

Reutilización de mascarillas N95/PFF2 en la práctica clínica: análisis morfológico y estructural*

Viviane Lopes Vimieiro^{1,2}

 <https://orcid.org/0000-0001-6500-1344>

Claysson Bruno Santos Vimieiro^{3,4}

 <https://orcid.org/0000-0003-1916-0517>

Adriana Cristina de Oliveira¹

 <https://orcid.org/0000-0002-4821-6068>

Destacados: (1) Alteraciones morfológicas y estructurales en las mascarillas N95/PFF2 tras su reutilización. (2) Impacto en la integridad y funcionalidad de las mascarillas N95/PFF2 tras su reutilización. (3) Implicaciones para la seguridad de los profesionales de la salud. (4) Necesidad de reevaluar los protocolos de reutilización. (5) La Microscopía Electrónica de Barrido como herramienta valiosa.

Objetivo: analizar la integridad de mascarillas N95/PFF2 con relación a la morfología de las fibras, porosidad, grietas y microagujeros, así como identificar daños visibles en su estructura y componentes, luego de protocolos de reutilización de siete y quince días. **Método:** estudio transversal. Se analizaron las características estructurales y morfológicas de una mascarilla N95/PFF2 nueva en comparación con las mascarillas N95/PFF2 (n=10) utilizadas en protocolos de siete y quince días, mediante inspección visual y microscopía electrónica de barrido. **Resultados:** tras la inspección visual, siguiendo el protocolo de siete días, el 40% y el 60% de las mascarillas N95/PFF2 mostraron, respectivamente, marcas de identificación personal y suciedad externa e interna. Además, el 20% presentó aflojamiento y/o desgarramiento de las correas de sujeción, mientras que el 100% presentó algún tipo de daño en los clips nasales. En el protocolo de quince días, todas las mascarillas N95/PFF2 tenían suciedad, correas de sujeción sueltas y clips nasales dañados, y el 80% tenía pliegues. La microscopía electrónica reveló un aumento de poros y aflojamiento en las tramas a partir de los siete días, extendiéndose hasta los quince días, con presencia de microagujeros y residuos. **Conclusión:** la reutilización de las mascarillas N95/PFF2 compromete su integridad estructural y morfológica. Es crucial realizar pruebas para medir el impacto de esta práctica en la seguridad de los profesionales de la salud.

Descriptor: Equipo de Protección Personal; Respiradores N95; Equipo Reutilizado; Personal de Salud; Salud Laboral; Microscopía Electrónica de Rastreo.

* Apoyo financiero de la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), proceso nº APQ-00415-22, Brasil y del Fundo de Incentivo à Pesquisa da PUC Minas (FIP-PUC-MINAS), proceso nº FIP2023/28971, Brasil.

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Enfermagem, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Becaria de la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Brasil.

³ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁴ Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Cómo citar este artículo

Vimieiro VL, Vimieiro CBS, Oliveira AC. Reuse of N95/PFF2 masks in clinical practice: morphological and structural analysis. Rev. Latino-Am. Enfermagem. 2024;32:e4209 [cited ____]. Available from: _____.

URL

_____ | ____ | ____
año mes día

Introducción

La mascarilla N95/PFF2 es el principal Equipo de Protección Personal (EPP) utilizado en la prevención y control de enfermedades respiratorias como tuberculosis, sarampión, COVID-19 e influenza H5N1⁽¹⁾. La integridad estructural de las mascarillas N95/PFF2 es esencial para garantizar el ajuste facial y una eficiencia de filtración mínima del 95% de las partículas en el aire de hasta 0,3 micras (μm) para garantizar la seguridad de los profesionales de la salud⁽²⁾.

La *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) exige que se utilice la mascarilla N95/PFF2 solo una vez y se deseché inmediatamente después de su uso⁽³⁾. Sin embargo, la escasez de equipos durante epidemias, como la de influenza H1N1 en 2009 y del Síndrome Respiratorio de Oriente Medio en 2012, y la pandemia de COVID-19, han llevado a organismos como el *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), la *Agência Nacional de Vigilância Sanitária* (ANVISA) y otras organizaciones de salud a recomendar la implementación de protocolos de reutilización limitada⁽⁴⁻⁶⁾. Estos protocolos incluyen el uso de mascarillas N95/PFF2 en múltiples atenciones o turnos de trabajo, y su retirada y almacenamiento para uso posterior⁽⁵⁾.

A pesar de ser justificables debido a la escasez del dispositivo, tales recomendaciones pueden comprometer la integridad estructural de las mascarillas N95/PFF2, resultando en posibles daños a la protección respiratoria ofrecida a los usuarios. De hecho, estudios realizados entre profesionales que trabajan en servicios de emergencia revelaron que las mascarillas N95/PFF2 reutilizadas durante más de tres turnos de ocho horas presentaban tasas de falla considerablemente altas ($\geq 40\%$) en las pruebas de sellado, fenómeno posiblemente atribuido a un ajuste inadecuado del EPP al rostro⁽⁷⁻⁸⁾.

Los riesgos adicionales asociados con los protocolos de reutilización incluyen la necesidad, inherente a la práctica clínica, de que los profesionales de la salud tomen descansos para ir al baño, comer e incluso descansar la cara. Estas circunstancias implican un mayor número de paramentaciones y desparamentaciones, lo que puede provocar el deterioro de los componentes de las mascarillas N95/PFF2, como aflojamiento o rotura de las correas de sujeción, rotura del clip nasal, pliegues, grietas y desgarros⁽⁹⁻¹⁰⁾.

Las mascarillas N95/PFF2 suelen estar compuestas de cuatro capas distintas: dos capas intermedias responsables de la filtración y del soporte, y capas exteriores e interiores que no filtran partículas⁽¹¹⁻¹²⁾. La eficacia de filtración de una mascarilla N95/PFF2 está directamente relacionada con la preservación de

las características morfológicas de las fibras de cada capa. Sin embargo, es posible que los profesionales de la salud no detecten la degradación del material del filtro, lo que puede provocar una reducción potencial de la protección respiratoria⁽¹¹⁾.

Estudios anteriores sobre los impactos de la reutilización de mascarillas N95/PFF2 se basaron principalmente en pruebas de sellado y realización de inspecciones visuales^(8-10,13-15). No obstante, estos métodos pueden resultar insuficientes cuando se busca una evaluación objetiva de la eficacia de las mascarillas N95/PFF2. Además, la falta de directrices claras sobre el tiempo máximo de reutilización deja una laguna en el conocimiento.

Para abordar esta laguna, este estudio adopta una estrategia integral que combina la inspección visual tradicional con técnicas avanzadas como la microscopía electrónica de barrido (MEB). Este enfoque permite un análisis más detallado y preciso, capaz de identificar daños morfológicos microscópicos que pueden no ser perceptibles a simple vista⁽¹⁶⁻¹⁷⁾.

Debido a la escasez de evidencia sobre el tiempo seguro de reutilización de las mascarillas N95/PFF2 que garantice la preservación de la integridad estructural, este estudio tiene como objetivo analizar la integridad de las mascarillas N95/PFF2 con relación a la morfología de las fibras, la porosidad, las grietas y los microagujeros, así como identificar daños visibles en su estructura y componentes luego de protocolos de reutilización de siete y de quince días.

Método

Diseño del estudio y escenario

Estudio transversal. El escenario incluyó dos Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) ubicadas en dos hospitales públicos de Belo Horizonte, MG, Brasil, con capacidad de 10 y 54 camas, respectivamente. La elección de estas instituciones se basó en la diferencia de los protocolos de reutilización de las mascarillas N95/PFF2 adoptados, siendo de siete días para la primera y quince días para la segunda. Cada unidad contaba con espacios exclusivos, aireados y ventilados destinados al almacenamiento seguro de estos dispositivos. Los protocolos de reutilización fueron elaborados por el *Setor de Segurança do Trabalho* (SST) y por la *Comissão de Controle de Infecção Hospitalar* (CCIH) de cada hospital, con orientaciones detalladas para los profesionales de la salud sobre el embalaje correcto, destacando la importancia del uso de papel adecuado y una identificación clara de cada mascarilla N95/PFF2 con nombre de usuario y tiempo de uso.

Población

La población elegible estuvo compuesta por profesionales de enfermería que trabajan en cuidados directos en las unidades seleccionadas.

Criterios de selección

Se incluyeron mascarillas N95/PFF2 utilizadas por los profesionales de enfermería durante el turno de día, de acuerdo con los protocolos de reutilización (siete y quince días). La elección de este turno se debió al mayor número de procedimientos realizados durante este período. Se excluyeron las mascarillas N95/PFF2 utilizadas por profesionales que no siguieron los intervalos de tiempo determinados por los protocolos de reutilización.

Definición de la muestra

La muestra de conveniencia se dividió en dos grupos de comparación: un grupo con cinco mascarillas N95/PFF2 utilizadas durante siete días, y el otro con cinco utilizadas durante quince días, ambos siguiendo el protocolo de reutilización establecido. Es importante resaltar que todas las mascarillas N95/PFF2 eran de la misma marca y modelo, con un tamaño estándar. Este modelo en particular se caracteriza por sus dos correas de sujeción de material elástico, clip nasal de metal sin revestimiento para un ajuste personalizado y diseño plegable. Además, todos los dispositivos contaban con un Certificado de Aprobación (CA) emitido por el *Ministério do Trabalho e Emprego* (MTE) de Brasil, garantizando que cumplían con los rigurosos estándares de seguridad y calidad exigidos por la legislación brasileña.

VARIABLES DEL ESTUDIO

Las variables del estudio fueron analizadas mediante dos instrumentos de recolección de datos, ambos desarrollados por los investigadores y basados en las normas de la *Occupational Safety and Health Administration* de EE. UU y del *Ministério do Trabalho e Emprego* de Brasil sobre el uso seguro de la mascarilla N95/PFF2. El primer instrumento evaluó la integridad estructural de las mascarillas N95/PFF2, considerando el tiempo de uso (siete o quince días), la categoría profesional (enfermeros o técnicos de enfermería), y la presencia de marcas de identificación personal, pliegues, agujeros o desgarros en la superficie, manchas y suciedad en las partes externa e interna (con respuestas de sí o no para cada ítem). En los casos afirmativos, se especificaron los tipos de manchas o suciedad, incluyendo restos de maquillaje, manchas

amarillas u oscuras, café, garabatos con bolígrafo, entre otros. Para cuantificar la extensión de la suciedad o de las manchas, se adoptó una estimación en múltiplos del 25% del área comprometida de la mascarilla N95/PFF2. Este enfoque incluyó una evaluación visual, seguida de la clasificación de las áreas afectadas en categorías, según su extensión. Además, se evaluó el estado de conservación de las correas de sujeción (intactas o estiradas) y del clip nasal (intacto, aplastado o con marca de dobleces, roto, con ranuras u otras condiciones especificadas).

El segundo instrumento se centró en las características morfológicas de las fibras de las diferentes capas de las mascarillas N95/PFF2, incluyendo el tiempo de uso (siete o quince días), la categoría profesional (enfermeros o técnicos de enfermería), las capas específicas (externa, estructural, filtrante e interna), las características de las fibras (bien conservadas, irregulares o muy irregulares), la presencia de imperfecciones (microagujeros, grietas o ambos) y residuos. La región elegida para la recolección de la muestra fue la zona cercana a la parte nasal, en el lado derecho de la mascarilla N95/PFF2, seleccionada por el mayor grado de humedad provocado por la respiración del usuario.

Período, instrumentos utilizados para recolectar la información y recolección de datos

La recolección de datos se realizó entre los meses de febrero y abril de 2023. Diariamente, al final de cada turno diurno, se recogían mascarillas N95/PFF2 según un cronograma previamente establecido en conjunto con los servicios de salud. Estas muestras estaban acondicionadas en sobres marrones, etiquetados con información sobre el lugar y fecha de recolección, marca del dispositivo, período de uso y categoría profesional del usuario. Posteriormente, eran almacenadas en cajas rígidas que habían sido higienizadas con agua y jabón, en un ambiente ventilado. Durante el proceso se adoptaron estrictas medidas de seguridad, incluido el uso de delantales, guantes de procedimiento y mascarillas quirúrgicas.

La investigadora era responsable del transporte de las mascarillas N95/PFF2, ya acondicionadas en las cajas, desde las unidades de cuidados intensivos hasta el Centro de Ingeniería de la *Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais* (PUC Minas), en Belo Horizonte, Brasil. En el Centro, la integridad estructural se analizó mediante inspección visual con luz natural. Se utilizaba una lente óptica con diez aumentos (Tomshin S.A., São Paulo, SP, Brasil) sobre una mesada desinfectada con alcohol al 70% para detectar la presencia de marcas de identificación, pliegues, agujeros o desgarros, manchas y suciedad, además de evaluar el estado de conservación de los componentes de la mascarilla N95/PFF2. Las marcas de identificación indicaban

marcaciones realizadas por el usuario, generalmente con un bolígrafo, para distinguir su dispositivo y controlar el tiempo de uso. Los resultados se registraron en formularios individuales para cada muestra.

Después de la recolección e inspección visual, todas las mascarillas N95/PFF2 fueron enviadas al Laboratorio de Microscopía Avanzada de la *PUC Minas*. En este laboratorio, se utilizó un microscopio electrónico de barrido (JSM-6610LV, Jeol, Tokio, Japón) para analizar la morfología de las fibras en las diferentes capas del dispositivo. La manipulación se realizó con guantes y delantal no esterilizados sobre una mesada. Para el análisis, las muestras se seccionaron cerca de la región de la nariz, en el lado derecho, utilizando una tijera previamente desinfectada con alcohol al 70%. Las secciones tenían unas dimensiones aproximadas de 1,0 x 1,0 cm. Luego, las capas se separaron y se fijaron directamente a un "stub" de aluminio con cinta adhesiva de carbono de doble faz. Para que las superficies fueran conductoras para la visualización en el MEB, se depositó una película de oro de quince nanómetros de espesor sobre las muestras, utilizando un sistema de recubrimiento al vacío de alta presión (Denton Vacuum Desk S.A, Nueva Jersey, Estados Unidos de América). Las micrografías se obtuvieron con aumentos de 100x, 500x y 1000x. Cabe señalar que, poco después de llegar al Centro de Ingeniería y al Laboratorio de Microscopía, las mascarillas N95/PFF2 fueron inmediatamente sometidas a las pruebas. Este procedimiento se adoptó para evitar la influencia de cualquier variable ambiental derivada del almacenamiento en lugares inadecuados sobre los resultados.

Procesamiento y análisis de los datos

Uso del *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versión 28.0, para análisis descriptivos y presentación de datos en tablas de distribución de frecuencias absolutas y relativas.

Aspectos éticos

El estudio siguió los principios éticos de la Resolución 466/2012 del Consejo Nacional de Salud, referente a investigaciones con seres humanos, recibiendo la aprobación del Comité de Ética en Investigación (CEP, por sus siglas en portugués) de Brasil, bajo dictamen número: 5.824.571 - Certificado de Presentación de Evaluación Ética (CAAE, por sus siglas en portugués): 65232922.8.0000.5149. Se invitó a los profesionales de enfermería a participar de forma voluntaria y se proporcionó toda la información pertinente, asegurando la firma individual del Término de Consentimiento Libre e Informado (TCLE, por sus siglas en portugués). Para preservar el anonimato, el proceso de recolección de datos fue diseñado para excluir cualquier dato que pudiera identificar a los individuos participantes.

Resultados

La integridad de las mascarillas N95/PFF2 con relación al protocolo de reutilización (siete y quince días) se evaluó mediante inspección visual con ayuda de una lente óptica de diez aumentos marca Tomshin® (Figura 1).

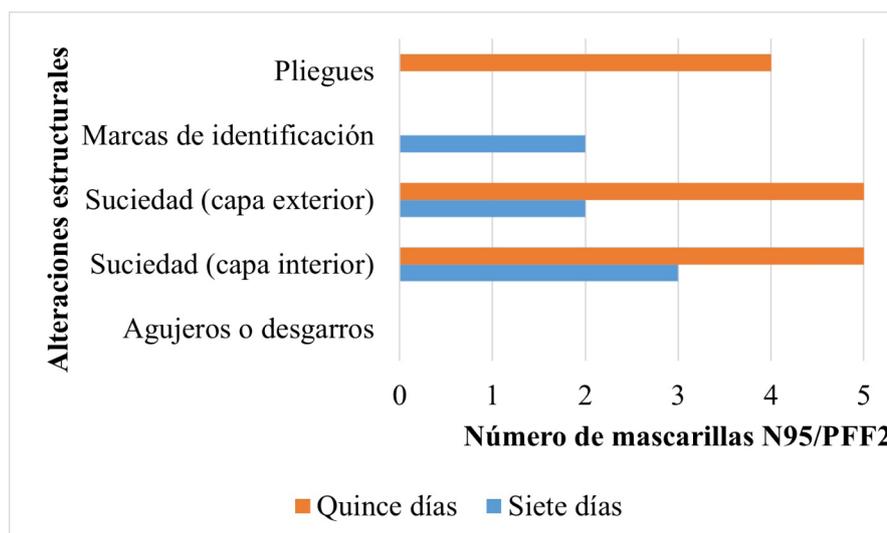


Figura 1 - Alteraciones estructurales en mascarillas N95/PFF2 después de su uso en protocolos de siete (n=5) y quince días (n=5), en un turno de 12 horas. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

En cuanto a la estructura de las mascarillas N95/PFF2, se observó la presencia de marcas de identificación en el 40% (2/5) de los dispositivos que fueron reutilizados

durante siete días. Estas marcas, realizadas por técnicos de enfermería, consistieron en escribir las iniciales de sus nombres y la fecha de recibimiento, utilizando bolígrafos,

en el exterior de las mascarillas N95/PFF2. El objetivo de estas marcas era identificar y controlar el tiempo de uso de cada equipo.

Respecto a la suciedad, tras siete días de uso el 40% (2/5) de las mascarillas N95/PFF2 presentaban manchas amarillas u oscuras de origen indeterminado en al menos el 25% de su superficie en la capa exterior, mientras que el 60% (3/5) tenía suciedad en la capa interior. En cuanto a las muestras utilizadas durante quince días, todas ellas presentaban suciedad en ambas capas, ocupando las manchas una superficie inferior al 25% en la capa exterior, y en la interior la mayoría, el 60% (3/5), presentaba restos de maquillaje en una superficie superior al 75%.

Respecto a los componentes de las mascarillas N95/PFF2 reutilizadas durante siete días, el 20% (1/5) de las correas de sujeción presentaron aflojamiento y el 20% (1/5) se rompieron; el 100% (n=5) de los clips nasales presentaban algún tipo de daño: el 20% (1/5) estaban abollados o presentaban marcas de pliegues, el 20% (1/5), además de este daño, también presentaban ranuras, y el 60% (3/5) presentaban únicamente ranuras. En todas las mascarillas N95/PFF2 reutilizadas durante quince días las correas de sujeción estaban aflojadas y el clip nasal estaba

comprometido, con abolladuras o marcas de pliegues y ranuras. Además, en el 40% (2/5) de las muestras del protocolo de quince días se observaron defoliación entre las capas del interior y presencia de apósitos de espuma insertados por profesionales de la salud para protección nasal.

Todas las mascarillas N95/PFF2 fueron sometidas a microscopía electrónica de barrido para analizar las alteraciones morfológicas en las fibras de cada capa, luego de ser utilizadas en protocolos de reutilización. Este análisis reveló que todas las muestras presentaron modificaciones morfológicas similares. Dada esta coherencia en los hallazgos, se seleccionó una mascarilla N95/PFF2 representativa de cada protocolo para ilustrarla en las figuras del estudio. En comparación, la mascarilla N95/PFF2 de control (sin usar) mostró en las micrografías una superficie de contorno de fibra bien conservada, sin microagujeros, grietas ni residuos adheridos.

Al examinar las capas externas de las muestras de siete días, se observó la presencia de poros entre los tejidos y residuos adheridos a las fibras. En las muestras de quince días se observaron microagujeros, hebras de fibras sueltas, así como residuos adheridos a las fibras y poros entre los tejidos (Figura 2).

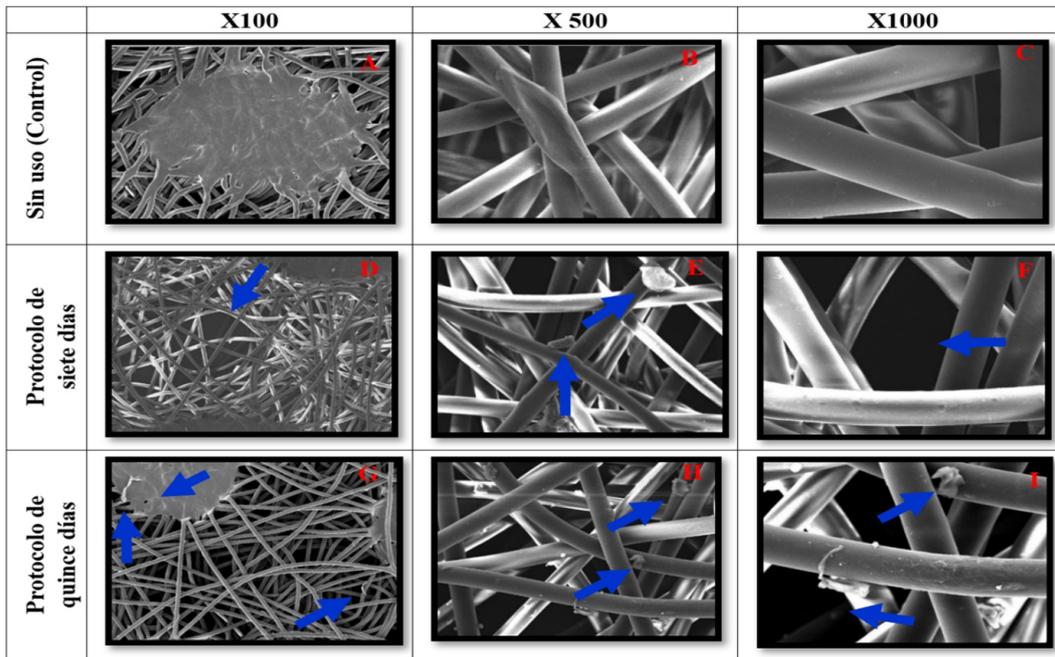


Figura 2 - Microscopía electrónica de barrido de la capa exterior de la mascarilla N95/PFF2 de control y de las muestras en los protocolos de reutilización (siete y quince días) durante turnos de 12 horas, con aumentos de 100x, 500x y 1000x. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

Las imágenes microscópicas 2(A-C) de la capa exterior de la mascarilla N95/PFF2 de control revelaron fibras bien conservadas. En las imágenes 2(D-F), de las muestras de siete días, se puede observar la presencia de poros entre las tramas en 2(D) y 2(F) y residuos en 2(E). En las imágenes 2(G-I), correspondientes a las muestras de quince días,

se identificaron microagujeros y fibras sueltas en 2(G), residuos en 2(H) y 2(I), y poros entre las tramas en 2(I).

En el análisis de las capas estructurales de las mascarillas N95/PFF2 después de los protocolos de reutilización de siete días, se observaron tramas "enredadas", roturas de fibras y residuos adheridos a

las mismas. En las muestras reutilizadas durante quince días, además de las tramas "enredadas" y residuos adheridos, también se identificaron desgastes en las fibras (Figura 3).

Las imágenes microscópicas 3(A-C) de la mascarilla N95/PFF2 de control mostraron fibras bien conservadas. La imagen 3(D) de las muestras de siete días reveló tramas "enredadas", la imagen 3(E) mostró roturas de fibras y residuos, mientras que la imagen 3(F) mostró

solo residuos. Las imágenes 3(G-I) de las muestras de quince días revelaron tramas "enredadas" en 3(G), residuos en 3(H) y residuos con desgaste de fibras en 3(I). Respecto a las capas filtrantes de las mascarillas N95/PFF2 sometidas a los protocolos de reutilización de siete y quince días, se observó la presencia de tramas "enredadas" y roturas de fibras. En las muestras de quince días, además de las tramas "enredadas", se encontraron poros más grandes entre las redes (Figura 4).

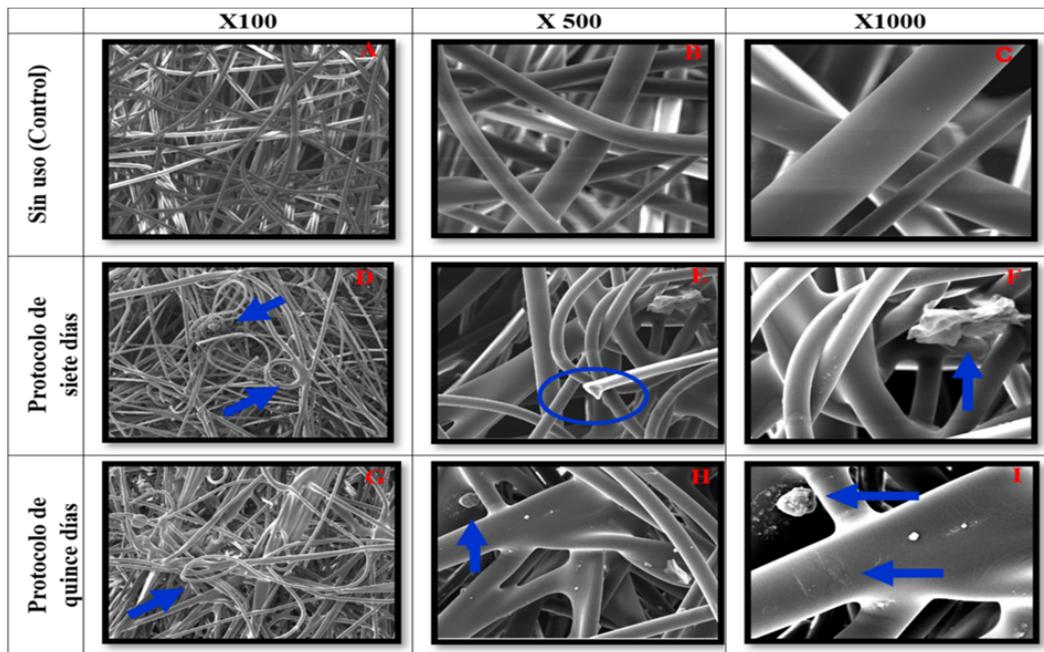


Figura 3 - Microscopía electrónica de barrido de la capa estructural de la mascarilla N95/PFF2 de control y de las muestras en los protocolos de reutilización (siete y quince días) durante turnos de 12 horas, con aumentos de 100x, 500x y 1000x. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

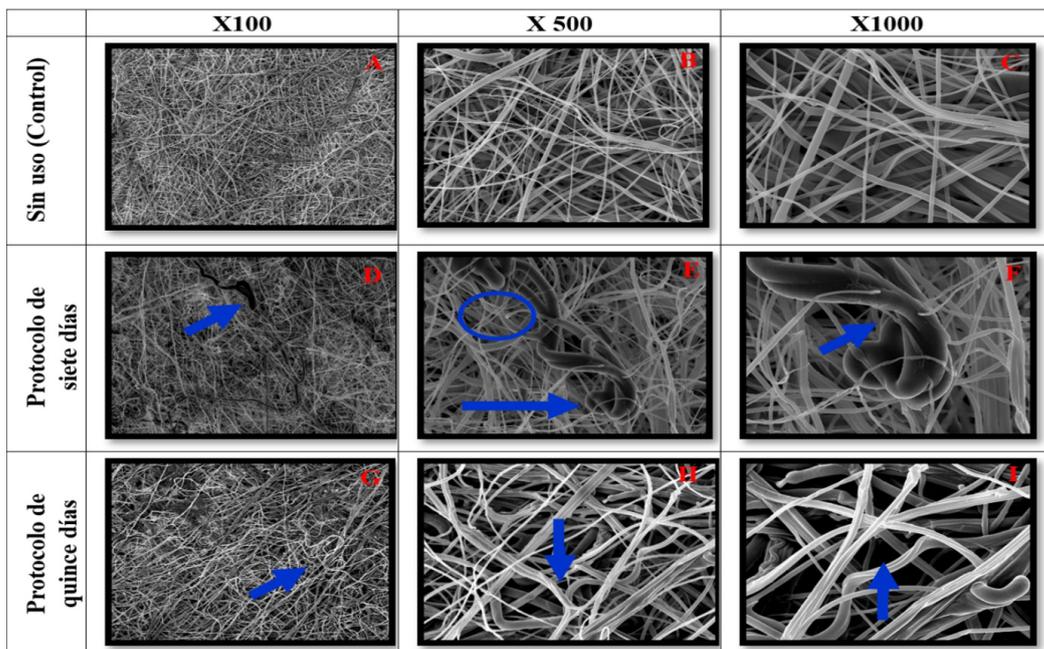


Figura 4 - Microscopía electrónica de barrido de la capa filtrante de la mascarilla N95/PFF2 de control y de las muestras en los protocolos de reutilización (siete y quince días) durante turnos de 12 horas, con aumentos de 100x, 500x y 1000x. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

Las imágenes 4(A-C) de la mascarilla N95/PFF2 de control mostraron fibras bien conservadas. Las imágenes 4(D-F) de las muestras de siete días revelaron tramas “enredadas”. Las imágenes 4(G-H) de las muestras de quince días también revelaron tramas “enredadas”, mientras que la imagen 4(I) reveló poros entre las tramas.

Al analizar las capas internas de las mascarillas N95/PFF2 utilizadas en los protocolos de siete días, se identificaron microagujeros, residuos adheridos a las fibras y poros entre las tramas. En las muestras reutilizadas en los protocolos de quince días, además de estos daños, se reveló la presencia de hebras de fibras sueltas (Figura 5).

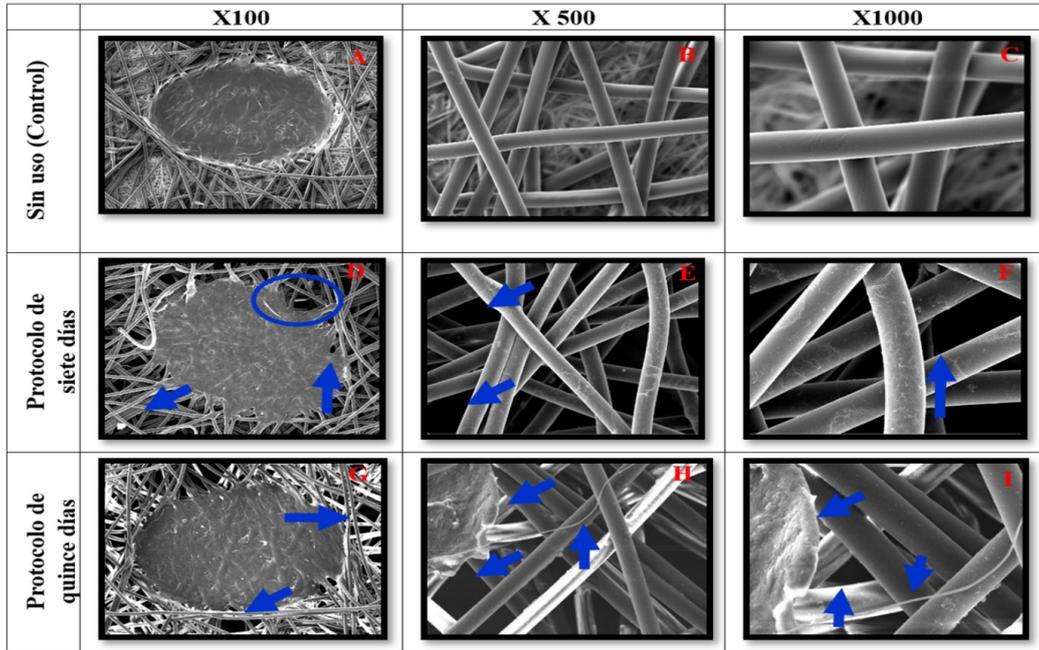


Figura 5 - Microscopía electrónica de barrido de la capa interna de la mascarilla N95/PFF2 de control y de las muestras en los protocolos de reutilización (siete y quince días) durante turnos de 12 horas, con aumentos de 100x, 500x y 1000x. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

Las imágenes 5(A-C) de la mascarilla N95/PFF2 de control mostraron fibras bien conservadas. La imagen 5(D) de las muestras de siete días reveló la presencia de microagujeros, residuos y poros entre las tramas, mientras que las imágenes 5(E) y 5(F) revelaron poros entre las tramas. La imagen 5(G) de las muestras de quince días también reveló poros entre las tramas, y las imágenes 5(H) y 5(I) mostraron residuos y poros entre las tramas, así como hebras de fibras sueltas.

Discusión

En el análisis de mascarillas N95/PFF2 sometidas a protocolos de reutilización por períodos de siete y quince días, se encontraron alteraciones sustanciales atribuibles a esta práctica, afectando tanto la integridad estructural como la morfología de las fibras. Este hecho sugiere un mayor riesgo para la seguridad de los profesionales de la salud, destacando la necesidad de un enfoque cauteloso y sensato a la hora de reutilizar estos equipos de protección.

Estos hallazgos son de gran relevancia, dado que la implementación de estos protocolos de reutilización fue fundamental para satisfacer la alta demanda global

durante la pandemia de COVID-19, así como en epidemias anteriores, como la de influenza H1N1 en 2009 y del Síndrome Respiratorio de Oriente Medio en 2012⁽¹⁸⁻²¹⁾. Asimismo, esta estrategia todavía se adopta como política para reducir los costos financieros en varias instituciones hospitalarias alrededor del mundo, especialmente en países que enfrentan impactos desproporcionados de la COVID-19, como Brasil, India y China, con altos números de casos y mortalidad, además de una alta incidencia de otras enfermedades respiratorias, como la tuberculosis⁽²²⁻²⁴⁾.

Al evaluar la integridad de las mascarillas N95/PFF2 reutilizadas durante siete y quince días, se identificaron, mediante inspección visual, varios signos de desgaste en las correas de sujeción y degradación en los clips nasales. Estos daños corroboran los hallazgos de estudios realizados tanto en ambiente clínico como de laboratorio, destacando la fragilidad de estos equipos en condiciones de reutilización^(9,25). Una investigación clínica, realizada en un hospital terciario de la India durante la pandemia de COVID-19, indicó que el 9% de los profesionales de la salud informaron que el aflojamiento de las correas de sujeción, generalmente después de cinco reutilizaciones en turnos de ocho horas, era una de las razones principales

para la eliminación temprana de mascarillas N95/PFF2⁽²⁵⁾. En un contexto de laboratorio, simulando un turno de diez horas, se encontró que la ruptura de cinco clips nasales y de ocho elementos de fijación, que ocurrió durante 20 episodios de paramentación y desparamentación, resultó en el fracaso de las pruebas de sellado para todos los participantes que usaban tales dispositivos⁽⁹⁾.

La degradación de los componentes de las mascarillas N95/PFF2 puede verse exacerbada por la intensa rutina de los profesionales de la salud, que muchas veces necesitan paramentarse y desparamentarse varias veces durante la jornada laboral, especialmente para pausas esenciales como la hidratación, la alimentación e incluso el descanso facial^(9,15). Investigaciones realizadas en los servicios de salud muestran una variación en la frecuencia de paramentaciones, oscilando entre hasta cinco ocurrencias en turnos de diez horas y un promedio de cuarenta en turnos de doce horas⁽²⁶⁻²⁷⁾. Por lo tanto, es vital que los usuarios realicen inspecciones visuales rigurosas y verifiquen el sellado de las mascarillas N95/PFF2 antes de cada uso para garantizar que se mantenga la integridad de estos dispositivos y, en consecuencia, garantizar una protección eficaz contra agentes infecciosos transmitidos por el aire^(4-5,28). Sin embargo, un estudio reciente reveló que el 57% de los enfermeros no realizan estos controles, destacando la urgente necesidad de una formación frecuente y una mayor concientización sobre la esencialidad de estos procedimientos para el uso correcto y seguro de los equipos de protección personal^(4,29).

Otro punto crítico identificado en el presente estudio fue la alarmante incidencia de suciedad en las mascarillas N95/PFF2, realidad que va en contra de las directrices sanitarias, que recomiendan la sustitución inmediata de dispositivos sucios, húmedos o dañados^(2,4). Esta observación es corroborada por una investigación realizada en un ambiente hospitalario, en la que la inspección visual reveló la presencia de manchas o suciedad en todas las mascarillas N95/PFF2 utilizadas por los auxiliares de enfermería después de cinco reutilizaciones, siendo los residuos cosméticos los más comunes⁽¹⁰⁾. Estos hallazgos resaltan la necesidad crítica de cumplir con las prácticas recomendadas por las agencias de salud, en términos de inspección y mantenimiento de equipos libres de contaminación y suciedad, así como intactos para garantizar la protección efectiva de los profesionales de la salud. Sin embargo, cabe señalar que el uso de maquillaje intensifica el deterioro de las fibras, lo que, a su vez, conduce a una disminución de su eficacia⁽⁴⁻⁵⁾.

Las instituciones hospitalarias participantes en el estudio, de acuerdo con las directrices establecidas por las autoridades de salud ANVISA y CDC, proporcionaron lugares propios, limpios y ventilados para almacenar las mascarillas N95/PFF2^(2,4). Además, promovieron el uso de sobres de papel, que facilitan la circulación del aire

y permiten la identificación personal, evitando marcas directas en los dispositivos. Estas prácticas tienen como objetivo preservar la integridad estructural del EPP y reducir el riesgo de cambios involuntarios entre usuarios. Sin embargo, después de los protocolos de siete y quince días, se observaron en las muestras pliegues y marcas realizadas por un profesional con bolígrafos, lo que sugiere un posible acondicionamiento inadecuado de las mascarillas N95/PFF2 en bolsillos de la ropa o en objetos personales, como bolsos. Esta condición también se observa en otros estudios, lo que llama la atención sobre la importancia de implementar acciones de sensibilización para desalentar el almacenamiento inadecuado de estos dispositivos^(25,27).

Otro aspecto que merece ser destacado en el contexto del protocolo de reutilización de mascarillas N95/PFF2 es la aparición de eventos adversos, entre ellos lesiones por presión en el puente nasal por fricción y cizallamiento provocados por el desplazamiento del dispositivo⁽³⁰⁻³¹⁾. En la práctica clínica, es común que los profesionales de la salud utilicen adhesivos de silicona o espuma en el interior de las mascarillas N95/PFF2 para proteger la piel contra daños y brindar comodidad en la región, especialmente en la nariz, debido a la estructura metálica del clip nasal⁽³²⁻³³⁾. Estas estrategias se observaron en dos muestras reutilizadas en protocolos de quince días en este estudio. Sin embargo, estos apósitos de espuma pueden comprometer el ajuste de estos dispositivos, debido a la posibilidad de que queden espacios entre la piel y el equipo de protección respiratoria⁽³²⁾.

Las mascarillas N95/PFF2, certificadas por el *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), están fabricadas con microfibras sintéticas de polipropileno, distribuidas en cuatro capas distintas: externa, estructural, filtrante e interna^(28,34). Las capas exterior e interior están diseñadas específicamente para proteger contra la humedad, con diámetros de fibra entre 20 y 25 micras⁽³⁴⁾. Por otro lado, el medio filtrante está compuesto por fibras más pequeñas, de dos a cinco micras, tratadas electrostáticamente para retener al menos el 95% de las partículas en el aire de hasta 0,3 μm ⁽³⁴⁾.

A partir del séptimo día de uso de las mascarillas N95/PFF2, los análisis de microscopía electrónica de barrido revelaron una tendencia a aumentar los poros en la mayoría de las capas y la presencia de tramas "enredadas" en las capas estructural y filtrante, posiblemente resultantes del desprendimiento de las fibras, creando espacios más grandes entre ellos. Estas alteraciones se intensificaron en el protocolo de uso de quince días, destacando la relación directa entre el tiempo de reutilización y la magnitud de los resultados observados.

En el contexto de la salud ocupacional, estos cambios morfológicos en las fibras de los dispositivos generan

preocupación, ya que aumentan sustancialmente la posibilidad de que sangre, secreciones respiratorias o nasales y otros fluidos corporales penetren a través de las capas de las mascarillas N95/PFF2. Este escenario es especialmente crítico en entornos como las unidades de cuidados intensivos, donde los procedimientos que generan aerosoles son rutinarios y presentan un alto riesgo de transmisión de virus respiratorios⁽³⁵⁻³⁶⁾.

Además, un estudio adicional destaca que las mascarillas N95/PFF2 con poros más pequeños, más cercanas a sus características originales, ofrecen una eficiencia de filtración superior⁽³⁷⁾. Esto significa que mayores espacios entre las tramas favorecen la penetración de un mayor número de partículas aerosolizadas, aumentando la vulnerabilidad de estos profesionales⁽³⁷⁻³⁸⁾.

Las micrografías de las mascarillas N95/PFF2 también mostraron la presencia de microagujeros y la rotura de las fibras, posiblemente como resultado del deshilachado, lo que conduce a la expansión de los espacios de retención de partículas y facilita la acumulación de residuos entre las fibras. Los elementos observados durante la inspección visual, como suciedad, pliegues y marcas de identificación personal en las muestras, pueden haber influido en estas alteraciones morfológicas. Por tanto, es crucial establecer protocolos adecuados y límites de reutilización de estos dispositivos para garantizar la protección necesaria a los profesionales de la salud.

Este estudio, a pesar de sus valiosos conocimientos, tiene algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta al interpretar sus hallazgos. Inicialmente, el uso de una muestra pequeña puede restringir la generalización de las conclusiones. Asimismo, el análisis centrado exclusivamente en un tipo específico de mascarilla N95/PFF2, de una marca y modelo específicos, puede restringir la aplicabilidad de los resultados a ese tipo en particular. Finalmente, la falta de control directo por parte de los investigadores sobre el almacenamiento de mascarillas N95/PFF2, a pesar de los protocolos e infraestructura proporcionados por las instituciones, puede haber introducido una variable no monitoreada, con potencial impacto en los resultados.

Pese a estas limitaciones, el uso de técnicas de inspección visual y la microscopía electrónica de barrido permitió identificar una laguna significativa con relación al impacto de los protocolos de reutilización de las mascarillas N95/PFF2, especialmente en lo que respecta a la integridad y funcionalidad de las características inherentes a cada capa de los dispositivos tras ser sometidos a protocolos de reutilización durante períodos de siete y quince días. Por ende, la reutilización de estos equipos, aunque sea una recomendación de organismos sanitarios nacionales e internacionales, supone un riesgo tangible para la seguridad de los profesionales de la salud.

Son notables las implicaciones de este estudio para el avance del conocimiento científico en el área de la salud y la enfermería. Al identificar alteraciones en la integridad estructural y morfológica de las mascarillas N95/PFF2 después de su reutilización, se destaca la importancia de reevaluar los protocolos existentes y desarrollar pautas más efectivas. Por ello, esta investigación fomenta pruebas adicionales para garantizar una protección adecuada para los profesionales de la salud.

Conclusión

Los protocolos de reutilización de siete y quince días influyeron potencialmente en la aparición de alteraciones morfológicas en las fibras de las capas de las mascarillas N95/PFF2, además de la degradación tanto de la integridad estructural como de los componentes de fijación. Estos hallazgos sugieren que la reutilización de estos dispositivos respiratorios en la práctica clínica conduce a una reducción significativa de la eficacia del equipo en términos de integridad y funcionalidad de las características de sellado y filtración, comprometiendo así la seguridad de los profesionales de la salud.

Referencias

1. Siegel JD, Rhinehart E, Jackson M, Linda C. The Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. 2007 Guideline for isolation precautions: preventing transmission of infectious agents in healthcare settings: Update: Jul 2023 [Internet]. Atlanta: CDC; 2022 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/isolation-guidelines-H.pdf>
2. Centers for Disease Control and Prevention. NIOSH Science Blog. Proper N95 respirator use for respiratory protection preparedness [Internet]. Atlanta: CDC; 2020 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2020/03/16/n95-preparedness/>
3. Department of Labor (US), Occupational Safety and Health Administration. Standard Number 1910.134: Respiratory protection [Internet]. Atlanta: OSHA; 2021 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>
4. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BR). Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA Nº 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: atualizada em 09/08/2022 [Internet]. Brasília: Anvisa; 2022 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/notas-tecnicas/NT042020covid1908.09.2022paraportal3.pdf>

5. De Perio MA, Dowell CH, Delaney LJ, Radonovich LJ, Kuhar DT, Gupta N, et al. Strategies for Optimizing the Supply of N95 Filtering Facepiece Respirators During the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic. *Disaster Med Public Health Prep.* 2020;14(5):658-69. <https://doi.org/10.1017/dmp.2020.160>
6. World Health Organization. Rational use of personal protective equipment (PPE) for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance, 19 March 2020 [Internet]. Geneva: WHO; 2020 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331498>
7. 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. *West J Emerg Med.* 2021;22(3):547-51. <https://doi.org/10.5811/westjem.2021.1.49960>
8. Degesys NF, Wang RC, Kwan E, Fahimi J, Noble JA, Raven MC. Correlation Between N95 Extended Use and Reuse and Fit Failure in an Emergency Department. *JAMA.* 2020;324(1):94-6. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.9843>
9. Bergman MS, Viscusi DJ, Zhuang Z, Palmiero AJ, Powell JB, Shaffer RE. Impact of multiple consecutive donnings on filtering facepiece respirator fit. *Am J Infect Control.* 2012;40(4):375-80. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.05.003>
10. Duarte LRP, Miola CE, Cavalcante NJF, Bammann RH. Maintenance status of N95 respirator masks after use in a health care setting. *Rev Esc Enferm USP.* 2010;44(4):1011-6. <https://doi.org/10.1590/S0080-62342010000400022>
11. Tcharkhtchi A, Abbasnezhad N, Zarbini Seydani M, Zirak N, Farzaneh S, Shirinbayan M. An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. *Bioact Mater.* 2021;6(1):106-22. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.08.002>
12. Zhou SS, Lukula S, Chiossone C, Nims RW, Suchmann DB, Ijaz MK. Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. *J Thorac Dis.* 2018;10(3):2059-69. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.03.103>
13. Hwang SY, Yoon H, Yoon A, Kim T, Lee G, Jung KY, et al. N95 filtering facepiece respirators do not reliably afford respiratory protection during chest compression: A simulation study. *Am J Emerg Med.* 2020;38(1):12-7. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.03.041>
14. Nakamoto K, Saraya T Sr, Kurai D, Fukukawa N, Taneoka T, Shimasaki T, et al. Reusing N95 respirators at weekly intervals during the COVID-19 pandemic. *Cureus.* 2021;13(2):e13542. <https://doi.org/10.7759/cureus.13542>
15. Vuma CD, Manganyi J, Wilson K, Rees D. The Effect on Fit of Multiple Consecutive Donning and Doffing of N95 Filtering Facepiece Respirators. *Ann Work Expo Health.* 2019;63(8):930-6. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxz060>
16. Illés B, Gordon P. Filtering efficiency measurement of respirators by laser-based particle counting method. *Measurement (Lond).* 2021;176:109173. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109173>
17. Tongyam C, Potiwiput S, Tumkhanon K, Sitthiwani 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. *Microsc Microanal Res [Internet].* 2020 [cited 2023 Sep 4];33(2):1-5. Available from: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/mmres/article/view/242567/164801>
18. Cohen J, Rodgers YVM. Contributing factors to personal protective equipment shortages during the COVID-19 pandemic. *Prev Med.* 2020;141:106263. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2020.106263>
19. Jain U. Risk of COVID-19 due to shortage of personal protective equipment. *Cureus.* 2020;12(6):e8837. <https://doi.org/10.7759/cureus.8837>
20. Kobayashi LM, Marins BR, Costa PCDS, Perazzo H, Castro R. Extended use or reuse of N95 respirators during COVID-19 pandemic: An overview of national regulatory authority recommendations. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2020;41(11):1364-6. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.173>
21. Noguee D, Tomassoni AJ. Covid-19 and the N95 respirator shortage: closing the gap. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2020;41(8):958. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.124>
22. Chu J, Ghenand O, Collins J, Byrne J, Wentworth A, Chai PR, et al. Thinking green: modelling respirator reuse strategies to reduce cost and waste. *BMJ Open.* 2021;11(7):e048687. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-048687>
23. World Health Organization. Global tuberculosis report 2022 [Internet]. Geneva: WHO; 2022 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2022>
24. Ministério da Saúde (BR). Painel de casos de doença pelo coronavírus 2019 (COVID-19) no Brasil [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; 2023 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://covid.saude.gov.br/>
25. Patel KP, Carval T. Challenges of limited reuse and extended use of N95 filtering facepiece respirators: Lesson learnt from COVID-19 pandemic in Mumbai, India. *Int J Occup Saf Health.* 2021;11(2):116-20. <https://doi.org/10.3126/ijosh.v11i2.37253>
26. Zha M, Alsarraj J, Bunch B, Venzon D. Impact on the fitness of N95 masks with extended use/limited reuse and dry heat decontamination. *J Investig Med.* 2022;70(1):99-103. <https://doi.org/10.1136/jim-2021-001908>
27. Fabre V, Cosgrove SE, Hsu YJ, Jones GF, Hesel 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. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2021;42(7):896-9. <https://doi.org/10.1017/ice.2021.76>
28. Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Filtering out confusion: frequently asked questions about respiratory protection, respirator reuse and extended use: DHHS (NIOSH) Publication 2018-128 [Internet]. Atlanta: CDC; 2018 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2018-128/default.html>
29. Bien EA, Gillespie GL, Betcher CA, Thrasher TL, Mingerink DR. Respiratory Protection Toolkit: Providing Guidance Without Changing Requirements-Can We Make an Impact? *Workplace Health Saf.* 2016;64(12):596-602. <https://doi.org/10.1177/2165079916657831>
30. Jiang Q, Liu Y, Wei W, Zhu D, Chen A, Liu H, et al. The prevalence, characteristics, and related factors of pressure injury in medical staff wearing personal protective equipment against COVID-19 in China: A multicentre cross-sectional survey. *Int Wound J.* 2020;17(5):1300-9. <https://doi.org/10.1111/iwj.13391>
31. Silva LFMD, Almeida AGA, Pascoal LM, Santos M Neto, Lima FET, Santos FS. Skin injuries due to Personal Protective Equipment and preventive measures in the COVID-19 context: an integrative review. *Rev. Latino-Am. Enfermagem.* 2022;30:e3551. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.5636.3551>
32. Lansang P, Orrell KA, Tran J, Chen T. Skin damage prevention strategies during COVID-19: assessing their effect on N95 mask seal integrity. *J Cutan Med Surg.* 2020;24(6):646-7. <https://doi.org/10.1177/1203475420943861>
33. Smart H, Opinion FB, Darwich I, Elnawasany MA, Kodange C. Preventing facial pressure injury for health care providers adhering to COVID-19 personal protective equipment requirements. *Adv Skin Wound Care.* 2020;33(8):418-27. <https://doi.org/10.1097/01.ASW.0000669920.94084.c1>
34. O'Dowd K, Nair KM, 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).* 2020;13(15):3363. <https://doi.org/10.3390/ma13153363>
35. Chan VW, Ng HH, Rahman L, Tang A, Tang KP, Mok A, et al. Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 1 and Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 During Aerosol-Generating Procedures in Critical Care: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Crit Care Med.* 2021;49(7):1159-68. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000004965>
36. Nguyen LH, Drew DA, Graham MS, Joshi AD, Guo CG, Ma W, et al. Risk of COVID-19 among front-line health-care workers and the general community: a prospective cohort study. *Lancet Public Health.* 2020;5(9):e475-83. [https://doi.org/10.1016/s2468-2667\(20\)30164-x](https://doi.org/10.1016/s2468-2667(20)30164-x)
37. Liu Z, Yu D, Ge Y, Wang L, Zhang J, Li H, et al. Understanding the factors involved in determining the bioburdens of surgical masks. *Ann Transl Med.* 2019;7(23):754. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.11.91>
38. 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. *Int J Hyg Environ Health.* 2020;229:113582. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113582>

Contribución de los autores

Concepción y dibujo de la pesquisa: Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Obtención de datos:** Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Análisis e interpretación de los datos:** Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Análisis estadístico:** Viviane Lopes Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Obtención de financiación:** Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Redacción del manuscrito:** Viviane Lopes Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Revisión crítica del manuscrito en cuanto al contenido intelectual importante:** Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira.

Todos los autores aprobaron la versión final del texto.

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existe ningún conflicto de intereses.

Recibido: 05.09.2023
Aceptado: 25.02.2024

Editora Asociada:
Maria Lúcia Zanetti

Autor de correspondencia:
Viviane Lopes Vimieiro
E-mail: vivianevimieiro@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-6500-1344>