrografias, uma superfície com contorno de fibra preservado, sem presença de microfuros, fissuras ou detritos aderidos.

Nas camadas externas das máscaras N95/PFF2 em uso no protocolo de sete dias, observou-se a presença de poros entre as tramas e detritos aderidos às fibras. Em contrapartida, nas amostras de quinze dias essas alterações mostraram-se mais acentuadas, acompanhadas do aparecimento de microfuros e de fibras soltas (Figura 17).

Figura 17 - Microscopia eletrônica de varredura da camada externa da máscara N95/PFF2 sem uso (controle, n = 1) e dos dispositivos utilizados conforme protocolos de sete (n = 5) e quinze dias (n = 5) durante plantões de 12 horas em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Nota: as imagens foram ampliadas em 100x, 500x e 1000x.

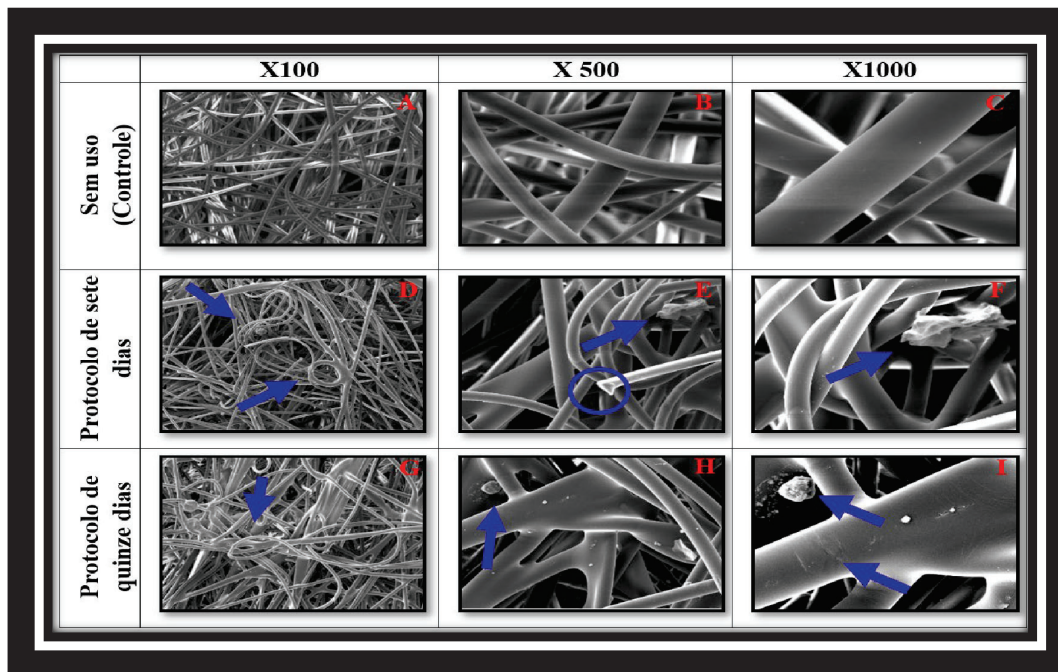
Fonte: imagens geradas para a pesquisa (2025)

Na Figura 17 (A-C) as imagens microscópicas da camada externa da máscara N95/PFF2 de controle, revelaram fibras preservadas. Nas imagens 17 (D-F), referentes ao dispositivo utilizado no protocolo de sete dias, observou-se a presença de poros entre as tramas em 17 (D) e 17 (F) e detritos em 17 (E). Nas imagens 17 (G-I), correspondente a amostra de quinze dias, foram identificados microfuros e fibras soltas em 17 (G), detritos em 17 (H) e 17 (I), e poros entre as tramas em 17 (I).

Na análise da camada estrutural da máscara N95/PFF2 após protocolo de reutilização de sete dias, notou-se tramas "emaranhadas e desorganizadas", rompimento das fibras e detritos aderidos às mesmas. No protocolo de quinze dias, além das tramas "emaranhadas e desorganizadas" e detritos aderidos, também foram identificados

desgastes nas fibras (Figura 18).

Figura 18 - Microscopia eletrônica de varredura da camada estrutural da máscara N95/PFF2 sem uso (controle, n = 1) e dos dispositivos utilizados conforme protocolos de sete (n = 5) e quinze dias (n = 5) durante plantões de 12 horas em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



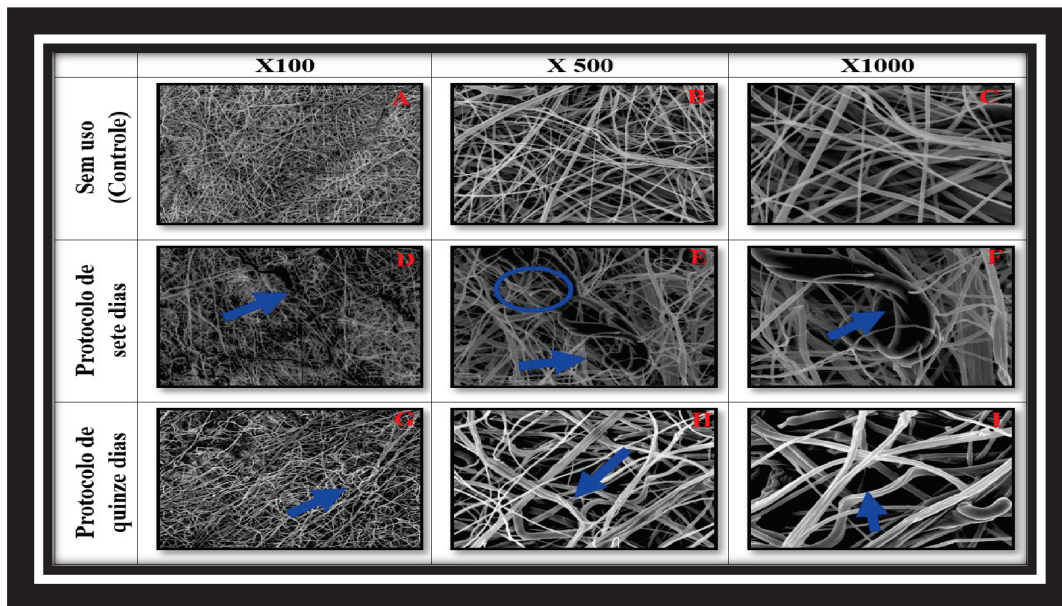
Nota: as imagens foram ampliadas em 100x, 500x e 1000x.

Fonte: imagens geradas para a pesquisa (2025)

Na Figura 18 (A-C), as imagens microscópicas da camada estrutural da máscara N95/PFF2 de controle mostraram fibras preservadas de forma estruturalmente organizadas. A imagem 18 (D) da amostra de sete dias revelou tramas "emaranhadas e desorganizadas", a imagem 18(E) evidenciou rompimento das fibras e detritos, enquanto a 18 (F) mostrou apenas detritos. As imagens da Figura 18 (G-I) da amostra de quinze dias revelaram tramas "emaranhadas" em 18 (G), detritos em 18 (H) e detritos com desgaste das fibras em 18 (I).

Em relação às camadas filtrantes das máscaras N95/PFF2 submetidas ao protocolo de reutilização de sete e quinze dias, foi observado a presença de tramas "emaranhadas" e rompimento das fibras. Nas amostras de quinze dias, além de tramas "emaranhadas e desorganizadas", observou-se poros maiores entre as tramas (Figura 19).

Figura 19 - Microscopia eletrônica de varredura da camada filtrante da máscara N95/PFF2 sem uso (controle, n = 1) e dos dispositivos utilizados conforme protocolos de sete (n = 5) e quinze dias (n = 5) durante plantões de 12 horas em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



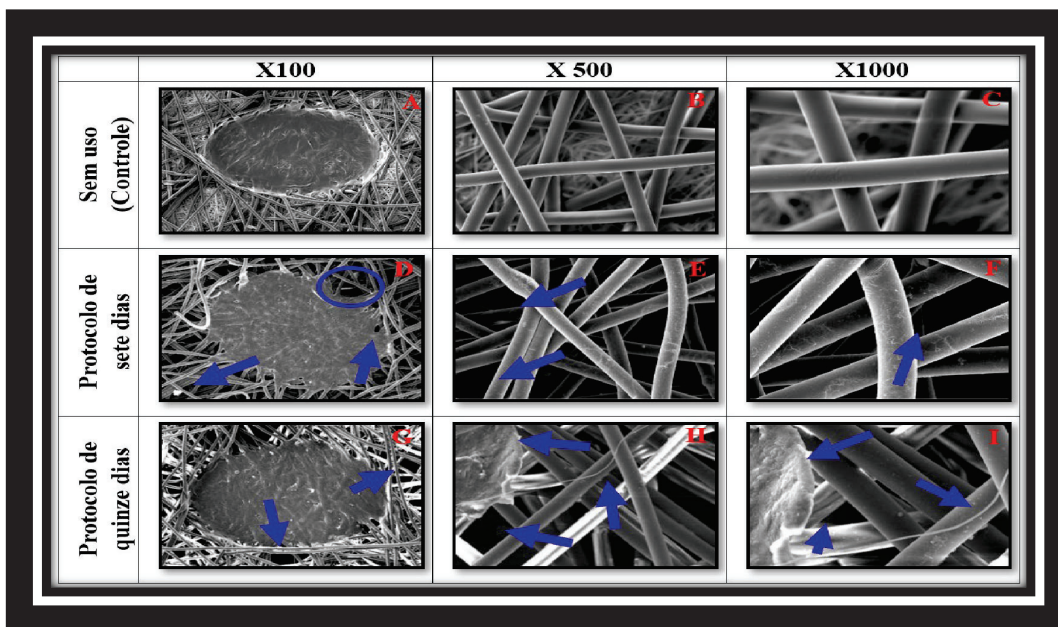
Nota: as imagens foram ampliadas em 100x, 500x e 1000x.

Fonte: imagens geradas para a pesquisa (2025)

Na Figura 19 (A-C) as imagens da camada filtrante da máscara N95/PFF2 de controle mostraram fibras preservadas de forma estruturalmente organizadas. As imagens 19 (D-F) da amostra de sete dias revelaram tramas "emaranhadas e desorganizadas". As imagens 19 (G-H) da amostra de quinze dias também revelaram tramas "emaranhadas e desorganizadas", enquanto a imagem 19 (I) revelou poros entre as tramas.

Ao analisar as camadas internas das máscaras N95/PFF2 utilizadas nos protocolos de sete dias, foram identificados microfuros, detritos aderidos às fibras e poros entre as tramas. Nas amostras reutilizadas nos protocolos de quinze dias, revelou além desses danos, a presença de fios de fibras soltos (Figura 20).

Figura 20 - Microscopia eletrônica de varredura da camada interna da máscara N95/PFF2 sem uso (controle, n = 1) e dos dispositivos utilizados nos protocolos de sete (n = 5) e quinze dias (n = 5) durante plantões de 12 horas em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Nota: as imagens foram ampliadas em 100x, 500x e 1000x.

Fonte: imagens geradas para a pesquisa (2025)

Na Figura 20 (A-C), as imagens da camada interna da máscara N95/PFF2 de controle mostraram fibras preservadas de forma estruturalmente organizadas. A imagem 20 (D) da amostra de sete dias revelou a presença de microfuros, detritos e poros entre as tramas, enquanto as imagens 20 (E) e 20 (F) revelaram poros entre as tramas. A imagem 20 (G) da amostra de quinze dias também revelou poros entre as tramas, e as imagens 20 (H) e 20 (I) mostraram detritos e poros entre as tramas, bem como fios soltos de fibras.

4.3.2 Ensaio de tração: avaliação da resistência e da elasticidade das tiras de fixação

Para avaliar a resistência e a elasticidade das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2, foram realizados ensaios de tração entre setembro e dezembro de 2024. O teste comparou a integridade das tiras de fixação após diferentes tempos de uso (controle, protocolo de sete e 15 dias), com intuito de mensurar sua capacidade de suportar força (resistência), o seu deslocamento antes do rompimento e o tempo para ruptura, conforme ilustrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Tempo, força (resistência) e deformação (elasticidade) das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025

| Variável | Protocolos | Média | ± | Mínimo | Máximo | Valor – p* |
|-----------------------|------------|-------|------|--------|--------|-------------------|
| Tempo (s) | Controle | 189,7 | 25,8 | 165,9 | 221,1 | < 0,001 |
| | Sete dias | 166,8 | 22,3 | 124,1 | 204,9 | |
| | 15 dias | 147,0 | 13,3 | 124,4 | 166,9 | |
| Deformação(mm) | Controle | 316,0 | 43,0 | 276,2 | 368,3 | < 0,001 |
| | Sete dias | 277,0 | 35,5 | 206,7 | 341,2 | |
| | 15 dias | 244,7 | 22,2 | 207,1 | 278,0 | |
| Força (N) | Sem uso | 57,6 | 7,0 | 51,4 | 65,3 | < 0,001 |
| | Sete dias | 57,1 | 6,4 | 46,6 | 72,6 | |
| | 15 dias | 52,3 | 4,7 | 43,4 | 61,4 | |

Nota: ± - Desvio padrão; * Teste t de Student

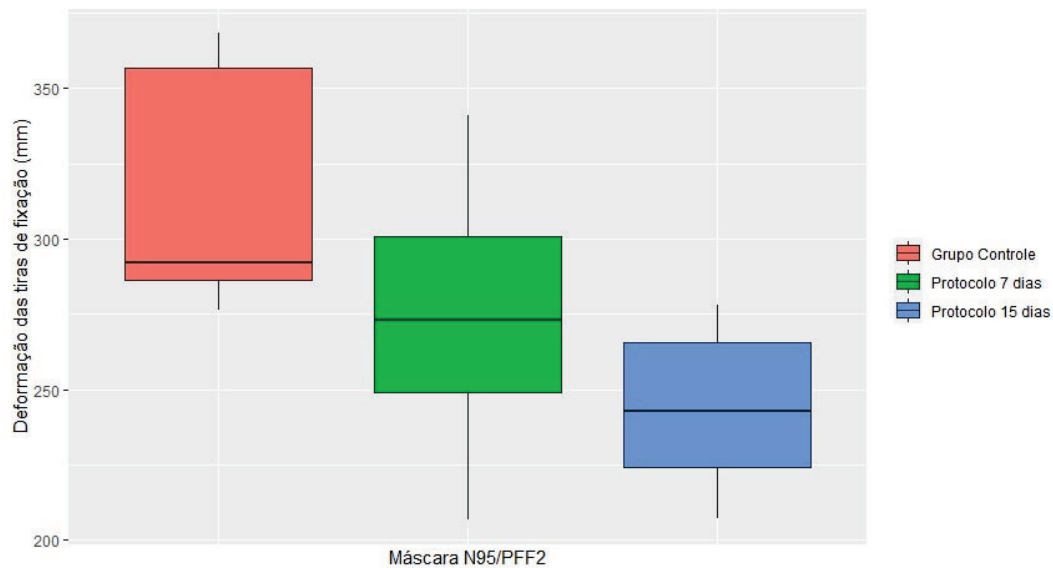
Fonte: dados da pesquisa (2025)

As tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 controle (sem uso) apresentaram os melhores desempenhos nos três parâmetros avaliados: maior deformação (316,0 mm), maior força (57,6 N) e maior tempo até a ruptura (189,7 s). Após sete dias de reutilização, observou-se uma pequena redução nesses indicadores: na deformação (277,0 mm), força (57,1 N) e no tempo até a ruptura (166,8 s), mantendo desempenho semelhantes ao grupo controle. No entanto, após quinze dias de uso, houve queda mais acentuada desses valores: a deformação foi reduzida para 244,7 mm, a resistência (força) para 52,3 N e o tempo até a para 147,0 s)

As diferenças entre os protocolos de reutilização de sete e quinze dias foram estatisticamente significativas para todas as variáveis analisadas ($p < 0,001$), indicando uma tendência de perda progressiva da integridade mecânica das tiras de fixação com o prolongamento do tempo de uso.

Os Gráficos 6, 7 e 8 apresentam, por meio de *box plot*, a distribuição dessas três variáveis de desempenho das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2, facilitando a visualização das medianas, dispersões e possíveis outliers entre diferentes tempos de uso (controle, protocolo de sete e 15 dias),

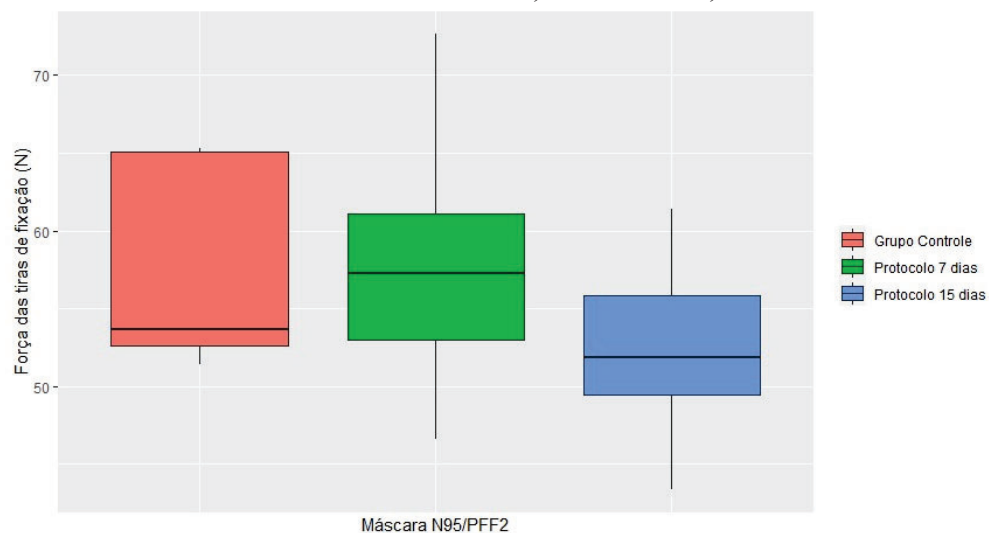
Gráfico 6 - *Box plot* da deformação (elasticidade) das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

O Gráfico 6 evidenciou uma redução progressiva na mediana da deformação das tiras de fixação à medida que o tempo de uso aumenta, indicando comprometimento de elasticidade com a reutilização.

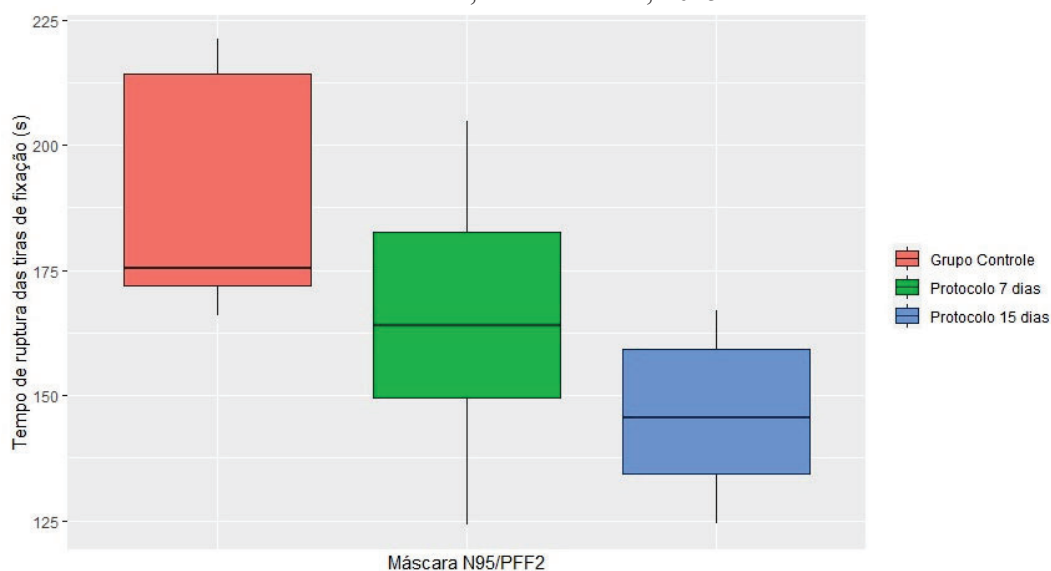
Gráfico 7 - *Box plot* da força exercida (resistência) das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

O Gráfico 7 revela uma tendência de queda na mediana da força máxima suportada pelas tiras de fixação conforme o tempo de uso. As tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 controle (sem uso) apresentou maior resistência, seguido pelo protocolo de sete e quinze dias, respectivamente. A menor dispersão entre as amostras reutilizadas sugere maior homogeneidade na perda de resistência das tiras de fixação com o aumento do tempo de uso.

Gráfico 8 - *Box plot* do tempo até a ruptura das tiras de fixação das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2025



Fonte: dados da pesquisa (2025)

O Gráfico 8 demonstra que o tempo até a ruptura das tiras de fixação também diminui progressivamente conforme a reutilização das máscaras N95/PFF2, com menor mediana observada no protocolo de 15 dias. A redução na dispersão desse protocolo indica uniformidade na perda de desempenho das tiras de fixação, evidenciando o impacto do uso prolongado sobre a integridade do dispositivo.

4.3.3 Ensaio de eficiência de filtração das máscaras N95/PFF2 com uso de protótipo experimental

A eficiência de filtração das máscaras N95/PFF2 foi avaliada, no período de dezembro de 2024 a maio de 2025, por meio de um protótipo experimental desenvolvido

para esse fim. Três condições de uso foram analisadas: máscaras N95/PPF2 sem uso (controle), e aquelas submetidas aos protocolos de sete dias e de 15 dias de uso.

Cada amostra foi testada em triplicata (Ensaio 1, 2 e 3), com contagem de partículas de 0,3 μm antes e após a passagem pela camada filtrantes. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos, incluindo as eficiências média individuais (EF1, EF2, EF3) e a eficiência média final (MEF123), calculada com base nas três repetições para cada amostra.

As máscaras N95/PPF2 sem uso (controle) apresentaram média de eficiência de filtração de 95,8% ($\pm 0,5$), conforme os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 13698:2011. No entanto, as máscaras N95/PPF2 avaliadas após sete e quinze dias de uso apresentaram médias de 91,5% ($\pm 6,2$) e 91,9% ($\pm 4,8$), respectivamente. Ambas as médias ficaram abaixo do limiar mínimo de 94%, com diferenças estatisticamente significativas em relação ao grupo controle ($p < 0,05$), indicando perda de desempenho do material filtrante com o uso prolongado (Tabela 7).

Tabela 7 - Eficiência média de filtração dos três ensaios consecutivos e da média final das máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025

| Ensaio | Sem uso (controle) | Protocolo de sete dias | Protocolo de 15 dias | Valor – p | | |
|----------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| | Média (±DP) | Média (±DP) | Média (±DP) | | | |
| Ensaio 1 Antes | 105.438,2 (±609,3) | 105.419,4 (±1.902,0) | 105.260,8 (±1.517,3) | 0,906* | 0,975 [†] | 0,721 [‡] |
| Ensaio 1 Depois | 4.613,5 (±1.074,3) | 9.306,9 (±8.849,0) | 8.894,4 (±6.792,4) | 0,203* | 0,104 [†] | 0,055 [‡] |
| EF1 (%) | 95,6 (±1,0) | 91,2 (±8,4) | 91,5 (±6,5) | 0,201* | 0,103 [†] | 0,054 [‡] |
| Ensaio 2 Antes | 105.170,0 (±2.063,7) | 105.147,3 (±6.972,8) | 105.934,4 (±1.974,4) | 0,776* | 0,992 [†] | 0,290 [‡] |
| Ensaio 2 Depois | 4.398,3 (±843,6) | 8.185,0 (±5.752,6) | 8.403,6 (±6.183,3) | 0,127* | 0,045[†] | 0,048[‡] |
| EF2 (%) | 95,8 (±0,8) | 92,3 (±5,1) | 93,0 (±5,9) | 0,121* | 0,035[†] | 0,053 [‡] |
| Ensaio 3 Antes | 105.473,8 (±1.021,0) | 106.043,0 (±2.534,3) | 105.412,8 (±1.224,8) | 0,359* | 0,494 [†] | 0,886 [‡] |
| Ensaio 3 Depois | 4.350,0 (±933,9) | 9.573,0 (±1.0096,2) | 8.184,8 (±4.266,8) | 0,141* | 0,112 [†] | 0,007[‡] |
| EF3 (%) | 95,9 (±0,9) | 91,0 (±9,6) | 92,3 (±4,0) | 0,146* | 0,115 [†] | 0,008[‡] |
| MEF123 | 95,8 (±0,5) | 91,5 (±6,2) | 91,9 (±4,8) | 0,076* | 0,038[†] | 0,016[‡] |

Nota: “Antes”: contagem de partículas de 0,3 µm antes da passagem pela camada filtrante; “Depois”: contagem após a camada filtrante; EF1, EF2 e EF3 (%): eficiência média de filtração calculada em cada repetição, calculada pela diferença percentual entre as contagens antes e depois da camada filtrante; MEF123: média das três eficiências de filtração (EF1, EF2 e EF3). *comparação entre os três grupos (teste ANOVA); [†]comparação entre grupo controle e protocolo de sete dias (teste t de Student); [‡]comparação entre grupo controle e protocolo de quinze dias (teste t de Student).

Fonte: dados da pesquisa (2025)

A proporção de máscaras N95/PFF2 que atingiram o desempenho mínimo de eficiência de filtração de 94% foi semelhante entre os protocolos de sete dias (54,3%) e de quinze dias (48,6%) ($p = 0,632$) (Tabela 8).

Tabela 8 - Proporção de máscaras N95/PFF2 que atingiram o desempenho mínimo de eficiência de filtração de 94% reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025

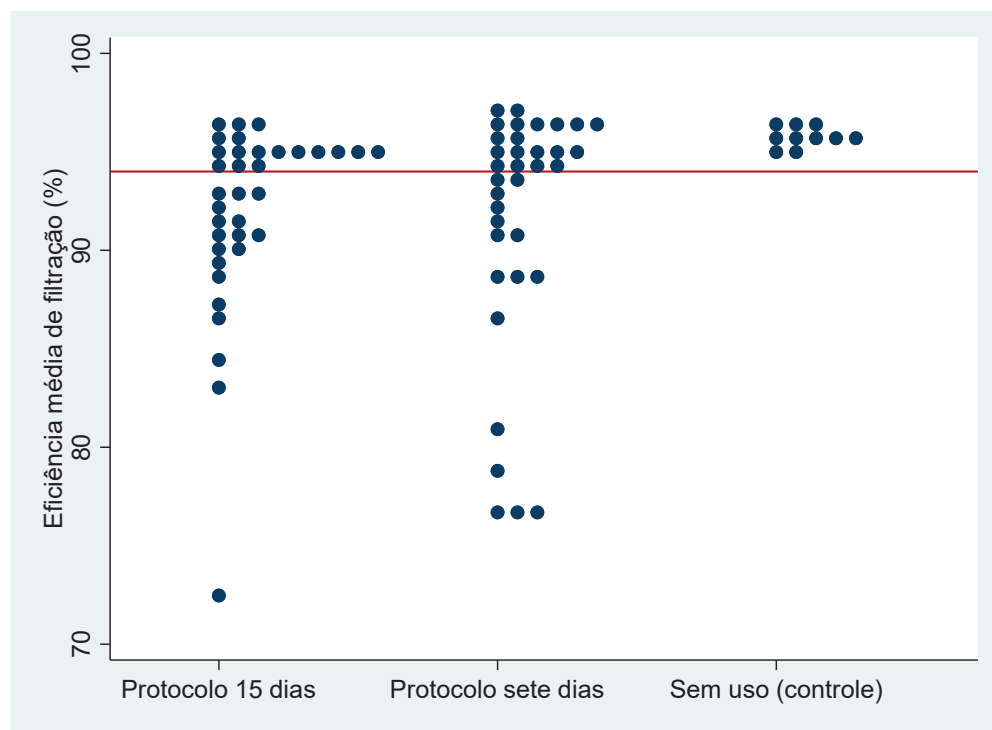
| Variáveis | Protocolo de sete dias | | Protocolo de 15 dias | | Valor – p^* |
|---|------------------------|------|----------------------|------|---------------|
| | n | % | n | % | |
| Eficiência média de filtração $\geq 94\%$ | 19 | 54,3 | 17 | 48,6 | 0,632 |
| Eficiência média de filtração $< 94\%$ | 16 | 45,7 | 18 | 51,4 | |

Nota: *Qui-quadrado

Fonte: dados da pesquisa (2025)

O Gráfico 9 ilustra a dispersão das eficiências médias de filtração obtidas nos ensaios realizados com máscaras N95/PFF2 sem uso, submetidas ao protocolo de sete dias e ao protocolo de quinze dias.

Gráfico 9 – Dispersão da eficiência média de filtração entre máscaras N95/PFF2 sem uso (controle, n = 10) e reutilizadas conforme protocolos de sete (n = 35) e de quinze dias (n = 35) por profissionais de enfermagem em unidades de terapia intensiva. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2025



Nota: Linha de referência 94%

Fonte: imagem gerada para pesquisa (2025)

Observa-se que, enquanto as máscaras N95/PPF2 sem uso (controle) mantêm-se predominantemente acima do valor de referência de 94%, os protocolos de sete e de quinze dias apresentam amostras com desempenho abaixo do limiar mínimo de eficiência de filtração.

5. DISCUSSÃO

O perfil sociodemográfico dos participantes desta pesquisa está em consonância com estudos nacionais e internacionais, que apontam predominância feminina, variando entre 70% e 80%, e maior concentração de profissionais na faixa etária de 26 a 45 anos (Gomes *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2023; Saldanã *et al.*, 2021). A maioria cumpre jornadas semanais de 21 a 40 horas, sem vínculos empregatícios adicionais (Santos *et al.*, 2023; Saldanã *et al.*, 2021).

Quanto à titulação, os resultados aproximam-se dos dados de um levantamento nacional com mais de 20.000 profissionais de enfermagem no Brasil, que identificou 65,4% com especialização (pós-graduação *lato sensu*) e 3,7% com mestrado, sem registros de doutorado (Santos *et al.*, 2023). No protocolo de sete dias, observou-se cenário semelhante, com predominância de especialistas e ausência de mestres ou doutores. Enquanto no protocolo de 15 dias, verificou-se perfil mais qualificado, com maior percentual de especialistas e presença de mestres e doutores. Em contraste, um estudo multicêntrico com enfermeiros de UTIs do Brasil, Colômbia, Argentina e Peru encontrou percentuais inferiores: 33,6% com especialização, 6,2% com mestrado e 0,7% com doutorado, sugerindo que os enfermeiros do protocolo de 15 dias apresentam maior nível de escolaridade (Saldanã *et al.*, 2021). Esse resultado pode estar relacionado ao perfil institucional da unidade, vinculada ao ensino e à pesquisa, o que pode ter favorecido a maior qualificação observada e configurado viés amostral.

Os resultados também evidenciam aspectos críticos da percepção e do comportamento dos profissionais de enfermagem intensivistas quanto ao uso seguro da máscara N95/PPF2 em protocolos de reutilização.

Nas unidades de terapia intensiva analisadas, o protocolo vigente permite a reutilização das máscaras N95/PPF2 por até sete ou quinze plantões consecutivos, em turnos de seis e 12 horas, desde que permaneçam limpas, íntegras e secas e com vedação facial adequada. Essa prática, inicialmente adotada em crises sanitárias, como a pandemia de COVID-19 (2020), a Síndrome Respiratória do Oriente Médio (2012) e a influenza H1N1 (2009), foi posteriormente mantida em países com altas incidência de doenças infecciosas respiratórias, como tuberculose e sarampo, a exemplo de Brasil, Índia e China, consolidando-se como medida institucional de contenção de custos (WHO, 2022b; Chu *et al.*, 2021; Cohen; Rodgers, 2020; Jain, 2020; Kobayashi *et al.*, 2020; Noguee; Tomassoni, 2020;).

Entretanto, tal conduta contrasta com recomendações de órgãos reguladores internacionais e nacionais, que classificam as máscaras N95/PPF2 como de uso único e indicam descarte após cada utilização (ANVISA, 2024; CDC, 2024). Além disso, há grande variações entre países e instituições, com protocolos distintos que combinam ou restringem o uso estendido e reutilização (Toomey *et al*, 2021; Company-Sancho, González-Maria, Abad-Corpa, 2021; Kobayashi *et al*, 2020; Kirubarajan *et al*, 2020). Essa heterogeneidade e a falta de consenso sobre os limites seguros de reutilização das máscaras N95/PPF2 podem reduzir a confiança dos profissionais de enfermagem, percepção confirmada neste estudo, em que a maioria considerou inseguros ambos os protocolos. Tais achados corroboram a literatura, que relaciona a ausência de orientações claras e unificadas à insegurança dos trabalhadores de saúde, destacando a necessidade de diretrizes consistentes e baseadas em evidências para o uso seguro das máscaras N95/PPF2 em ambientes assistenciais (Tabah *et al*, 2020).

Na avaliação dos fatores que comprometem a proteção respiratória, os profissionais de enfermagem apontaram a presença de umidade e sujidade e armazenamento inadequado como os principais riscos nos protocolos de reutilização. Esses elementos refletem a percepção da equipe sobre condições que afetam a integridade estrutural das máscaras N95/PPF2, favorecem o acúmulo de sujidade nas camadas externas e internas e a retenção de umidade, situações agravadas pela inexistência de local apropriado para acondicionamento, o que acelera o desgaste do dispositivo e eleva o risco ocupacional (Vimieiro; Vimieiro; Oliveira, 2024). Por outro lado, aspectos igualmente essenciais para a segurança do usuário, como a manutenção da eficiência de filtração e a realização de treinamentos, foram mencionados por menos de 1% dos participantes, revelando lacuna relevante na percepção sobre critérios fundamentais para garantir a eficácia do dispositivo com implicações diretas na segurança ocupacional. Essa gravidade é evidenciada por pesquisa quase-experimental que demonstrou redução da eficiência de filtração das máscaras N95/PPF2 para 80,4% após o uso por 14 plantões consecutivos, nível insuficiente para assegurar proteção respiratória adequada (Du *et al*, 2020).

A baixa valorização dos treinamentos indica a necessidade urgente de ampliar programas de capacitação contínua para o uso seguro das máscaras N95/PPF2. No presente estudo, verificou-se maior proporção de profissionais capacitados na instituição pública (74,1%) em comparação à privada (53,6%), nos protocolos de reutilização de 15 e sete dias, respectivamente. Esse achado diverge de pesquisa realizada durante a pandemia de COVID-19 em três países da América Latina (Brasil, Colômbia e Equador),

que identificou maior oferta de capacitações em instituições privadas do que em públicas ($p < 0,001$) (Martin-Delgado *et al.*, 2020). Essa diferença pode estar associada ao perfil da instituição pública analisada, vinculada ao ensino e à pesquisa, favorecendo o acesso à capacitação. Mais do que a natureza administrativa, o contexto institucional e acadêmico mostra-se determinante na formação para o uso seguro das máscaras N95/PFF2, considerando que treinamentos específicos sobre seu uso são fundamentais para reduzir o risco de contaminação por patógenos respiratórios e promover maior segurança ocupacional (Couto *et al.*, 2023; Haq *et al.*, 2023; Savoia *et al.*, 2020).

Vale destacar que a oferta de treinamentos sobre o uso de EPIs permanece limitada em diversos contextos. Pesquisa conduzida na América Latina revelou que 51,4% dos trabalhadores de saúde não haviam recebido capacitação sobre o uso adequado desses equipamentos (Du *et al.*, 2020). Situação semelhante foi observada na Etiópia, onde menos da metade dos profissionais foi treinada em medidas de proteção individual (Muze *et al.*, 2021; Assemahagn, 2020). Esses dados evidenciam uma fragilidade persistente na formação dos profissionais de saúde, especialmente quanto ao uso correto da máscara N95/PFF2. A carência de capacitação não é um fenômeno restrito às crises sanitárias como a do SARS-CoV-2, mas também foi documentada em outros cenários de risco à saúde pública, incluindo SARS, H1N1, MERS, tuberculose e gripe sazonal (Houghton *et al.*, 2020). Nesses contextos, orientações direcionadas ao uso das máscaras N95/PFF2 demonstram-se uma ferramenta relevante para reduzir o risco de contaminação por patógenos respiratórios, promovendo maior segurança ocupacional (Couto *et al.*, 2023; Haq *et al.*, 2023; Savoia *et al.*, 2020). No entanto, a grande maioria dessas capacitações ocorreu em 2020, como resposta emergencial à pandemia COVID-19, sem continuidade nos anos seguintes, mesmo diante das recomendações de órgãos de saúde globais, nacionais e internacionais, que orientam a realização regular, preferencialmente anual, para garantir a atualização constante das equipes quanto ao uso seguro da máscara N95/PFF2 (ANVISA, 2024; CDC, 2024; CDC, 2021).

Os resultados desta pesquisa evidenciam lacunas importantes no conteúdo abordado. Embora alguns temas recebam maior destaque nas capacitações, outros, igualmente essenciais para o uso seguro da máscara N95/PFF2, permanecem subexplorados ou tratados de forma superficial.

Entre os conteúdos abordados, destacou-se com maior frequência o tema paramentação e desparamentação das máscaras N95/PFF2, presente nos treinamentos de ambos os protocolos analisados. Essa ênfase é respaldada na literatura, que reconhece a

importância dessas etapas na segurança tanto dos profissionais de saúde quanto dos pacientes, visto que a manipulação inadequada do dispositivo pode favorecer a contaminação cruzada e aumentar do risco de infecções (Ford *et al.*, 2025; ANVISA, 2024; CDC, 2024; Fisher, Shaffer, 2014). Profissionais de saúde que receberam treinamento durante a pandemia da COVID-19 apresentaram 2,4 vezes mais chances de realizar corretamente a paramentação e desparamentação da máscara N95/PFF2 (OR = 2,4; IC 95%: 1,9-3,2) (Savoia *et al.*, 2020). Ademais, 81,3% dos indivíduos sem capacitação relataram dificuldades, especialmente na desparamentação das máscaras N95/PFF2, enquanto 66,4% dos capacitados demonstraram maior habilidade nessa etapa ($p < 0,001$) (Haq *et al.*, 2023).

Outro conteúdo de grande relevância é à higienização das mãos, considerada um pilar essencial na prevenção e no controle da disseminação de agentes infecciosos respiratórios, incluindo vírus como o SARS-CoV-2, influenza e o vírus sincicial respiratório, que podem se propagar por gotículas respiratórias e contato com superfícies contaminadas (ANVISA, 2024; CDC, 2024; Siegel *et al.*, 2024). No presente estudo, esse conteúdo foi abordado em cerca de 90% das capacitações no protocolo de sete dias, mas apenas em 70% no protocolo de quinze dias, indicando uma redução preocupante na ênfase atribuída a essa prática preventiva.

A inclusão sistemática da higienização das mãos nos treinamentos é ainda mais crítica em protocolos de reuso da máscara N95/PFF2, no qual o risco de contaminação cruzada é ampliado. Essa prática deve ser realizada antes e após a paramentação, bem como nos momentos de inspeção visual e verificação da vedação, após contato inadvertido com a parte externa da máscara N95/PFF2 e nos momentos de armazenamento ou descarte (ANVISA, 2024; CDC, 2024). Contudo, evidências apontam para uma baixa adesão dos profissionais de saúde a essa medida básica de prevenção, o que reforça a necessidade de programas de educação permanente que consolidem comportamentos seguros no ambiente clínico (Chaudhary *et al.*, 2024; Mouajou *et al.*, 2022; Sands *et al.*, 2020).

Além desses tópicos amplamente abordados, como paramentação e desparamentação, o estudo revelou que tópicos igualmente cruciais para o uso seguro da máscara N95/PFF2, como inspeção visual, verificação da vedação e critérios para descarte e armazenamento adequado, receberam menos ênfase nos treinamentos. A ausência ou abordagem superficial desses temas pode comprometer a eficácia da proteção respiratória e aumentar o risco de exposição ocupacional (ANVISA, 2024; CDC, 2024).

A verificação da vedação por meio da expiração e inspiração, embora recomendada imediatamente após cada paramentação e sempre que houver necessidade de ajuste durante o uso estendido, apresentou baixa adesão entre os profissionais de enfermagem nos dois protocolos avaliados. Menos de 20% afirmaram ter realizado essa prática de forma sistemática, sendo o desconhecimento mais expressivo no protocolo de sete dias (13,7%). Esses achados são consistentes com estudos anteriores, que identificaram que entre profissionais de saúde que reutilizaram máscaras N95/PFF2 para atendimento de pacientes com COVID-19, 29% nunca realizavam a verificação da vedação ou desconheciam sua finalidade, e 14% realizavam ocasionalmente (Fabre *et al.*, 2019). De forma semelhante, outra pesquisa revelou que 57% dos enfermeiros não incluíram essa etapa em sua rotina (Bien *et al.*, 2016).

A inspeção visual das máscaras N95/PFF2 antes de cada uso também apresentou baixa frequência: menos da metade dos profissionais de enfermagem declarou realizá-la de forma sistemática. Embora seja uma medida simples, essa prática é fundamental para garantir a segurança ocupacional, pois permite a identificação precoce de falhas que comprometem a vedação ao rosto do usuário e, conseqüentemente, a eficácia da proteção respiratória (ANVISA, 2024; CDC, 2024).

Pesquisas realizadas em serviços de saúde reforçam a relevância da inspeção visual, especialmente em contextos de uso estendido e reutilização. Na prática clínica, observou-se que, após múltiplos plantões e frequentes paramentações, as máscaras N95/PFF2 apresentaram sujidade nas camadas internas e externas, dobras acentuadas, rompimento ou afrouxamento das tiras de fixação e danos no clipe nasal (Fabre *et al.*, 2021; Duarte *et al.*, 2010; Duncan *et al.*, 2020; Hwang *et al.*, 2020). Em estudo que analisou máscaras N95/PFF2 utilizadas conforme protocolos de reuso de sete e quinze plantões consecutivos, foi identificado comprometimento da estrutura e dos componentes de fixação em ambos os casos, com desgaste mais acentuado no de quinze turnos (Vimieiro; Vimieiro; Oliveira, 2024).

Nesse cenário, evidencia-se que a verificação da vedação e à inspeção visual das máscaras N95/PFF2 são práticas fundamentais, cuja adesão é substancialmente ampliada entre profissionais submetidos à capacitação, resultando em menor risco de exposição ocupacional (Muze *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2020; Suen *et al.*, 2020).

Os efeitos dos treinamentos também foram analisados. Observou-se associação significativa entre capacitação e maior adesão à verificação da vedação no protocolo de sete dias ($p = 0,002$). Entretanto, não houve diferença estatística quanto à inspeção visual

nos dois protocolos, o que pode sinalizar que o impacto dos treinamentos pode ser limitado ou não sustentável ao longo do tempo. Esse gargalo pode estar relacionado à baixa frequência de capacitações e à superficialidade dos conteúdos abordados: cerca de 95% ocorreram no início da pandemia, sem continuidade nos anos seguintes e temas fundamentais, como a verificação da vedação e a inspeção visual, não foram contemplados em todos os treinamentos. Esses achados reforçam a necessidade de programas de educação continuada, com reciclagem periódica e abordagens pedagógicas que integrem, de forma abrangente, os diversos aspectos do uso seguro da máscara N95/PFF2, promovam um processo educativo reflexivo e voltado para a transformação das práticas profissionais (ANVISA, 2024; CDC, 2024; Haq *et al.*, 2023; Tabah *et al.*, 2020).

Uma barreira estrutural identificada foi a ausência de locais exclusivos para o armazenamento das máscaras N95/PFF2 nas UTIs, levando à adoção de estratégias improvisadas, como acondicionar os dispositivos em mochilas, bolsas ou armários individuais. Tais ações podem danificar a estrutura e os componentes de fixação do EPI, possibilitando falhas na vedação e, conseqüentemente, os riscos ocupacionais enfrentados pelos profissionais de saúde ao expô-los a agentes infecciosos (CDC, 2024). Também foi relatado o uso de sacos plásticos como alternativa de armazenamento. No entanto, esse tipo de acondicionamento pode favorecer a retenção de umidade, criando um ambiente propício à proliferação de microrganismos e elevando o risco de contaminação cruzada (Fisher, Shaffer, 2014). Para garantir a conservação adequada das máscaras N95/PFF2 e a segurança dos profissionais, recomenda-se o armazenamento em ambientes limpos, secos e ventilados com temperatura controlada, utilizando envelopes de papel pardo ou sacos plásticos porosos como alternativa segura e de baixo custo (Haq *et al.*, 2023).

A inspeção visual evidenciou que protocolos de reutilização de sete e quinze dias resultaram em comprometimento progressivo da integridade estrutural das máscaras N95/PFF2. Após 15 dias, verificou-se maior frequência de sujidade na camada interna, em comparação ao protocolo de sete dias ($p < 0,001$). Esse resultado converge com revisão sistemática sobre uso estendido e reutilização, que apontou a sujidade como um dos danos mais recorrentes e potencialmente associado ao risco de contaminação cruzada (Vimieiro; Vimieiro; Oliveira, 2025). Os vestígios de maquiagem foram a forma mais comum de sujidade, achado semelhante ao descrito em estudo que avaliou máscaras N95/PFF2 reutilizadas no ambiente hospitalar (Duarte *et al.*, 2010). Esses resíduos aceleram a deterioração das fibras e podem reduzir a eficiência de filtração (CDC, 2024).

Nesse contexto, diretrizes de órgãos reguladores, como a ANVISA (2024) e CDC (2024), recomendam o descarte imediato de EPIs que apresentem sujeira, umidade ou danos estruturais, o que reforça a dificuldade de conciliar práticas de reutilização com normas de biossegurança e a necessidade de inspeção visual rigorosa para garantir a segurança ocupacionais profissionais de saúde.

As dobras foram mais frequentes após quinze dias (37,1% vs. 5,7%, $p < 0,001$). Marcas feitas com canetas esferográficas para identificação individual também foram registradas em ambos os protocolos, (17,1% vs. 28,6, $p = 0,393$). Esses achados sugerem acondicionamento inadequado, como o armazenamento em bolsos de uniformes ou em itens pessoais, prática igualmente relatada em outros estudos (Zha *et al.*, 2022; Fabre *et al.*, 2021). Tal conduta pode comprometer a estrutura do dispositivo, prejudicar sua adaptação ao rosto e, conseqüentemente, a vedação., além de aumentar o risco de trocas acidentais. Como alternativa, indica-se a utilização de envelopes de papel pardo, que permitem a identificação do usuário sem necessidade de marcações diretas no EPI e favorecem o armazenamento adequado, contribuindo para a preservação da integridade do dispositivo (ANVISA, 2024).

O afrouxamento das tiras de fixação destacou-se como um dos danos mais críticos, presente em 34,3% das máscaras N95/PFF2 após sete dias e em 100% após quinze dias ($p < 0,001$). Situação semelhante foi descrita em um hospital terciário na Índia, durante a pandemia da COVID-19, onde 9% dos profissionais de saúde identificaram esse comprometimento após cerca cinco reutilizações em turnos de oito horas, o que levou ao descarte precoce dos dispositivos (Patel; Carval, 2021). Em experimentos simulados, a ruptura das tiras de fixação após aproximadamente 20 ciclos de paramentação e desparamentação ocasionou à reprovação de todos os participantes nos testes de vedação (Bergman *et al.*, 2012). Dessa forma, a verificação da vedação antes de cada uso torna-se uma medida indispensável para assegurar uma decisão segura sobre a continuidade de uso ou descarte da das máscaras N95/PFF2 (ANVISA, 2024; De Perio *et al.*, 2020).

A degradação dos componentes de fixação das máscaras N95/PFF2 é agravada pela rotina dos profissionais de saúde, que frequentemente necessitam paramentar-se e desparamentar-se entre cinco e seis vezes por turno, chegando a uma média de 40 em jornadas de doze horas (Ford *et al.*, 2025; Zha *et al.*, 2022; Fabre *et al.*, 2019). A gravidade dessa condição é ampliada pelo fato de que foi identificada a presença de SARS-CoV-2 em máscaras N95/PFF2 reutilizadas por profissionais de saúde, sugerindo que, além de falhas na vedação, esses dispositivos podem atuar como potenciais vetores de transmissão

viral (Ford *et al.*, 2025).

As máscaras N95/PFF2, certificadas pelo National Institute for Occupational Safety and Health, são constituídas de microfibras sintéticas de polipropileno, distribuídas em quatro camadas distintas: externa, estrutural, filtrante e interna (CDC; NIOSH, 2018; O'Dowd *et al.*, 2020). As camadas externa e interna são especificamente projetadas para proteção contra a umidade, com fibras de diâmetros entre 20 e 25 μ . Por outro lado, o meio filtrante é composto por fibras menores, de 2 a 5 μ , tratadas eletrostaticamente para reter no mínimo 95% das partículas aéreas de até 0,3 μ m (Tcharkhtchi *et al.*, 2021; O'Dowd *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2018).

A partir do sétimo dia de uso das máscaras N95/PFF2, as análises por microscopia eletrônica de varredura revelaram uma tendência ao aumento dos poros das suas camadas, com exceção da estrutural, e identificaram a presença de tramas “emaranhadas” nas camadas estrutural e filtrante, possivelmente decorrentes do desprendimento das fibras, criando espaços maiores entre elas. Essas alterações se intensificaram no protocolo de quinze dias de uso, destacando a relação direta entre o tempo de reuso e a magnitude dos resultados observados.

No contexto da saúde ocupacional, essas mudanças morfológicas nas fibras dos dispositivos levantam preocupações, pois aumentam substancialmente a possibilidade de penetração de secreções respiratórias ou nasais, sangue e outros fluidos corporais através das camadas das máscaras N95/PFF2. Esse cenário é especialmente crítico em ambientes como unidades de terapia intensiva, onde procedimentos que geram aerossóis são rotineiros e apresentam alto risco de transmissão de vírus respiratórios (Chan *et al.*, 2021; Nguyen *et al.*, 2020).

Além disso, máscaras N95/PFF2 com poros menores, mais próximas às suas características originais, oferecem uma eficiência de filtração superior (Liu *et al.*, 2019). Isso significa que maiores espaços entre as tramas favorecem a penetração de um maior número de partículas aerossolizadas, ampliando a vulnerabilidade desses profissionais (Hao *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2019).

Micrografias das máscaras N95/PFF2 também evidenciaram a ocorrência de microfuros e o rompimento das fibras, possivelmente decorrentes do esgarçamento, o que leva à ampliação dos espaços de retenção de partículas e facilita acumulação de detritos entre as fibras. Esses achados microscópicos se alinham às observações feitas durante a inspeção visual, nas quais a presença de sujidade, dobras e marcas de identificação pessoal nos dispositivos pode ter contribuído para essas alterações morfológicas.

Portanto, elementos detectáveis visualmente parecem refletir e, potencialmente, intensificar as mudanças na estrutura morfológica das fibras, evidenciando o impacto substancial dos protocolos de reutilização na manutenção da integridade e funcionalidade desses EPI.

Neste contexto, torna-se imperativo reavaliar as diretrizes que recomendam protocolos de reutilização das máscaras N95/PFF2, dada a falta de evidências claras sobre a segurança e os limites de reutilização desses equipamentos para garantir a proteção adequada dos profissionais de saúde. Os resultados deste estudo representam um parâmetro importante, pois a combinação de inspeção visual e a microscopia eletrônica de varredura possibilitaram identificar uma lacuna expressiva em relação ao impacto desses protocolos sobre a integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2, particularmente após períodos de reuso de sete e quinze dias.

As alterações morfológicas identificadas nas fibras das camadas das máscaras N95/PFF2 evidenciaram o impacto dos protocolos de reutilização sobre a sua integridade estrutural. Para além dessas mudanças, torna-se igualmente relevante avaliar as tiras de fixação que são responsáveis pela vedação do dispositivo ao rosto do usuário. Dessa forma, os ensaios de tração realizados no presente estudo mostraram que as máscaras N95/PFF2 sem uso (controle) apresentaram maior resistência e elasticidade, seguidas pelas reutilizadas por sete dias, enquanto as de quinze dias apresentaram a maior perda desses parâmetros. A diferença entre os protocolos de sete e quinze dias foi estatisticamente significativa ($p < 0,001$).

As tiras de fixação são geralmente produzidas com elastômeros sintéticos ou misturas poliméricas, destacando-se o poliisopreno sintético, semelhante à borracha natural, mas livre de proteínas alergênicas do látex; o poliuretano, que oferece alta elasticidade e resistência ao uso repetitivo; e as misturas de poliéster com elastômeros, que combinam flexibilidade, durabilidade e menor custo de produção. Esses componentes asseguram o ajuste ao rosto do usuário e a vedação contra aerossóis infecciosos (NIOSH, 2018). Nos Estados Unidos, o *fit test* quantitativo é um requisito obrigatório para validar essa vedação; no Brasil, a ausência dessa obrigatoriedade constitui uma lacuna regulatória que pode aumentar o risco do comprometimento funcional das tiras (CDC, 2020). Evidências anteriores confirmam essa preocupação, demonstrando que a reutilização das máscaras N95/PFF2 está associada ao afrouxamento das tiras de fixação e à consequente falha em testes de vedação, identificadas por meio de inspeção visual e *fit test* (Patel; Cavuoto, 2021; Vuma *et al.*, 2019; Bergman *et al.*, 2012).

Entretanto, conforme apontado em revisão sistemática, a avaliação da resistência das tiras de fixação por ensaios de tração ainda é pouco explorada, tendo sido identificado apenas uma pesquisa com essa abordagem (Vimieiro; Vimieiro; Oliveira, 2025). Essa investigação, conduzida pelo NIOSH, demonstrou declínio progressivo da resistência elástica em simulações de reutilização por 2,5 horas, com cinco ciclos de paramentação, e registrou o maior decréscimo já na primeira utilização, após apenas 15 minutos (Roberge; Niezgodá; Benson, 2012). Os resultados do presente estudo corroboram esses achados e configuram-se como a primeira pesquisa no Brasil a empregar essa metodologia, contribuindo para ampliar as evidências e apoiar decisões sobre protocolos de reutilização de máscaras N95/PPF2.

Neste contexto, ainda que pequenas alterações não comprometam imediatamente o desempenho das máscaras N95/PPF2, o desgaste acumulado ao longo da jornada de trabalho acelera a deterioração das tiras de fixação, reduz a vedação e compromete a eficácia do dispositivo (Tcharkhtchi *et al.*, 2021; Nguyen *et al.*, 2020; NIOSH; CDC, 2020; Grinshpun *et al.*, 2009). Portanto, o monitoramento sistemático da resistência e elasticidade desses componentes oferece subsídios para orientar a formulação de protocolos institucionais de reutilização, permitindo que as instituições de saúde estabeleçam limites seguros e embasados para a manutenção ou substituição das máscaras N95/PPF2.

A integridade morfológica, estrutural e dos componentes de fixação é determinante para a vedação adequada ao rosto do usuário, no entanto, a eficácia das máscaras N95/PPF2 também depende diretamente da capacidade da camada filtrante em reter partículas inaláveis. Nesse sentido, além da inspeção visual, da análise por microscopia eletrônica de varredura e dos ensaios de tração, o presente estudo avaliou a eficiência de filtração em diferentes condições de reutilização, considerando protocolos de sete e 15 dias.

As máscaras N95/PPF2 sem uso (controle) atenderam ao desempenho mínimo estabelecido pela norma brasileira ABNT NBR 13698:2011 quanto pela norma europeia EN 149:2001 + A1:2009, que definem eficiência mínima de 94% para partículas de 0,3 μm . Contudo, os protocolos de sete e quinze dias de reutilização apresentaram médias de 91,5% e 91,9%, valores inferiores ao limite mínimo exigido. Essa inadequação torna-se ainda mais relevante quando considerados os critérios do NIOSH (42 CFR Part 84) que são mais rigorosos por exigirem eficiência mínima de 95% na filtração de partículas significativamente menores (0,075 μm), em comparação aos 0,3 μm adotados pelas

normas brasileira e europeia. Portanto, em todos os padrões normativos analisados, os protocolos de reutilização resultaram em desempenho abaixo do aceitável.

Esses resultados, embora preocupantes, dialogam com a literatura existente, que aponta para a preservação da eficiência de filtração em períodos curtos, seguida de queda progressiva em tempos de usos mais prolongados. Uma revisão sistemática identificou quatro estudos sobre o tema (Vimieiro; Vimieiro; Oliveira, 2025). De modo geral, essas investigações relataram elevado desempenho na retenção de partículas aerossolizadas, variando entre 94% e 99%, ainda que em diferentes condições experimentais e de uso clínico simulado. Após procedimentos de enfermagem com duração de 10 minutos, todas as máscaras N95/PFF2 mantiveram eficiência de 99% (Suen *et al.*, 2020). Em dispositivos reutilizados por três plantões de 12 horas no Centro de Material e Esterilização, o desempenho também permaneceu elevado (Paiva *et al.*, 2023). Outro estudo demonstrou preservação de 100% da eficiência até 24 horas, com redução de 98% para 92% apenas após 32 horas de uso prolongado (Chen *et al.*, 2022). De forma mais acentuada, em reutilizações de 14 plantões de oito horas, observou-se queda expressiva, com eficiência média de 80,4% (Du *et al.*, 2020).

Essas evidências reforçam e atualizam o debate levantado durante a pandemia da COVID-19 pela *National Nurses United*, ao demonstrar a reutilização prolongada compromete a eficiência de filtração e aumenta a vulnerabilidade ocupacional dos profissionais de saúde que atuam em unidades de terapia intensiva, onde procedimentos geradores de aerossóis são frequentes (NNU, 2020). A identificação de máscaras N95/PFF2 com eficiência de filtração abaixo do mínimo aceitável em ambos os protocolos demonstra que fatores, como sujidade, incluindo vestígios de maquiagem, dobras e ausência de condições adequadas de armazenamento comprometem a integridade das camadas filtrantes e reduzem a capacidade de proteção. Portanto, protocolos de reutilização devem ser pautados em critérios científicos rigorosos e alinhados às normas nacionais e internacionais, assegurando proteção efetiva aos profissionais de enfermagem e a continuidade segura da assistência em ambientes de alto risco.

As implicações deste estudo para o avanço do conhecimento científico em saúde e enfermagem são relevantes. Como contribuição, destaca-se por ser um dos primeiros no Brasil a integrar a inspeção visual de máscaras N95/PFF2 reutilizadas na prática clínica, a análise morfológica por microscopia eletrônica, ensaios de tração das tiras de fixação, a avaliação da eficiência de filtração e a percepção dos profissionais de

enfermagem no contexto de protocolos de reutilização de sete e quinze dias. Essa abordagem abrangente amplia a compreensão sobre os impactos do reuso na integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2 e oferece subsídios científicos para gestores, profissionais de saúde e formuladores de políticas na definição de diretrizes e protocolos institucionais mais seguros.

Limitações do estudo

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados.

A amostragem por conveniência pode restringir a generalização dos achados e, como os dados foram obtidos por meio de questionário, há a possibilidade de viés de resposta ou subnotificação de práticas inadequadas. Por outro lado, a condução da pesquisa em duas instituições hospitalares com protocolos de reutilização distintos ampliou a diversidade dos contextos analisados, fortalecendo a representatividade dentro do cenário estudado.

Na análise por microscopia eletrônica de varredura, a utilização de uma amostra reduzida pode limitar a generalização das conclusões. Soma-se a isso a ausência de controle direto dos pesquisadores sobre o armazenamento das máscaras N95/PFF2, que, apesar dos protocolos fornecidos pelas instituições, podem ter introduzido uma variável não monitorada, com potencial impacto nos resultados.

No ensaio de tração, a escassez de estudos nacionais e internacionais com metodologia comparável, restringe a possibilidade de comparação externa e a contextualização dos achados. Além disso, por mensurar apenas resistência e elasticidade, o ensaio não permite avaliar diretamente a vedação facial em usuários, considerada o defecho mais crítico para a eficácia respiratória.

Por fim, no ensaio de eficiência de filtração, o aerossol foi gerado a partir de soro fisiológico nebulizado por equipamento hospitalar, diferindo do aerossol seco de NaCl prescrito pela ABNT NBR 13698:2011. Essa adaptação, entretanto, possibilitou avaliar o desempenho das máscaras N95/PFF2 em condições mais próximas às enfrentadas na prática clínica. O uso de um contador óptico de partículas calibrado para 0,3 μm . assegurou rigor técnico na aferição, de modo que os resultados obtidos refletem a efetividade dos dispositivos em unidades assistenciais.

6. CONCLUSÃO

Protocolos de reutilização de sete e quinze dias influenciaram potencialmente a ocorrência de alterações morfológicas nas fibras das camadas das máscaras N95/PFF2, além da degradação da integridade estrutural e dos componentes de fixação. O ensaio de tração demonstrou perda progressiva de resistência e elasticidade das tiras de fixação, especialmente após 15 dias de uso. Da mesma forma, a eficiência de filtração apresentou redução substancial em ambos os protocolos, com médias inferiores ao limiar de 94%, comprometendo a função protetiva esperada do dispositivo.

Esses resultados indicam que a reutilização das máscaras N95/PFF2 na prática clínica, reduz sua eficácia no que tange a integridade e funcionalidade das características de vedação e filtração, comprometendo, portanto, a segurança ocupacional dos profissionais de saúde;

Paralelamente, verificaram fragilidades na percepção de segurança dos profissionais de enfermagem e na efetividade dos treinamentos institucionais, concentrados sobretudo no início da pandemia COVID-19 e sem abordagem abrangente de aspectos essenciais para o uso seguro das máscaras N95/PFF2, como inspeção visual e verificação da vedação. A adesão a essas práticas mostrou-se limitada, sendo que apenas a verificação da vedação apresentou associação significativa com a capacitação no protocolo de sete dias. Somou-se a isso a inexistência de locais adequados para o armazenamento das máscaras N95/PFF2 em ambos os protocolos, o que favorece o desgaste precoce do dispositivo e aumenta o risco de exposição ocupacional.

Diante desse cenário, recomenda-se revisão dos protocolos institucionais de reutilização, o fortalecimento das condições estruturais nos serviços e a implementação de programas contínuos de capacitação e novas investigações que explorem diferentes tempos de reutilização. Tais medidas são fundamentais para assegurar o uso seguro e eficaz das máscaras N95/PFF2, especialmente em ambientes de alta exposição, como as unidades de terapia intensiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Cartilha de Proteção Respiratória contra Agentes Biológicos para Trabalhadores de Saúde**. Brasília: Anvisa; 2009. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/sms-sp/2009/sms-1221/sms-1221-5446.pdf>. Acesso em: 08 set. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Novo coronavírus. Covid-19: tudo sobre máscaras faciais de proteção**. Brasília: Anvisa; 2020. Atualizada em: 5 mar. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2020/covid-19-tudo-sobre-mascaras-faciais-de-protecao>. Acesso em: 08 set. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA N° 04/2020: orientações para serviços de saúde: Medidas de prevenção e controle que devem ser adotadas durante a assistência aos casos suspeitos ou confirmados de COVID-19**. Brasília: Anvisa; 2020. Atualizada em 24 jun. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/notas-tecnicas/notas-tecnicas-vigentes/NT042020covid31.03.2023alterada02.05.2023.pdf>. Acesso em: 08 set. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 185, de 22 de outubro de 2001**. Dispõe sobre o registro, alteração, revalidação e cancelamento do registro de produtos médicos na Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 22 out. 2001. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0185_22_10_2001.pdf. Acesso em: 08 set. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N° 222, de 28 de março de 2018**. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 mar. 2018. Seção 1, p. 1-27. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2018/rdc0222_28_03_2018.pdf. Acesso em: 08 set. 2025.
- AL MASKARI, Z.; AL BLUSHI, A.; KHAMIS, F.; AL TAI, A.; AL SALMI, I.; AL HARTHI, H.; *et al.* Characteristics of healthcare workers infected with COVID-19: a cross-sectional observational study. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 102, p. 32-36, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.10.009>
- ASEMAHAGN, M. A. Factors determining the knowledge and prevention practice of healthcare workers towards COVID-19 in Amhara region, Ethiopia: a cross-sectional survey. **Tropical Medicine and Health**, v. 48, n. 72, 2020. <https://doi.org/10.1186/s41182-020-00254-3>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13698: equipamentos de proteção respiratória – peças semifaciais filtrantes para partículas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. Atualizada em: 2016. Disponível em:

<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/10176/abnt-nbr13698-equipamento-de-protecao-respiratoria-peca-semifacial-filtrante-para-particulas>. Acesso em: 08 set. 2025.

BERGMAN, M. S.; VISCUSI, D. J.; ZHUANG, Z.; PALMIERO, A. J.; POWELL, J. B.; SHAFFER, R. E. Impact of multiple consecutive donnings on filtering facepiece respirator fit. **American Journal of Infection Control**, v. 40, n. 4, p. 375-380, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.05.003>

BERMINGHAM, A.; CHAND, M.A.; BROWN, C.S.; AARONS, E.; TONG, C.; LANGRISH, C.; *et al.* Severe respiratory illness caused by a novel coronavirus, in a patient transferred to the United Kingdom from the Middle East, September 2012. **Eurosurveillance**, v.17, n.40, 2012. <https://doi.org/10.2807/es.e17.40.20290-en>

BERNARDES, G. C. S.; GODOI, A. P. N.; ALMEIDA, N. A.; NOGUEIRA, L. S.; PINHEIRO, M. B. Doffing personal protective equipment in times of COVID-19. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v.19, n.1, p. 88-93, 2021. <https://doi.org/10.47626/1679-4435-2021-605>

BIEN, E.A.; GILLESPIE, G.L.; BETCHER, C.A.; THRASHER, T.L.; MINGERINK, D.R. Respiratory Protection Toolkit: Providing Guidance Without Changing Requirements-Can We Make an Impact? **Workplace Health & Safety**, v.64, n.12, p. 596-602, 2016. <https://doi.org/10.1177/2165079916657831>

BRASIL. Ministério da Saúde. **Boletim Epidemiológico nº 158** - Boletim COE Coronavírus. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/covid-19/2023>. Acesso em: 08 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR-06**: Equipamento de Proteção Individual - EPI. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitativa-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-06-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 08 set. 2025.

BURKE, R. M.; MIDGLEY, C. M.; DRATCH, A.; FENSTERSHEIB, M.; HAUPT, T.; HOLSHUE, M. *et al.* Active Monitoring of Persons Exposed to Patients with Confirmed COVID-19 - United States, January-February 2020. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 69, n. 9, p. 245-246, 2020. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6909e1>

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). **COVID-19 infection control guidance: SARS-CoV-2**. Atlanta: CDC, 2024. Disponível em: https://www.cdc.gov/covid/hcp/infection-control/?CDC_AAref_Val=https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/infection-control-recommendations.html. Acesso em: 08 set. 2025.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). **Interim Infection Prevention and Control Recommendations for Healthcare Personnel**

During the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic. Atlanta: CDC, 2024. Updated jun. 24, 2024. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/infection-control-recommendations.html>. Acesso em: 08 set. 2025.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). **Respirator trusted-source information.** Section 3: use and limitations. Atlanta: CDC, 2021. Disponível em: https://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/disp_part/respsource3basic.html. Acesso em: 08 set. 2025.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). **Strategies for Optimizing the Supply of N95 Respirators.** Atlanta: CDC, 2021. Updated Sept. 16, 2021. Disponível em: <https://archive.cdc.gov/#/details?url=https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/respirators-strategy/index.html>. Acesso em: 08 set. 2025.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Filtering out confusion:** frequently asked questions about respiratory protection, respirator reuse and extended use: DHHS (NIOSH) Publication 2018-128. Atlanta: CDC, 2018. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2018-128/default.html>. Acesso em: 08 set. 2025.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Science Blog.** Proper N95 respirator use for respiratory protection preparedness. Atlanta: CDC, 2020. Disponível em: <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2020/03/16/n95-preparedness/>. Acesso em: 08 set. 2025.

CHANG, D.; XU, H.; REBAZA, A.; SHARMA, L.; CRUZ, C. S. D.; *et al.* Protecting health-care workers from subclinical coronavirus infection. **The Lancet Respiratory Medicine**, v. 8, n. 3, p. e13, 2020. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30066-7](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30066-7)

CHAUDHARY, P.; GUPTA, V. Hand hygiene with interventions: an observational study from a tertiary care institute over 2 years. **Journal of Preventive Medicine and Hygiene**, v. 64, n. 4, p. E488-E492, 2024. <https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2023.64.4.3087>

CHECK, R.; KELLY, B.; MCMAHON, K.; BALAKRISHNAN, V.; RIVARD, L.; PESTER, J.; *et al.* Failure rates during reuse of disposable n95 masks in clinical practice in the emergency department. **Western Journal of Emergency Medicine**, v. 22, n. 3, p. 547-551, 2021. <https://doi.org/10.5811/westjem.2021.1.49960>

CHEN, H.; SAMET, J. M.; TONG, H.; ABZHANOVA, A.; RAPPOLD, A. G.; PRINCE, S. E. Can disposable masks be worn more than once? **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 242, 113908, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113908>

CHU, J.; GHENAND, O.; COLLINS, J.; BYRNE, J.; WENTWORTH, A.; CHAI, P. R.; *et al.* Thinking green: modelling respirator reuse strategies to reduce cost and waste.

BMJ Open, v. 11, n. 7, e048687, 2021. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-048687>

COHEN, J.; RODGERS, Y.V.M. Contributing factors to personal protective equipment shortages during the COVID-19 pandemic. **Preventive Medicine**, v. 141, p. 10623, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2020.106263>

COMPANY-SANCHO, M. C.; GONZÁLEZ-MARÍA, E.; ABAD-CORPA, E. Reutilización limitada y uso extendido de mascarillas de media-alta filtración. **Enfermería Clínica**, v. 31, supl. 1, p. S78-S83, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2020.05.012>

COUTO, T. B.; MENEZES, P. D. T. R.; SILVA, J. K. B.; HASHIMOTO, P. C.; SOUSA, E. F.; VALÉRIO, S. T.; *et al.* Personal protective equipment simulation training is associated with lower COVID-19 infection among healthcare workers. **Einstein (São Paulo)**, v. 21, p. eAO0300, 2023. https://doi.org/10.31744/einstein_journal/2023AO0300

DARLENSKI, R.; TSANKOV, N. Covid-19 pandemic and the skin – what should dermatologists know? **Clinics in Dermatology**, v. 38, n. 6, p. 785-787, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2020.03.012>

DEGESYS, N. F.; WANG, R. C.; KWAN, E.; FAHIMI, J.; NOBLE, J. A.; RAVEN, M. C. Correlation between N95 extended use and reuse and fit failure in an emergency department. **JAMA**, v. 324, n. 1, p. 94-96, 2020. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.9843>

DE PERIO, M. A.; DOWELL, C. H.; DELANEY, L. J.; *et al.* Strategies for optimizing the supply of N95 filtering facepiece respirators during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic. **Disaster Medicine and Public Health Preparedness**, v. 14, n. 5, p. 658-669, 2020. <https://doi.org/10.1017/dmp.2020.160>

DU, J.; ZHANG, L.; LIU, Y.; SHU, W.; MA, Y.; GAO, J.; *et al.* Determination of the optimal time for N95 respirator for aerosol infection control. **Medicine (Baltimore)**, v. 99, n. 50, e23709, 2020. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000023709>

DUARTE, L. R. P.; MIOLA, C.E.; CAVALCANTE, N.J.F.; *et al.* Maintenance status of N95 respirator masks after use in a health care setting. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 44, n. 4, p. 1011-1016, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0080-62342010000400022>

DUNCAN, S.; BODURTHA, P.; BOURGEOIS, C.; DICKSON, E.; JENSEN, C.; NAQVI, S. The impact of extreme reuse and extended wear conditions on protection provided by a surgical-style N95 filtering facepiece respirator. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 17, n. 11-12, p. 546-559, 2020. <https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1829633>

ESLAMI, H.; JALILI, M. The role of environmental factors in the transmission of SARS-CoV-2 (COVID-19). **AMB Express**, v. 10, n. 1, e92, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01028-0>

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 149:2001+A1:2009** - respiratory protective devices - filtering half masks to protect against particles requirements, testing, marking. Brussels: CEN, 2009. Atualizado em: 24 nov. 2023. Disponível em: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/56996>. Acesso em: 08 set. 2025.

EZHILAN, M.; SURESH, I.; NESAKUMAR, N. SARS-CoV, MERS-CoV and SARS-CoV-2: a diagnostic challenge. **Measurement (London)**, v. 168, e108335, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108335>

FABRE, V.; COSGROVE, S. E.; HSU, Y. J.; JONES, G. F.; HELSEL, T.; BUKOWSKI, J.; *et al.* Centers for Disease Control and Prevention Epicenters Program. N95 filtering face piece respirators remain effective after extensive reuse during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic. **Infection Control and Hospital Epidemiology**, v. 42, n. 7, p. 896-899, 2021. <https://doi.org/10.1017/ice.2021.76>

FISHER, E. M.; SHAFFER, R. E. Considerations for recommending extended use and limited reuse of filtering facepiece respirators in health care settings. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 11, n. 8, p. D115-D28, 2014. <https://doi.org/10.1080/15459624.2014.902954>

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (FIOCRUZ). **Boletim Observa Infância**. Rio de Janeiro: Fiocruz, mar. 2024. Disponível em: https://www.icict.fiocruz.br/sites/www.icict.fiocruz.br/files/boletim_oi_covid-19_em. Acesso em: 8 set. 2025.

GARRA, G. M.; PARMENTIER, D.; GARRA, G. Physiologic effects and symptoms associated with extended-use medical mask and N95 respirators. **Annals of Work Exposures and Health**, v. 65, n. 7, p. 862-867, 2021. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxab010>

GHEISARI, M.; ARAGHI, F.; MORAVVEJ, H.; TABARY, M.; CHAMANZADEH, A.; NABAVI, N.; *et al.* Skin reactions to non-glove personal protective equipment: an emerging issue in the COVID-19 pandemic. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 34, n. 7, p. e297-e298, 2020. <https://doi.org/10.1111/jdv.16492>

GRINSHPUN, S. A.; HARUTA, H.; ENINGER, R. M.; REPONEN, T.; MCKAY, R. T.; LEE, S. A. Performance of an N95 filtering facepiece particulate respirator and a surgical mask during human breathing: two pathways for particle penetration. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 6, n. 10, p. 593-603, 2009. <https://doi.org/10.1080/15459620903120086>

HAMNER, L.; DUBBEL, P.; CAPRON, I.; ROSS, A.; JORDAN, A.; LEE, J.; *et al.* High SARS-CoV-2 attack rate following exposure at a choir practice - Skagit County, Washington, March 2020. **MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 69, n. 19, p. 606-610, 2020. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6919e6>

HAO, W.; PARASCH, A.; WILLIAMS, S.; LI, J.; MA, H.; BURKEN, J. *et al.*; Filtration performances of non-medical materials as candidates for manufacturing

- facemasks and respirators. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 229, e113582, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113582>
- HAQ, Z. U.; SHER, Z. F.; KHATTAK, F. A.; ZALA, H.; HAKIM, M.; ULLAH, N.; *et al.* Healthcare workers safety in the COVID-19 era: the impact of pre-pandemic personal protective equipment (PPE) training in Pakistan. **BMC Health Services Research**, v. 23, n. 1256, 2023. <https://doi.org/10.1186/s12913-023-10048-y>
- HEINZERLING, A.; STUCKEY, M. J.; SCHEUER, T.; XU, K.; PERKINS, K. M.; RESSEGER, H.; *et al.* Transmission of COVID-19 to health care personnel during exposures to a hospitalized patient - Solano County, California, February 2020. **MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 69, n. 15, p. 472-476, 2020. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6915e5>
- HENEGHAN, C. J.; SPENCER, E. A.; BRASSEY, J.; PLÜDDEMANN, A.; ONAKPOYA, I. J.; EVANS, D. H. *et al.* SARS-CoV-2 and the role of airborne transmission: a systematic review. **F1000Research**, v. 10, n. 231, 2021. <https://doi.org/10.12688/f1000research.51592.2>
- HOUGHTON, C.; MESKELL, P.; DELANEY, H.; SMITH, S.; STANLEY, D.; ROSSER, E.; *et al.* Barriers and facilitators to healthcare workers' adherence with infection prevention and control (IPC) guidelines for respiratory infectious diseases: a rapid qualitative evidence synthesis. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 4, 2020. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013582>
- HUANG, L.; LIN, G.; TANG, L.; YU, L.; ZHOU, Z. Special attention to nurses' protection during the COVID-19 epidemic. **Critical Care**, v. 24, n. 120, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-2841-7>
- HWANG, S. Y.; YOON, H.; YOON, A.; KIM, T.; LEE, G.; JUNG, K. Y.; *et al.* N95 filtering facepiece respirators do not reliably afford respiratory protection during chest compression: a simulation study. **American Journal of Emergency Medicine**, v. 38, n. 1, p. 12-17, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.03.041>
- JAIN, U. Risk of COVID-19 due to Shortage of Personal Protective Equipment. **Cureus**, v. 12, n. 6, 2020. <https://doi.org/10.7759/cureus.8837>
- JIANG, Q.; SONG, S.; ZHOU, J.; LIU, Y.; CHEN, A.; XU, T.; *et al.* The prevalence, characteristics, and prevention status of skin injury caused by personal protective equipment among medical staff in fighting COVID-19: a multicenter, cross-sectional study. **International Wound Journal**, v. 9, n. 7, p. 357-364, 2020. <https://doi.org/10.1111/iwj.13391>
- JUNG, J.; KIM, J.; YANG, H.; LIM, Y. J.; KWAK, S. H.; HONG, M. J.; *et al.* Fit-failure rate associated with simulated reuse and extended use of N95 respirators assessed by a quantitative fit test. **Infection Control and Hospital Epidemiology**, v. 42, n. 11, p. 1313-1317, 2021. <https://doi.org/10.1017/ice.2021.5>
- KAMPF, G.; TODT, D.; PFAENDER, S.; STEINMANN, E.; *et al.* Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. **Journal**

of **Hospital Infection**, v. 104, n. 3, p. 246-251, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>

KATELARIS, A. L.; WELLS, J.; CLARK, P.; *et al.* Epidemiologic evidence for airborne transmission of SARS-CoV-2 during church singing, Australia, 2020.

Emerging Infectious Diseases, v. 27, n. 6, 2021.

<https://doi.org/10.3201/eid2706.210465>.

KIRUBARAJAN, A.; KHAN, S.; GOT, T.; YAU, M.; BRYAN, J. M.; FRIEDMAN, S. M. Mask shortage during epidemics and pandemics: a scoping review of interventions to overcome limited supply. **BMJ Open**, v. 10, n. 11, e040547, 2020.

<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-040547>

KOBAYASHI, L.M.; MARINS, B.R.; COSTA, P.C.D.S.; PERAZZO, H.; CASTRO, R. Extended use or reuse of N95 respirators during COVID-19 pandemic: An overview of national regulatory authority recommendations. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, v. 41, n. 11, p. 1364-1366, 2020. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.173>

KOH, D. Occupational risks for COVID-19 infection. **Occupational Medicine (London)**, v. 70, n. 1, p. 3-5, 2020. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqaa036>

KUNSTLER, B.; NEWTON, S.; HILL, H.; *et al.* P2/N95 respirators & surgical masks to prevent SARS-CoV-2 infection: effectiveness & adverse effects. **Infection, Disease & Health**, v. 27, n. 2, p. 81-95, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.idh.2022.01.001>

LI, Y.; QIAN, H.; HANG, J.; *et al.* Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. **Building and Environment**, v. 196, e107788, jun. 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107788>.

LIU, M.; CHENG, S. Z.; XU, K. W.; YANG, Y.; ZHU, Q. T.; ZHANG, H.; *et al.* Use of personal protective equipment against coronavirus disease 2019 by healthcare professionals in Wuhan, China: cross sectional study. **BMJ**, v. 369, m2195, 2020.

<https://doi.org/10.1136/bmj.m2195>

MACHADO, M. H.; TEIXEIRA, E. G.; FREIRE, N. P.; PEREIRA, E. J.; MINAYO, M. C. S. Deaths of doctors and nursing staff by COVID-19 in Brazil: a sociological approach. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, n. 2, p. 405-419, 2023.

<https://doi.org/10.1590/1413-81232023282.05942022>

MARTIN-DELGADO, J.; VITERI, E.; MULA, A.; SERPA, P.; PACHECO, G.; PRADA, D.; *et al.* Availability of personal protective equipment and diagnostic and treatment facilities for healthcare workers involved in COVID-19 care: a cross-sectional study in Brazil, Colombia, and Ecuador. **PLoS One**, v. 15, n. 11, e0242185, 2020.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242185>

MOUAJOU, V.; ADAMS, K.; DELISLE, G.; QUACH, C. Hand hygiene compliance in the prevention of hospital-acquired infections: a systematic review. **Journal of Hospital Infection**, v. 119, p. 33-48, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.09.016>

MUZE, M.; ABDELLA, B.; MUSTEFA, A.; ALI, A.; ABDO, A.; LUKMAN, A.; *et al.* Availability of PPEs and training status of health professionals on COVID-19 in Silte Zone, Southern Ethiopia. **Pan African Medical Journal**, v. 39, n. 38, 2021. <https://doi.org/10.11604/pamj.2021.39.38.27648>

NAKAMOTO, K.; SARAYA, T. S. R.; KURAI, D.; FUKUKAWA, N.; TANEOKA, T.; SHIMASAKI, T.; *et al.* Reusing N95 respirators at weekly intervals during the COVID-19 pandemic. **Cureus**, v. 13, n. 2, e13542, 2021. <https://doi.org/10.7759/cureus.13542>

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Hospital respiratory protection program toolkit**: DHHS (NIOSH) publication 2015-117. Atlanta: CDC, 2022. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2015-117/default.html>. Acesso em: 08 set. 2025.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Protect yourself from tuberculosis**: a respiratory protection guide for health care workers: DHHS (NIOSH) publication 96-102. Atlanta: CDC, 1995. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/96-102/default.htm>. Acesso em: 08 set. 2025.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Strategies for optimizing the supply of N95 respirators**. Atlanta: CDC, 2023. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/pandemic/strategies-n95.html>. Acesso em: 08 set. 2025.

NATIONAL NURSES UNITED (NNU). **Nurses**: reuse, decontamination of masks endangers health care workers. EUA, 2020. Disponível em: <https://www.nationalnursesunited.org/press/nurses-reuse-decontamination-masks-endangers-health-care-workers#main-content>. Acesso em: 08 set. 2025.

NGUYEN, L. H.; DREW, D. A.; GRAHAM, M. S.; *et al.* Risk of COVID-19 among front-line health-care workers and the general community: a prospective cohort study. **The Lancet Public Health**, v. 5, n. 9, p. 475-483, 2020. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(20\)30164-X](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(20)30164-X)

NOGEE, D.; TOMASSONI, A. J. COVID-19 and the N95 respirator shortage: closing the gap. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, v. 41, n. 8, 2020. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.124>

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA). **Standard Number 1910.134**: respiratory protection. Washington, D.C.: OSHA, 2021. Disponível em: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>. Acesso em: 8 set. 2025.

O'DOWD, K.; NAIR, K. M.; FOROUZANDEH, P.; MATHEW, S.; GRANT, J.; MORAN, R.; *et al.* Face masks and respirators in the fight against the COVID-19 pandemic: a review of current materials, advances and future perspectives. **Materials (Basel)**, v. 13, n. 15, e3363, 2020. <https://doi.org/10.3390/ma13153363>

ONAKPOYA, I. J.; HENEGHAN, C. J.; SPENCER, E. A.; BRASSEY, J.; PLÜDDEMANN, A.; EVANS, D. H.; *et al.* SARS-CoV-2 and the role of close contact in transmission: a systematic review. **F1000Research**, v. 10, n. 280, 2021. <https://doi.org/10.12688/f1000research.52439.3>

ONG, S. W. X.; TAN, Y. K.; CHIA, P. Y.; LEE, T. H.; NG, O. T.; WONG, M. S. Y.; *et al.* Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. **JAMA**, v. 323, n. 16, p. 1610-1612, 2020. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.3227>

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS); ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Guia para o cuidado de pacientes adultos críticos com coronavírus (COVID-19) nas Américas**. Washington, DC: OPAS, 2021. Atualização: maio 2021. Disponível em: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/54432/OPASIMSEIHCOVID-1921010_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 8 set. 2025.

PAIVA, J. D.; NEVES, G.; NETO, P. C.; PORTUGAL, W.; FERREIRA, D.; LUNDGREN, F.; *et al.* Evaluation of the microbiota and integrity of respirators reused by health professionals in a hospital environment. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 23, n. 4, e220057, 2023. <https://doi.org/10.4209/aaqr.220057>

PATEL, K. P.; CARVAL, T. Challenges of limited reuse and extended use of N95 filtering facepiece respirators: lessons learnt from COVID-19 pandemic in Mumbai, India. **International Journal of Occupational Safety and Health**, v. 11, n. 2, P. 157-160, 2021. <https://doi.org/10.3126/ijosh.v11i2.37253>

PEIRIS, J. S.; YUEN, K. Y.; OSTERHAUS, A. D.; STOHR, K.; *et al.* The severe acute respiratory syndrome. **New England Journal of Medicine**, v. 349, n. 25, p. 2431-2441, 2003. <https://doi.org/10.1056/NEJMra032498>

PETERSEN, E.; KOOPMANS, M.; GO, U.; HAMER, D. H.; PETROSILLO, N.; CASTELLI, F.; *et al.* Comparing SARS-CoV-2 with SARS-CoV and influenza pandemics. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 20, n. 9, p. e238-e244, 2020. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30484-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30484-9)

PUBLIC SERVICES INTERNATIONAL (PSI). **Profissionais da saúde e a Covid-19 no Brasil**: relatório especial em dados e gráficos. Suíça: PSI, 2022. Disponível em: <https://publicservices.international/resources/publications/profissionais-da-sade-e-a-covid-19-no-brasil---relatrio-especial-em-dados-e-grficos?id=13389&lang=pt>. Acesso em: 8 set. 2025.

READE, S. J.; BASSAM, A.; AL-BASSAM, W.; KADAM, U. N95 respirator seal integrity following extended use by healthcare workers in the intensive care unit: a cohort study. **Australian Critical Care**, v. 38, n. 1, 101099, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2024.07.080>

REGLI, A.; SOMMERFIELD, A.; VON UNGERN-STERMBERG, B. S. The role of fit testing N95/FFP2/FFP3 masks: a narrative review. **Anaesthesia**, v. 76, n. 1, p. 91-100, 2021. <https://doi.org/10.1111/anae.15261>

RIBEIRO, A. P.; OLIVEIRA, G. L.; SILVA, L. S.; SOUZA, F. A.; PIRES, A. C. C.; COSTA, L. P.; *et al.* Occupational safety and health of health workers caring for patients during the Covid-19 pandemic: a literature review. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 45, n. 25, 2020. <https://doi.org/10.1590/2317-6369000013920>

RICH-EDWARDS, J. W.; DING, M.; ROCHELEAU, C. M.; BOIANO, J. M.; KANG, J. H.; BECENE, I.; *et al.* American frontline healthcare personnel's access to and use of personal protective equipment early in the COVID-19 pandemic. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 63, n. 11, p. 913-920, 2021. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002308>

RIVARD, L.; PESTER, J.; MCMAHON, K.; CHECK, R.; KELLY, B.; BALAKRISHNAN, V.; *et al.* The efficacy of continuous use disposable N95 masks in clinical practice in the emergency department. **American Journal of Emergency Medicine**, v. 44, p. 124-127, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2021.02.003>

ROBERGE, R.; NIEZGODA, G.; BENSON, S. Analysis of forces generated by N95 filtering facepiece respirator tethering devices: a pilot study. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 9, n. 8, p. 517-523, 2012. <https://doi.org/10.1080/15459624.2012.695962>

SANCHO, M. C. C.; GONZÁLEZ-MARIA, E.; ABAD-CORPA, E. Reutilización limitada y uso extendido de mascarillas de media-alta filtración. **Enfermería Clínica**, v. 31, p. 78-83, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2020.05.012>

SANDS, M.; AUNGER, R. Determinants of hand hygiene compliance among nurses in US hospitals: a formative research study. **PLoS One**, v. 15, n. 4, e0230573, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230573>

SANTOS, B. M. P.; GOMES, A. M. F.; LOURENÇÃO, L. G.; CUNHA, I. C. K. O.; CAVALCANTI, A. J. C. A.; SILVA, M. C. N.; *et al.* Profile and essentiality of Nursing in the context of the COVID-19 pandemic. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, n. 10, 2023. <https://doi.org/10.1590/1413-812320232810.09772023EN>

SAVOIA, E.; ARGENTINI, G.; GORI, D.; NERI, E.; PILTCH-LOEB, R.; FANTINI, M. P. Factors associated with access and use of PPE during COVID-19: a cross-sectional study of Italian physicians. **PLoS ONE**, v. 15, n. 10, e0239024, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239024>

SENHORAS, E. M. Coronavírus e o papel das pandemias na história humana. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, Boa Vista, v. 1, n. 1, p. 29-32, 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3760078>

SIEGEL, J.D.; RHINEHART, E.; JACKSON, M.; CHIARELLO, L.; HEALTHCARE INFECTION CONTROL PRACTICES ADVISORY COMMITTEE. **Guideline for isolation precautions: preventing transmission of infectious agents in healthcare**

settings, 2007. Atlanta: CDC, 2007. Atualizado em set. 2024. Disponível em: <https://www.cdc.gov/infection-control/media/pdfs/Guideline-Isolation-H.pdf>. Acesso em: 08 set. 2025.

SILVEIRA, A. J. T. A medicina e a influenza espanhola de 1918. **Revista Tempo**, v. 10, n. 19, p. 91-105, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1413-77042005000200007>

SALDAÑA, D. M.; ACHURY BELTRÁN, L. F.; RODRÍGUEZ COLMENARES, S. M.; ALVARADO ROMERO, H. R.; CAVALLO, E.; ULLOA, A. C.; *et al.* Professional profile and work conditions of nurses working in intensive care units: a multicentre study. **Journal of Clinical Nursing**, v. 31, p. 1697-1708, 2022. <https://doi.org/10.1111/jocn.16026>

STROBE INITIATIVE; VON ELM, E.; ALTMAN, D. G.; EGGER, M.; POCOCK, S. J.; GÖTZSCHE, P. C.; VANDENBROUCKE, J. P. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. **PLoS Medicine**, v. 4, n. 10, e296, 2007. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040296>

SUEN, L. K. P.; GUO, Y. P.; HO, S. S. K.; AU-YEUNG, C. H.; LAM, S. C. Comparing mask fit and usability of traditional and nanofibre N95 filtering facepiece respirators before and after nursing procedures. **Journal of Hospital Infection**, v. 104, n. 3, p. 336-343, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2019.09.014>

SUMAN, R.; JAVAID, M.; HALEEM, A.; VAISHYA, R.; CHAUDHRY, A.; KUMAR, S.; *et al.* Sustainability of coronavirus on different surfaces. **Journal of Clinical and Experimental Hepatology**, v. 10, n. 4, p. 386-390, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jceh.2020.04.020>

TABAH, A.; RAMANAN, M.; LAUPLAND, K. B.; BUETTI, N.; CORTEGIANI, A.; MELLINGHOFF, J.; *et al.* Personal protective equipment and intensive care unit healthcare worker safety in the COVID-19 era (PPE-SAFE): an international survey. **Journal of Critical Care**, v. 59, p. 70-75, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.06.005>

TCHARKHTCHI, A.; ABBASNEZHAD, N.; SEYDANI, M. Z.; ZIRAK, N.; FARZANEH, S.; SHIRINBAYAN, M. An overview of filtration efficiency through the masks: mechanisms of the aerosols penetration. **Bioactive Materials**, v. 6, n. 1, p. 106-122, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.08.002>

TEIXEIRA, C. F. de S.; SOARES, C. M.; SOUZA, E. A.; LISBOA, E. S.; PINTO, I. C. M. de; ANDRADE, L. R. de.; *et al.* The health of healthcare professionals in facing the COVID-19 pandemic. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 9, p. 3465-3474, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020259.19562020>

TONGYAM, C.; POTIWIPUT, S.; TUMKHANON, K.; SITTHIWANIT, T.; CHAYANUN, S.; INTRA, P.; *et al.* Authenticity screening for N95 filtering facepiece respirator (FFR) by field emission scanning electron microscope (FE-SEM) in comparison with particulate filtration efficiency (PFE) analysis. **Microscopy and**

Microanalysis Research, v. 33, n. 2, p. 1-5, 2020. Disponível em: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/mmres/article/view/242567/164801>. Acesso em: 8 set. 2025.

TOOMEY, E.; CONWAY, Y.; BURTON, C.; *et al.* Extended use or reuse of single-use surgical masks and filtering face-piece respirators during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: a rapid systematic review. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, v. 42, n. 1, p. 75-83, 2021. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.1243>

UNITED NATIONS. **OMS avalia aumento de doenças respiratórias entre crianças no norte da China**. ONU News, 2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/11/1823902>. Acesso em: 08 set. 2025.

VAN DOREMALEN, N.; BUSHMAKER, T.; MORRIS, D. H.; HOLBROOK, M. G.; GAMBLE, A.; WILLIAMSON, B. N.; *et al.* Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. **New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 16, p. 1564-1567, 2020. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>

VEGA, E. A. U.; ANTONIOLLI, L.; MACEDO, A. B. T.; PINHEIRO, J. M. G.; DORNELLES, T. M.; SOUZA, S. B. C. Risks of occupational illnesses among health workers providing care to patients with COVID-19: an integrative review. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 29, e3455, 2021. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4895.3455>

VERBEEK, J. H.; RAJAMAKI, B.; IJAZ, S.; KATZELNICK, L.; KNEBEL, J.; RICHTER, B. *et al.* Personal protective equipment for preventing highly infectious diseases due to exposure to contaminated body fluids in healthcare staff. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, v CD011621.pub4, 2020. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011621.pub4>

VIMIEIRO, V. L.; VIMIEIRO, C. B. S.; OLIVEIRA, A. C. Reuse of N95/PFF2 masks in clinical practice: morphological and structural analysis. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 32, e4209, 2024. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.7045.4209>

VIMIEIRO, V. L.; VIMIEIRO, C. B. S.; OLIVEIRA, A. C. Reuse of N95 respirators: a systematic review on effectiveness and occupational safety for healthcare professionals. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v. 46, e20240312, 2025. <https://doi.org/10.1590/1983-1447.2025.20240312.pt>

VUMA, C. D.; MANGANYI, J.; WILSON, K.; REES, D. The effect on fit of multiple consecutive donning and doffing of N95 filtering facepiece respirators. **Annals of Work Exposures and Health**, v. 63, n. 8, p. 930-936, 2019. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxz060>

WEI, J.; LI, Y. Airborne spread of infectious agents in the indoor environment. **American Journal of Infection Control**, v. 44, p. 102-108, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.06.003>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Global tuberculosis report 2022**. Geneva: WHO, 2022a. Disponível em: <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2022>. Acesso em: 8 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Infection prevention and control in the context of coronavirus disease (COVID-19): a living guideline**, 7 March 2022. Geneva: WHO, 2022b. Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/352339>. Acesso em: 8 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Infection prevention and control of epidemic and pandemic prone acute respiratory infections in health care**. Geneva: WHO, 2014. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/infection-prevention-and-control-of-epidemic-and-pandemic-prone-acute-respiratory-infections-in-health-care>. Acesso em: 8 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Managing epidemics: key facts about major deadly diseases**. 2. ed. Geneva: WHO, 2023b. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240083196>. Acesso em: 8 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Middle east respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV)**. Geneva: WHO, 2003. Disponível em: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/70863/WHO_CDS_CSR_GAR_2003.11_en_g.pdf?sequence=1. Acesso em: 8 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Middle east respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV)**. Geneva: WHO, 2019. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/mers-cov/en/>. Acesso em: 8 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Rational use of personal protective equipment (PPE) for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance**, 19 March 2020. Geneva: WHO, 2020. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331498>. Acesso em: 8 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Statement on the fifteenth meeting of the IHR (2005) emergency committee on the COVID-19 pandemic**. Geneva: WHO, 2023a. Disponível em: [https://www.who.int/news/item/05-05-2023-statement-on-the-fifteenth-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-coronavirus-disease-\(covid-19\)-pandemic](https://www.who.int/news/item/05-05-2023-statement-on-the-fifteenth-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-coronavirus-disease-(covid-19)-pandemic). Acesso em: 8 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO COVID-19 dashboard: global summary of COVID-19 cases**. WHO Health Emergencies Programmed, 2025. Geneva: WHO, 2025. Disponível em: <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c>. Acesso em: 8 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO); ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS); AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA); MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS). **Guia para implementação da Estratégia Multimodal da OMS para a Melhoria da Higiene das Mãos**. Geneva: WHO, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/servicosdesaude/prevencao-e-controle-de-infeccao-e-resistencia-microbiana/GuiaImplementaoestrategiamultimodaldemelhoriadaHM_LogosAtualizadas.pdf. Acesso em: 8 set. 2025.

ZHA, M.; ALSARRAJ, J.; BUNCH, B.; VENZON, D. Impact on the fitness of N95 masks with extended use/limited reuse and dry heat decontamination. **Journal of Investigative Medicine**, v. 70, n. 1, p. 99-103, 2022. <https://doi.org/10.1136/jim-2021-001908>

ZHOU, S. S.; LULUKA, S.; CHIOSSONE, C.; RODRIGUEZ, J.; *et al.* Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. **Journal of Thoracic Disease**, v. 10, p. 2059-2069, 2018. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.03.103>

ZHU, N.; ZHANG, D.; WANG, W.; LI, X.; YANG, B.; SONG, J.; *et al.* A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. **New England Journal of Medicine**, v. 382, p. 722-733, 2020. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>

APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado Senhor (a),

Vimos por meio deste convidá-lo (a) a participar como voluntário da pesquisa intitulada: **Análise da integridade e funcionalidade das máscaras N95/PPF2 em protocolos de reuso e uso estendido e a segurança dos profissionais de saúde** cujo objetivo consiste em: **Determinar a eficácia das máscaras N95/PPF2 quanto a integridade e funcionalidade, considerando as características de vedação e filtração após o uso estendido e reutilização, com foco na segurança ocupacional dos profissionais de saúde.**

Este documento tem o objetivo de lhe dar informações sobre a pesquisa e de assegurar seus direitos como participante da pesquisa. Por favor, antes de decidir participar da pesquisa, leia este Termo com calma e atenção, use o tempo que precisar. Se você tiver dúvidas pode perguntar a qualquer momento. Se preferir, pode levar este Termo para casa e consultar seus familiares, amigos ou outras pessoas antes de decidir participar da pesquisa.

Primeiro nós queremos que você saiba que sua participação nesta pesquisa é opcional. Você pode decidir não participar da pesquisa ou, caso decida participar, você pode sair dela a qualquer momento, sem penalização ou prejuízo para você. Você pode fazer perguntas a qualquer momento.

Depois que você entender a pesquisa e concordar em participar, nós iremos te pedir para assinar este documento. Este documento será elaborado em duas vias, uma será dada para você guardar e outra via será arquivada pelo pesquisador. As duas vias serão assinadas por você e pelo responsável da pesquisa.

1. Procedimentos da Pesquisa

Para participar solicito a sua autorização para responder a um questionário estruturado elaborado pela pesquisadora. Este questionário abordará informações sobre seus dados demográficos, laboral e de formação; além de informações relacionadas ao protocolo adotado de substituição das máscaras N95/PPF2 e a segurança dos profissionais de saúde, participação em treinamentos sobre paramentação, desparamentação e acondicionamento dos dispositivos, bem como teste de vedação e avaliação da

integridade delas. Ademais, ocorrerá a substituição das máscaras N95/PPF2 usadas por novas a serem fornecidas pela equipe da pesquisa com a finalidade de realizar inspeção visual e testes para avaliar a sua integridade e funcionalidade.

A entrevista será conduzida pelo pesquisador principal, considerando-se o horário e a disponibilidade do profissional. Quando possível, a entrevista será realizada em local separado dos demais profissionais da equipe, de forma presencial. O tempo médio estimado para a entrevista é de 10 minutos.

2. Riscos e desconfortos

Os riscos identificados no desenvolvimento da pesquisa referem-se a possíveis desconfortos mínimos aos responder às questões. Esse risco será minimizado mediante esclarecimentos sobre a pesquisa e dúvidas que possam existir. Entretanto, caso sinta que sofreu algum dano decorrente da sua participação, você terá assegurado o direito a ressarcimento ou indenização, conforme previsto na resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Além disso, caso não se sinta confortável você poderá cancelar sua participação a qualquer momento, sem qualquer penalidade.

3. Confidencialidade

A sua identidade será preservada e mantida em sigilo. Os resultados da pesquisa serão apresentados de forma coletiva, ou seja, referentes a um grupo e não a uma pessoa, portanto, não será possível identificá-lo profissionalmente e/ou pessoalmente, em publicações referentes a esse estudo.

4. Benefícios

Espera-se que os resultados deste estudo possam fornecer maiores informações sobre o conhecimento dos profissionais de saúde em relação ao uso das máscaras N95/PPF2 e a eficácias dos protocolos de uso estendido e reuso implementados na prática clínica, contribuindo para uma assistência segura, com redução do risco de infecção dos profissionais de saúde e paciente por patógenos transmitidos pelo ar, principalmente o vírus SARS-CoV-2, bem como outras situações em que a transmissão aérea se faça presente como um risco.

5. Custos/Reembolso

Você não terá nenhum custo com a sua participação no estudo e não receberá nenhum tipo de remuneração. Além disso, sua participação não implicará em benefícios institucionais.

6. Declaração de consentimento

Estou ciente de que recebi informações necessárias e satisfatórias, e que fui plenamente esclarecido (a) sobre o estudo, diante disso, compreendo que sou livre para me retirar do estudo em qualquer momento, sem nenhum tipo de prejuízo ou constrangimento, e que minha participação será completamente anônima, não sendo permitida nenhuma forma de minha identificação.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, na Escola de Enfermagem da UFMG (Av. Alfredo Balena, nº 190, Santa Efigênia. Belo Horizonte, MG), e a outra será fornecida ao Sr. (a).

Os dados, materiais e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos na sala 200 da Escola de Enfermagem da UFMG e após esse tempo serão destruídos. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo a legislação brasileira (Resoluções Nº 466/12; 441/11 e a Portaria 2.201 do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares), utilizando as informações somente para fins acadêmicos e científicos. Assim sendo, após assinar o termo de consentimento livre e esclarecido receberei uma via dele que me possibilitará a qualquer momento contato com os pesquisadores e acompanhamento dos resultados desse estudo.

Declaro que concordo em participar desta pesquisa. Recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido assinado por mim e pelo pesquisador, que me deu a oportunidade de ler e esclarecer todas as minhas dúvidas.

Em caso de quaisquer dúvidas, poderei comunicar-me com as pesquisadoras mediante contato:

Prof.a Dra. Adriana C. Oliveira – Orientadora

E-mail: adrianacoliveira@gmail.com

Enf. Doutoranda Viviane Lopes Vimieiro – Orientanda.

E-mail: vivianevimi@yahoo.com.br

Endereço: Escola de Enfermagem da UFMG SALA 200. Av. Alfredo Balena 190, Santa Efigênia. Belo Horizonte, MG. CEP: 30130100. Telefone: (31) 3409-9855.

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa e sobre seus direitos como participante da pesquisa, você poderá consultar:

CEP-UFMG - Comissão de Ética em Pesquisa da UFMG

Endereço: Av. Antônio Carlos, 6627. Unidade Administrativa II - 2º andar - Sala 2005.
Campus Pampulha. Belo Horizonte, MG – Brasil. CEP: 31270-901. E-mail:
coep@prpq.ufmg.br. Telefone: 34094592.

Você também pode fazer denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo.

Diante do exposto e, de espontânea vontade, minha decisão é:

Marcar apenas uma opção.

() Aceito participar da pesquisa.

() Prefiro não participar

Local

Data e Nome Completo do Participante

Assinatura do Participante

RESPONSABILIDADE DO PESQUISADOR

Asseguro ter cumprido as exigências da resolução 466/2012 do CNS/MS e complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguro ter sanado todas as dúvidas do participante da pesquisa. Declaro ter fornecido uma via original deste documento assinada pelo participante e por mim, tendo todas as folhas por nós rubricadas. Informo que o estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa sob número do parecer: _____ . Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

Assinatura da pesquisadora principal

Profa. Dra. Adriana C. de Oliveira

APÊNDICE B - TERMO DE ANUÂNCIA DA INSTITUIÇÃO PARA PARTICIPAÇÃO

Ao responsável da Instituição de Saúde _____.

Prezado Senhor (a),

Vimos por meio deste convidar a Instituição de Saúde _____ a participar da pesquisa intitulada: **Análise da integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2 em protocolos de reuso e uso estendido e a segurança dos profissionais de saúde.**

1. Objetivo

Este estudo tem como objetivo determinar a eficácia das máscaras N95/PFF2 quanto a integridade e funcionalidade, considerando as características de vedação e filtração após o uso estendido e reutilização, com foco na segurança ocupacional dos profissionais de saúde.

2. Metodologia/Procedimento da pesquisa

Trata-se de um estudo experimental, que será realizado na Unidade de Terapia Intensiva (UTI). O estudo será realizado em dois momentos: Período pré-experimento e experimentos.

No pré-experimento ocorrerá uma abordagem aos profissionais de enfermagem do setor de estudo, que prestam assistência direta ao paciente, por meio de entrevista para ser avaliadas características sociodemográficas, laboral e de formação do profissional de enfermagem e informações quanto a participação em treinamentos sobre paramentação, desparamentação e acondicionamento das máscaras N95/PFF2, bem como realização do teste de vedação e avaliação da integridade das mesmas complementando com a substituição das máscaras N95/PFF2 usadas por novas a serem fornecidas pela equipe da pesquisa, seja pelo protocolo de uso estendido e/ou reuso ou por algum tipo de avaria antes do período proposto.

Para concluir a etapa pré-experimentos será realizado uma inspeção subjetiva para identificar as condições de preservação delas quanto ao comprometimento da sua integridade (danos impelidos a estrutura).

Para a fase de experimentos, todas as máscaras N95/PFF2 serão submetidos a testes com a finalidade de verificar a integridade das suas tiras de fixação por meio do teste de tração e analisar a funcionalidade do seu material filtrante por meio de um ensaio de aerossolização e, por fim, avaliar a integridade da estrutura das máscaras N95/PFF2 por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3. Justificativa

Dada à relevância do tema, percebe-se uma escassez de estudos desenvolvidos na realidade brasileira e mundial sobre o impacto dos protocolos de reuso e uso estendido das máscaras N95/PFF2, implantados na prática clínica, na segurança dos profissionais de saúde. Por conseguinte, esta lacuna demanda a necessidade de avaliar o conhecimento do conjunto de atributos relacionados à integridade e funcionalidade destes dispositivos de modo a obter a prevenção e controle da transmissão de doenças de transmissão aérea.

4. Benefícios

Este estudo pode contribuir para definições de protocolos adequados visando garantir uma assistência mais segura, além de permitir que intervenções pontuais possam ser implementadas, para enfrentar novas epidemias e outros vírus de transmissão aérea. A instituição de saúde não terá nenhum custo, as máscaras N95/PFF2 para os profissionais de saúde durante o estudo serão fornecidas pelo pesquisador, a fim de que possam ser analisadas quanto a sua estrutura interna e externa em testes laboratoriais.

5. Desconfortos e Riscos

Os riscos identificados no desenvolvimento da pesquisa referem-se a possíveis desconfortos mínimos para responder às questões. Esse risco será minimizado mediante esclarecimentos sobre a pesquisa e dúvidas que possam existir. Entretanto, caso sinta que sofreu algum dano decorrente da sua participação na pesquisa, você terá assegurado o direito a ressarcimento ou indenização, conforme previsto na resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Além disso, caso não se sinta confortável você poderá cancelar sua participação a qualquer momento, sem qualquer penalidade.

6. Confidencialidade das informações

A identidade da instituição e dos participantes serão preservadas e mantidas em sigilo. Os resultados da pesquisa serão apresentados de forma coletiva, ou seja, referentes a um grupo e não a uma pessoa, portanto, não será possível identificá-los profissionalmente e/ou pessoalmente, em publicações referentes a esse estudo. As informações concedidas serão usadas somente para fins científicos.

7. Compensação/Indenização

A instituição não terá nenhum gasto com a participação na pesquisa e não receberá qualquer benefício financeiro como pagamento, gratificação ou brindes.

AUTORIZAÇÃO

Diante do exposto, estou ciente de que a participação da Instituição de Saúde _____ na pesquisa **Análise da integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2 em protocolos de reuso e uso estendido e a segurança dos profissionais de saúde** é voluntária e sem ônus, podendo ser interrompida a qualquer momento sem penalidades, constrangimentos ou qualquer forma de punição. Declaro que foram realizados todos os esclarecimentos e dúvidas sobre a pesquisa, bem como sobre a utilização desta documentação para fins científicos. Afirmando ter compreendido os propósitos da realização da pesquisa.

Em caso de quaisquer dúvidas, poderei comunicar-me com as pesquisadoras mediante contato:

Prof.^a Dr.^a Adriana Cristina de Oliveira – Orientadora.

Telefone: (31) 3409-9855 – E-mail: adrianaoliveira@gmail.com

Enf.^a Doutoranda Viviane Lopes Vimieiro – Orientanda.

Telefone: (31) 998158470 – E-mail: vivianevimieiro@gmail.com

Em caso de dúvidas éticas a respeito deste estudo o Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) pode ser contatado. Comitê de Ética em Pesquisa/UFMG: Av. Antônio Carlos, 6627. Unidade Administrativa II. Campus Pampulha - 2º andar. Belo Horizonte, MG - Brasil. CEP 31270-901. Telefone: (31) 3409-4592.

Diante do exposto e, de espontânea vontade, minha decisão é:

Marcar apenas uma opção.

Aceito participar da pesquisa.

Prefiro não participar.

Local

Data e Nome completo do responsável

Assinatura do responsável

**APÊNDICE C - INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PARA OS
PROFISSIONAIS DE ENFERMAGEM DA UNIDADE DE TERAPIA
INTENSIVA**

| Parte I – Caracterização sociodemográfica, laborais e formação |
|---|
| 1. Categoria profissional (0) Enfermeiro. (1) Técnico de enfermagem |
| 2. Titulação (0) Graduação (1) Especialista (2) Mestre (3) Doutor |
| 3. Idade: _____ anos. |
| 4. Sexo: (0) Feminino (1) Masculino |
| 5. Tempo de formação profissional: _____ anos/ _____ meses. |
| 6. Tempo de atuação profissional: _____ anos/ _____ meses. |
| 7. Tempo de atuação na instituição: _____ anos/ _____ meses. |
| 8. Tempo de atuação na unidade de terapia intensiva: _____ anos/ _____ meses. |
| 9. Turno de trabalho: (0) Diurno (1) Noturno (2) Ambos |
| 10. Carga Horária trabalho semanal nesta unidade de terapia intensiva: __ horas. |
| 11. Você trabalha em outra instituição (0) Sim (1) Não |
| 12. Caso a resposta acima tenha sido afirmativa, qual a carga horária semanal desta instituição? __ horas. |

| Parte II - Protocolo adotado e segurança do profissional de saúde |
|---|
| <p>1. Nesta instituição, qual protocolo adotado para substituição das máscaras N95/PFF2?</p> <p>(0) Um dia/plantão</p> <p>(1) Menos que cinco dias/plantões</p> <p>(2) Cinco dias/plantões</p> <p>(3) Sete dias/plantões</p> <p>(4) 15 dias/plantões</p> <p>(5) 30 dias/plantões</p> <p>(6) Sem prazo previamente estabelecido para descarte, a substituição da máscara N95/PFF2 ocorre apenas em caso de perda da integridade, presença de sujidade ou umidade, rompimento dos componentes de fixação ou clipe nasal, vedação inadequada ou contaminação com sangue, fluidos corporais, secreções respiratórias ou nasais.</p> <p>(7) Outro. Especifique: _____</p> |
| <p>2. Você se sente seguro(a) com o protocolo adotado para a substituição de máscaras N95/PFF2 nesta instituição?</p> <p>(0) Sim</p> <p>(1) Não</p> <p>(2) Não sei informar</p> |
| <p>3. Na sua opinião, qual aspecto deve ser avaliado para assegurar a proteção do usuário em protocolos de uso estendido e/ou reutilização das máscaras N95/PFF2?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____.</p> |

| Parte III - Participação em treinamentos, verificação da vedação, avaliação da integridade e acondicionamento das máscaras N95/PFF2 | |
|---|---------------------------------------|
| 1. Você recebeu treinamento sobre o uso da máscara N95/PFF2? | |
| (0) Sim | |
| (1) Não | |
| (2) Não sei informar | |
| 2. Caso você tenha recebido treinamento sobre o uso da máscara N95/PFF2, especifique em qual(is) ano(s) isso ocorreu? _____. | |
| 3. Caso você tenha recebido treinamento sobre o uso da máscara N95/PFF2, qual foi a duração total em horas? | |
| (0) Menos de duas horas | |
| (1) Mais de duas horas | |
| (2) Não sei informar | |
| 4. Caso você tenha recebido treinamento sobre o uso da máscara N95/PFF2, qual tema foi abordado? É possível marcar mais de uma opção | |
| (0) Uso correto e seguro | (4) Higienização das mãos |
| (1) Paramentação e desparamentação | (5) Critérios para descarte |
| (2) Verificação da vedação | (6) Condições segura de armazenamento |
| (3) Avaliação da integridade | (7) Outro. Especifique: |
| 5. Caso você tenha recebido treinamento sobre o uso da máscara N95/PFF2, onde o treinamento ocorreu? | |
| (0) Na própria instituição | |
| (1) Em outra instituição | |
| (2) Ambos | |
| (3) Outro local. Especifique: _____. | |

| |
|---|
| <p>6. Após vestir a máscara N95/PFF2 você realiza a verificação de vedação? Se sim, com que frequência?</p> <p>(0) Nunca</p> <p>(1) Raramente</p> <p>(2) Sempre ou mais de 95% das vezes após vestir a máscara N95/PFF2</p> <p>(3) Não sei o que é verificação da vedação</p> |
| <p>7. Antes de cada uso ou reutilização, você realiza inspeção visual da máscara N95/PFF2 para verificar sua integridade (observando presença de umidade, sujidade, rasgos, dobras, furos, comprometimento do clipe nasal e das tiras de tração)? Se sim, com que frequência?</p> <p>(0) Nunca</p> <p>(1) Raramente</p> <p>(2) Sempre ou mais de 95% das vezes antes de colocar a máscara N95/PFF2</p> |
| <p>8. Nesta instituição de saúde onde você trabalha há local exclusivo para você armazenar sua máscara N95/PFF2 após o uso?</p> <p>(0) Sim</p> <p>(1) Não</p> |
| <p>9. Qual local onde você armazena sua máscara N95/PFF2 após o uso? Especifique: _____ _____</p> |

Agradecimentos

Agradecemos sua participação nesta pesquisa e a valiosa contribuição para o desenvolvimento deste estudo.

Muito obrigada!

A pesquisadora