XXIX SEPE Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão
Teaching, Research and Extension Symposium
Presente e futuro:
uso consciente da Inteligência Artificial
Today and tomorrow:
the conscious use of Artificial Intelligence
E-book
ISBN 978-65-5852-415-1
20 A 22 DE OUTUBRO DE 2025
OCTOBER 20th to 22nd, 2025
UFN Universidade Franciscana Franciscan University

DOI: https://doi.org/10.48195/sepe2025.30109

DESINFECÇÃO QUÍMICA E RADIAÇÃO UV-C: EFETIVIDADE EM SUPERFÍCIES LABORATORIAIS COM *STAPHYLOCOCCUS AUREUS* E *ESCHERICHIA COLI*

Poliheny Martins da Silva[1], Bruna Correa da Silva[2], João Flores Luccas[3], Nicole Camponogara Righi[4], Rafaelle Rubin Borba[5], Tallys de Oliveira Mendes[6], Bruno Stefanello Vizzotto[7], Gerson Fernandes de Brum[8*]

RESUMO

Introdução: A resistência antimicrobiana constitui uma crise silenciosa de saúde global, sendo fortemente associada à alta capacidade de sobrevivência e adaptação das bactérias, especialmente em superfícies de contato frequente em hospitais e laboratórios. **Objetivo:** Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes estratégias de desinfecção utilizadas frequentemente em rotinas laboratoriais, incluindo desinfecção química isolada e a combinação dessa técnica com a exposição à radiação UV-C visando a redução da carga microbiana de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. **Metodologia:** O estudo foi realizado no LEAC/UFN, testando a eficácia da radiação UV-C (254 nm, 15 min) e da desinfecção química (hipoclorito 2% + álcool 70%) na descontaminação de superfícies de aço inoxidável. Foram comparados quatro grupos (com/sem UV-C e com/sem desinfecção química), avaliando qualitativa e quantitativamente o crescimento bacteriano após incubação. **Resultados:** Os resultados obtidos demonstraram que a radiação UV-C isolada teve um desempenho superior sendo, em alguns casos, parcialmente igual à desinfecção química, o que confirma seu potencial no combate a microrganismos. No entanto, a combinação de desinfecção química e UV-C resultou na maior redução da carga bacteriana, embora não tenha alcançado uma esterilização completa. **Conclusão:** Esses achados ressaltam a importância de considerar uma série de fatores ao escolher a melhor estratégia de descontaminação, como o tempo e a distância de exposição, a natureza da superfície, as características intrínsecas das bactérias, e a

[1] Poliheny Martins da Silva, graduanda em Biomedicina, Universidade Franciscana, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: poliheny.biomedicina@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009-0006-1077-7077
[2] Bruna Correa da Silva, graduanda em Biomedicina, Universidade Franciscana, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: bruna.csilva@ufn.edu.br ORCID https://orcid.org/0009-0009-2467-3692
[3] João Víctor Flores Luccas, graduando em Biomedicina, Universidade Franciscana, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: joaov.luccas@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009-0004-9265-2838
[4] Nicole Camponogara Righi, graduanda em Biomedicina, Universidade Franciscana, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: niki.righi123@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009-0004-6131-5150
[5] Rafaelle Rubin Borba, graduanda em Biomedicina, Universidade Franciscana, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: rafasrubin@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4499-6682
[6] Tallys de Oliveira Mendes, graduando em Biomedicina, Universidade Franciscana, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: tallys098@hotmail.com ORCID:https://orcid.org/0009-0002-7309-5584
[7] Bruno Stefanello Vizzotto, docente do curso de Biomedicina, Universidade Franciscana, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: bvizzotto@ufn.edu.br ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6819-4081
[8] Gerson Fernandes de Brum, docente do curso de Biomedicina, Universidade Franciscana, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: gerson.brum@ufn.edu.br ORCID: https://orcid.org/0009-0006-1919-0096

consistência nos protocolos de biossegurança. Dessa forma, a compreensão do risco de resistência antimicrobiana e as consequências de superfícies não esterilizadas deve ser um estado de alerta contínuo não só para pacientes imunossuprimidos mas também para pesquisadores em ascensão seja em seus ambientes de pesquisa seja em propostas resolutivas para a ciência. Afinal, garantir ambientes mais seguros e controlados é essencial para a proteção da saúde pública.

Palavras-chave: Álcool 70%, Cabine de Segurança Biológica, Controle de contaminação, Hipoclorito de sódio.

1. INTRODUÇÃO

A escala evolutiva de sobrevivência ao ambiente é uma característica demarcada por todos os seres vivos sejam animais sejam humanos. Ao que tange às bactérias, o espaço que elas perpetuam no ecossistema e como se expandem em locais com diferentes intempéries garante o motivo de elas serem tão nocivas à vida humana. Diante disso, por necessidade, a Resistência Antimicrobiana (RAM), fomentou a adaptação contínua e perspicaz desse grupo patogênico ora por antibióticos ora por aderência às superfícies, o que garantiu um local de destaque para problemáticas de saúde pública - e, inclusive, de saúde mundial. Conforme estudos recentes, as mortes relacionadas à RAM irão totalizar 10 milhões até 2050, o que permite a compreensão assustadora que tanto uso indiscriminado por antibióticos quanto a resistência - que pode resultar em infecções potencialmente provedoras de sepse, de inflamação sistêmica inelutável ou de falência de órgãos, serão problemas que irão transcender fronteiras nacionais (Polat; Kang, 2021).

De acordo com o *Worldwide Outbreak Database*, considerado a maior base de dados dedicada a surtos nosocomiais, cerca de 3.632 relatos documentados foram contabilizados até agosto de 2020. A análise dos dados disponíveis revela que determinadas bactérias são recorrentes como agentes etiológicos principais nesses eventos. Entre elas, destacam-se *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), responsável por 431 surtos (11,9%), seguida por *Klebsiella pneumoniae* (288 surtos; 7,9%), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) (259; 7,1%) e *Acinetobacter baumannii* (253; 7,0%). Outras espécies relevantes incluem *Serratia marcescens* (168; 4,6%), *Enterococcus faecium* (131; 3,6%), *Escherichia coli* (*E. coli*) (86; 2,4%) e *Enterobacter cloacae* (82; 2,3%). Esses dados evidenciam o papel dominante de patógenos multirresistentes em ambientes hospitalares, ressaltando a importância de estratégias eficazes de controle de infecção e vigilância microbiológica contínua (Katzenberger; Rosel; Vonberg, 2021).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a RAM afeta países de diferentes questões socioeconômicas mas, principalmente, os de baixa e média renda. A fim de expor em ordem os principais microrganismos incidentes de ameaça à saúde pública, a OMS criou uma Lista de Patógenos Bacterianos Prioritários (LPBP) (Organização Mundial da Saúde, 2024). Dentre os patógenos, as infecções por *S. aureus* geralmente são associadas a colonização assintomática ou ao ambiente hospitalar, de fômites infectados ou transferência de outros indivíduos (Cheung; Bae; Otto, 2021); enquanto, por exemplo, a *E. coli* obtém visibilidade quando referida às Infecções de Corrente Sanguínea (ICS) (Tao *et al*., 2020). Em ambientes laboratoriais, diversas espécies como *S. aureus*, *Staphylococcus epidermidis* e *Staphylococcus capitis*, demonstram forte capacidade de formação de biofilme em superfícies de aço inoxidável (Vorgová *et al,* 2023) (Ciolacu *et al,* 2022). Bactérias gram-negativas, como *P. aeruginosa* e *E. coli*, também colonizam facilmente o aço inoxidável, com *P. aeruginosa* apresentando comportamento de adesão particularmente agressivo (Frois *et al,* 2022).

As bactérias que compartilham sua adesão tanto em superfícies hospitalares quanto laboratoriais apresentam uma tendência marcante de persistir em áreas de alto contato, especialmente aquelas lisas, não porosas e, curiosamente, nas de fácil limpeza. Os materiais que compõem essas superfícies podem ser classificados como aço inoxidável, vidro e plásticos

empregados em equipamentos médicos. Umidade e resíduos orgânicos nas superfícies promovem a ancoragem inicial dos microrganismos e o subsequente desenvolvimento de biofilmes que são, por sua vez, considerados "cápsulas" de defesa aos agentes desinfetantes, aos antibióticos e às variações ambientais. Por conseguinte, essas superfícies de contato constante, como maçanetas, grades de camas, mesas de cabeceira, dispositivos médicos reutilizáveis, bancadas e pias, tornam-se reservatórios contínuos de patógenos oportunistas, elevando significativamente o risco de infecções nosocomiais e laboratoriais. Dessa forma, o cenário de contaminação em locais que deveriam ser estéreis unido com a RAM exige protocolos rigorosos de higienização, monitoramento microbiológico periódico e estratégias complementares de desinfecção (Ueda *et al*., 2019; Wood *et al*., 2025). Congruente ao supracitado, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia da Desinfecção Química (DQ) seguida da exposição à radiação UV-C, isoladas ou combinadas, na redução da carga microbiana de *S. aureus* e *E. coli* em superfícies de aço inoxidável, simulando condições de desinfecção utilizadas em ambientes laboratoriais.

2. METODOLOGIA

As etapas desta pesquisa foram realizadas no Laboratório Escola de Análises Clínicas (LEAC), localizado na Universidade Franciscana, em Santa Maria, Rio Grande do Sul. A superfície experimental consistiu na base de uma Cabine de Segurança Biológica (CSB) de aço inoxidável. A área de ensaio foi delimitada em quadrantes de 10 × 10 cm (100 cm²), totalizando 10 quadrantes independentes sendo, dessa forma, cinco para *S. aureus* e cinco para *E. coli* - a disposição dos quadrantes ao percorrer da área visou o estudo da forma de incidência dos raios de luz, o que poderia implicar no crescimento ou não de bactérias de acordo com a incidência uniforme ou disforme na superfície. (Figura 1). A esterilização inicial foi realizada com hipoclorito de sódio 2% e álcool 70% (Genz *et al*, 2017). As cepas bacterianas de referência foram *S. aureus* ATCC 25923 e *E. coli* ATCC 25922, reativadas, respectivamente, em ágar Sangue e ágar MacConkey a 35 ± 2 °C por 24 h. O inóculo foi padronizado para 0,5 na escala de McFarland, com turbidez confirmada pelo densitômetro DEN-1B (Biosan), λ = 565 ± 15 nm Wu *et al*. (2018).

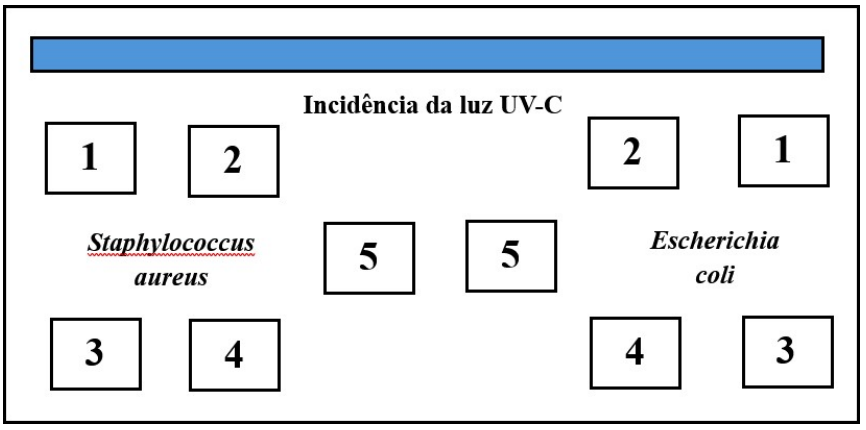


Figura 1: Disposição dos quadrantes de infecção dos patógenos na base da Cabine de Segurança Biológica.

Os grupos experimentais foram organizados de acordo com a aplicação da DQ e o uso ou não da radiação UV-C. Assim, os grupos 1 e 2 receberam a radiação UV-C, sendo o grupo

1 tratado com DQ (CUVDQ) e o grupo 2 sem DQ (CUVSDQ). Já os grupos 3 e 4 não foram submetidos à radiação UV-C, sendo avaliados apenas quanto à presença (SUVDQ) ou ausência (SUVSDQ) da DQ, respectivamente. Inicialmente, foram comparados os grupos 2 e 4, a fim de avaliar os efeitos da aplicação isolada da radiação UV-C em condições equivalentes de DQ. Em seguida, a comparação entre os grupos 1 e 3 permitiu destacar a influência da DQ, considerando a presença ou ausência da radiação UV-C. O tratamento de todos os grupos foi realizado de forma simultânea aos patógenos em estudo, *S. aureus* e *E. coli* (Figura 2). Para fins de análise, o controle negativo (CN) foi atribuído ao grupo 1, enquanto o controle positivo (CP) correspondeu ao grupo 4.

<table>
<tr><th>Segunda-feira</th><th>Terça-feira</th><th>Quarta-feira</th><th>Quinta-feira</th><th>Sexta-feira</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Primeira contaminação</td><td>Coleta dos grupos 2 e 4</td><td>Grupos 2 e 4: leitura das placas -24h</td><td>Grupos 2 e 4: leitura das placas – 48h</td><td rowspan="2">Grupos 1 e 3: leitura das placas – 48h</td></tr>
<tr><td>Segunda contaminação</td><td>Coleta dos grupos 1 e 3</td><td>Grupos 1 e 3: leitura das placas – 24h</td></tr>
</table>

Figura 2: Exemplificação dos processos de contaminação e leitura de placas ao decorrer dos dias.

Cada quadrante foi inoculado com 1 mL da suspensão bacteriana, distribuído uniformemente com swab estéril em movimentos horizontais e verticais. A umidade evaporou naturalmente das superfícies na CSB por 18 h até a ausência de brilho, sem lavagem ou exposição à radiação UV-C, conforme adaptações de Vorgová *et al*. (2023). Após o período de descanso, os tratamentos foram aplicados de acordo com o grupo experimental. Quanto aos grupos 1 (CUVDQ) e 3 (SUVDQ) com a aplicação da DQ, o hipoclorito de sódio 2% foi aplicado na superfície com tempo de ação de 1 minuto seguido da aplicação de álcool 70% com o mesmo tempo de atividade - esse tempo foi estabelecido conforme as observações prévias referentes à prática do processo de rotina. Para os grupos 2 (CUVSDQ) e 4 (SUVSDQ) sem a aplicação da DQ, nenhuma intervenção foi realizada. A radiação UV-C (254 nm, 15 min) foi aplicada para os grupos 1 (CUVDQ) e 2 (CUVSDQ); quanto aos grupos 3 (SUVDQ) e 4 (SUVSDQ), sem aplicação de UV-C, a lâmpada germicida não foi energizada.

Após a realização da limpeza da base da CSB, primeiramente com hipoclorito a 2% por 1 minuto, retirando o excesso com água destilada e após álcool 70% por 1 minuto novamente, foi realiza a coleta microbiana com swabs estéreis umedecidos em solução salina, friccionados em zigue-zague cruzado em toda a área do quadrante. Os swabs foram diretamente semeados diretamente na placa em ágar Sangue (*S. aureus*) e ágar MacConkey (*E. coli*), de forma que fosse possível a divisão de placas de acordo com os quadrantes estipulados na base da CSB. As placas foram incubadas a 35 ± 2 °C de 24 a 48 h, sendo o crescimento bacteriano avaliado de forma qualitativa - presença ou ausência de colonização bacteriana, e de forma quantitiva com a contagem de colônias.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a incubação de 24 h, a contaminação do inóculo do *S. aureus* permitiu o crescimento bacteriano de várias colônias nos quadrantes 1, 2 e 3 (Figura 3); por outro lado, a partir da leitura do grupo 4 (SUVSDQ) dos dois inóculos patogênicos em questão, é possível inferir que os quadrantes 1 e 4 que sofreram crescimento bacteriano do inóculo da *E. coli.*

apresentaram o crescimento de uma colônia apenas. Em contrapartida, no decorrer da incubação de 48 h, o crescimento de *S. aureus* em relação a *E. coli* foi mais significativo (Figura 3). Embora *E. coli* possa sobreviver em superfícies de aço inoxidável, *S. aureus* geralmente apresenta maior capacidade de permanência nessas superfícies, especialmente em condições secas, o que contribui para seu potencial de contaminação em ambientes hospitalares e industriais (Lim *et al*., 2019). Nos próximos parágrafos, serão abordados fatores externos e de reação que podem ter comprometido os resultados, bem como indicativos da necessidade de repetir o teste.

Para que a discussão dos resultados obtidos seja possível, é preciso avaliar a duração da sobrevivência bacteriana no ambiente conforme com o seu risco de propagação. O período de tempo correspondente depende de múltiplos fatores, entre eles as espécies bacterianas e a biocarga geral, a fonte de isolamento, o tipo de material da superfície, a temperatura ambiente, a extensão da radiação UV, o pH local, a umidade relativa do ar, a disponibilidade de água e nutrientes, a presença de noxa química, a companhia de espécies bacterianas adicionais (concorrentes) e outros fatores como pigmentação e formação de biofilme em alguns casos (Katzenberger; Rosel; Vonberg, 2021). Além disso, pontos associados à viabilidade bacteriana nas superfícies sendo, neste caso, em aço inoxidável, e também quanto ao seu tempo de permanência na mesma. Ainda que a literatura posso justificar o crescimento bacteriano mínimo a partir das contaminações dos inóculos, como o crescimento da *E. coli* não foi bem apresentado mesmo com o período de incubação de 48 h, é ideal que o teste seja repetido.

Bactérias	***Staphylococcus aureus***		***Escherichia coli***	
Tempo de incubação	**24 h**	**48 h**	**24 h**	**48 h**
GRUPO 1: CUVDQ	Nenhum crescimento bacteriano	**Q1** = 1 **Q2** = 2 **Q3** = 2 **Q4** = 2 **Q5** = 5	Nenhum crescimento bacteriano	**Q1** = 1 **Q2** = 0 **Q3** = 1 **Q4** = 0 **Q5** = 0
GRUPO 2: CUVSDQ	**Q1** = 1 **Q3** = 2 **Q4** = 3 **Q5** = 3	**Q1** = 1 **Q2** = 0 **Q3** = 2 **Q4** = 1 **Q5** = 1	**Q2** = 2	**Q1** = 0 **Q2** = 1 **Q3** = 0 **Q4** = 0 **Q5** = 0
GRUPO 3: SUVDQ	Nenhum crescimento bacteriano	**Q1** = 1 **Q2** = 0 **Q3** = 3 **Q4** = 3 **Q5** = 3	Nenhum crescimento bacteriano	**Q1** = 0 **Q2** = 0 **Q3** = 0 **Q4** = 1 **Q5** = 0
GRUP 4: SUVSDQ	**Q1** = 183 **Q2** = 186 **Q3** = 50 **Q4** = 12 **Q5** = 7	**Q1** = 550 **Q2** = 461 **Q3** = 176 **Q4** = 569 **Q5** = 647	**Q1** = 1 **Q4** = 1	**Q1** = 1 **Q2** = 0 **Q3** = 0 **Q4** = 1 **Q5** = 0

Figura 3: Descrição do crescimento bacteriano conforme tratamento de 24 h, 48 h, grupos, patógenos e quadrantes.

O controle biológico estimado para a CBS do laboratório deve apresentar valores ideais

próximos de zero ou nulos. No caso, essa condição ideal de trabalho foi estipulada na definição do CN da pesquisa que apresentou valores reduzidos ou inexistentes. Isso representa um ambiente de trabalho ideal para a manipulação de procedimentos e amostras biológicas, todavia ainda há ressalvas referentes a total esterilização, pois isso não foi possível. Entretanto, ainda que a metodologia empregada se mostre efetiva, a manutenção rigorosa das boas práticas de biossegurança permanece imprescindível para garantir a segurança e a confiabilidade da rotina laboratorial. Em contrapartida, o CP, que não recebeu nenhum tipo de tratamento, evidenciou, tanto quantitativamente quanto qualitativamente (Figura 4), a necessidade não apenas de procedimentos de esterilização, mas também de maior rigor no cuidado com o ambiente de trabalho, especialmente nas superfícies destinadas ao manuseio de amostras biológicas.

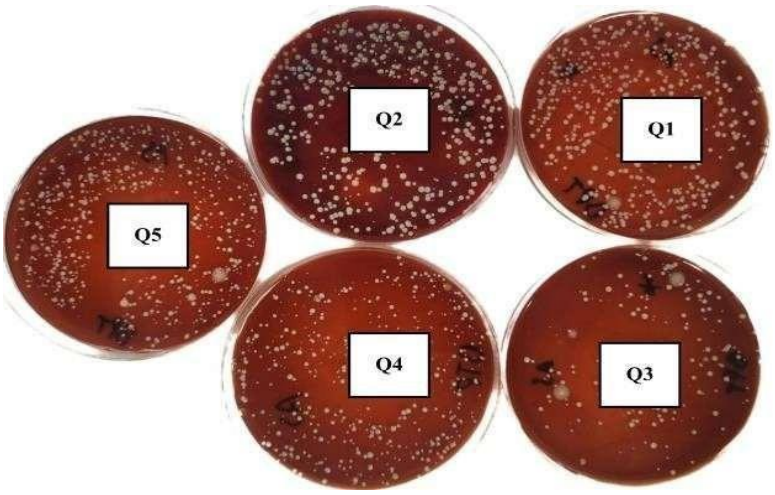


Figura 4: Demonstração do crescimento de *S. aureus* com o tratamento do grupo 4 (SUVSDQ)

Em relação aos grupos 2 (CUVSDQ) e 3 (SUVDQ), a análise comparativa entre a incidência de luz UV-C e o uso da DQ indica que, embora os resultados tenham sido bastante semelhantes para ambos os inóculos de contaminação, a luz UV-C mostrou-se mais eficaz quando utilizada isoladamente. Um comparativo entre as aplicações e ações efetivas da UV-C em relação a DQ pode justificar resultados como esse. Dessa forma, a radiação UV-C exerce efeito germicida ao induzir dímeros de timina no DNA, que bloqueiam a ação da DNA polimerase e comprometem a replicação celular, levando à morte de patógenos. No entanto, a eficiência desse processo pode variar conforme características intrínsecas, como o teor de timina no genoma, a produção de pigmentos que absorvem UV, a capacidade de formar biofilmes ou endósporos, e a presença de enzimas reparadoras como a DNA fotoliase. Além disso, fatores externos, como o tempo e a distância de exposição, bem como a natureza da superfície - especialmente quando porosa, irregular ou favorável à adesão -, influenciam diretamente a taxa de inativação e podem dificultar a higienização completa. (Palma *et al.*, 2025). A luz UV-C só esteriliza bem quando chega direto e perto da superfície. Se o feixe vem de lado, a energia se espalha e perde força; se a lâmpada fica longe, a intensidade cai muito rápido. Por isso, a esterilização completa exige que a radiação atinja de forma mais perpendicular possível e numa distância adequada, caso contrário sempre restam pontos menos expostos onde os microrganismos sobrevivem (Kohli *et al*., 2020).

Por outro lado, o hipoclorito libera ácido hipocloroso (HOCl), que é altamente reativo e ataca rapidamente componentes celulares como proteínas sendo, principalmente, resíduos de enxofre, como cisteína e metionina, grupos amina e lipídeos da membrana, comprometendo a estrutura e função das células bacterianas. As bactérias, por sua vez, possuem mecanismos de defesa contra esse estresse oxidativo, incluindo chaperonas, reguladores específicos e sistemas de enxofre redutor (Fabrizio *et al.*, 2024). Enquanto o álcool 70% com a presença de água permite melhor penetração na célula, ajuda na desnaturação das proteínas e prolonga o tempo

de contato, já que retardam a evaporação. Concentrações muito altas de álcool (>90%) evaporam rapidamente e podem coagular proteínas superficiais, dificultando a ação no interior da célula. Por isso, a faixa de 60-80% é considerada ideal para desinfecção (Boyce, 2017).

Segundo estudos, a sobrevivência de *S. aureus* em aço inoxidável pode ser de seis horas a seis semanas enquanto a de *E. coli* se encontra na margem de 14 a 60 dias, todavia em outros estudos da literatura, o tempo de permanência nas superfícies entre esses dois patógenos pode ser alterável de acordo com os fatores decorrentes citados anteriormente (Wood *et al*., 2025). Em uma avaliação ampliada referente a materiais de superfícies comumente compartilhadas entre laboratórios e hospitais, como o aço inoxidável, mantê-las minimamente estéreis apresenta diversas dificuldades, incluindo a eficácia ainda incerta de tecnologias emergentes como luz UV-C, organossilano e plasma frio, que necessitam de maior avaliação e padronização para aplicação prática (Oringanje *et al*., 2024; Nassar Júnior *et al.*, 2025; Fallon *et al*., 2022). Além disso, a persistência de microrganismos resistentes, como *Clostridioides difficile*, *S. aureus* resistente à meticilina (MRSA) e *Candida albicans*, que formam biofilmes, dificulta a descontaminação completa, especialmente em superfícies frequentemente tocadas (Kato *et al.*, 2021; Borji *et al*., 2022).

A inconsistência nas práticas de limpeza e desinfecção, decorrente de lacunas em treinamento e fiscalização, contribui para a variabilidade na prevalência de contaminação em ambientes hospitalares (Kato *et al.*, 2021). Outro fator agravante é a infraestrutura inadequada e superfícies danificadas, que impedem uma limpeza eficaz e a implementação de tecnologias avançadas (Nassar Júnior *et al.*, 2025). A combinação de hipoclorito ou álcool com luz UV-C é eficaz na desinfecção, pois os químicos eliminam microrganismos em áreas onde a UV-C não alcança, enquanto a UV-C atua nas superfícies expostas. Essa combinação permite usar doses menores de UV-C e concentrações químicas mais baixas, reduzindo danos ao material e impacto ambiental. Além disso, melhora a ação contra biofilmes e esporos e dificulta o surgimento de resistência microbiana. Estudos mostram que o método combinado é mais eficaz que o uso isolado, sendo recomendado especialmente em ambientes hospitalares críticos, como UTIs (Von Hertwig; Prestes; Nascimento, 2023). Por fim, a eficácia da desinfecção depende de estratégias integradas que combinam tecnologia, protocolos rigorosos, capacitação contínua e melhorias estruturais, já que abordagens isoladas têm se mostrado insuficientes para garantir a esterilidade mínima das superfícies hospitalares (Oringanje *et al*., 2024; Fallon *et al*., 2022).

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que a desinfecção de superfícies de aço inoxidável contaminadas por *S. aureus* e *E. coli* permanece um desafio significativo, uma vez que nenhum dos métodos avaliados demonstrou esterilização completa. As práticas laboratoriais e hospitalares demandam, com urgência, alternativas eficazes de esterilização. Embora os métodos atualmente disponíveis, como o avaliado neste estudo, apresentem resultados compatíveis com as condições esperadas para a rotina e fatores externos envolvidos, torna-se evidente a necessidade de avanços futuros que aprimorem esses processos, de modo a alcançar a esterilidade plena e confiável A aplicação isolada da radiação UV-C apresentou maior eficácia germicida em comparação com a DQ, mas sua efetividade foi limitada por fatores como a incidência da luz, a distância da fonte e as características intrínsecas dos microrganismos. Por outro lado, o uso de hipoclorito de sódio e álcool 70% mostrou ação microbicida relevante, porém restrita pela capacidade de defesa bacteriana frente ao estresse oxidativo e pelas limitações de penetração em biofilmes. Nesse contexto, a associação entre UV-C e desinfecção química demonstrou-se a estratégia mais promissora, já que integra mecanismos complementares de ação, amplia a abrangência sobre áreas de

difícil acesso e reduz a chance de sobrevivência bacteriana residual.

Assim, a adoção de protocolos combinados e integrados de desinfecção, aliados a rigorosos procedimentos de biossegurança, representa a abordagem mais consistente para mitigar a contaminação cruzada em ambientes laboratoriais e hospitalares. Contudo, as variações observadas entre os tratamentos ressaltam a necessidade de novos estudos com padronização metodológica, avaliação quantitativa da redução microbiana e testes em diferentes condições de superfície. A busca por soluções eficazes e sustentáveis, que conciliem tecnologia, custo- benefício e impacto ambiental, é necessária frente ao crescimento da RAM e ao risco de disseminação de patógenos multirresistentes em ambientes críticos de saúde.

REFERÊNCIAS

BORJI, Soroush *et al*. Prevalence of Clostridioides difficile contamination in the healthcare environment and instruments: A systematic review and meta-analysis. **Germs**, v. 12, n. 3, p. 361–371 2022. DOI: 10.18683/germs.2022.1340. Disponível em: , https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10482474/.

BOYCE, John M. Alcohols as surface disinfectants in healthcare settings. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, v. 39, n. 3, p. 323-328, 2018. DOI: 10.1017/ice.2017.301.
Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29374503/.

CHEUNG, GORDON Y. C.; BAE, JUSTIN S.; OTTO, MICHAEL. Pathogenicity and virulence of *Staphylococcus aureus*. **Virulence**, v. 12, n. 1, p. 547–569, 31 jan. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1080/21505594.2021.1878688.

CIOLACU, L., ZAND, E., NEGRAU, C., & JAEGER, H. Bacterial Attachment and Biofilm Formation on Antimicrobial Sealants and Stainless Steel Surfaces. **Foods** , v. 11, n.19, p.
3096, 2022. **https://doi.org/10.3390/foods11193096.**

FABRIZIO, Giorgia; SIVORI, Francesca; CAVALLO, Ilaria; TRUGLIO, Mauro; TOMA, Luigi; SPERATI, Francesca; FRANCALANCIA, Massimo; OBREGON, Francisco; PAMPARAU, Luisa; KOVACS, Daniela; PIMPINELLI, Fulvia; DI DOMENICO, Enea Gino. Efficacy of sodium hypochlorite in overcoming antimicrobial resistance and eradicating biofilms in clinical pathogens from pressure ulcers. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p.
1432883, 2024. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1432883. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2024.1432883/full.

FALLON, Muireann *et al*. Technologies to decontaminate bacterial biofilm on hospital surfaces: a potential new role for cold plasma? **Journal of Medical Microbiology**, [S. l.], 2022. DOI: 10.1099/jmm.0.001582. Disponível em: https://doi.org/10.1099/jmm.0.001582.

FRÓIS, A., CARDOSO, E., MORAIS, PV, FRANCISCO, R., & LOURO, CS. In Vitro Bacterial Adhesion on 316L Medical Grade Stainless Steel with Two Surface Finishes.

Materials Proceedings, v. 8, n. 1, p. 49, 2022. **https://doi.org/10.3390/materproc2022008049.**

GENZ, T. B.; CALLAI, T.; SCHLESENER, V. R. F.; DE OLIVEIRA, C. F.; RENNER, J. D. P. Eficácia antibacteriana de agentes de limpeza na desinfecção de superfícies de consultórios odontológicos. **Revista da Faculdade de Odontologia - UPF**, v. 22, n. 2, 2017. DOI: 10.5335/rfo.v22i2.6781. Disponível em: https://seer.upf.br/index.php/rfo/article/view/678.

KATO, Hideo *et al*. A systematic review and meta-analysis of decontamination methods to prevent hospital environmental contamination and transmission of *Clostridioides difficile*. **Anaerobe**, 2021. DOI: 10.1016/j.anaerobe.2021.102478. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34808391/.

KATZENBERGER, Ruth Hanna; RÖSEL, Anja; VONBERG, Ralf-Peter. Sobrevivência bacteriana em superfícies inanimadas: um estudo de campo. **BMC Research Notes**, v. 14, p. 97, 15 mar. 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s13104-021-05492-0. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7962391/.

LIM, Sung-Min et al. Survival of foodborne pathogens on stainless steel soiled with different food residues. **Food Control**, v. 112, p. 107133, 2020. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107133. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7221015/.

MOORE, G.; GRIFFITH, C. A comparison of surface sampling methods for detecting coliforms on food contact surfaces. **Food Microbiology**, v. 19, n. 1, p. 65-73, 2002. DOI: https://doi.org/10.1006/fmic.2001.0464.

NASSAR JUNIOR, Antonio Paulo *et al*. Organosilane for surface cleaning in intensive care units: protocol for a cluster randomized controlled trial with crossover. **Critical Care Science**, v. 37, p. e20250319, 07 jan. 2025. DOI: 10.62675/2965-2774.20250319. Disponível em: https://doi.org/10.62675/2965-2774.20250319.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. WHO Bacterial Priority Pathogens List of Antibiotic-Resistant Bacteria to Guide Research, Discovery, and Development of New Antibiotics. **Genebra: OMS**, 2024. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-Bacterial-Priority-2024.

ORINGANJE, Chioma M *et al*. Ultraviolet germicidal irradiation for surface cleaning of COVID-19 in healthcare settings: A review. **Journal of Public Health in Africa**, v. 16, n. 2, p. 572, 2024. DOI: 10.4102/jphia.v16i2.572. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11905184/.

PALMA, Francesco; DÍAZ-NAVARRO, Marta; VISEDO, Andrés; SANZ-RUÍZ, Pablo; BRANDI, Giorgio; SCHIAVANO, Giuditta Fiorella; GUEMBE, María. *Assessment of the anti-biofilm effect of UV-C irradiation (254 nm) against healthcare associated infections related microorganisms*. **Frontiers in Microbiology**, v. 16, p. –, 2025. DOI: 10.3389/fmicb.2025.1570334.

POLAT, ECE; KANG, KYUNGSU. Natural photosensitizers in antimicrobial photodynamic therapy. **Biomedicines**, v. 9, n. 6, p. 584, 2021. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34063973/.

SONGMEI WU, STEFANIE ALTENRIED, ANDI ZOGG, FLAVIA ZUBER, KATHARINA MANIURA-WEBER, QUN REN. Role of the Surface Nanoscale Roughness of Stainless Steel on Bacterial Adhesion and Microcolony Formation. **Omega ACS**, v. *3,* n. 6, p. 6456- 6464,2018. https://doi.org/10.1021/acsomega.8b00769.

UEDA, Yutaka *et al*. Inhibitory effects of polysorbate 80 on MRSA biofilm formed on different substrates including dermal tissue. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-39997-3.

VARGOVÁ, M., ZIGO, F., VÝROSTKOVÁ, J., VESZELITS LAKTIČOVÁ, K., BURŠOVÁ, Š., & ONDRAŠOVIČOVÁ, S. Biofilm formation by *Staphylococcus aureus* on stainless steel surfaces and evaluation of its sensitivity to sanitizers. **Acta Veterinária Brno,** v. 92, n.2, p. 189-196, 2023. **https://doi.org/10.2754/avb2023920201.**

VON HERTWIG, Aline M.; PRESTES, Flavia S.; NASCIMENTO, Maristela S. Comparative evaluation of the effectiveness of alcohol-based sanitizers, UV-C radiation and hot air on three-age Salmonella biofilms. **Food Microbiology**, 2023. DOI: 10.1016/j.fm.2023.104278. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37098425/.

WIßMANN, Jan Erik; KIRCHHOFF, Lisa; BRÜGGEMANN, Yannick; TODT, Daniel; STEINMANN, Joerg; STEINMANN, Eike. Persistence of pathogens on inanimate surfaces: a narrative review. **Microorganisms**, v. 9, n. 2, p. 343, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/microorganisms9020343. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7916105/.

WOOD, Joseph *et al*. Sterilization of stainless-steel surfaces using ultraviolet radiation produced by light-emitting diodes. **American Journal of Infection Control**, 2024. DOI: https://doi.org/10.1177/15311074251365196.