

# Desinfecção de máscaras PFF2 empregando névoa de peróxido de hidrogênio ativada por plasma não-térmico

<sup>1</sup>RODRIGUES, Eduardo Thadeu; Mestrando em Ciência e Tecnologia dos Materiais (PPGE3M - UFRGS);  
[1edu.thadeurodrigues@gmail.com](mailto:edu.thadeurodrigues@gmail.com)

<sup>1</sup>TAKIMI, Antônio Shigueaki; Doutor em Ciência e Tecnologia dos Materiais (PPGE3M - UFRGS);  
[1antonio.takimi@gmail.com](mailto:antonio.takimi@gmail.com)

## Resumo

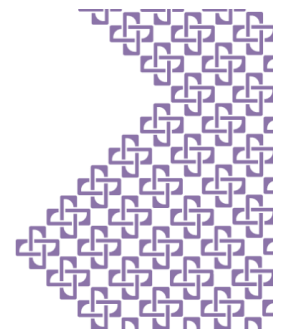
A escassez de máscaras de proteção respiratória geradas pela crise sanitária da COVID-19 mobilizou a comunidade científica no estudo de alternativas de esterilização e reuso. Uma vez que os métodos convencionais apresentam limitações, estudou-se uma técnica de desinfecção de máscaras PFF2 através de névoa de peróxido de hidrogênio ativada por plasma de barreira dielétrica. Observou-se um potencial de redução de 5,41 log-CFU/mL para cepas de *Staphylococcus aureus*, e 5,02 log-CFU/mL para *Escherichia coli* expostas durante 30 minutos a névoa de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na concentração de 7,8%, ativada pelo plasma gerado por uma tensão de 10kV com 15kHz de frequência. Estudos indicam a possibilidade de exposição de até 10 ciclos de tratamento sem alteração das propriedades das máscaras, sugerindo o método como uma alternativa favorável de esterilização, após estudos complementares.

**Palavras-Chave:** Desinfecção, peróxido de hidrogênio, plasma de barreira dielétrica.

## Abstract

*The shortage of respiratory protective masks generated by the COVID-19 sanitary crisis mobilized the scientific community to study alternatives for sterilization and reuse. Since conventional methods have limitations, a technique for disinfection of PFF2 masks using hydrogen peroxide mist activated by dielectric barrier plasma was studied. A reduction potential of 5.41 log-CFU/mL was observed for *Staphylococcus aureus* strains, and 5.02 log-CFU/mL for *Escherichia coli* exposed for 30 minutes to mist of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at a concentration of 7.8%, activated by the plasma generated by a voltage of 10kV with 15kHz frequency. Studies indicate the possibility of exposure of up to 10 treatment cycles without changing the properties of the masks, suggesting the method as a favorable alternative to sterilization, after further studies.*

**Keywords:** disinfection, hydrogen peroxide, dielectric barrier plasma.



## Introdução

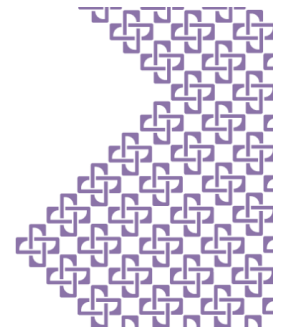
A crise sanitária causada pelo vírus SARS-CoV-2, impactou o mundo de forma brutal. No Brasil, considerada a maior crise sanitária da história, a COVID-19 resultou em outubro de 2021 em mais de seiscentas mil mortes em decorrência da doença [1]. As medidas necessárias de controle e prevenção de contaminações se refletiram sobre aspectos sociais, econômicos e ambientais [2-3].

O uso de equipamentos de proteção individual (EPI 's), especialmente máscaras faciais, teve um aumento circunstancial de demanda, acarretando a escassez de produtos em alguns países [4-5]. Ao mesmo tempo, o elevado consumo de EPI 's potencializou o consumo de plásticos no mundo todo, ocasionando grande impacto sobre o meio ambiente [6]. Estes aprendizados impulsionaram a comunidade científica na busca por estratégias de mitigação destes impactos através de pesquisas focadas em métodos de esterilização e reuso de EPI's [7-8]. Os métodos convencionais de esterilização utilizados hoje em dia como calor úmido, óxido de etileno (EtO), radiação UVGI a entre outros, já demonstraram eficácia na desinfecção [9-10], no entanto apresentam limitações relacionadas aos materiais, sejam elas físicas ou no poder de filtração das máscaras.

Estudos a respeito do uso de vapores de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) têm sido reportados como uma boa alternativa de solução para este problema. [11-12]. Sabe-se, no entanto, que o peróxido de hidrogênio pode ser explosivo, e causar irritações de pele em seres humanos em caso de manuseio incorreto e em concentrações elevadas, assim como eventual oxidação indesejada em objetos metálicos no ambiente [13]. Tais características estimulam a busca por alternativas que mantenham a eficácia de desinfecção em concentrações reduzidas de  $H_2O_2$ , diminuindo os riscos de seu uso em ambientes de saúde como hospitais e clínicas.

Métodos híbrido baseados no peróxido de hidrogênio ionizado têm sido reportados na literatura como potenciais alternativas de esterilização com peróxido de hidrogênio em concentrações mais brandas. Eles demonstram que cisão de moléculas de  $H_2O_2$  através de calor, radiação UV, e plasma favorecem a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO's) que interagem de forma específica com a membrana celular dos microorganismos, reduzindo sua proliferação nos substratos tratados [14-15].

Considerando as limitações dos métodos convencionais de esterilização e a grande necessidade de alternativas para a desinfecção de EPI's, este estudo buscou avaliar a eficiência de um método híbrido na redução da população de patógenos através de névoa de peróxido de hidrogênio ativada por plasma não-térmico.



## Materiais e Métodos

### *Materiais*

Os reagentes Peróxido de Hidrogênio 35% (Dinâmica), caldo *Trypticase soy broth* (KASVI), ágar *Plate Counting Agar* (KASVI) foram obtidos comercialmente. O potencial de redução de patógenos do método foi testado inicialmente frente a cepas de *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) e *Escherichia coli* (ATCC 25922), cedidas pela biblioteca de bactérias da empresa Millenium Tecnologia Ambiental Ltda, de Porto Alegre/RS. *S. aureus* e *E.coli* possuem elevada resistência a antibióticos e métodos de esterilização, portanto, fornecem uma estimativa conservadora e simples da eficácia da desinfecção. Além disso, estes microrganismos têm sido amplamente utilizados em estudos de métodos com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [16-17] possibilitando assim uma análise comparativa com outros resultados reportados na literatura. Máscaras de proteção respiratória de tipo Respirador PFF-2(S) para riscos biológicos da marca 3M, com Certificado de Aprovação da ANVISA (C.A:17611) foram utilizadas como amostras de estudo.

### *Preparo de amostras*

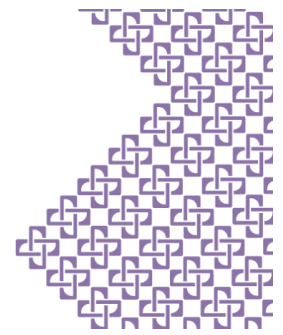
As cepas de trabalho inicialmente armazenadas a -80°C, em tubos contendo 10% de glicerol foram cultivadas em caldo *Trypticase soy broth* (TSB) e incubados a 36°C por 24h. Após a ativação, foram preparadas suspensões bacterianas com concentração inicial aproximada de 1,5x10<sup>8</sup> unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/ml) através de comparação com padrão de turbidez 0,5 McFarland. Em seguida, as máscaras foram cortadas de forma asséptica, em tiras 1,0 x 2,0cm e inseridas na suspensão com bactérias. Os corpos de prova foram mantidos sob agitação constante durante 5 minutos para impregnação das células no material da máscara (Figura 1A).

### *Preparo do Sistema de esterilização*

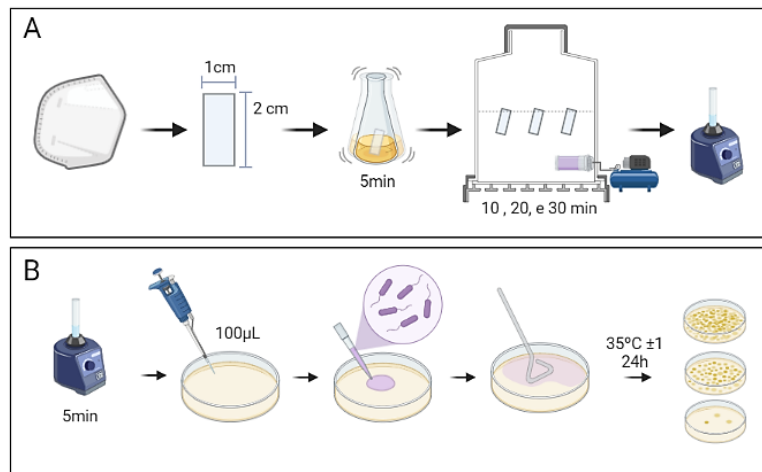
Um protótipo de sistema de esterilização foi desenvolvido para este estudo. Para isso um humidificador comercial da marca ELGIN modelo UDZN03NONB utilizado como gerador de névoa de peróxido foi acoplado a um reator tubular de plasma de barreira dielétrica (DBD), isolado em uma câmara de polietileno com dimensões de 48 x 33 x 33cm.

O reator de plasma não-térmico consiste um eletrodo interno construído em aço inox de dimensões 30mm de comprimento por 35mm de diâmetro, um tubo de vidro borossilicato de 40mm de diâmetro e espessura 2,2mm é utilizado como dielétrico, o qual é coberto externamente por um eletrodo de alumínio. A distância (*gap*) entre eletrodos foi de aproximadamente 3mm. Os parâmetros de operação foram definidos experimentalmente até a observação de um plasma com estabilidade constante.

### *Experimental*



O potencial de redução de patógenos foi avaliado pelo método de Contagem padrão de bactérias por análise comparativa entre amostras tratadas e não tratadas com a névoa de peróxido. Para isso, as amostras de máscaras contaminadas com *S. aureus* e *E. coli* foram expostas ao tratamento com diferentes condições operacionais, variando-se: a concentração da névoa (7,8%, 3,9% e 0% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>); e o tempo de exposição ao plasma (10, 20 e 30 minutos).



**Figura 1** – Processo de tratamento com névoa de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ativada por plasma frio  
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os corpos de prova contaminados foram fixados no interior da câmara com uma distância de 5cm do reator. Em seguida o plasma foi ativado através da aplicação de tensão de 10kV nos eletrodos com frequência de 15kHz (Figura 1A).

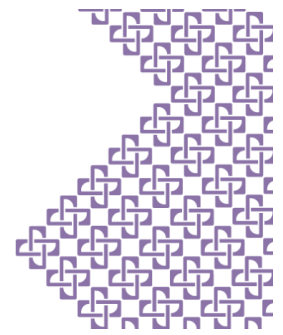
Após o tratamento, os corpos de prova foram adicionados a soluções salinas 0,95%, e submetidos a agitação novamente durante 5 minutos. Alíquotas de 100µL das suspensões diluídas em série foram semeadas por espalhamento em placas de petri contendo ágar *Plate Count Agar* (PCA). As placas foram incubadas em estufa a 35°C ± 1°C durante 24h. Após a incubação as células viáveis em cada tempo de tratamento foram enumeradas e convertidas em log-CFU/mL. Amostras de controle foram inoculadas, para determinação da concentração inicial de células viáveis antes do tratamento.

Todos os experimentos foram realizados em triplicata e as composições de névoa foram avaliadas em dias diferentes. Quando nenhuma colônia foi observada em uma placa, o limite de detecção foi usado para calcular as reduções de log conforme estudo previamente reportado [18].

## Resultados e discussão

### *Redução de microorganismos em função do tempo de tratamento*

A Tabela 1 apresenta o efeito do tratamento com exposição à névoa ativada por plasma com 7,8% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na redução em log CFU/mL de cepas de *E. coli* e *S. aureus* em função do tempo de exposição. Após 10 minutos de tratamento, observou-se que a névoa foi capaz de reduzir a



população das cepas em mais de 1-log CFU/mL (correspondente a 90% de esterilização). Com 30min de exposição para ambos microorganismos, não foi detectado nenhum crescimento de bactérias nas placas. Os valores de redução para 30 minutos de exposição foram obtidos extrapolando os valores em uma tendência linear dos resultados observados para 10 e 20 minutos de tratamento.

**Tabela 1** –Efeito da névoa de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 7,8% ativada por plasma na redução de da população de patógenos (log CFU/mL)

Tempo (min)	<i>S. aureus</i>		<i>E. coli</i>	
	Controle (log CFU/mL)	Redução (Log CFU/mL)	Controle (log CFU/mL)	Redução (Log CFU/mL)
10		1,83 ± 0,08		1,22 ± 0,31
20	7,35 <sup>a</sup> ± 0,34	3,60 ± 0,07	7,04 <sup>b</sup> ± 0,86	3,46 ± 0,15
30		5,41 ± 0,12 <sup>b</sup>		5,02 ± 0,30 <sup>b</sup>

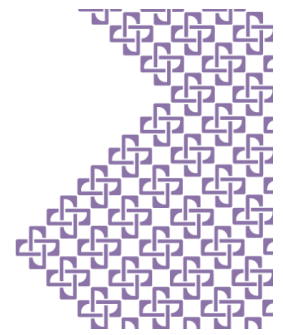
a) Média em triplicata da suspensão mãe utilizada como referência para as 3 condições de exposição.

b) Valores obtidos por cálculo de tendência linear.

Os resultados demonstram que a combinação do plasma frio com a névoa de peróxido foi capaz de reduzir a população de microorganismos em no mínimo 5,02 log-CFU/mL para *E.coli* (gram-negativa), e 5,41 log-CFU/mL para *S. aureus* (gram-positiva).

Estudos anteriores avaliaram o comportamento do peróxido de hidrogênio vaporizado de forma isolada na esterilização de materiais [19]. Da mesma forma, pesquisadores avaliaram a eficiência do uso de vapor ionizado por plasma e aerossol de peróxido de hidrogênio [20] reportando apresentarem resultados positivos em termos de poder esterilizante. Apesar disso, alguns fatores devem ser ponderados em relação à suas condições operacionais quando extrapolados para a realidade prática dos ambientes de saúde como clínicas e hospitais. Destacam-se entre eles principalmente a concentração de peróxido de hidrogênio trabalhada, e a temperatura de operação dos processos.

No estudo publicado por Kenney e colaboradores (2020)<sup>19</sup>, o método de esterilização com peróxido de hidrogênio foi testado frente a cepas de *Pseudomonas aeruginosa*. Foi observada elevada eficácia de desinfecção, superior ao parâmetro de 6 log-CFU, convencionalmente usado para exprimir uma esterilização bem-sucedida (aproximadamente 99,9999% de redução) [21]. Para isso, alimentaram uma sala de 33m<sup>2</sup> com peróxido de hidrogênio vaporizado na concentração de 35% utilizando um sistema BQ-50 da empresa Bioquell (Horsham-PA, EUA). Apesar de eficaz, o método implica em um roteiro delicado de operações devido à elevada concentração do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Não obstante, o método demanda o uso de equipamentos de proteção pelos operadores, e eficiente sistema de exaustão para remoção do vapor de peróxido do ambiente. Adicionalmente, o sistema BQ-50 opera com temperatura máxima de 35°C, porém sistemas similares de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> vaporizado disponíveis no mercado como o STERIS V-PRO 1 Plus da STERIS Corporation (Mentor, OH, EUA), operam na faixa de 50°C, considerada inadequada para materiais componentes das máscaras faciais [22].



Conforme demonstrado na Tabela 1, nosso método baseado em névoa de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ativada por plasma frio apresenta alto potencial de uso nestes ambientes pois possibilita a operação do processo em baixas concentrações de peróxido, à temperatura ambiente, e pressão atmosférica. Estudos complementares são necessários, devido ao limite de detecção da técnica de contagem de colônias empregada não permitir a visualização de redução de 6-log CFU. Novas análises serão realizadas no futuro.

### *Efeito da concentração de peróxido*

Buscando reduzir ao máximo os riscos do método proposto neste estudo, foram testadas diferentes concentrações do peróxido, avaliando seu impacto sobre o poder de desinfecção do sistema. Tratamentos de 30 min de exposição névoas na concentração de 3,9%, e 0% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram realizadas e os resultados comparados aos obtidos previamente com a névoa de 7,8% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Foi constatado, conforme exposto na Tabela 2, que a redução da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> implicou na diminuição significativa do poder desinfetante da névoa. Apesar disso, observou-se que nestas condições, a névoa ativada pelo plasma foi capaz de reduzir a população de patógenos mesmo na ausência de peróxido de hidrogênio, resultando na redução de mais de 90% das cepas de *S. aureus*.

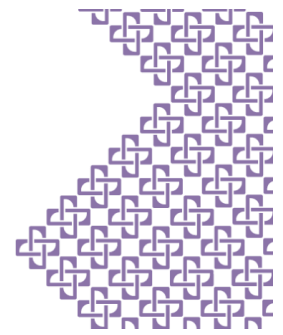
**Tabela 2** –Efeito da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na redução da população de patógenos (log CFU/mL)

% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	<i>S. aureus</i>		<i>E. coli</i>	
	Controle (log CFU/mL)	Redução (Log CFU/mL)	Controle (log CFU/mL)	Redução (Log CFU/mL)
7,8	7,35 ± 0,34	5,41 ± 0,12*	7,04 ± 0,86	5,02 ± 0,30*
3,9	7,76 ± 0,64	3,11 ± 0,10	7,48 ± 0,64	2,87 ± 0,26
0	7,29 ± 0,83	1,08 ± 0,47	7,02 ± 0,86	0,80 ± 0,64

\*Valores obtidos por cálculo de tendência linear.

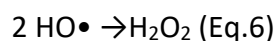
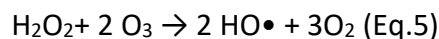
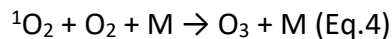
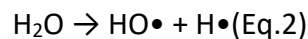
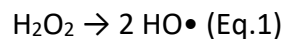
O efeito antimicrobiano observado pelo método se justifica em função da interação do plasma com as moléculas de água e peróxido presentes na névoa. A avalanche de elétrons produzida pelo plasma quando em contato com o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e a água, promove a cisão das moléculas, dando origem a espécies reativas de oxigênio (ERO's) como o oxigênio singleto (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>), ânion superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) e íon peróxido (O<sub>2</sub><sup>2-</sup>). Também integra este grupo o radical hidroxila (HO•), o qual tem recebido grande atenção em processos oxidativos avançados (POA's) [23] associado a seu elevado potencial oxidação E<sub>0</sub>=2,80V [24].

Em estudo recente divulgado por Song e Fan (2020)<sup>18</sup>, os pesquisadores avaliaram a atividade antimicrobiana de uma névoa de peróxido 7,8% ativada por plasma frio frente a cepas de *Salmonella Typhimurium* e *Listeria innocua* em alimentos. Eles observaram redução das amostras tratadas com a névoa ativada na faixa de 2,35 à 5,5 log-CFU. Enquanto isso, amostras tratadas apenas com a névoa – sem etapa de ativação por plasma – ficaram restritas a reduções na faixa de 1,54 à 3,17-log CFU. As observações citadas auxiliam no entendimento da razão pela qual é possível atingir elevadas taxas de



redução de microorganismos mesmo em baixa, ou nenhuma concentração de peróxido de hidrogênio conforme observado na Tabela 2.

O radical hidroxila é comumente apontado na literatura como o principal responsável pelos processos de inativação microbiana interagindo com a estrutura celular através de reações de peroxidação lipídica. Neste processo os radicais livres reagem com fosfolipídios, proteínas e outros componentes intracelulares, resultando em alterações no DNA da célula e consequente morte das bactérias [25]. De acordo com a literatura, essa espécie reativa possui uma meia vida na ordem de 1 nanossegundo ou menos [26], o que sugere que, no caso de métodos indiretos como o aqui proposto (em que o plasma não entra em contato com a superfície a ser desinfetada), seja mais provável que as espécies reativas responsáveis pela desinfecção sejam aquelas formadas pela recombinação deste radical. Conforme demonstrado nas equações 1-5, tal recombinação favorece a geração de espécies reativas de oxigênio moleculares mais estáveis como o ozônio (O<sub>3</sub>) e novas moléculas de peróxido de hidrogênio[27], aumentando consequentemente a sua concentração na névoa.



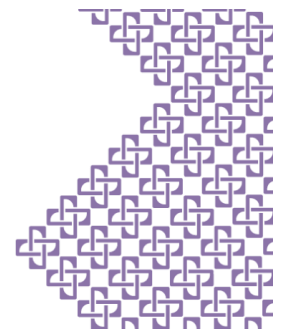
De forma análoga ao experimento de Song e Fan (2020)<sup>18</sup>, a contribuição do plasma na redução de microorganismos foi verificada expondo amostras a tratamento com a névoa na ausência do plasma. A Tabela 3 descreve o comportamento observado, indicando um poder de esterilização consideravelmente mais baixo do que a névoa previamente ativada.

**Tabela 3** –Efeito do plasma na redução da população de patógenos (log CFU/mL)

Bactéria	Controle (log CFU/mL)	Redução (Log CFU/mL)	
		H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> com plasma	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> sem plasma
<i>E. coli</i>	7,35 ± 0,34	5,41 ± 0,12*	1,82 ± 0,22
<i>S. aureus</i>	7,04 ± 0,86	5,02 ± 0,30*	2,21 ± 0,28

\* Valores obtidos por cálculo de tendência linear.

Os resultados indicam que o plasma contribui significativamente na redução da população de *S. aureus* e *E. coli*. Não foi possível neste estudo a identificação das espécies reativas presentes na névoa após a ativação por plasma. Contudo, a comunidade científica dispõe de uma extensa discussão sobre este fenômeno. Zhao e colaboradores (2020)<sup>28</sup> defendem que o meio aquoso ativado por plasma, definido na literatura como PAW (*Plasma Activated Water*) apresenta atividade bactericida



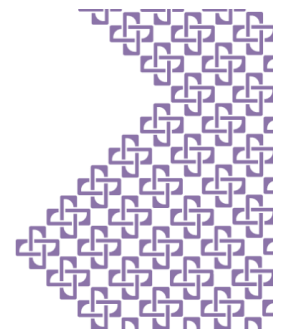
principalmente devido a mudança do pH do meio e a presença de espécies reativas como o HO•, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, e O<sub>3</sub>. Neste mesmo estudo os pesquisadores reportaram um aumento de 116 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> produzido a partir da interação do plasma frio com água deionizada, corroborando com as reações anteriormente citadas. Adicionalmente, os autores relataram que apesar de o ozônio ser uma espécie ativa comum no plasma de ar, foi constatado que a concentração de O<sub>3</sub> dissolvido na PAW atingiu 0,11 mmol/L a 10,0 kV, a qual segundo eles é uma concentração relativamente baixa e sua contribuição na inativação de bactérias é insignificante. Pressupõe-se que a redução da população de bactérias se dê pelas reações de peroxidação lipídica na membrana celular das bactérias promovida pelas espécies reativas de oxigênio como o HO•, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e o O<sub>3</sub> presentes na névoa. Outra hipótese levantada por Golkowski e colaboradores (2012)<sup>25</sup> é de o ar presente na câmara também contribua para a formação de espécies moleculares reativas de nitrogênio como o monóxido de nitrogênio (NO), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o (NO<sub>2</sub>) que também apresentam ação bactericida, se somando as moléculas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>.

No método proposto neste estudo as reações interfaciais plasma-vapor são de grande influência nos resultados observados. Avaliando a teoria em relação a taxa de recombinação de espécies reativas como o radical hidroxila, cuja meia vida é da ordem de nanosegundos, seria pertinente afirmar que estas não participam das reações de peroxidação lipídica pois seriam rapidamente neutralizadas no meio. Na prática, estudos indicam que fenômenos eletroquímicos entre o plasma e as gotículas de água auxiliam no prolongamento dessas espécies através da geração de gotículas com cargas eletrostáticas geradas na interação com o plasma [29]. O campo elétrico na fase vapor induz cargas iônicas no líquido, levando à emissão de pequenas gotículas carregadas, neste caso viajando entre a névoa em contato com o cátodo em direção à câmara. De forma complementar, Schwartz e colaboradores (2012)<sup>30</sup> observaram o mesmo fenômeno de ejeção de gotículas de solução carregadas na interface plasma-líquido, em experimentos com plasma de descargas luminescentes. Bruggeman e colaboradores (2007)<sup>31</sup> mostraram que a superfície da água pode ser deformada pela aplicação de um campo elétrico, e tal deformação foi seguida pela degradação do gás presente no meio, favorecendo a formação de plasma. Nesse contexto, Shirai e colaboradores (2014)<sup>32</sup> reportaram um modelo deste fenômeno, que propõe que as gotículas podem se tornar parte da descarga entre os eletrodos. De forma complementar, Yamamoto e colaboradores (2002) propuseram a participação de íons positivos O<sup>+</sup>, OH<sup>+</sup>, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> e O<sup>2+</sup> após detectá-las através de espectroscopia de massas, sugerindo que elas desempenhem papel efetivo na desinfecção bacteriana.

É provável, desta forma, que a névoa de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e água tenha um papel importante no processo de ativação e geração de ERO's, englobando no sistema a presença de radicais livres, espécies reativas moleculares, íons, e gotículas carregadas. Esta hipótese poderia explicar a capacidade da névoa de 0% de peróxido apresentar uma redução de 90% das bactérias, conforme observado na Tabela 2.

O ozônio é uma espécie reativa comumente produzida no plasma de ar, e em meio aquoso, e sua contribuição no método também foi avaliada. Para isso, os corpos de prova foram tratados sem a



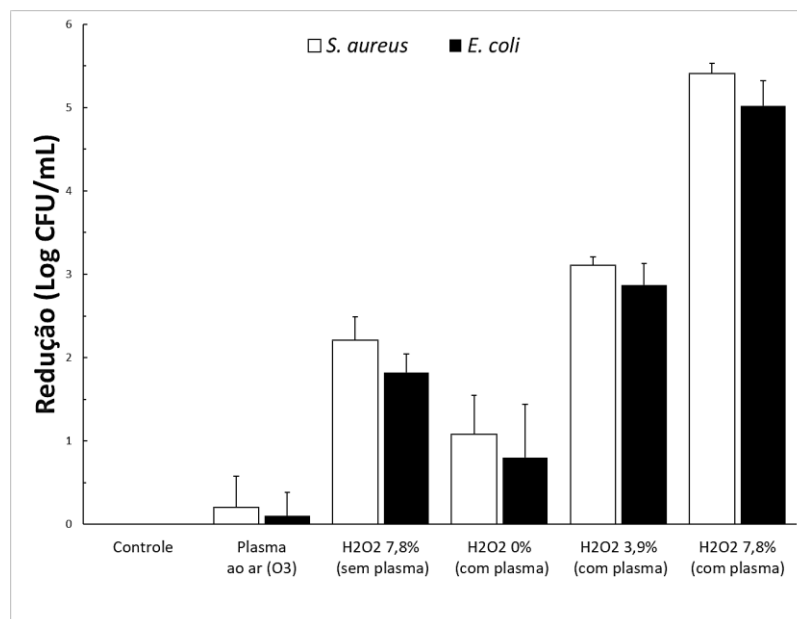


inclusão da névoa, assumindo-se a geração de espécies reativas em função da interação entre o plasma e o ar no interior da câmara. Observou-se que o nestas condições que o ozônio apresentou pouca influência na desinfecção, atingindo redução de 0,2-log CFU/mL e 0,1-log CFU/mL. É possível que a quantidade de ozônio produzida seja pouco expressiva, em concordância com as constatações de Zhao e colaboradores (2020)<sup>28</sup>. É provável, no entanto, que espécies como o O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, tenham sido produzidas pelo plasma ao ar, mesmo que em pequenas quantidades, uma vez que houve redução e não aumento da população de microrganismos após o tratamento. Outra hipótese é que devido a condição estática do ar no interior da câmara, o ozônio produzido não tenha interagido com o corpo de prova de maneira satisfatória para alcançar a membrana celular dos microorganismos.

**Tabela 4** –Efeito do ozônio na redução da população de patógenos (log CFU/mL)

Bactéria	Controle (log CFU/mL)	Redução (Log CFU/mL)
<i>E. coli</i>	7,25 ± 0,33	0,1 ± 0,30
<i>S. aureus</i>	7,18 ± 0,29	0,2 ± 0,38

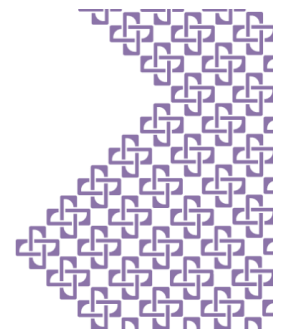
Sumarizando as condições testadas, a Figura 2 apresenta os valores de redução de bactérias em cada caso. Percebe-se também que supressão da névoa no experimento, e consequente ausência das gotículas eletricamente carregadas representam uma diferença significativa nos resultados quando comparadas as reduções do plasma ao ar e do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0% com plasma na figura, reforçando a hipótese levantada por Bruggeman e colaboradores (2007)<sup>30</sup>.



**Figura 2** – Redução de população para diferentes condições de operação.

Fonte: O autor, 2021.

Comparando-se a névoa de 7,8% sem plasma e a névoa de 3,9% ativada por plasma, constatou-se que mesmo em concentrações menores de peróxido a redução de bactérias foi maior. Isso sustenta



a hipótese de que os radicais e espécies reativas migram através da interface plasma-névoa se mantendo ativas por tempo suficiente para reagirem com a membrana celular das bactérias.

Considerando a ação combinada entre gotículas eletricamente carregadas e as ERO's neste método, é importante avaliar a interação destas cargas e radicais sobre a capacidade de filtração das máscaras, uma vez que a carga eletrostática das fibras é um dos principais fatores do poder de filtração destes produtos. Um método similar de esterilização com névoa de com vapor de  $H_2O_2$  7,8% ionizado por plasma foi estudado Craemer e colaboradores (2021)<sup>33</sup>. Os cientistas avaliaram o poder esterilizante do método frente a indicadores biológicos de *Geobacillus stearothermophilus*, e o efeito de múltiplos ciclos de exposição das máscaras sobre suas propriedades de filtração. Ao final, foi observada uma redução de até 9-log CFU nos testes biológicos. Além disso, constatou-se que mesmo após 10 ciclos de exposição à névoa, não houve alteração significativa das propriedades de filtração. As constatações reportadas propõem indícios favoráveis em relação ao presente método de estudo. Como compartilham de condições operacionais similares em termos de concentração de  $H_2O_2$  na névoa, temperatura, pressão e tempo de tratamento, as observações sugerem uma probabilidade que o tratamento não tenha influencia negativamente por parte das cargas eletrostáticas das gotículas da névoa sobre as cargas das fibras do produto.

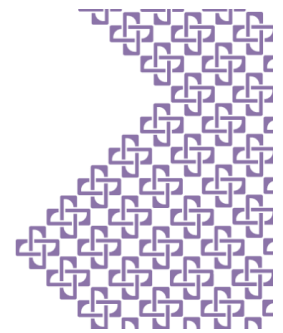
Análises complementares para identificação das espécies presentes poderão auxiliar na melhor compreensão do mecanismo que impera neste método de desinfecção. No entanto, os indícios observados comprovam que a ação sinérgica entre a névoa de  $H_2O_2$  e o plasma apresentam maior potencial de redução das bactérias testadas do que em condições isoladas. Além disso, os resultados indicam uma probabilidade de o método atingir os critérios de esterilização (redução total de microorganismos no material) com um tempo de exposição maior que trinta minutos.

## Conclusão

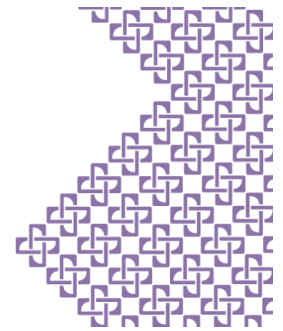
O método de desinfecção com névoa de peróxido ativada por plasma demonstrou potencial de redução de patógenos atingindo valores de 5,41 e 5,02-log UFC/mL para *S. aureus* e *E. coli* respectivamente. Foi verificada uma forte influência do plasma de barreira dielétrica nas propriedades desinfetantes da névoa. Além disso, em comparação com os sistemas de desinfecção com peróxido em forma de vapor disponíveis no mercado, o método se apresenta como uma alternativa promissora para desinfecção de materiais com baixas concentrações de peróxido de hidrogênio, à temperatura ambiente e pressão atmosférica.

## Referências (ABNT)

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Boletim Epidemiológico Especial. **Doença pelo coronavírus**. Brasília, 2021.



2. SUSSKIND, Daniel; VINES, David. **The economics of the COVID-19 pandemic: an assessment.** Oxford Review of Economic Policy, Volume 36, 2020.
3. GARRIDO, R. G; RODRIGUES, R. C. **Restriction of social contact and mental health in pandemic: possible impacts of social constraints.** J. Health Biol Sci. 2020. Disponível em: doi: 10.12662/2317-3325jhbs.v8i1. 3325.p1-9.2020
4. JI, D., FAN, L., LI, X. *et al.* **Addressing the worldwide shortages of face masks.** *BMC Mat* **2**, 9 (2020). <https://doi.org/10.1186/s42833-020-00015-w>
5. WORLD HEALTH ORGANIZATION. . **Mask use in the context of COVID-19: interim guidance**, 1 December 2020. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/337199>. Acesso em 10/09/2021)
6. CHEVAL S, et al. **Observed and Potential Impacts of the COVID-19 Pandemic on the Environment.** Int J Environ Res Public Health. 2020;17(11):4140. Published 2020 Jun 10. doi:10.3390/ijerph17114140
7. RUBIO-ROMERO, J, C, et al. **Disposable masks: Disinfection and sterilization for reuse, and non-certified manufacturing, in the face of shortages during the COVID-19 pandemic**, Safety Science, Volume 129, 2020, 104830, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104830>.
8. **Strategies for optimizing the supply of N95 respirators. Centers for Disease Control and Prevention website.** <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/respirators-strategy/index.html>. Published 2020. Accessed March 14, 2020.
9. LINDSLEY, W G, et al. **Effects of Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) on N95 Respirator Filtration Performance and Structural Integrity**, 2015. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 12:8, 509-517, DOI: 10.1080/15459624.2015.1018518
10. LIAO, L; et al. **Can N95 Respirators Be Reused after Disinfection? How Many Times?** ACS Nano 2020 14 (5), 6348-6356 DOI: 10.1021/acsnano.0c03597
11. SERESIRIKACHORN, K., et al. **Decontamination and reuse of surgical masks and N95 filtering facepiece respirators during the COVID-19 pandemic: A systematic review.** (2021). Infection Control & Hospital Epidemiology, 42(1), 25-30. doi:10.1017/ice.2020.379
12. IBÁÑEZ-CERVANTES G, et al. **Disinfection of N95 masks artificially contaminated with SARS-CoV-2 and ESKAPE bacteria using hydrogen peroxide plasma: Impact on the reutilization of disposable devices.** Am J Infect Control. 2020;48(9):1037-1041. doi:10.1016/j.ajic.2020.06.216
13. FREYSSENET, C; KARLEN, S. **Plasma-Activated Aerosolized Hydrogen Peroxide (aHP) in Surface Inactivation Procedures.** Applied Biosafety Vol. 24, No. 1.
14. BERGMAN M,S, et al. **Evaluation of Multiple (3-Cycle) Decontamination Processing for Filtering Facepiece Respirators.** Journal of Engineered Fibers and Fabrics. December 2010. doi:10.1177/155892501000500405
15. BERGER, D, et al **Review of aerosolized hydrogen peroxide, vaporized hydrogen peroxide, and hydrogen peroxide gas plasma in the decontamination of filtering facepiece respirators**, American Journal of Infection Control, 2021, ISSN 0196-6553, <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2021.06.012>.
16. SHEN, J., et al. **Bactericidal Effects against S. aureus and Physicochemical Properties of Plasma Activated Water stored at different temperatures.** Sci Rep 6, 28505 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep28505>
17. GERSHMAN, S. H, et al. **A low power flexible dielectric barrier discharge disinfects surfaces and improves the action of hydrogen peroxide** (2021). Scientific Reports. 11. 10.1038/s41598-021-84086-z.
18. SONG, Y, FAN, X. **Cold plasma enhances the efficacy of aerosolized hydrogen peroxide in reducing populations of Salmonella Typhimurium and Listeria innocua on grape tomatoes, apples,**



**cantaloupe and romaine lettuce.** Food Microbiol. 2020 May;87:103391. doi: 10.1016/j.fm.2019.103391. Epub 2019 Nov 23. PMID: 31948632.

19. KENNEY, P.; et al, Hydrogen Peroxide Vapor sterilization of N95 respirators for reuse. 380 medRxiv 2020.

20. BERGER D, et al. **Review of aerosolized hydrogen peroxide, vaporized hydrogen peroxide, and hydrogen peroxide gas plasma in the decontamination of filtering facepiece respirators.** Am J Infect Control. 2021 Jun 25:S0196-6553(21)00431-4. doi: 10.1016/j.ajic.2021.06.012. Epub ahead of print. PMID: 34182069; PMCID: PMC8233052.

21. UNITED STATES OF AMERICA. Environmental Protection Agency. **Protocol for Room Sterilization by Fogger Application.** Disponível em: <https://www.epa.gov/pesticide-registration/protocol-room-sterilization-fogger-application> Acesso em 03/08/2021)

22. STERIS Corporation **V-PRO® maX 2 Low Temperature Sterilization System.** Material Técnico. (Disponível em: <https://www.steris.com/healthcare/products/v-pro-sterilizers/v-pro-max-2-low-temperature-sterilization-system> acesso em 05/03/2021)

23. ZHAO Y. Y. et al **Hydroxyl Radicals and Hydrogen Peroxide Formation at Nonthermal Plasma–Water Interface.** IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 44, no. 10, pp. 2084-2091, Oct. 2016, doi: 10.1109/TPS.2016.2547841.

24. JONES, Craig W. **Applications of hydrogen peroxide and derivatives.** Royal Society of Chemistry, 1999.

25. GOLKOWSKI, M & G, et al. **Hydrogen-Peroxide-Enhanced Nonthermal Plasma Effluent for Biomedical Applications.** (2012). IEEE Transactions on Plasma Science. 40. 1984-1991. 10.1109/TPS.2012.2200910.

26. MATTILA, H & K, et al. **Reactive oxygen species: Reactions and detection from photosynthetic tissues.** (2015). Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology. 152. 10.1016/j.jphotobiol.2015.10.001.

27. LOCKE, B.R. BRUCE, , R., and SHIH K.-Y., **Review of the methods to form hydrogen peroxide in electrical discharge plasma with liquid water.** Plasma Sour. Sci. Technol., vol. 20, no. 3, p. 034006, Apr. 2011.

28. ZHAO, Y & O, et al. **Inactivation efficacy of plasma-activated water: influence of plasma treatment time, exposure time, and bacterial species.** (2020). International Journal of Food Science & Technology. 56. 10.1111/ijfs.14708.

29. BRUGGEMAN, P. et al 2016 **Plasma–liquid interactions: a review and roadmap** Plasma Sources Sci. Technol. 25 053002

30. SCHWARTZ, A J. Et al. **Visual observations of an atmospheric-pressure solution-cathode glow discharge.** 2012. Talanta 102 26–33.

31. BRUGGEMAN P J, et al. **Water surface deformation in strong electrical fields and its influence on electrical breakdown in a metal pin-water electrode system.** 2007. J. Phys. D: Appl. Phys. 40 4779–86

32. SHIRAI, N, et al. **Atmospheric negative corona discharge using Taylor cone as a liquid cathode** Japan. 2014.J. Appl. Phys. 53 026001

33. CRAMER, Avilash K. et al. **Analysis of SteraMist ionized hydrogen peroxide technology in the sterilization of N95 respirators and other PPE.** Scientific reports, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2021.