

Água ozonizada na desinfecção de superfícies assistenciais em unidade de terapia intensiva

Ozonated water for disinfecting surfaces in Intensive Care Units

Agua ozonizada para la desinfección de superficies asistenciales en Unidad de Cuidados Intensivos

Irinéia de Oliveira Bacelar Simplício^{1,2}  <https://orcid.org/0000-0001-8271-9569>

Monica Karla Vojta Miranda¹  <https://orcid.org/0000-0001-9610-0468>

Jociléia da Silva Bezerra¹  <https://orcid.org/0000-0001-9404-0297>

Mariane Santos Ferreira¹  <https://orcid.org/0000-0001-8924-8931>

Nelly Mara Vinhote Marinho³  <https://orcid.org/0000-0003-0822-2364>

Adriana Barrinha Fernandes^{1,4}  <https://orcid.org/0000-0002-7919-6098>

Carlos José de Lima^{1,4}  <https://orcid.org/0009-0000-6184-2779>

Leandro Procópio Alves^{1,4}  <https://orcid.org/0000-0002-2880-0507>

Como citar:

Simplício IO, Miranda MK, Bezerra JS, Ferreira MS, Marinho NM, Fernandes AB, et al. Água ozonizada na desinfecção de superfícies assistenciais em unidade de terapia intensiva. Acta Paul Enferm. 2025;38:eAPE0003232.

DOI

<http://dx.doi.org/10.37689/acta-ape/2025A0003232>



Descritores

Desinfecção; Ozônio; Ozonização; Trifosfato de adenosina; Infecção hospitalar; Unidades de terapia intensiva

Keywords

Disinfection; Ozone; Ozonation; Adenosine triphosphate; Cross infection; Intensive care units

Descriptores

Desinfección; Ozono; Ozonización; Adenosina trifosfato; Infección hospitalaria; Unidades de cuidados intensivos

Submetido

8 de Dezembro de 2023

Aceito

30 de Setembro de 2024

Autor correspondente

Irinéia de Oliveira Bacelar Simplício
E-mail: irineibacelar12@hotmail.com

Editora Associada

Marcia Barbieri
(<https://orcid.org/0000-0002-4662-1983>)
Escola Paulista de Enfermagem, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Resumo

Objetivo: Avaliar a eficácia da água ozonizada na desinfecção de superfícies assistenciais em uma Unidade de Terapia Intensiva no interior da Amazônia.

Métodos: Pesquisa exploratória, descritiva. Para seleção da amostra, foram selecionadas três áreas distintas para cada superfície das 15 unidades assistenciais avaliadas (colchão pneumático, grades laterais da cama e mesa de cabeceira). Cada área foi subdividida em quatro subgrupos: Grupo Controle - GC, Grupo Peróxido de Hidrogênio - GPH, Híbrido - GHDEO3 e Água Ozonizada - GO3, estes foram submetidos a 12 testes de bioluminescência do trifosfato de adenosina (ATP) por superfície, totalizando 36 testes por unidade assistencial. A área de aquisição da amostra foi delimitada em 100 cm² para cada teste. Para a análise das amostras utilizou-se métodos da bioluminescência (SystemSure Plus, Hygiena®) e da microbiológica automatizada (Phoenix M50, BD®).

Resultados: Os resultados dos grupos de intervenção (GHDEO3 e GO3), em todas as áreas, apresentaram redução significativa após descontaminação ($p < 0,0001$), em comparação ao grupo controle. Ao comparar os grupos água ozonizada e peróxido de hidrogênio, verificou-se que houve diferença significativa entre eles ($p < 0,05$), sendo que a água ozonizada foi mais eficaz. Das amostras qualitativas avaliadas, somente no GC (23,6%) testaram positivo para bactérias drogas multirresistentes (MDR) em todas as superfícies testadas.

Conclusão: O uso da água ozonizada, na desinfecção de superfícies assistenciais em UTI contaminadas com MDR é promissor, pois é uma alternativa que não gera resíduos ambientais e apresenta baixa toxicidade. Destarte, a utilização da água ozonizada pode ser considerada uma alternativa para descontaminação de superfícies assistenciais de ambientes críticos clínico/hospitalar.

Abstract

Objective: To assess the effectiveness of ozonated water in disinfecting surfaces in an Intensive Care Unit in the countryside of the Amazon.

Methods: This is an exploratory and descriptive research. To select the sample, three distinct areas were selected for each surface of the 15 care units assessed (air mattress, bed rails and bedside table). Each area was subdivided into four subgroups: Control Group (CG), Hydrogen Peroxide Group (HPG), Hybrid Group (HDEO3G) and Ozonated Water Group (O3G). These were subjected to 12 adenosine triphosphate (ATP) bioluminescence tests per surface, totaling 36 tests per care unit. The sample acquisition area was delimited at 100 cm² for each test. Bioluminescence (SystemSure Plus, Hygiena®) and automated microbiological (Phoenix M50, BD®) methods were used to analyze the samples.

¹Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, Brasil.

²Universidade do Estado do Pará, Santarém, PA, Brasil.

³Randox Laboratories Ltd, Antrim, Irlanda do Norte, Reino Unido.

⁴Centro de Inovação, Tecnologia e Educação, São Paulo, SP, Brasil.

Conflitos de interesse: nada a declarar.

Results: The results of the intervention groups (HDEO3G and O3G) in all areas showed a significant reduction after decontamination ($p < 0.0001$) compared to the control group. When comparing O3G and HPG, it was found that there was a significant difference between them ($p < 0.05$), with O3G being more effective. Of the qualitative samples assessed, only CG (23.6%) tested positive for multidrug-resistant (MDR) bacteria on all surfaces tested.

Conclusion: The use of ozonated water for disinfecting surfaces in ICUs contaminated with MDR is promising, as it is an alternative that does not generate environmental waste and has low toxicity. Therefore, the use of ozonated water can be considered an alternative for decontaminating surfaces in critical clinical/hospital environments.

Resumen

Objetivo: Evaluar la eficacia del agua ozonizada para la desinfección de superficies asistenciales en una Unidad de Cuidados Intensivos del interior de la Amazonia.

Métodos: Estudio exploratorio, descriptivo. Para la selección de la muestra, se seleccionaron tres áreas distintas de cada superficie de las 15 unidades asistenciales evaluadas (colchón neumático, barandas laterales de la cama y mesa de cabecera). Cada área fue subdividida en cuatro subgrupos: Grupo de Control (GC), Grupo Peróxido de Hidrógeno (GPH), Grupo Híbrido (GHDEO3) y Grupo Agua Ozonizada (GO3). Cada grupo fue sometido a 12 pruebas de bioluminiscencia de trifosfato de adenosina (ATP) por superficie, con un total de 36 pruebas por unidad asistencial. El área de adquisición de la muestra fue delimitada a 100 cm² en cada prueba. Para el análisis de las muestras se utilizó el método de la bioluminiscencia (SystemSure Plus, Hygiena®) y de la microbiológica automatizada (Phoenix M50, BD®).

Resultados: Los resultados de los grupos de intervención (GHDEO3 y GO3) presentaron una reducción significativa, en todas las áreas, después de la descontaminación ($p < 0.0001$), en comparación con el grupo de control. Al comparar el Grupo Agua Ozonizada y Peróxido de Hidrógeno, se verificó una diferencia significativa ($p < 0.05$), donde el agua ozonizada fue más eficaz. De las muestras cualitativas evaluadas, solo el GC (23,6 %) tuvo resultado positivo de bacterias drogas multirresistentes (MDR) en todas las superficies evaluadas.

Conclusión: El uso del agua ozonizada para la desinfección de superficies asistenciales en UCI contaminadas con MDR es prometedor, ya que es una alternativa que no genera residuos ambientales y presenta una baja toxicidad. De este modo, la utilización de agua ozonizada puede considerarse una alternativa para la descontaminación de superficies asistenciales de ambientes críticos clínicos/hospitalarios.

Introdução

O ambiente nosocomial pode funcionar como um reservatório para patógenos oportunistas, de modo que as infecções relacionadas a assistência à saúde (IRAS), estão comumente associadas à limpeza e desinfecção inadequadas de ambientes, podendo ser adquiridas, não apenas por pacientes que apresentem maior susceptibilidade, mas também por funcionários do hospital, embora menos frequente por visitantes.^(1,2)

As IRAS representam um grave problema de saúde pública.^(3,4) Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), aproximadamente 7% dos pacientes em hospitais de países de alta renda e 15% em países de baixa e média renda adquirem alguma forma de IRAS durante sua internação hospitalar. Além disso, cerca de 10% dos casos de IRAS evoluem para óbito devido às complicações da infecção.⁽⁵⁾

O manejo dessas infecções é ainda mais complicado devido a alta resistência antimicrobiana. De acordo com estimativas do Centers for Disease Control and Prevention (CDC), ocorrerão mais de 2,8 milhões de infecções resistentes a antibióticos e pelo menos 35.000 mortes em hospitais dos Estados Unidos da América (EUA) por ano.⁽⁶⁾ A resistência

antimicrobiana poderá levar à morte de 10 milhões de pessoas anualmente até 2050 a um custo total de cem trilhões de dólares sem intervenção.⁽⁷⁾

Controlar a propagação de patógenos em ambientes hospitalares é essencial para minimizar os riscos de transmissão de IRAS. Os métodos de validação da descontaminação incluem inspeção visual, análise microbiológica e, mais recentemente, o uso de marcadores fluorescentes, como o método de bioluminescência do trifosfato de adenosina (ATP),⁽⁸⁾ que fornece avaliação objetiva e feedback imediato sobre a presença de contaminação biológica.⁽⁹⁾

Alguns produtos químicos comumente utilizados pelos serviços de saúde para limpeza e desinfecção de superfícies são hipoclorito de sódio a 0,1%, amônio quaternário e peróxido de hidrogênio (HP). Esses produtos químicos, de difícil decomposição, deixam resíduos tóxicos prejudiciais que ameaçam a saúde humana.⁽¹⁰⁾

O uso de água ozonizada é um método alternativo e eficaz para desinfetar superfícies de assistência à saúde.⁽¹¹⁾ O ozônio (O₃), com sua instabilidade e alta reatividade oxidante, despertou o interesse dos pesquisadores. Além disso, o O₃ é considerado um germicida de amplo espectro natural, capaz de inativar vírus, bactérias, protozoários e fungos devido

sua capacidade oxidativa, causando lesões em suas membranas celulares.⁽¹²⁾

Outra característica do O₃ é sua capacidade de ser dissolvido na água, mantendo a sua ação microbicida.⁽¹³⁾ Assim, esse estudo avaliou a eficácia da água ozonizada na desinfecção de superfícies assistenciais de uma Unidade de Terapia Intensiva (UTI) adulto de um hospital público de média e alta complexidade no interior da Amazônia, Brasil.

Métodos

Caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, descritiva de abordagem quantitativa. Teve como cenário de investigação um hospital público de média e alta complexidade, que atende a uma população de cerca de 1,1 milhão de usuários do Sistema Único de Saúde (SUS). Realizada no primeiro semestre de 2022 em duas etapas: a primeira por meio de um luminômetro (SystemSure Plus, Hygiena®) para indicar a presença de contaminação biológica e a segunda utilizando a microbiologia automatizada (Phoenix M50, BD®) visando identificar, qualificar e definir o padrão de resistência microbiana das amostras analisadas.

Os métodos utilizados neste estudo foram o teste de bioluminescência de trifosfato de adenosina (ATP) e análises microbiológicas automatizada. A escolha do teste de bioluminescência está alinhada com as práticas estabelecidas pelo hospital, para detectar contaminação biológica nas superfícies assistenciais. A combinação desses dois métodos possibilita uma avaliação robusta e multidimensional da descontaminação das superfícies, o que é essencial para o controle eficaz das IRAS. Cada método traz suas vantagens únicas, e quando utilizados juntos, eles proporcionam uma visão abrangente que orienta as ações de controle de infecção, promovendo um ambiente hospitalar mais seguro para pacientes e profissionais de saúde.

O teste de bioluminescência utiliza a detecção de ATP para indicar a presença de contaminação biológica, método que não distingue os tipos de microrganismos, mas sinaliza a presença de matéria biológica ativa.⁽²⁾ Neste estudo, foi utilizado o

swab UltraSnap e o luminômetro (SystemSure Plus Hygiena), que preconiza uma escala de ≤100 URL para considerar uma superfície adequadamente limpa e desinfetada.

Para coleta das amostras microbiológicas utilizou-se um swab Stuart nas superfícies que apresentaram maior valor de ATP. As amostras foram semeadas em placas de petri e transferidas para os tubos do sistema Phoenix utilizados para identificação das bactérias (ID) e combo para o teste de sensibilidade antimicrobianos (AST), na sequência transferido para o painel correspondente (gram-negativos e/ou gram-positivos) a fim de garantir a viabilidade, pureza e definir o padrão de resistência microbiana das amostras analisadas.

Para seleção da amostra, foram eleitas três áreas distintas para cada superfície das 15 unidades assistenciais avaliadas (colchão pneumático, grades laterais da cama e mesa de cabeceira). Cada área foi subdividida em quatro subgrupos (GC, GPH, GHDEO3 e GO3), e submetidos a 12 testes de ATP por superfície, totalizando 36 testes por unidade assistencial. A área de aquisição da amostra foi delimitada em 100 cm² para cada teste.

A marcação das áreas nas grades laterais das camas apresentou desafios devido à sua forma irregular. Utilizamos uma fita métrica para medir e marcar precisamente as áreas de teste, especificamente em locais de alto contato que são mais propensos a reter contaminação. As áreas de teste foram demarcadas com uma circunferência de 12 cm e um comprimento de 8,33 cm, assegurando a padronização das medições.

Os critérios de inclusão para as amostras envolveram leitos que estiveram ocupados por mais de sete dias, antes da limpeza concorrente e antes do banho do paciente. A seleção foi baseada em resultados de bioluminescência iguais ou superiores a 100 Unidades Relativas de Luz (URL), indicando a necessidade de desinfecção.

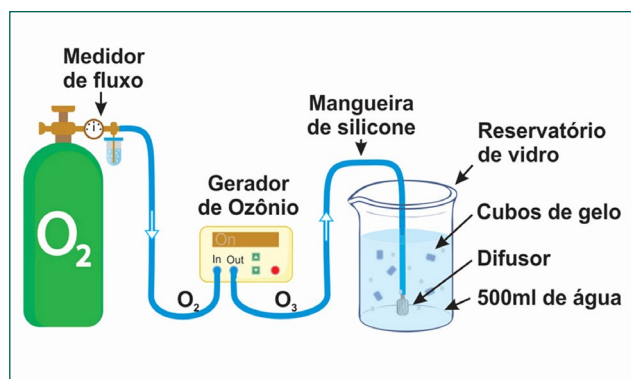
Para determinar o custo da descontaminação das superfícies selecionadas (colchão pneumático, grades laterais da cama e mesa de cabeceira) de uma UTI adulto com água ozonizada, foram necessários investimentos em um gerador de ozônio (R\$ 8.000,00) e infraestrutura adicional. O hospi-

tal já possuía elementos essenciais, como um filtro de água de osmose reversa (modelo Permutation® RO0520L, R\$ 5.000,00), contêineres de abastecimento, câmara de exaustão (R\$ 15.000,00), oxigênio medicinal e equipamentos de proteção (EPI). Os custos operacionais incluíram eletricidade (R\$ 209,00/mês), manutenção anual (R\$ 4.000,00) e oxigênio medicinal (R\$ 300,00/mês).

O custo da água tratada por litro foi de R\$ 0,50, considerando o sistema de osmose reversa. A infraestrutura incluiu sistemas de ventilação e sensores de detecção de ozônio, garantindo a segurança dos pesquisadores. A implementação seguiu as diretrizes da CONITEC para práticas seguras e eficazes na saúde.⁽¹⁴⁾

A água ozonizada foi obtida usando um gerador de ozônio da marca OzonLife, Medical Systems®, Brasil. A taxa de fluxo de oxigênio de 1/8 L/min foi ajustada na entrada do dispositivo, resultando na saída de gás ozônio a uma concentração de 50 mg/L.⁽¹¹⁾ Uma capela de exaustão foi utilizada como medida de segurança para produzir água ozonizada (Figura 1). O fluido foi transferido para a água utilizando o sistema de reator de coluna de bolhas (BCR)⁽¹⁵⁾ através de um difusor de aço inoxidável sinterizado imerso em 500 ml de água tratada por osmose reversa. A água ozonizada foi produzida a uma temperatura de 6,9°C, atingindo uma concentração de 2,7 mg/L, e saturando em 4 minutos. Para preservar as propriedades microbicidas da solução desinfetante da água ozonizada, ela foi mantida a uma temperatura entre 8°C e 10°C. Utilizando dois cubos de gelo de 10 ml cada, feitos com o mesmo grau de pureza da água utilizada. A solução foi acondicionada em um recipiente de vidro envolto em gelo por um período de 30 minutos em temperatura ambiente média de 23°C para uso imediato.

Para o GPH foi utilizado Oxivir Five 16 Concentrate (Diversey, Inc., Charlotte, NC), com concentração inicial de peróxido de hidrogênio equivalente a 42,5 g/L. A solução utilizada foi obtida a partir da diluição em uma proporção de 1:64 que produz uma concentração final de 664 mg/L de peróxido de hidrogênio. Este foi borrifado sobre as superfícies e após dois minutos removido com auxílio dos panos multiuso descartável (Perfex®), conforme



Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.*, 2023.⁽¹⁶⁾

Figura 1. Representação esquemática de transferência do gás ozônio para água tratada por osmose reversa dentro de uma capela de exaustão

protocolo de descontaminação do próprio hospital. Com relação ao GHDEO₃, as superfícies foram limpas com detergente enzimático (Neozime5®), a uma concentração de 20mg/L e, logo em seguida secas com panos multiuso descartável (Perfex®); Imediatamente após a secagem, as superfícies eleitas foram aspergidas com água ozonizada a uma concentração de 2,7 mg/L e temperatura entre 8°C e 10°C, de forma perpendicular e unidirecional, a uma distância de aproximadamente 25 cm de cada área selecionada das superfícies. Após dois minutos foi realizado a secagem com uma compressa limpa, e repetido no quarto e sexto minuto. Para o GO₃ foi repetido o mesmo protocolo do GHDEO₃, com exceção do detergente enzimático.

Com a finalidade de avaliar o potencial da água ozonizada como solução desinfetante de alto nível, foi criado o protocolo do grupo GHDEO3, justificado pela capacidade de oferecer uma limpeza mais completa e uma desinfecção mais eficaz em comparação com métodos que utilizam um único agente. A combinação de detergente enzimático e água ozonizada proporcionou um método abrangente e robusto para enfrentar a complexidade das superfícies hospitalares e a diversidade dos desafios microbianos encontrados no ambiente hospitalar.

A análise quantitativa do grau de desinfecção foi realizada considerando a diferença antes e depois do procedimento de desinfecção para cada grupo a partir dos valores de ATP (bioluminescência, RLU), e uma análise qualitativa a partir do ensaio microbiológico automatizado (Phoenix, MD50, BD®). O con-

junto de dados obtidos foram processados estatisticamente usando Microsoft Excel® 2013 e Origin® 8.5. O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado aos dados coletados. Uma análise estatística intergrupo comparou os quatro grupos usando o teste ANOVA one-way, seguido do teste post-hoc de Bonferroni. Todas as análises de dados estatísticos foram realizadas com o programa Prism® 8.0 (GraphPad Software Inc., La Jolla, CA, USA), com um nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Para as análises qualitativas e caracterização dos microrganismos, foi utilizada a frequência relativa.

Ressalta-se que esse estudo é um recorte do projeto de Doutorado em Engenharia Biomédica aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade do Estado do Pará - UEPA sob o parecer: 4.743.235 (Certificado de Apresentação de Apreciação Ética: CAAE -39785220.4.0000.5168).

Resultados

Foram realizados um total de 540 ensaios de bioluminescência em 15 superfícies assistenciais (colchão pneumático, grade lateral e mesa de cabeceira) para cada um dos quatro grupos (GC; GPH, GHDEO3 e GO3). Os resultados obtidos mostraram maior índice de contaminação para grade lateral da cama com média de $736,2 \pm 190,4$ URL, seguido da mesa de cabeceira com média de $718,6 \pm 149,4$ URL e do colchão pneumático que apresentou menor grau de contaminação com média de $331,4 \pm 30,1$ URL (Figura 2).

Para todos os grupos de intervenção, de todas as superfícies, após descontaminação observou-se uma redução significativa ($p < 0,0001$) quando comparado com ao GC. O GHDEO₃, comparado com o grupo do GO₃ não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre eles, indicando que a adição do detergente enzimático, neste protocolo, não interferiu na descontaminação das superfícies analisadas.

Ao comparar o GO₃ com GPH, houve diferença significativa ($p < 0,05$), indicando que a água ozonizada à uma concentração de 2,7 mg/L foi mais eficiente que o peróxido de hidrogênio à uma concentração de 664 mg/L.

Os resultados apresentados nos gráficos evidenciam uma tendência consistente em que os grupos GHDEO3 e GO3 demonstram menores níveis de luminescência de ATP em comparação com GPH. Nos três conjuntos de gráficos (a x b, c x d, e x f), GHDEO3 mostra-se como o método mais eficaz de desinfecção, seguido por GO3 e GPH. A presença do grupo controle (GC) nos gráficos (a c e) ressalta a eficácia dos métodos de desinfecção, mostrando reduções significativas na contaminação em comparação com nenhuma intervenção. Os dados sugerem que a desinfecção com GHDEO3 e GO3 é superior ao GPH.

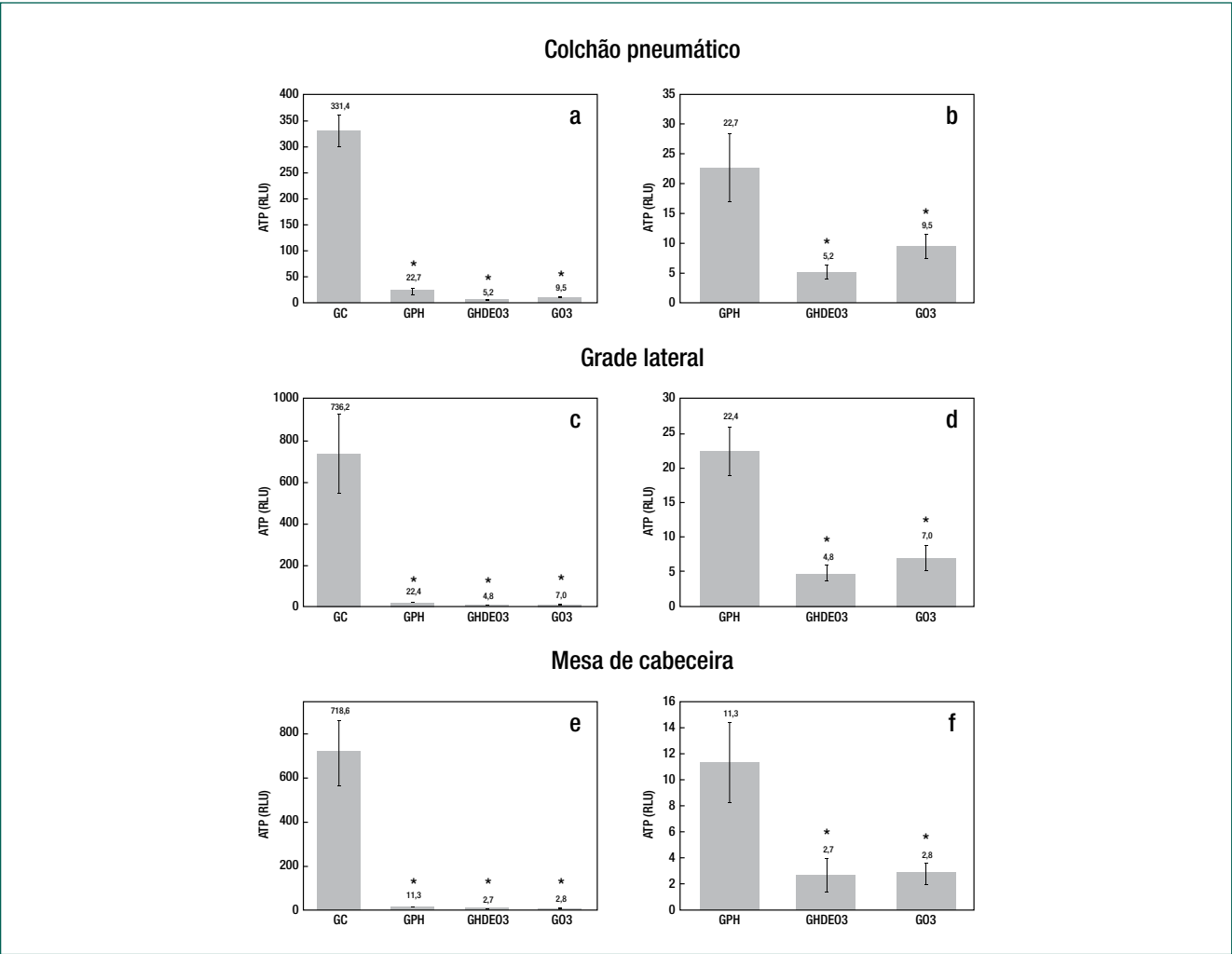
A análise qualitativa demonstrou que das 55 amostras obtidas, 23,6% testaram positivo para bactérias MDR e 76,4% não mostrou crescimento microbiano. Dos resultados positivos, 50% encontraram-se no grupo gram-negativo, (*Enterobacter cloacae*, *Klebsiella Pneumoniae*, *Acinetobacter spp.*) e 50% testaram para gram-positivo (*Staphylococcus haemolyticus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus schleiferi*). As bactérias mais prevalentes foram *Staphylococcus haemolyticus*, *Klebsiella pneumoniae* e *Acinetobacter spp* (Quadro 1).

Discussão

O presente estudo avaliou a eficácia da água ozonizada na descontaminação de superfícies, em comparação ao peróxido de hidrogênio, tradicionalmente adotado em práticas hospitalares globais.⁽¹⁷⁾

Para o colchão pneumático, se obteve média de 331,4 URL e uma expressiva presença de microrganismos patogênicos, conforme a análise microbiológica. Esse fato pode ser atribuído ao maior tempo de contato com o paciente e/ou condições de temperatura e umidade propícias ao crescimento microbiano.

Com relação a contaminação por microrganismos presentes no colchão, foram encontrados: *Staphylococcus haemolyticus*, *Staphylococcus schleiferi*, *Klebsiella pneumoniae* e *Acinetobacter spp.* A respeito *Staphylococcus haemolyticus* e *Staphylococcus schleiferi*, estafilococos gram-positivos, são descritos como bactérias nosocomiais, com destaque para MDR,



Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.
Figura 2. Determinação de ATP (Adenosina Trifosfato) pela técnica de Bioluminescência nas superfícies (a) e (b) colchão, (c) e (d) grade lateral, (e) e (f) mesa de cabeceira. * corresponde a $p < 0.05$ (0,05) com relação ao controle

Quadro 1. Perfil dos microrganismos MDR em superfícies de uma UTI adulto antes e após processo de limpeza e desinfecção utilizando os protocolos propostos

Microrganismos antes da descontaminação	Perfil de Resistência a Antibióticos	Microrganismos após descontaminação
Superfície: Colchão		
<i>S. haemolyticus</i>	CLIN/ CIP/ CLO/ ERI/ GEN/ MIN/ OXA/ RFM/ SUT/	Não detectado
<i>S. schleiferi</i>	CLI/ ERI	
<i>K. pneumoniae</i>	AMP/ APS CEF/ CFP/ CAZ/ CRO/ CIP/ GEN/ LEV/PIP/ SUT/CIP/ ERT// FOS/ IMI/ MER/PIP	
<i>Acinetobacter spp.</i>		
<i>Acinetobacter spp.</i>	AMP/ APS CEF/ CFP/ CAZ/ CRO/ CIP/ GEN/ LEV/PIP/ SUT	
Superfície: Grade Lateral		
<i>S. epidermidis</i>	CIP/ CLI/ ERI/ GEN/ SUT	Não detectado
<i>S. haemolyticus</i>	CLO/ CLIN /CIP/ERI/ GEN/ LNZ/ MIN/ OXA/ RFM/ SUT/ TEC	
Superfície: Mesa de Cabeceira		
<i>S. haemolyticus</i>	CLI/ CIP/ CLO/ ERI/ GEN/ LNZ/ MIN/ OXA/ RFM/ LNZ/ TEC/ SUT	Não detectado
<i>E. cloacae</i>	AMP/ APS/ SUT	

CLIN - Clindamicina; CIP - Ciprofloxacina; ERI - Eritromicina; GEN - Gentamicina; MIN - Minociclina; OXA - Oxacilina; RFM - Rifampicina; SUT - Trimetoprim-Sulfametoxazol; CLO - Clorafenico; AMP - Ampicilina; CAZ CEF - Ceftazidima; CRO - Ceftriaxona; CFZ - Cefazolina; CFP - Cefepima; FOS - Fosfomicina; IMI - Imipenem; LEV - Levofloxacina; MER - Meropenem; ERT - Ertapenem; LNZ - Linezolida; APS - Ampicilina-Sulbactam; PIP - Piperacilina-Tazobactam; TEC - Teicoplanina

causadoras de IRAS como endocardite, bacteremia,⁽¹⁸⁾ meningite e infecções.⁽¹⁹⁾

A presença desses agentes patogênicos, por si só, não configura um risco direto de transmissão; no entanto, a interação entre fatores ambientais e o hospedeiro susceptível pode facilitar a disseminação de infecções relacionadas à assistência à saúde (IRAS).^(4,20)

Outro fator a ser considerado é a transferência destes microrganismos que pode ocorrer por meio do contato direto com superfícies contaminadas ou através de aerossóis em procedimentos assistenciais. Sobre a *Klebsiella pneumoniae* e *Acinetobacter spp.* estes tem sido relacionados ao tempo de permanência em UTI,⁽²⁰⁻²¹⁾ são bactérias gram-negativas anaeróbia facultativa, com capacidade de produzir enzimas β -lactamase capazes de hidrolisar anéis β -lactâmicos de antibióticos como penicilinas, cefalosporinas e carbapenêmicos. Tem como principal fonte de contaminação o trato gastrointestinal, que contaminam as superfícies hospitalares podendo ser transferidos por mãos tanto de funcionários quanto dos pacientes, formando biofilmes de difícil remoção.^(21,22)

No entanto, os protocolos utilizados neste estudo conseguiram eliminar não só a *Klebsiella pneumoniae*, que é reconhecida pela sua importância epidemiológica, mas também todos os patógenos encontrados nas superfícies avaliadas, o que sugere a eficácia da água ozonizada na concentração de 2,7 mg/L como um desinfetante de alto nível. Esse efeito está relacionado à sua ação oxidante, liberando radicais livres que inativam bactérias, fungos, vírus e protozoários.⁽²³⁻²⁵⁾

Esses resultados corroboram com os encontrados no estudo de revisão de literatura integrativa sobre o uso do O₃ para desinfetar superfícies, que revelou a ação do O₃ em diferentes microrganismos, indicando uma taxa de inibição igual ou superior a 90%, o elegendo como uma nova proposta para o desenvolvimento de novos protocolos de descontaminação.⁽²⁶⁾

Já os *Acinetobacter spp.* são bacilos aeróbios gram-negativos classificados como membros da família *Moraxellaceae*, que sobrevivem em superfícies secas por até um mês, e muitas vezes, permanecem na pele dos profissionais de saúde aumentando a probabilidade de colonização de pacientes e contaminação de equipamentos.⁽²⁷⁾

Estudos experimentais, mostraram a eficácia da água ozonizada como microbicida.⁽²³⁻²⁵⁾ No entanto, seu uso deve ser cuidadosamente gerenciado para evitar exposição ao gás ozônio, que pode levar ao comprometimento respiratório, a manipulação de agentes químicos, como produtos oxidantes e de alta reatividade usados na desinfecção, requer atenção especial, embora eficazes na eliminação de patógenos, podem apresentar riscos por contato direto ou inalatório.

Com relação ao preparo da água ozonizada geralmente é realizado por profissionais treinados, podem fazer parte da equipe de manutenção de um hospital ou serem técnicos especializados contratados para essa finalidade. O preparo seguro da água ozonizada requer o uso de uma câmara exaustora devido à toxicidade do ozônio em altas concentrações. Essa exigência implica a necessidade de uma infraestrutura especial planejada, incluindo sistemas de ventilação adequados para dispersar o ozônio de maneira segura, sensores de detecção de ozônio para monitorar os níveis no ambiente.⁽²⁸⁾

Outrossim, é fundamental que os profissionais utilizem equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados, como máscaras respiratórias com filtro de carvão ativado, luvas de silicone, aventais de mangas longas e óculos de proteção, para mitigar os riscos de exposição durante o preparo, e utilização da água ozonizada.⁽¹⁴⁾

Acerca do *Staphylococcus schleiferi*, encontrado nos colchões das amostras deste estudo, mostrou-se sensível à água ozonizada a uma concentração de 2,7 mg/L. Esses achados corroboram com os resultados de um estudo que avaliou a eficácia da água ozonizada na desinfecção de superfícies de mesas de instrumental, onde foi identificado a presença de cocos gram-positivos antes do processo de descontaminação, mas após o uso da água ozonizada, não foi detectado crescimento microbiano.⁽²⁸⁾

Nessa perspectiva, outro estudo utilizou água ozonizada como desinfetante de alto nível para inativar *Staphylococcus aureus* em um protocolo experimental de contaminação por colonoscópio com resultado eficaz.⁽²⁹⁾ Resultados semelhantes foram observados em outro estudo,⁽¹⁶⁾ incluindo a inativação de MDR.⁽²⁰⁾

Com relação as grades laterais da cama, que obteve o maior índice de contaminação por meio da bioluminescência com média de 736,2 URL, foram encontrados resultados de um estudo que sugerem que a fonte de contaminação pode estar relacionada tanto aos pacientes, quanto aos profissionais de saúde.⁽³⁰⁾

Os microrganismos encontrados nas amostras das grades laterais da cama (*Staphylococcus epidermidis* e *Staphylococcus haemolyticus* gram-positivo), esses tem sido descritos como agentes causadores de infecção da corrente sanguínea, além de estarem associados à IRAS, que podem acometer o indivíduo, principalmente quando o sistema imunológico está comprometido.⁽³¹⁻³³⁾

No entanto, um achado inesperado deste estudo foi a elevada contaminação da mesa de cabeceira com média de 718,6 URL, por se tratar de um hospital acreditado pela Organização Nacional de Acreditação nível 3 (ONA) o qual tem protocolos rígidos de limpeza e desinfecção voltados para segurança do paciente com objetivo de prevenção das IRAS.

Além disso, os microrganismos isolados nesse local foram *Staphylococcus haemolyticus* discutido anteriormente e a *Enterobacter cloacae* gram-negativo, que pode estar relacionada a contaminação das mãos durante a troca de fralda, indicando uma higienização deficiente das mãos após a manipulação realizadas pelos profissionais.

Esse resultado corrobora com os encontrados em estudo que observou que a contaminação de superfícies pode persistir mesmo após processos de descontaminação, devido à formação de biofilmes. Essas estruturas complexas protegem as comunidades microbianas aderidas às superfícies, dificultando a ação de agentes antimicrobianos.⁽¹⁰⁾ Essa observação é corroborada em estudo que evidencia como os biofilmes presentes em superfícies ambientais de UTI podem abrigar bactérias multirresistentes, mostrando a dificuldade de erradicá-los e a necessidade de métodos de desinfecção mais eficazes⁽³⁴⁾

O protocolo do GPH, que utilizou o *Oxivir Five 16 Concentrate* em uma concentração de 664 mg/L, mostrou-se eficaz na descontaminação das superfícies avaliadas. Este método é considerado o

padrão ouro para a desinfecção de alto nível devido à sua ação rápida, que ocorre por meio da desnaturação de proteínas e ruptura da membrana celular. No entanto, ele tem um custo relativamente alto e não é capaz de eliminar formas esporuladas em baixas concentrações.⁽³⁵⁾

Portanto, o ambiente hospitalar requer uma abordagem multifacetada para a prevenção de IRAS. Isso inclui não apenas a melhoria contínua das técnicas de descontaminação, mas também uma ênfase renovada na proteção ocupacional para garantir a segurança de todos os usuários do ambiente de saúde.

A pesquisa confirmou que o grupo GHDEO3 demonstrou uma eficácia equivalente ao grupo GO3 na desinfecção das superfícies investigadas. Este achado é extremamente importante, pois indica que ambos os métodos são eficazes na redução da contaminação microbiana. No entanto, é importante reconhecer algumas limitações do estudo: a investigação não explorou o efeito residual da ausência de MDR nas superfícies tratadas.

A multifatorialidade da recontaminação, que inclui fatores como a frequência de uso das superfícies, os procedimentos realizados e a qualidade do ar ambiente, não foi avaliada em profundidade. Além disso, o estudo foi realizado em um único centro e não estabeleceu uma correlação direta com as taxas de IRAS. O método de inspeção visual também não foi incluído no protocolo do estudo. Portanto, embora os resultados sejam promissores, são necessárias mais pesquisas para confirmar a eficácia da água ozonizada na prevenção de IRAS em diferentes contextos e configurações assistenciais, garantindo assim a manutenção de um ambiente hospitalar seguro.

Conclusão

A água ozonizada se mostrou uma alternativa promissora para a descontaminação de superfícies assistenciais contaminadas por microrganismos MDR em UTIs. Tem como vantagens a sua decomposição espontânea em substâncias em oxigênio e o baixo custo. Esta abordagem não só minimiza o risco

ambiental, mas também atua efetivamente contra patógenos resistentes a múltiplos medicamentos, destacando-se como um desinfetante de alto nível, contribuindo para a segurança e controle de infecções em ambientes hospitalares críticos.

Colaborações

Simplicio IOB, Miranda MKV, Bezerra JS, Ferreira MS, Marinho NMV, Fernandes AB, Lima CJ e Alves LP contribuíram com a concepção do estudo, análise e interpretação dos dados, redação do artigo e aprovação da versão final a ser publicada.

Referências

- van Arkel A, Willemsen I, Kilsdonk-Bode L, Vlamings-Wagenaars S, van Oudheusden A, Waegemaeker P, et al.; i-4-1-Health Study Group. ATP measurement as an objective method to measure environmental contamination in 9 hospitals in the Dutch/Belgian border area. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2020;9(1):77.
- Furlan MC, Ferreira AM, Rigotti MA, Guerra OG, Frota OP, Sousa AF, et al. Correlation among monitoring methods of surface cleaning and disinfection in outpatient facilities. *Acta Paul Enferm*. 2019;32:282–9.
- Protano C, Cammalleri V, Romano Spica V, Valeriani F, Vitali M. Hospital environment as a reservoir for cross transmission: cleaning and disinfection procedures. *Ann Ig*. 2019;31(5):436–48.
- Aiesh BM, Qashou R, Shemmession G, Swaileh MW, Abutaha SA, Sabateen A, et al. Nosocomial infections in the surgical intensive care unit: an observational retrospective study from a large tertiary hospital in Palestine. *BMC Infect Dis*. 2023;23(1):686.
- World Health Organization (WHO). Global report on infection prevention and control. Geneva: WHO; 2022 [cited 2022 Sep 24]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051164>
- Centers for Disease Control and Prevention. Antibiotic resistance threats in the United States; 2019. Available from: <https://www.cdc.gov/antimicrobial-resistance/data-research/threats/index.html>
- O'Neill J. Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations. The review on antimicrobial resistance. United Kingdom: Review on Antimicrobial Resistance; 2016.p.1-80.
- Edmiston CE Jr, Spencer M, Lewis BD, Rossi PJ, Brown KR, Malinowski M, et al. Assessment of a novel antimicrobial surface disinfectant on inert surfaces in the intensive care unit environment using ATP-bioluminescence assay. *Am J Infect Control*. 2020;48(2):143–6.
- Deshpande A, Dunn AN, Fox J, Cadnum JL, Mana TS, Jencson A, et al. Monitoring the effectiveness of daily cleaning practices in an intensive care unit (ICU) setting using an adenosine triphosphate (ATP) bioluminescence assay. *Am J Infect Control*. 2020;48(7):757–60.
- Li D, Sangion A, Li L. Evaluating consumer exposure to disinfecting chemicals against coronavirus disease 2019 (COVID-19) and associated health risks. *Environ Int*. 2020;145:106108.
- Silva Lima F, Miranda MK, da Silva Bezerra J, Ferreira MS, de Oliveira SM, de Aguiar Valentim L, et al. Água ozonizada: uma nova proposta na desinfecção de superfícies em salas de cirurgias ortopédicas. *Rev Eletrôn Acervo Saúde*. 2022;15(2):e9588.
- Liaqat S, Tariq IS, Hayat B, Mobeen S, Fayyaz H, Jabeen MA. Therapeutic effects and uses of ozone in dentistry: a systematic review. *Ozone Sci Eng*. 2022;45(2):1–11.
- Breidablik HJ, Lysebo DE, Johannessen L, Skare Å, Andersen JR, Kleiven OT. Ozonized water as an alternative to alcohol-based hand disinfection. *J Hosp Infect*. 2019;102(4):419–24.
- Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no Sistema Único de Saúde – CONITEC. Avaliação de Tecnologias em Saúde. Diretrizes Metodológicas. Brasília(DF): CONITEC; sd. [citado 2024 Mai 30]. Disponível em: <https://www.gov.br/conitec/pt-br/assuntos/avaliacao-de-tecnologias-em-saude/diretrizes-metodologicas>.
- Kantarci N, Borak F, Ulger KO. Bubble column reactors. *Process Biochem*. 2005;40(7):2263–83.
- Oliveira CR, Carvalho MC, Schmitz GV, Almeida T, Carvalho HC, Fernandes AB, et al. Ozonated Water in Disinfection of Hospital Instrument Table. *Res Biomed Eng*. 2023;39(2):329–34.
- Humayun T, Qureshi A, Falah SAR, Carig J, Humayun F. Efficacy of hydrogen peroxide fumigation in improving disinfection of hospital rooms and reducing the number of microorganisms. *J Ayub Med Coll Abbottabad*. 2019; 31(Suppl 1)(4):S646-S650.
- Musci T, Grubitzsch H. Healthcare-Associated Infective Endocarditis-Surgical Perspectives. *J Clin Med*. 2022;11(17):4957.
- Blot S, Ruppé E, Harbarth S, Asehnoune K, Poulakou G, Luyt CE, et al. Healthcare-associated infections in adult intensive care unit patients: changes in epidemiology, diagnosis, prevention and contributions of new technologies. *Intensive Crit Care Nurs*. 2022;70(103227):103227.
- de Paula Nascente E, Rauecker UN, Teles AV, Divino LD, Chagas SR, Pascoal LM. Inactivation of multidrug-resistant salmonella heidelberg isolated from pigs by ozonated water under different conditions. *Ozone Sci Eng*. 2021;44(4):363–71.
- Baek EH, Kim SE, Kim S, Lee S, Cho OH, In Hong S, et al. Successful control of an extended-spectrum beta-lactamase-producing *Klebsiella pneumoniae* ST307 outbreak in a neonatal intensive care unit. *BMC Infect Dis*. 2020;20(1):166.
- Taoufik L, Amrani Hanchi A, Fatiha B, Nissrine S, Mrabih Rabou MF, Nabila S. Emergence of OXA-48 Carbapenemase producing *klebsiella pneumoniae* in a neonatal intensive care unit in Marrakech, Morocco. *Clin Med Insights Pediatr*. 2019;13:1179556519834524.
- Akbar A, Medina A, Magan N. Potential control of mycotoxigenic fungi and ochratoxin a in stored coffee using gaseous ozone treatment. *Microorganisms*. 2020;8(10):1462.
- Porto YD, Trombete FM, Freitas-Silva O, de Castro IM, Direito GM, Ascheri JL. Gaseous ozonation to reduce aflatoxins levels and microbial contamination in corn grits. *Microorganisms*. 2019;7(8):220.
- Jiang HJ, Chen N, Shen ZQ, Yin J, Qiu ZG, Miao J, et al. Inactivation of Poliovirus by Ozone and the Impact of Ozone on the Viral Genome. *Biomed Environ Sci*. 2019;32(5):324–33.
- Simplicio IB, Sousa SC, Thomaz TS, Lima FS, Bezerra JS, Carvalho MC, et al. Ozone Use in Surface Disinfection: An Integrative Review. *Acta Paul Enferm*. 2023;36:eAPE00542.
- Ababneh Q, Abulaila S, Jaradat Z. Isolation of extensively drug resistant *Acinetobacter baumannii* from environmental surfaces inside intensive care units. *Am J Infect Control*. 2022;50(2):159–65.

28. Rutala, WA, Weber, DJ. Best practices for disinfection of noncritical environmental surfaces and equipment in health care facilities: A bundle approach. *American journal of infection control*, v. 47, p. A96-A105, 2019.
29. Carvalho MC, Fernandes AB, Carvalho HC, Zângaro RA, Lima CJ. Preliminary study: disinfection of colonoscope using a reprocessing system based on a hydrodynamic model with ozonated water. *Ozone Sci Eng*. 2023;45(4):419-30.
30. Boyle MA, Kearney A, Carling PC, Humphreys H. 'Off the rails': hospital bed rail design, contamination, and the evaluation of their microbial ecology. *J Hosp Infect*. 2019;103(1):e16–22.
31. Shraddha S, Kaushik V, Tiwari V. Role of Biofilms in Hospital-Acquired Infections (HAIs). *Understanding microbial biofilms*. Elsevier; 2023. p. 209–45.
32. Eltwisy HO, Howida OT, Mahmoud HR, Ibrahim MS, Mohamed AE. Infecções clínicas, resistência a antibióticos e patogênese de *staphylococcus haemolyticus*. *Microrganismos*. 2022;10(6):1130.
33. Sahiledengle B. Decontamination of patient equipment: nurses' self-reported decontamination practice in hospitals of southeast Ethiopia. *BMC Res Notes*. 2019 Jul;12(1):392.
34. Hu H, Johani K, Gosbell IB, Jacombs AS, Almatroudi A, Whiteley GS, et al. Intensive care unit environmental surfaces are contaminated by multidrug-resistant bacteria in biofilms: combined results of conventional culture, pyrosequencing, scanning electron microscopy, and confocal laser microscopy. *J Hosp Infect*. 2015;91(1):35–44.
35. De Matteis S, Ronsmans S, Nemery B. Respiratory Health Effects of Exposure to Cleaning Products. *Clin Chest Med*. 2020;41(4):641–50.