

Análisis de permeabilidad de mascarillas desarrolladas para enfrentar emergencias y desastres biológicos: investigación de laboratorio

Análise de permeabilidade de máscaras desenvolvidas para enfrentamento de emergências e desastres biológicos: pesquisa laboratorial

Permeability analysis of masks developed for biological emergency and disaster response: a laboratory study

Lisandra Rodrigues Risi^I ; Annibal José Roris Rodriguez Scavarda do Carmo^{II} ; Anupong Wongchai^{III} ;
Shahadat Khan^{IV} ; Margarida Maria Rocha Bernardes^V ; Alexandre Barbosa de Oliveira^I 

^IUniversidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil; ^{II}Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

^{III}Chiang Mai University. Chiang Mai, Tailândia; ^{IV}RMIT University. Melbourne, Victoria, Austrália; ^VEscola Superior de Guerra. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMEN

Objetivo: analizar la permeabilidad al aire de mascarillas desarrolladas para enfrentar emergencias biológicas. **Método:** estudio de laboratorio, con realización de pruebas a modelos de mascarillas de tela con inserción de elemento filtrante de celulosa (LisLu20®), fabricadas durante la pandemia de coronavirus tipo 2, mascarillas quirúrgicas desechables, PFF2/N95, y mascarillas domésticas de algodón. El análisis se realizó en mayo y junio de 2020, de acuerdo con la norma ASTM D 737:2018. **Resultados:** se realizaron seis ensayos con diez unidades de cada mascarilla. LisLu20® (a) - dos capas: 8,6 cm³/s/cm²; LisLu20® (b) - tres capas tipo asiática: 6,2 cm³/s/cm²; LisLu20® (c) - tres capas tipo PFF2/N95: 4,8 cm³/s/cm²; mascarilla quirúrgica desechable: 18,0 cm³/s/cm²; mascarilla PFF2/N95: 10,2 cm³/s/cm²; mascarilla de tela de algodón: 31,1 cm³/s/cm². **Conclusión:** Las mascarillas LisLu20® actuaron como barrera física y método para prevenir/reducir los riesgos de infecciones respiratorias. Es un producto doméstico, barato y sostenible, que sirvió como apoyo de emergencia complementario para reducir los impactos de la escasez de mascarillas quirúrgicas desechables.

Descriptores: Infecciones por Coronavirus; COVID-19; Equipo de Protección Personal; Máscaras; Aproveccionamiento.

RESUMO

Objetivo: analisar permeabilidade do ar de máscaras desenvolvidas para enfrentamento de emergências biológicas. **Método:** estudo laboratorial, com testes de modelos de máscaras de tecido com inserção de elemento filtrante em celulose (LisLu20®), confeccionados durante pandemia do coronavírus tipo-2, máscaras cirúrgicas descartáveis, PFF2/N95, e máscaras domésticas em algodão. Análises realizadas em maio e junho de 2020, de acordo com norma ASTM D 737:2018. **Resultados:** realizados seis ensaios para dez unidades de cada máscara. LisLu20® (a) - duas camadas: 8,6 cm³/s/cm²; LisLu20® (b) - três camadas tipo asiática: 6,2 cm³/s/cm²; LisLu20® (c) - três camadas tipo PFF2/N95: 4,8 cm³/s/cm²; máscara cirúrgica descartável: 18,0 cm³/s/cm²; máscara PFF2/N95: 10,2 cm³/s/cm²; máscara de malha de algodão: 31,1 cm³/s/cm². **Conclusão:** máscaras LisLu20® realizaram barreira física e com método de prevenção/redução de riscos para infecções respiratórias. Produto doméstico, barato e sustentável, serviu de apoio emergencial complementar para reduzir os impactos da escassez de máscaras cirúrgicas descartáveis.

Descritores: Infecções por Coronavírus; COVID-19; Equipamento de Proteção Individual; Máscaras; Aproveccionamiento.

ABSTRACT

Objective: to analyze the air permeability of masks developed for biological emergency response. **Method:** laboratory study involving tests on cloth masks with a cellulose filter element (LisLu20®), produced during the COVID-19 pandemic, disposable surgical masks, PFF2/N95 masks, and homemade cotton masks. Analyses were conducted in May and June 2020, following ASTM D 737:2018 standards. **Results:** six tests were conducted on ten units of each mask. LisLu20® (a) - two layers: 8.6 cm³/s/cm²; LisLu20® (b) - three layers, Asian style: 6.2 cm³/s/cm²; LisLu20® (c) - three layers, PFF2/N95 style: 4.8 cm³/s/cm²; Disposable surgical mask: 18.0 cm³/s/cm²; PFF2/N95 mask: 10.2 cm³/s/cm²; Cotton knit mask: 31.1 cm³/s/cm². **Conclusion:** LisLu20® masks provided a physical barrier and served as a preventive method to reduce respiratory infection risks. As a low-cost, sustainable domestic product, they offered complementary emergency support to mitigate the shortage of disposable surgical masks.

Descriptors: Coronavirus Infections; COVID-19; Personal Protective Equipment; Masks; Supply.

INTRODUCCIÓN

Desde que se identificó la enfermedad causada por el coronavirus tipo 2 (COVID-19) en la República Popular China en diciembre de 2019, el escenario social global se caracterizó por una serie de circunstancias complejas y atípicas, permeadas por sentimientos colectivos de caos, angustia, miedo e incertidumbre. Estos aspectos se agravaron debido

Artículo derivado de una tesis doctoral desarrollada en la Universidad Federal de Río de Janeiro.

Autora de correspondencia: Lisandra Rodrigues Risi. E-mail: proflisandraris@gmail.com

Editora en Jefe: Cristiane Helena Gallasch; Editora Asociada: Magda Guimaraes de Araujo Faria

a la limitación científica y cultural para reunir evidencia sobre los signos clínicos de la nueva enfermedad, sus síntomas, posibles terapias clínicas y farmacológicas, la disponibilidad de insumos esenciales y organización de planes de emergencia. La movilización debía contener, minimizar y salvaguardar la salud de las personas, y el principal objetivo era detener la propagación de esa impactante enfermedad y, así, salvar tantas vidas como sea posible, que es el propósito central de las acciones para gestionar el riesgo de emergencias en salud pública y desastres.

Desde el punto de vista de los profesionales que se desempeñaban en el lugar de trabajo y eran responsables del material de protección, el debate sobre las mascarillas, en aquel momento, era una especie de enigma: la utilidad del uso de mascarillas debería ser obvia. Los virus como el COVID-19 se alojan en el tracto respiratorio¹ y, al hablar, cantar, toser y estornudar, son expulsados al ambiente en pequeñas gotículas y aerosoles^{2,3}. Se descubrió que las mascarillas ajustadas hechas de diversos tejidos y los filtros que contienen fibra para retener las gotículas y aerosoles presentes en el aire que respiramos tienen diferente eficacia⁴.

Este problema sigue siendo relevante y cabe destacar que la biblioteca Cochrane publicó su primera actualización prevista sobre intervenciones físicas para controlar la propagación de virus respiratorios, que incluye mascarillas para contener la propagación del coronavirus y el síndrome respiratorio agudo severo, incluso después del decreto que declara el fin de la pandemia⁵.

En Brasil, país que se encontraba entre los más afectados y con mayor número de ciudadanos fallecidos, se produjo a principios de 2020 una interrupción abrupta del suministro de recursos materiales y un alto consumo de mascarillas hospitalarias por parte de la población general, que provocó un importante aumento de precios, hechos que provocaron la escasez e incluso el desabastecimiento de equipos de protección personal (EPP).

Ante esta situación, y siguiendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (ANVISA) recomendó el uso de mascarillas de tela no profesionales, considerando que este tipo de material se ha convertido en una opción viable y plausible para controlar el avance de la pandemia⁶, basándose en evidencia científica que indicaba que se reducía significativamente la tasa de transmisión cuando las personas usaban mascarillas, lo que tiene implicaciones útiles para la política, a pesar del escenario caótico que experimentaba constantes cambios de inmunidad y comportamiento⁷.

Ante la escasez de EPP y las implicancias que tenía para la calidad y seguridad de la atención en los establecimientos de salud brasileños, miembros del Grupo de Enseñanza, Investigación y Extensión en Salud en Emergencias y Desastres, de la Universidad Federal de Río de Janeiro (GEPESED/UFRJ), buscaron estudios sobre posibles tecnologías y estrategias de respuesta a emergencias ante este desastre biológico, con desarrollo de tecnologías sanitarias orientadas a la logística en situaciones de emergencia y desastres⁸.

Por consiguiente, las mascarillas de tela no profesionales comenzaron a ganar no sólo relevancia epidemiológica, sino también popularidad, gracias a los discursos autorizados de grandes sectores, agencias y organizaciones globales sobre su potencial capacidad para prevenir/reducir el riesgo de propagación del COVID-19. Al mismo tiempo, dichas directrices ayudaron a reducir la importante demanda de mascarillas hospitalarias destinadas más específicamente a los profesionales sanitarios, dedicados al cuidado de los pacientes en entornos asistenciales, es decir, aquellos con mayor riesgo⁹⁻¹¹. Por ende, la adhesión al uso de mascarillas de tela surgió como una estrategia voluntaria (inter) nacional de salud pública para el control social del SARS-CoV-2 y sus variantes¹².

De hecho, desde el inicio de la pandemia de COVID-19, una carrera mundial en busca de mascarillas protectoras hizo que desaparecieran de los estantes. Por su parte, el Ministerio de Salud (MS) de Brasil comenzó a comprárselas a proveedores nacionales e internacionales, en grandes cantidades, para asegurar la protección de los profesionales que actuaban en los establecimientos de salud^{13,14}.

Para garantizar la calidad y seguridad de dichos equipos de protección personal, se debe probar la permeabilidad al aire para demostrar la eficiencia de filtrado. Se considera que la permeabilidad al aire está directamente relacionada con la capacidad de la mascarilla para filtrar partículas presentes en el aire, por lo que el tejido de algodón utilizado en este estudio cumplía con la norma de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) - Norma Brasileña (NBR) 14027/9¹⁵.

Las recomendaciones del MS indicaban la producción de modelos simples de mascarillas de tela, difundidas a través de una amplia campaña pública destinada a movilizar a la población para que utilizara/fabricara sus propias mascarillas de tela. Se destacó que, para que sirvieran como barrera física eficaz, las mascarillas caseras debían seguir ciertas especificaciones, como: tener al menos dos capas de tela, es decir, ser dobles; ser para uso individual y no compartido con otras personas; utilizar para la fabricación materiales de algodón, tricolina, TNT u otros tejidos similares, siempre que cubrieran completamente la nariz y la boca; y, además, había que higienizar adecuadamente las mascarillas y ajustarlas bien al rostro, sin dejar espacios en los laterales¹⁶.

La OMS y el *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) recomendaron el uso de mascarillas de tela para la población general, confeccionadas con al menos tres capas, ya que esto reduciría la cantidad de partículas emitidas al ambiente al cubrir el área de la boca del individuo. El uso de estas mascarillas con varias capas bloqueaba eficientemente las gotículas respiratorias entre 1 y $10\ \mu\text{m}$ ¹⁷. Por ende, una mascarilla de tela con un menor porcentaje de permeabilidad puede ser más eficaz para filtrar las partículas virales del aire, reduciendo el riesgo de infección. Además, las mascarillas de tela con buena permeabilidad ayudan a proteger tanto al usuario como a las personas que lo rodean, evitando que las partículas virales entren en el sistema respiratorio del usuario y evitando que el usuario expulse partículas virales al ambiente, especialmente si está infectado y es asintomático.

A partir de este movimiento inicial derivado de la necesidad de reducir el riesgo, el GEPESED/UFRJ operacionalizó el desarrollo de mascarillas de tela mediante la fabricación de prototipos adaptados a la forma facial comúnmente observada en la población brasileña, con la particularidad de que incluía un elemento filtrante de celulosa, que podría proporcionar una barrera física supuestamente más efectiva. Por ello, las mascarillas denominadas LisLu20[®] fueron producidas con dos o tres capas de tejido tricolina 100% algodón, según el modelo. Cuando se insertaba el elemento filtrante de celulosa, las mascarillas tenían otra capa.

Por lo tanto, resultado, el objetivo de este estudio fue analizar la permeabilidad al aire de las mascarillas desarrolladas para enfrentar emergencias y desastres biológicos. Se incluyeron mascarillas de tela con más de dos capas, a diferencia de las primeras directrices del Ministerio de Salud de Brasil, que recomendaba el uso de mascarillas de tela con sólo dos capas, sin elemento filtrante, según la nota informativa N.º 3/2020-CGGAP/DESF/SAPS/MS, publicada el 2 de abril de 2020¹⁶.

MÉTODO

Se trata de un estudio de laboratorio, cuya realización fue determinada por el desarrollo de tres modelos de mascarilla de tela, denominados en el proceso de registro de marca como “LisLu20[®]”, que contaban con la inserción de un elemento filtrante de celulosa (filtro de café). Para garantizar la validez del estudio, se seleccionaron variables mensurables relacionadas con las estrategias de control y la observación de los efectos⁸.

El equipo de investigación incluyó miembros del GEPESED/UFRJ, además de artesanas, que participaron en los procesos de elaboración, ajustes de formato y homologación de los diferentes modelos de mascarillas en tejido 100% algodón tricolina, a través de ensayos preliminares domésticos⁷.

Se desarrollaron tres pruebas empíricas preliminares, cuyos resultados fueron socializados y publicitados a través de las redes sociales. El vídeo está disponible en: <https://youtu.be/vhoRRwB7pHA>⁸. Esta operación motivó el desarrollo de la segunda etapa de la investigación, que consiste en ensayos en un laboratorio autorizado por la ANVISA¹⁸.

Entre los modelos desarrollados y probados se consideraron: LisLu20[®] A, que es una mascarilla de tela tricolina 100% algodón con clip nasal, pliegues y dos capas de tela, similar al diseño de las mascarillas quirúrgicas con una hendidura para poder para insertar el elemento filtrante, que constituye la tercera capa, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Mascarilla de tela LisLu20[®] A. Río de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

El modelo LisLu20[®] B también fue desarrollado en tricolina 100% algodón, con forma rectangular, sin clip nasal. Esta forma ya se utilizaba ampliamente en Asia, incluso antes de la pandemia de COVID-19. Por lo general cuenta con

tres capas de tela, la tercera de las cuales funciona como soporte para la inserción de un elemento filtrante de celulosa, que constituye la cuarta capa, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Mascarilla de tela LisLu20® B. Río de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

Por último, se probó el modelo de mascarilla LisLu20® C, con forma de copa y clip nasal, compuesta por tres capas de tejido tricolina 100% algodón, similar al diseño de las mascarillas N95/PFF2. En este modelo, la última capa de tela funciona como soporte para la inserción del elemento filtrante de celulosa, dando como resultado cuatro capas, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Mascarilla de tela LisLu20® C. Río de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

Cabe señalar que las mascarillas LisLu20® fueron desarrolladas yendo un poco más allá de las directrices establecidas por el Ministerio de Salud (Brasil), tal como se describe en la Nota Informativa N.º 3/2020-CGGAP/DESF/SAPS/MS y en la Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA N.º 4/2020. Estas notas tuvieron como objetivo establecer lineamientos sobre la producción de mascarillas de tela de algodón, las cuales estaban dirigidas tanto a la población general como a los servicios de salud, con el fin de apoyar las medidas de emergencia de prevención y control del COVID-19, que se adoptaron al atender casos sospechosos o confirmados de infección¹⁰.

La operacionalización de la investigación de laboratorio se realizó en dos etapas distintas. La primera se centró en identificar la prueba más adecuada para validar la eficacia de las mascarillas de tela con la inserción del elemento filtrante de celulosa. En la segunda, se seleccionó un laboratorio autorizado que pudiera realizar las pruebas necesarias⁸. Luego de elegir, el siguiente paso consistió en separar el número adecuado de muestras de mascarillas para realizar los ensayos, siguiendo los criterios establecidos por la institución responsable. Además de las mascarillas LisLu20®, con el fin de realizar una comparación, se planeó incluir mascarillas quirúrgicas desechables, mascarillas con filtro N95/PFF2 y mascarillas de tela de algodón que se comercializaban en ese momento⁸.

A través del laboratorio autorizado seleccionado se buscó obtener orientación para determinar la mejor prueba que pudiera comparar el uso del elemento filtrante en los tres modelos de mascarillas de tela LisLu20® y las mascarillas comercializadas en el mercado. Dicha orientación fue brindada por el Centro Tecnológico de la Industria Química y Textil (CETIQT), unidad del Servicio Nacional de Aprendizaje Industrial (SENAI), ubicado en el estado de Río de Janeiro (Brasil).

Debido a la falta de lineamientos específicos para la validación de mascarillas para uso no profesional en ese momento, se sugirieron ensayos para evaluar la permeabilidad al aire.

Cabe señalar que el laboratorio seleccionado pertenece a la Red Brasileña de Laboratorios de Análisis en Salud (REBLAS), que consta de una red de unidades públicas y privadas autorizadas por la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (ANVISA). El objetivo del uso de laboratorios autorizados fue dar fe de los resultados obtenidos preliminarmente, en los que se constató que la adición de un filtro de celulosa a las mascarillas generó mayor dificultad para el paso de los aerosoles⁸, a través de pruebas empíricas.

A finales de abril de 2020 se inició el proceso de obtención del informe de ensayo, firmado mediante certificado digital ICP-Brasil por el signatario autorizado del laboratorio. Por lo tanto, la propuesta para este estudio fue aprobada y registrada con la firma de la primera autora de este artículo.

Para el desarrollo de los ensayos físicos se contó con diez unidades de cada tipo de mascarilla. Los modelos LisLu20[®] siguieron el mismo patrón de estampado, ya que la pigmentación del tejido podía alterar el resultado final. Para testear los otros modelos se utilizó la misma cantidad (diez unidades). Todas contaban con información documental adicional, como el Registro Nacional de Personas Jurídicas (CNPJ, *Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica*), la Autorización de Funcionamiento de la Empresa (AFE) y el registro en la ANVISA, para verificación y análisis de cumplimiento.

Todas las muestras fueron identificadas y acompañadas del número de propuesta relativo al presupuesto de los ensayos, además de una descripción detallada de las pruebas. Dicha información se proporcionó mediante la cumplimentación de formularios suministrados por el propio laboratorio. Este documento también contenía instrucciones específicas para la realización de ensayos físicos en las mascarillas caseras de tela LisLu20[®] con inserción de elemento filtrante, en las mascarillas quirúrgicas desechables y con filtro N95/PFF2 disponibles en el mercado, ambas industrializadas y destinadas al uso de los profesionales de la salud, y también en las mascarillas de tejido de punto de algodón, que se vendían en ese momento.

Por lo tanto, los ensayos físicos buscaron comparar la permeabilidad al aire a partir de la selección de estas diferentes mascarillas, con el fin de instruir con mayor seguridad la posibilidad de toma de decisiones sobre la indicación de uso, ya sea por parte de gestores y profesionales de la salud, o por parte de los ciudadanos comunes. Para ello, la ejecución objetiva y precisa de las pruebas físicas siguió la norma técnica ASTM D 737:2018 establecida por el ASTM *International*, que da directrices para determinar el caudal de aire a través de materiales porosos¹⁹.

Los informes que documentaron los resultados de cada uno de los productos probados proporcionaron información detallada sobre la permeabilidad al aire de cada tipo de mascarilla, lo que permitió establecer medidas claras de comparación entre ellas.

Cabe destacar que la prueba de permeabilidad al aire se utiliza comúnmente para medir la capacidad de los gases para penetrar materiales poliméricos, como films, revestimientos y diversos tipos de telas, incluso los tejidos no tejidos (TNT), telas para bolsas de aire, mantas, tejidos de lana, de punto, laminados y alfombras. Los tejidos pueden ser no tratados, muy tratados, recubiertos, tratados con resina u otro tipo de materiales¹⁹.

La permeabilidad al aire de este tipo de material es una medida de la facilidad con la que las partículas de gas pueden atravesar el cuerpo físico. Generalmente se expresa en términos de propiedad de ventilación, que representa la cantidad de aire que pasa a través de una unidad de área de tejido en una unidad de tiempo, bajo una diferencia de presión específica¹⁹.

En este estudio, las mediciones del caudal de aire se realizaron de manera perpendicular, utilizando una porción de cada mascarilla con una dimensión de 10cm x 10cm y, a través de esta área, se leyó la caída de presión y el tiempo ajustado al diferencial de presión de aire específico entre ambas superficies de la tela. Las condiciones incluyeron en los ensayos temperatura y humedad, con el objetivo de seleccionar las condiciones adecuadas y representativas, para las cuales se establecen un estándar industrial para el comercio, no tiene valores específicos, sólo la barrera física en porcentaje.

El procedimiento de prueba consistió en fijar la muestra de tejido al banco de pruebas, asegurándose de que no haya bordes ni pliegues en el tejido. Luego, se inició la prueba de permeabilidad al aire ajustando la presión diferencial a un nivel estable y registrando los resultados de la prueba. La prueba se repitió varias veces y en diferentes partes de una misma muestra, manteniendo las mismas condiciones. La permeabilidad al aire de cada muestra se midió directamente en el instrumento de prueba del laboratorio autorizado y se expresó en unidades del Sistema Internacional (SI), en cm³/s/cm². La Figura 4 muestra una imagen del equipo utilizado en el laboratorio del SENAI/CETIQT.



Fuente: Imagen <https://senaicetiqt.com/tecnologia/metrologia/laboratorio-de-ensaios-fisicos/>
Figura 4: Equipo para análisis de permeabilidad al aire. Río de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

El proceso de solicitud de cotización y emisión de informes tomó aproximadamente 60 días y abarcó todas las etapas del estudio. El costo total de la realización de los ensayos de banco y de permeabilidad fue de R\$ 1.920,00. Después de haber sido sometidas a las pruebas, todas las muestras fueron descartadas.

RESULTADOS

Para analizar la permeabilidad al aire de los tres modelos de mascarillas de tela LisLu20®, junto con las mascarillas quirúrgicas desechables, las mascarillas con filtro industrializadas N95/PFF2 y las mascarillas de tela de algodón de dos capas, se utilizaron 60 unidades y 30 filtros de celulosa.

Los resultados obtenidos a través de los informes técnicos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Resultados de las pruebas de permeabilidad al aire (ac) enviadas al laboratorio SENAI/CETIQT – RJ – método ASTM D737:2018. Río de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

Tipo	Muestra	Código y fecha	Resultado (cm ³ /s/cm ²)
Mascarillas desarrolladas por el estudio (con filtro de celulosa)	Mascarilla de tela de dos capas LisLu20® A	1347/20-01 20/05/2020	8,6
	Mascarilla de tela de tres capas tipo asiática LisLu20® B	1349/20-01 20/05/2020	6,2
	Mascarilla de tela de tres capas tipo N95 (copa) LisLu20® C	1748/20-01 06/07/2020	4,8
Mascarillas industrializadas	Mascarilla quirúrgica desechable – producto sanitario	1353/20-01 20/05/2020	18,0
	Mascarilla N95/PFF2 – producto sanitario	1354/20-01 20/05/2020	10,2
	Mascarilla de tela de algodón de dos capas	1355/20-01 20/05/2020	31,1

Fuente: Informe de laboratorio SENAI/CETIQT. Río de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

Se constató que las mascarillas de tela LisLu20® presentaron valores satisfactorios al comparar la barrera física establecida por las lecturas de todas las mascarillas que fueron incluidas en el ensayo. Sin embargo, no hay ninguna escala propuesta por el laboratorio que se pueda establecer como parámetro, sólo se cuenta con la comparación entre los productos. Se interpreta que los valores relativos a la medición de la permeabilidad al aire fueron inferiores a los de las mascarillas industrializadas.

Las mascarillas de tela, con la adición de un elemento filtrante de celulosa, demuestran que tienen la capacidad de actuar como barrera física. Este hallazgo se basa en la comparación realizada con las mascarillas industrializadas analizadas, que también cuentan con una barrera física formada por filtros incorporados en su proceso de fabricación. Se puede observar que cuando se inserta el filtro de café, la velocidad de permeabilidad al aire debido a la trama de celulosa disminuye, pero se mantiene la seguridad de la barrera física que impide el paso de las gotículas.

Al evaluar la permeabilidad al aire de las mascarillas fabricadas con tela de algodón de dos capas sin elemento filtrante, se observó un valor de permeabilidad al aire más alto, con un resultado de $31,1 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2$. Esto indica que estas mascarillas permiten el paso del aire aproximadamente seis veces más rápido que la mascarilla LisLu20® C, que tiene un valor de $4,8 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2$.

Las mascarillas industrializadas destinadas a uso profesional mostraron una mayor permeabilidad, con valores de $18\% \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2$ y $10,2\% \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2$, al compararlas con todos los modelos de mascarillas de tela LisLu20®, que cuentan con el elemento filtrante de celulosa inserto.

Se observa que, durante la pandemia, la sociedad podía utilizar las mascarillas LisLu20® de forma segura. En cuanto a la barrera física mediante la prueba de permeabilidad al aire, se puede considerar que las mascarillas industrializadas cuentan con mejor tecnología donde existen otros medios según las normativas para productos sanitarios que determinen su efectividad y protección.

DISCUSIÓN

Desde que comenzó el proceso de interrupción repentina del suministro de mascarillas de uso profesional y el escenario caótico que creó la pandemia de COVID-19, investigadores y autoridades sanitarias de todo el mundo comenzaron a elaborar directrices sobre las principales formas de protección, tanto para el equipo de salud, como para las personas con sospecha de cuadro clínico, incluso de aquellas diagnosticadas con la enfermedad en tratamiento domiciliario²⁰. Como resultado, se intensificó enormemente el uso de EPP y la observancia de medidas de protección colectiva (EPC) como forma de controlar la propagación del COVID-19¹⁴.

Oportunamente, la Organización Mundial de la Salud señaló las ventajas potenciales del uso de mascarillas caseras por parte de las personas sanas de la comunidad, y la reducción del riesgo de exposición a una persona infectada asintomática o de exposición a una persona infectada durante el período presintomático¹⁴. A esto se suma la preocupación de que la comunidad use mascarillas de tela para contribuir a reservar las mascarillas profesionales para los profesionales sanitarios que trabajaban en la primera línea²¹. Considerando el alto nivel de transmisibilidad durante la pandemia de COVID-19, las estrategias adoptadas tuvieron como objetivo contener la propagación de las gotículas y reducir los riesgos de infecciones respiratorias en la población general.

Como equipo de protección personal, las mascarillas son dispositivos que generalmente actúan como barreras físicas, reduciendo la exposición y el riesgo de transmisión de infecciones. El efecto protector de las mascarillas comprende la suma de algunos factores, como el potencial de bloquear la transmisión de gotículas, el ajuste adecuado y la reducción de la fuga de aire relacionada con el uso de la mascarilla, el grado de adherencia al uso y el correcto descarte¹⁰.

Los estudios experimentales durante el brote de SARS, que se produjo en 2003, indicaron que las gotículas de los pacientes podían tener un alcance de aproximadamente dos metros¹². Por ello, se insiste en que es necesario usar mascarillas para prevenir la transmisión de agentes infecciosos a través de gotículas²¹.

Durante la pandemia de COVID-19, el uso de estas mascarillas de tela, que pueden ser reutilizadas, jugó un papel importante, especialmente para personas sintomáticas en el entorno doméstico, cuidadores y personas que viven en viviendas con múltiples ocupantes. Además, estas mascarillas se aplicaron en residencias de larga estadía para personas mayores y en lugares concurridos, como el transporte público. En situaciones de escasez, también se utilizaron mascarillas de tela para satisfacer la demanda de los profesionales sanitarios durante el pico de propagación del virus.

A partir del análisis de las pruebas realizadas, las mascarillas de tela desarrolladas a través de la tesis doctoral de la primera autora buscaron ayudar a reducir la exposición a agentes biológicos¹⁰. A tal punto que los datos obtenidos en este estudio de laboratorio confirman su eficacia como barrera física. Se cree que estos dispositivos de protección, confeccionados artesanalmente de acuerdo con los lineamientos de las autoridades sanitarias de cada país, puedan contribuir en el futuro a prevenir la transmisión de enfermedades similares al COVID-19 en la comunidad, con el objetivo de reducir riesgos potenciales, especialmente en países más vulnerables¹⁰.

La confección e inserción de las capas, así como el elemento filtrante de celulosa, según los modelos presentados en el estudio, demostraron que, a mayor número de capas, más eficiente es la barrera. Además, el diseño en forma de copa del modelo LisLu20® C proporciona un mejor sellado, lo que resulta en una menor permeabilidad al aire, con un valor de $4,8 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2$.

Los datos de los ensayos demostraron que las mascarillas de tela LisLu20®, con un elemento filtrante de celulosa, presentaban un nivel de barrera más bajo a la permeabilidad al aire que las mascarillas de tela industrializadas y las mascarillas de tela de algodón. Esta diferencia indica que tienen el potencial de proteger y minimizar riesgos. Cabe señalar que las instrucciones de uso, lavado, reutilización y descarte del elemento filtrante fueron escritas en formato de folleto para todos los modelos LisLu20®^{8,21}.

El diseño de las mascarillas de tela juega un papel importante en su eficacia, especialmente en términos de ajuste al rostro y sellado completo. Esto es esencial para garantizar una protección adecuada, como se destaca en la literatura científica²⁰. La capacidad de filtrado de los distintos tejidos varía mucho, los tejidos 100% algodón demostraron ser la mejor opción, porque tienen mejor rendimiento. Es preferible elegir los modelos de mascarillas de tela que tienen de dos a tres capas que se ajustan bien alrededor de la cara para evitar fugas. Como lo demuestran los resultados de la prueba realizada a la mascarilla LisLu20®C, que obtuvo una permeabilidad al aire de 4,8 cm³/s/cm². Las formas cónicas o tetraédricas, que permiten una estrecha adaptación a los contornos faciales, han demostrado mayor eficacia²².

En cuanto al número de capas, se observó que la efectividad de la barrera de permeabilidad mejora significativamente con el aumento del número de capas de tela, la proximidad de los hilos del tejido de algodón, que es 100% tricolina y la reducción del tamaño de los poros de las hebras. En otras palabras, cuanto menor sea el tamaño de los poros, mayor será la capacidad de barrera. Los estudios han sugerido que los tejidos compuestos 100% de fibras de algodón son más recomendables^{23,24}. Las fibras de algodón son duraderas, tienen propiedades que permiten que la piel respire, absorba la humedad y se seque fácilmente. Y cuanto más largas sean las fibras, mayor será la calidad y durabilidad del tejido.

Este estudio buscó darles visibilidad a las mascarillas de tela e identificar posibles contribuciones para promover mejoras, prevenir enfermedades y minimizar daños a los trabajadores que actuaron para combatir la pandemia y a la sociedad²⁵.

Cabe destacar que, en el momento que se realizaron las pruebas, no había directrices claras sobre cómo producir mascarillas de tela que cumplieran criterios de seguridad y eficacia bien establecidos. También se debe considerar la comodidad y la usabilidad, de modo que sea posible utilizar la mascarilla por períodos prolongados, entendiendo que las mascarillas muy permeables pueden no brindar una protección adecuada²⁶. Por otro lado, si son demasiado restrictivas, pueden dificultar la respiración y provocar molestias. Otro punto a considerar es el cumplimiento y la aceptación pública, que depende de las medidas que toman las autoridades de salud pública, que pueden regular el uso de mascarillas, aumentar la aceptación de la población de las medidas de protección y, por ende, reducir la propagación del virus.

Limitaciones del estudio

Como limitación del estudio, se menciona que puede haber otros elementos que influyan en la permeabilidad de las mascarillas testeadas. Es necesario avanzar en la investigación sobre la influencia que tienen factores como la humedad resultante de la exhalación, el tiempo de uso, la frecuencia y el intercambio, y el método de lavado al que se pueden someter las mascarillas antes de desecharlas.

CONCLUSIÓN

El objetivo del estudio es demostrar que es necesario desarrollar nuevos productos y tecnologías sanitarias, considerando las demandas que generan las emergencias de salud pública y los desastres biológicos, lo que implica la búsqueda de alternativas eficientes capaces de mejorar el estándar de respuesta, especialmente de los países y comunidades más vulnerables socioeconómicamente.

Se observó que las mascarillas de tela confeccionadas artesanalmente, con la inserción de un filtro de celulosa y siguiendo las directrices de los organismos de salud, jugaron un papel en la prevención y reducción del riesgo de transmisión del COVID-19. Se confirmó que la mascarilla LisLu20®, evaluada mediante pruebas de permeabilidad al aire, es una opción prometedora, especialmente para los ciudadanos y grupos más expuestos, y constituye una alternativa sustentable por los materiales que la componen.

Se recomienda, a futuro, considerar el uso de mascarillas de tela con inserción de elemento filtrante de celulosa por parte de la población en eventos biológicos que puedan requerir distanciamiento social, incluso por parte de los profesionales de la salud y grupos específicos durante situaciones de pandemia. Sin embargo, es necesario ampliar el desarrollo de la investigación para tener una mayor comprensión sobre la eficacia de este tipo alternativo de equipo de protección personal, así como también realizar análisis de rentabilidad.

Por último, cabe destacar que la propuesta de mascarillas de tela reflejó los efectos de la pandemia de COVID-19, un fenómeno mundial que provocó la interrupción repentina del suministro de equipos de protección personal certificados, lo que aumentó el debate sobre acciones más efectivas de gestión de riesgos de emergencias de salud pública y desastres biológicos.

REFERENCIAS

1. Cevik M, Kuppalli K, Kindrachuk J, Peiris M. Virology, transmission, and pathogenesis of SARS-CoV-2. *BMJ*. 2020 [cited 2023 Jan 15]; 371:m3862 DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.m3862>.
2. Meselson M. Droplets and aerosols in the transmission of SARS-CoV-2. *N Engl J Med*. 2020 [cited 2023 Sep 20]; 382(21):2063. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMc2009324>.
3. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med*. 2020 [cited 2023 Aug 01]; 382(16):1564–7. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>.
4. Lindsley WG, Blachere FM, Law BF, Beezhold DH, Noti JD. Efficacy of face masks, neck gaiters and face shields for reducing the expulsion of simulated cough-generated aerosols. *Aerosol Sci Technol*. 2021 [cited 2023 Mar 11]; 55(4):449–57. DOI: <https://doi.org/10.1080/02786826.2020.1862409>.
5. Gurbaxani BM, Hill AN, Patel P. Unpacking Cochrane's Update on Masks and COVID-19. *Am J Public Health*. 2023 [cited 2023 Jan 11]; 113(10):1074–8. DOI: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2023.307377>.
6. World Health Organization. Infection prevention and control during health care when novel coronavirus infection is suspected: interim guidance, 25 January 2020. Geneva: WHO; 2020 [cited 2023 Feb 10]. Available from: [https://www.who.int/publications-detail/infection-prevention-and-control-during-health-care-when-novel-coronavirus-\(ncov\)-infection-is-suspected](https://www.who.int/publications-detail/infection-prevention-and-control-during-health-care-when-novel-coronavirus-(ncov)-infection-is-suspected).
7. Riley J, Huntley JM, Miller JA, Slaichert ALB, Brown GD. Mask Effectiveness for Preventing Secondary Cases of COVID-19, Johnson County, Iowa, USA. *Emerg Infect Dis*. 2022 [cited 2023 Feb 10]; 28(1):69–75. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid2801.211591>.
8. Risi LR, Oliveira AB, Bernardes MMR, Ramos RS, Moutinho ECV, Passos AC. Development of tissue and cellulose masks for emergency response to the SARS-CoV-2 pandemic. *Rev. enferm. UERJ*. 2020 [cited 2023 Aug 16]; 28:e51476. DOI: <https://doi.org/10.12957/reuerj.2020.51476>.
9. World Health Organization. Infection prevention and control during health care when novel coronavirus infection is suspected: interim guidance, 19 March 2020. Geneva: WHO; 2020 [cited 2023 Feb 10]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/10665-331495>.
10. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Orientações Gerais – Máscaras faciais de uso não profissional. 2020 [cited 2023 Mar 11]. Available from: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2020/covid-19-tudo-sobre-mascaras-faciais-de-protecao/orientacoes-para-mascaras-de-uso-nao-profissional-anvisa-08-04-2020-1.pdf>.
11. World Health Organization. Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance. Geneva: World Health Organization; 2020 [cited 2023 Mar 11]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331693>.
12. Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. Covid-19: orientações sobre o uso de máscaras de proteção. 2020 [cited 2023 Mar 10]. Available from: <https://www.fiocruzbrasil.fiocruz.br/covid-19-orientacoes-sobre-o-uso-de-mascaras-de-protecao/#:~:text=Na%20C3%BA%20semana%2C%20o%20Minist%C3%A9rio,barreiras%20na%20propaga%C3%A7%C3%A3o%20da%20doen%C3%A7a>.
13. Lima MMS, Cavalcante FML, Macêdo TS, Galindo-Neto NM, Caetano JA, Barros LM. Cloth face masks to prevent Covid-19 and other respiratory infections. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*. 2020 [cited 2023 Mar 11]; 28:e3353. DOI: <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4537.3353>.
14. Lozada G, Nunes KDS. Metodologia Científica. Porto Alegre: Grupo A, 2019.
15. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14.028: Roupas hospitalares - confecção de campo duplo. Rio de Janeiro: ABNT; 1997.
16. Brasil. Ministério da Saúde. Nota Informativa nº 3/2020-CGGAP/DESF/SAPS/MS. Estabelecem medidas de prevenção, cautela e redução de riscos de transmissão para o enfrentamento da COVID-19, fixam a utilização de Equipamentos de Proteção Individual. 2020 [cited 2023 Mar 11]. Available from: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/estudos-e-notas-informativas/2020/1586014047102-nota-informativa-pdf/view>.
17. Leachi HFL, Bieniek AA, Peixe TS, Ribeiro RP. Estudo microscópico dos materiais utilizados para confecção de máscaras para proteção contra a COVID-19. 2021 [cited 2023 Mar 11]. DOI: <https://doi.org/10.5216/ree.v23.66859>.
18. Lozada G, Nunes KDS. Metodologia Científica. Porto Alegre: Grupo A, 2019.
19. ASTM Designation D737-2018. International standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT). 2018 [cited 2023 Mar 11]. Available from: https://www.intertekinform.com/en-au/standards/astm-d-737-2018-151282_saig_astm_astm_356061/.
20. Lam SKK, Hung MSY, Chien WT. Uncertainty surrounding the use of face masks in the community amid the COVID-19 pandemic. *Int J Nurs Stud*. 2020 [cited 2023 Dez 02]; 108:103651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2020.103651>.
21. Silva RSM, Rocha LBA, Huang VP, Santos AKS, Imoto AM, Silva VM. Uso de máscara de tecido pela população na contenção da disseminação da COVID-19: scoping review. *Com. Ciências Saúde* 2020 [cited 2023 Dez 02]; 31:162–83. Available from: <https://revistaccs.escs.edu.br/index.php/comunicacaoemcienciasdaude/article/view/730>.
22. Neupane BB, Mainali S, Sharma A, Giri B. Optical microscopic study of surface morphology and filtering efficiency of face masks. *PeerJ*. 2019 [cited 2023 Dez 11]; 7:e7142. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.7142>.
23. Silva ACO, Almeida AM, Freire MEM, Nogueira JA, Gir E, Nogueira WP. Cloth masks as respiratory protections in the COVID-19 pandemic period: evidence gaps. *Rev Bras Enferm*. 2020 [cited 2023 Dez 11]; 73(Suppl 2):e20200239. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2020-0239>.
24. MacIntyre RC, Hasanain JS. Community universal face mask use during the COVID 19 pandemic-from households to travellers and public spaces. *J Travel Med*. 2020 [cited 2023 Dez 11]; 27(3):taa056. DOI: <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa056>.

25. Kneodler TS, Silva ES, Haberland DF, Silva TASM, Oliveira AB. Tecnologias sociais para ações de gestão de risco em desastres: uma revisão de escopo. *Saúde debate*. 2022 [cited 2023 Dez 11]; 46(spe8):187-200. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042022E814>.
26. Campos LF, Vecchia LPD, Tavares JP, Camatta MW, Magnago TSBS, Pai DD. Implicações da atuação da enfermagem no enfrentamento da COVID-19: exaustão emocional e estratégias utilizadas. *Esc Anna Nery*. 2023 [cited 2023 Dez 11];27:e20220302. DOI: <https://doi.org/10.1590/2177-9465-EAN-2022-0302pt>.

Contribuciones de los autores

Concepción, L.R.R., A.J.R.R.S.C., A.W., S.K., M.R.B. y A.B.O.; metodología, L.R.R. y A.B.O.; validación, M, L.R.R. y A.B.O.; análise formal, A.B.O.; investigación, L.R.R., A.J.R.R.S.C., A.W., S.K., M.R.B. y A.B.O.; obtención de recursos, L.R.R.; curadoria de datos, L.R.R.; redacción – original preparación de borradores, L.R.R.; revisión y edición, L.R.R., A.J.R.R.S.C., A.W, S.K., M.R.B. y A.B.O.; visualización, A.B.O.; supervisión, A.B.O.; administración del proyecto, L.R.R. Todos los autores leyeron y estuvieron de acuerdo con la versión publicada del manuscrito.