REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE IRRADIÂNCIA UV-C EM ENFERMARIAS HOSPITALARES: ANÁLISE DE SUPERFÍCIES CRÍTICAS EM FUNÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E DA GEOMETRIA ESPACIAL DO AMBIENTE

SIMULATION OF UV-C IRRADIANCE DISTRIBUTION IN HOSPITAL WARDS: ANALYSIS OF CRITICAL SURFACES AS A FUNCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS AND WARD SPATIAL GEOMETRY

SIMULACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE IRRADIÂNCIA UV-C EN SALAS HOSPITALARIAS: ANÁLISIS DE SUPERFICIES CRÍTICAS EN FUNCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y LA GEOMETRÍA ESPACIAL DE LA SALA

Nick Peterson Santos Farias[1], Rodrigo Paz Barros[2], Pedro Felix Liotto[3], Thamires Ohana C. Lima Liotto[4], Laerte Melo Barros[5]

e737297
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i3.7297

PUBLICADO: 03/2026

RESUMO

A radiação UV-C tem sido amplamente investigada como estratégia de desinfecção de ambientes hospitalares, devido à sua eficácia germicida. A interação entre materiais de construção e a geometria espacial das enfermarias influencia diretamente a distribuição da irradiância e, consequentemente, a eficiência do processo de inativação microbiológica. Este estudo teve como objetivo realizar a simulação da distribuição de irradiância UV-C em enfermarias hospitalares por meio do software Dialux Evo, utilizando dados fotométricos de luminárias específicas do espectro UV-C. Foram gerados mapas e análises comparativas considerando propriedades físicas dos materiais, como grau de reflexão e espelhamento, bem como diferentes configurações volumétricas do ambiente. Para adequação radiométrica, os valores originalmente fornecidos em iluminância (lux) foram convertidos em irradiância UV-C (mW/m²) por meio de calibração proporcional. Considerando uma dose germicida de referência de 75 J/m², os resultados indicaram que o tempo estimado de exposição necessário para atingir essa dose foi de aproximadamente 1 minuto e 4 segundos, evidenciando viabilidade técnica para aplicação controlada da tecnologia. Ajustes volumétricos demonstraram influência significativa na redução de zonas de sombreamento e na melhoria da distribuição da irradiância sobre superfícies críticas.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação Radiométrica. Materiais de Construção. Geometria Espacial. Desinfecção Hospitalar.

ABSTRACT

UV-C radiation has been increasingly investigated as a strategy for hospital environmental disinfection due to its germicidal effectiveness. The interaction between construction materials and ward spatial geometry directly influences irradiance distribution and, consequently, microbial inactivation efficiency. This study aimed to simulate the distribution of UV-C irradiance in hospital wards using Dialux Evo software, incorporating photometric data from UV-C luminaires. Spatial

[1] Graduação em Engenharia Civil, Instituto Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.
[2] Graduação em Engenharia Civil, Universidade Nilton Lins, Manaus, Amazonas, Brasil.
[3] Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
[4] Doutoranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
[5] Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

maps and comparative analyses were generated considering material properties such as reflectance and specular behavior, as well as different volumetric configurations. For radiometric consistency, illuminance values (lux) provided by the software were converted into UV-C irradiance (mW/m²) through proportional calibration. Considering a reference germicidal dose of 75 J/m², the simulation results indicated an estimated exposure time of approximately 1 minute and 4 seconds to achieve the required dose, demonstrating technical feasibility for controlled implementation. Volumetric adjustments significantly reduced shadowed regions and improved irradiance distribution over critical surfaces.

KEYWORDS: *UV-C Irradiance. Radiometric Simulation. Construction Materials. Spatial Geometry. Hospital Disinfection.*

RESUMEN
La iluminación UV-C ocupa un lugar cada vez más importante en la investigación destinada a la desinfección de entornos, incluidos los hospitales. La relación entre los materiales de construcción y la correcta distribución volumétrica del entorno hospitalario demuestra que pequeñas modificaciones en estudios como este pueden tener un impacto significativo. Este trabajo pretende realizar una simulación de la iluminación UV-C mediante el software Dialux Evo. Mediante la inserción de datos de luminarias con espectro UV-C específico, se generan mapas, gráficos y datos que permiten realizar análisis del entorno, comparando las características físicas de los materiales, como el grado de reflexión y la duplicación, y su contribución a la eficacia de la tecnología UV-C como agente actínico. La selección de las mejores características de los materiales en el entorno, así como su composición en general, no es el objetivo de este trabajo; sirve de base para la inserción de datos sobre su composición. Esta investigación sugiere ajustes volumétricos que han demostrado una importante relación con una mejor distribución de la irradiación. Fue necesario ajustar las unidades, adaptando las características del software que proporciona datos en lux y correlacionándolos con la irradiância en mW/m². A través de los datos recopilados con la simulación, fue posible identificar el tiempo de exposición necesario para la iluminación germicida en hasta 1 minuto y 4 segundos.

PALABRAS CLAVE*: Irradiância UV-C. Simulación Radiométrica. Materiales de Construcción. Geometría Espacial. Desinfección Hospitalaria.*

INTRODUÇÃO

Pesquisas relacionadas à iluminação UV-C aplicada como agente germicida vêm sendo desenvolvidas há alguns séculos, e é cada vez mais conclusiva a sua eficácia como contribuinte ativo na contenção de agentes patógenos, como vírus e bactérias (Kowalski, 2009). As pesquisas sobre o tema tiveram frequências variadas no século passado (USEPA, 2006) e já tiveram como foco, por exemplo, a descontaminação da água para que esta se tornasse potável. A aplicação desse tipo de iluminação como agente germicida em ambientes hospitalares teve início em meados do século XX (Kowalski, 2009), e até o início dos anos 2000, mais de 500 instituições já utilizavam essa tecnologia com essa finalidade (USEPA, 2006).

Os ambientes hospitalares, principalmente as superfícies frequentemente tocadas, desempenham um papel central na propagação de infecções relacionadas à assistência à saúde, além de servirem como reservatórios de microrganismos resistentes a múltiplos medicamentos. A pandemia de COVID-19 intensificou esse desafio, evidenciando ainda mais a importância de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

manter condições de higiene rigorosas nos serviços de saúde (Maugeri. *et al.*, 2025). Considerando que o SARS-CoV-2 e outros microrganismos podem permanecer viáveis por dias ou até mais tempo em superfícies, as tecnologias de desinfecção sem contato vêm ganhando destaque como complemento aos métodos tradicionais de limpeza. Essas soluções aumentam a eficiência da higienização e contribuem para a redução da disseminação de patógenos (Carling; Huang, 2013).

De acordo com Vickery *et al.,* (2012), mesmo com protocolos corretos, de 5% a 30% das superfícies ainda podem permanecer contaminadas após os procedimentos manuais de desinfecção. Isso ocorre devido a fatores como tempo de contato inadequado do desinfetante, diluições impróprias das soluções, elevada rotatividade de profissionais nos hospitais, além da possibilidade de introdução de novos microrganismos durante os cuidados e da reutilização de panos e soluções já contaminados. Outro obstáculo importante está na limitação dos desinfetantes e detergentes convencionais em eliminar totalmente biofilmes em superfícies secas. Esses pontos críticos reforçam a necessidade de incorporar tecnologias sem contato como suporte à limpeza terminal, tornando-se práticas cada vez mais comuns em hospitais. Nesse cenário, diferentes equipamentos têm sido utilizados, sendo a irradiação por luz ultravioleta uma das estratégias mais eficazes para reduzir a contaminação em superfícies frequentemente manuseadas (Anderson *et al.*, 2017; Boyce; Donskey, 2019).

Em contexto hospitalar, superfícies e equipamentos podem atuar como reservatórios de microrganismos, favorecendo a permanência de vírus e bactérias por períodos prolongados, tornando o ambiente físico um componente ativo na cadeia de transmissão de infecções relacionadas à assistência à saúde (Freire *et al.*, 2024). Segundo os autores, a eficácia dos processos convencionais de higienização depende de variáveis humanas e operacionais, como protocolos, treinamento e aderência às rotinas de limpeza, fatores que podem comprometer a completa desinfecção do ambiente. Estudos indicam que pacientes expostos a ambientes previamente ocupados por indivíduos colonizados ou infectados apresentam risco significativamente aumentado de contaminação quando os procedimentos de higienização não são adequadamente executados, evidenciando limitações inerentes à limpeza manual e justificando a adoção de tecnologias complementares, como a radiação UV-C.

Não menos relevante é a consideração de que cada vez mais patógenos têm se tornado resistentes aos métodos convencionais de contenção e eliminação. A recente pandemia traz à luz a necessidade de revisar métodos e ações atuais para contenção de agentes contaminantes, bem como mostra a importância do ambiente hospitalar como um local que deve ser seguro e com menor participação na cadeia de transmissão de patógenos:

Para a prevenção de infecções nosocomiais, é necessário que as unidades de saúde adotem práticas rigorosas de controle ambiental, como a utilização de materiais que possam ser

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

facilmente higienizados e a garantia de circulação adequada do ar, de modo a reduzir riscos de contaminação cruzada (Anvisa, 2002, p. 1).

Testes de controle biológico relacionados à contaminação e descontaminação de superfícies envolvendo iluminação UV-C devem levar em consideração a própria composição do material a que se pretende analisar. Alguns materiais, como metais, por exemplo, já possuem em sua própria composição propriedades germicidas, o que contribui diretamente em ações de descontaminação do ambiente. Visto isso, compreende-se a devida importância de analisar os materiais de uso frequente e adequados aos ambientes hospitalares (Kowalski, 2009).

Pela lógica, materiais de superfície menos rugosas e mais lisas, nos quais a irradiação encontra menos dificuldade para ser dispersa por completo, apresentam maior facilidade de eliminação de patógenos, ao mesmo passo que superfícies mais rugosas necessitam de um tempo maior para que a referida eliminação de patógenos ocorra (Gertler *et al.*, 2020).

Hoje, a disponibilidade de equipamentos de iluminação UV-C que possuem efeitos germicidas é alta, e esses equipamentos são também acessíveis, tendo sua aplicabilidade adequada a cada função/ambiente em que se deseja instalá-los.

Todas as lâmpadas UV germicidas irão produzir comprimentos de onda de UV-C (100-280 nm), UVB (280-320 nm) ou ambos (UV-C/UVB). Comprimentos de onda de UVA (320-400 nm) não são germicidas e lâmpadas UVA (ou seja, lâmpadas negras e lâmpadas solares) não são consideradas lâmpadas UVGI e não são abordadas neste capítulo. Lâmpadas UVGI são comumente chamadas de lâmpadas UV e esses termos são usados de forma intercambiável ao longo deste livro. Vários tipos de lâmpadas UV estão atualmente em uso para aplicações de desinfecção de ar e superfícies, incluindo lâmpadas UV de pressão média (MP) padrão, que produzem comprimentos de onda UV-C/UVB em faixa larga, lâmpadas UV de baixa pressão (LP) que produzem comprimentos de onda UV-C em faixa estreita, lâmpadas UV de micro-ondas e diodos emissores de luz (LEDs) (Kowalski, 2009).

Tendo em vista o maior número de informações e produtos a respeito desse sistema, é possível combinar fatores e dados específicos para os ambientes hospitalares, foco desta pesquisa, como as enfermarias de pequeno porte. A partir dos comprimentos de onda específicos da radiação UV-C e dados informados pelos fabricantes, como a Philips, por exemplo, hoje é possível cruzar dados a respeito da eficácia desses sistemas como agentes actínicos.

Esta pesquisa tem como objetivo geral a análise de dados oriundos da simulação virtual em softwares como o Dialux Evo, no qual é possível incluir dados dos equipamentos e comprimentos de onda específicos a que se pretende testar, bem como é possível também incluir dados do ambiente de forma abrangente, desde os materiais como piso, parede e teto, até os mobiliários específicos dos ambientes de enfermaria hospitalar.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Em trabalho anterior, Farias (2025) analisou os materiais de construção presentes em ambientes de enfermaria e UTI, bem como classificou os mais indicados quando relacionados à sua contribuição para eficácia da esterilização de ambientes ao aplicar iluminação UV-C. Farias (2025) analisa características como refletância e porosidade e afirma que essas estão diretamente ligadas à distribuição da radiação UV-C em ambientes confinados.

A partir de dados classificados por Farias (2025), para esta pesquisa utilizam-se materiais previamente selecionados como pisos, paredes e tetos com revestimentos comuns em hospitais, incluindo borracha hospitalar, cerâmica, tinta antimicrobiana fosca e forro de gesso acartonado, com foco em suas propriedades de refletância e absorção da radiação UV-C.

Este é um estudo que busca encontrar dados relacionados à distribuição da iluminação UV-C em enfermarias hospitalares, apontando pontos ou características críticas do ambiente em que a iluminação não é aplicada suficientemente. Através da simulação luminotécnica e do uso de softwares específicos, será possível apresentar mapas de irradiância e doses de UV-C nas superfícies do ambiente. Ao identificar áreas com menor cobertura da radiação, é possível a proposição de diretrizes para adequação de materiais e luminárias em projetos desse segmento. Não deve ser levada em consideração a desinfecção do ar por sistemas de ventilação ou experimentos realizados em laboratório; portanto, esta pesquisa limita-se à obtenção de dados essencialmente computacionais com foco em enfermarias.

Entretanto, apesar dos avanços na caracterização dos materiais e na modelagem da distribuição da radiação, observa-se uma lacuna no que tange à análise integrada entre as propriedades específicas dos revestimentos (refletância e absorção) e a efetiva distribuição espacial da dose germicida em leitos de enfermaria. Estudos anteriores, como o de Farias (2025), classificaram materiais quanto à sua adequação, mas não simularam, em ambiente virtual tridimensional, o comportamento da irradiação UV-C considerando, simultaneamente, a geometria do leito, o posicionamento das luminárias e as características ópticas dos materiais. Dessa forma, a presente pesquisa busca preencher essa lacuna ao investigar, por meio de simulação computacional, como diferentes combinações de revestimentos interferem na uniformidade e na intensidade da dose UV-C incidente sobre superfícies críticas em enfermarias, contribuindo para o aprimoramento de protocolos de desinfecção ambiental e para o desenvolvimento de diretrizes projetuais mais eficazes.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

A radiação ultravioleta (UV) é uma forma de radiação eletromagnética que ocupa a região do espectro entre a luz visível e os raios X, com comprimentos de onda que variam de aproximadamente 10 ou 100 nm até 400 nm, dependendo do sistema de classificação utilizado.

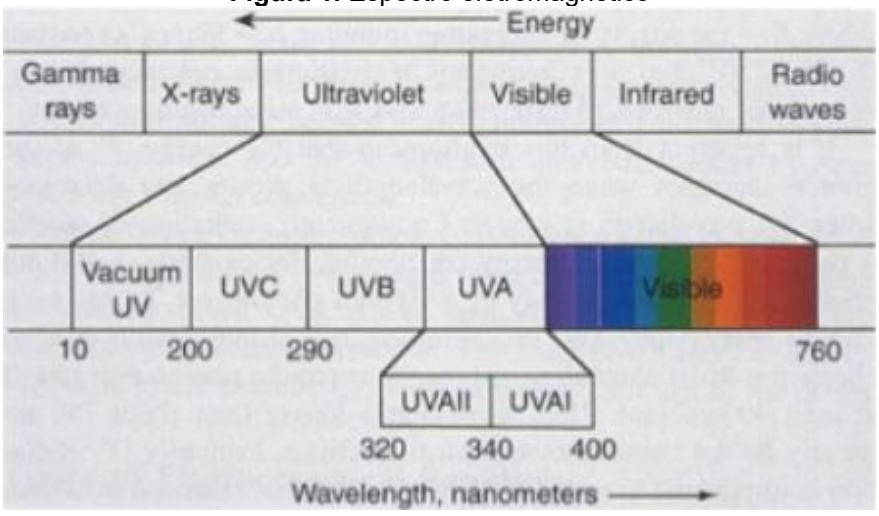
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Diversas fontes consistentemente situam a faixa UV entre 100 e 400 nm, observando que ela é mais curta (Rana *et al*., 2024; Dhangar *et al*., 2024).

Dentro do espectro eletromagnético, a radiação ultravioleta (UV) compreende a faixa de comprimentos de onda situada entre aproximadamente 10 e 400 nm, posicionando-se entre a radiação visível e os raios X, sendo caracterizada por elevada energia fotônica e significativa capacidade de interação com a matéria. O espectro ultravioleta, quando considerado fora do vácuo, é tradicionalmente subdividido em três regiões principais em função do comprimento de onda: a radiação UV-C, compreendida entre 200 e 290 nm, reconhecida por seu elevado potencial germicida; a radiação UV-B, situada entre 290 e 320 nm, associada a efeitos biológicos relevantes, como alterações cutâneas e processos fotoquímicos; e a radiação UV-A, que abrange a faixa de 320 a 400 nm, apresentando maior comprimento de onda e menor energia relativa. A radiação UV-A pode ainda ser subdividida em UVA2, correspondente ao intervalo de 320 a 340 nm, e UVA1, entre 340 e 400 nm, distinção esta relevante em aplicações biomédicas e fototerapêuticas. De modo complementar, a radiação UV-B também pode ser classificada em UVB de banda larga (UVB-BB) e UVB de banda estreita (UVB-NB), sendo esta última caracterizada por uma emissão quase monocromática centrada em aproximadamente 312 nm, amplamente empregada em aplicações terapêuticas controladas, Figura 1. Essa segmentação espectral é fundamental para a compreensão dos diferentes efeitos físicos, biológicos e tecnológicos associados à radiação ultravioleta, bem como para a adequada seleção de fontes luminosas em aplicações específicas, como a desinfecção ambiental por UV-C. (Rana *et. al.,* 2024; Teske; Jacobe, 2016; Ouellette; Rawn, 2018).

Figura 1. Espectro eletromagnético



Fonte: (Teske e Jacobe, 2016).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

A radiação UV-C, compreendida na faixa de 200 a 280 nm, apresenta elevada eficácia germicida por atuar diretamente sobre o material genético dos microrganismos, promovendo alterações estruturais irreversíveis no DNA e no RNA. Essa interação ocorre, sobretudo, pela absorção dos fótons de UV-C pelas bases nitrogenadas, com maior eficiência nos comprimentos de onda próximos a 250–260 nm, região na qual se observa o pico máximo de absorção dos ácidos nucleicos. (Shinde *et al.*, 2025; Kumar *et al.*, 2025). Como consequência dessa absorção energética, formam-se dímeros de pirimidina, especialmente dímeros de timina, que comprometem os processos de replicação e transcrição celular, inviabilizando a multiplicação e levando à inativação de bactérias, vírus e fungos. Esse mecanismo fotoquímico independe da resistência do microrganismo a agentes químicos, o que torna a radiação UV-C particularmente eficiente contra patógenos multirresistentes. Em razão dessa elevada capacidade de desinfecção, a tecnologia UV-C tem sido amplamente empregada em ambientes hospitalares, laboratórios de pesquisa, sistemas de tratamento de ar e água, além de processos industriais que demandam rigoroso controle microbiológico, consolidando-se como uma alternativa eficaz, rápida e complementar aos métodos tradicionais de esterilização química (Skudra *et al.,* 2022).

A eficácia da ação germicida da radiação UV-C está diretamente associada à dose de radiação recebida pelo microrganismo, a qual é expressa em termos de energia por unidade de área, geralmente representada em mJ/cm² ou J/m². Essa dose resulta da combinação entre dois parâmetros fundamentais: a irradiância, que corresponde à intensidade da radiação incidente sobre uma superfície, expressa em W/m² ou mW/cm², e o tempo de exposição ao qual essa superfície é submetida. Assim, a dose efetiva de UV-C pode ser matematicamente definida como o produto entre a irradiância e o tempo de exposição, sendo esse valor determinante para a inativação microbiana (Chiappa *et al*., 2021; Baysal, 2018). Entretanto, a irradiância não é constante no espaço, sofrendo redução à medida que aumenta a distância entre a fonte emissora de UV-C e o alvo, em conformidade com os princípios de propagação da radiação eletromagnética. Esse decaimento da intensidade luminosa implica uma diminuição proporcional da dose recebida, o que pode comprometer a eficiência do processo de desinfecção caso não haja um adequado dimensionamento do sistema. Dessa forma, o correto posicionamento das fontes de UV-C, aliado ao controle do tempo de exposição, torna-se essencial para garantir que a dose mínima necessária à inativação dos microrganismos seja efetivamente alcançada (Antonio-Gutiérrez *et al*., 2019; Chiappa *et al*., 2021).

Para Paulescu e Badescu (2025), a radiometria é o ramo da ciência responsável pela medição da energia associada à radiação eletromagnética em toda a sua extensão espectral, abrangendo desde o ultravioleta até o infravermelho, sem qualquer relação com a percepção visual humana. As grandezas radiométricas são fundamentadas em unidades físicas absolutas, como o watt (W), e descrevem quantitativamente a potência radiante emitida, transmitida, refletida

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ou absorvida por uma superfície, permitindo a análise precisa de fenômenos energéticos associados à radiação. Entre essas grandezas destacam-se a potência radiante, a irradiância e a radiância, amplamente utilizadas em aplicações científicas e tecnológicas, como no estudo da radiação UV-C para fins germicidas. Em contraposição, a fotometria constitui o campo da óptica que avalia a luz a partir da sensibilidade do olho humano, considerando apenas o espectro visível e ponderando as medições conforme a curva de resposta visual fotópica. Assim, enquanto a radiometria fornece uma descrição física objetiva da radiação, a fotometria está diretamente relacionada à percepção luminosa, utilizando grandezas como lúmen e lux. Essa distinção é fundamental em estudos envolvendo radiação ultravioleta, uma vez que, por não ser perceptível ao olho humano, sua análise deve necessariamente basear-se em parâmetros radiométricos, e não fotométricos, para garantir precisão na quantificação energética e na avaliação de seus efeitos biológicos e tecnológicos (Kirkpatrick, 2005).

Os metais, em especial o aço inoxidável, apresentam comportamento óptico caracterizado por elevada capacidade de reflexão da radiação UV-C quando comparados a outros materiais de construção, o que pode contribuir para a redistribuição da radiação em ambientes fechados e, consequentemente, favorecer a desinfecção indireta de áreas sombreadas. Estudos indicam que superfícies metálicas refletem parte significativa da radiação incidente, embora a intensidade refletida seja inferior àquela recebida diretamente, o que implica uma eficiência germicida reduzida nessas regiões secundárias. Ainda assim, a presença de superfícies metálicas pode auxiliar na ampliação da cobertura da radiação UV-C, desde que o tempo de exposição seja adequado (Zeinali; Platt, 2025). Em contrapartida, determinados materiais metálicos, como o próprio aço, podem demandar tempos de exposição mais prolongados para alcançar níveis de inativação microbiológica equivalentes aos observados em superfícies cerâmicas ou poliméricas, especialmente quando há presença de biofilmes ou microrganismos mais resistentes. Revestimentos cerâmicos e vidro-cerâmicos, por sua vez, apresentam elevada estabilidade físico-química em função de sua matriz vítrea, mantendo suas propriedades mesmo após exposições repetidas à radiação UV-C. Já tintas e polímeros, particularmente os de base acrílica, mostram-se mais suscetíveis à fotodegradação induzida pela radiação ultravioleta, manifestando alterações como amarelamento, perda de brilho, redução da integridade superficial e envelhecimento precoce do material, fatores que devem ser considerados no planejamento de ambientes submetidos a processos frequentes de desinfecção por UV-C (Gülen *et al*., 2022; Mitxelena-Iribarren *et al*., 2022).

A troca de energia radiativa entre superfícies depende de seus tamanhos, distâncias de separação, orientação e visibilidade mútua. A presença de móveis e divisórias também influencia a geometria do ambiente, afetando os padrões de fluxo de ar e a dispersão de contaminantes, que estão intimamente ligados à forma como a radiação UV-C se distribui no espaço. Uma análise

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

precisa dos efeitos da radiação térmica requer modelos de ambientes realistas que considerem esses fatores geométricos (Li; Yan; Tu, 2019).

A simulação computacional constitui uma ferramenta fundamental para a análise do comportamento da radiação UV-C em ambientes internos, especialmente no contexto do projeto, dimensionamento e avaliação de sistemas de iluminação voltados à desinfecção ambiental, uma vez que possibilita a visualização prévia da distribuição da radiação e a identificação de zonas de maior ou menor exposição. Dentre as diversas ferramentas disponíveis, o *software* Dialux Evo destaca-se por sua ampla aceitação no meio técnico e acadêmico, em virtude de sua capacidade avançada de modelar ambientes arquitetônicos tridimensionais e simular, com elevado grau de precisão, a propagação da luz em diferentes condições geométricas e materiais. O Dialux Evo permite a inserção de dados fotométricos reais de luminárias, a definição de propriedades ópticas das superfícies e a análise detalhada da distribuição espacial da iluminação, por meio de mapas, gráficos e relatórios técnicos. Embora originalmente desenvolvido para aplicações de iluminação visível, o software pode ser adaptado para estudos envolvendo radiação UV-C mediante ajustes conceituais e interpretações adequadas dos parâmetros radiométricos, possibilitando a reprodução de cenários próximos à realidade. Dessa forma, sua utilização contribui significativamente para a avaliação do desempenho de sistemas de desinfecção por UV-C, permitindo otimizar o posicionamento das fontes luminosas, analisar a influência da geometria do ambiente e estimar a eficiência da distribuição da radiação antes da implementação física do sistema (Zhao *et al.*, 2026; Scorpio *et al.*, 2022).

2. MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza quantitativa e abordagem exploratória, desenvolvida por meio de simulação computacional, com o objetivo de analisar a distribuição da radiação UV-C em ambiente hospitalar e sua relação com a eficácia da desinfecção de superfícies.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática, contemplando artigos científicos, normas técnicas e publicações especializadas relacionadas à radiação ultravioleta, desinfecção ambiental, propriedades ópticas de materiais e aplicações da tecnologia UV-C em ambientes hospitalares. Essa etapa permitiu a definição dos parâmetros físicos, materiais e operacionais adotados na simulação.

Na sequência, procedeu-se à modelagem tridimensional de uma enfermaria hospitalar padrão, utilizando o software de simulação luminotécnica Dialux Evo. O ambiente foi configurado com base em recomendações técnicas para unidades de internação, considerando dimensões típicas, *layout* funcional e materiais compatíveis com ambientes hospitalares. Foram adotados, para fins de simulação, piso em borracha hospitalar, paredes com pintura epóxi, forro em gesso

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

acartonado com acabamento epóxi antimicrobiano, além de mobiliário compatível com uso clínico, todos previamente descritos na literatura como adequados para ambientes submetidos à radiação UV-C.

As luminárias germicidas utilizadas na simulação foram selecionadas com base em dados técnicos do fabricante, sendo consideradas suas características espectrais, potência nominal e distribuição luminosa. O software Dialux Evo, embora originalmente desenvolvido para simulações fotométricas no espectro visível, foi empregado mediante adaptação conceitual dos resultados, uma vez que seus dados são expressos em iluminância (lux), enquanto a análise da radiação UV-C exige a avaliação da irradiância (mW/m²).

Para viabilizar essa conversão, foi adotada uma relação proporcional entre os valores de iluminância fornecidos pelo software e a irradiância UV-C informada pelo fabricante da luminária, conforme a expressão:

$$E_{UV-C} = \left(\frac{L_{ponto}}{L_{ref}}\right) X\ E_{ref}$$

onde:

E_{UV-C} representa a irradiância UV-C no ponto analisado (mW/m²);

L_{ponto} é o valor de iluminância no ponto analisado (lux);

L_{ref} é a iluminância de referência associada à irradiância máxima da luminária;

E_{ref} é a irradiância UV-C fornecida pelo fabricante (mW/m²).

A partir dessa conversão, foram gerados mapas de cores falsas que permitiram a análise espacial da distribuição da irradiância UV-C sobre as superfícies do ambiente, possibilitando a identificação de regiões com baixa incidência de radiação, caracterizadas como pontos críticos para a desinfecção.

Foram realizadas simulações comparativas considerando duas condições distintas: (i) ambiente configurado conforme as recomendações normativas para enfermarias hospitalares, e (ii) ambiente com modificações volumétricas, nas quais o mobiliário foi afastado das paredes em no mínimo 8 cm e elevado a aproximadamente 20 cm do piso, visando avaliar a influência da geometria e da obstrução física na propagação da radiação UV-C.

A partir da identificação dos pontos críticos, foi estimado o tempo necessário de exposição à radiação UV-C para que a dose mínima germicida fosse atingida, utilizando-se a relação:

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

$$t = \frac{D}{E_{UV-C}}$$

onde:

t é o tempo de exposição (s);

D é a dose germicida necessária para inativação microbiana;

E_{UV-C} é a irradiância no ponto analisado (mW/m²).

O valor da dose adotado baseou-se em dados da literatura referentes à inativação de bactérias e vírus de relevância hospitalar. A partir desses resultados, foram analisadas as limitações da radiação UV-C em ambientes reais e propostas medidas mitigadoras complementares, como adequações no *layout* e reforço de procedimentos de limpeza manual em áreas de menor exposição.

O valor da dose adotado (D=75 J/m²) baseou-se em dados da literatura referentes à inativação de bactérias e vírus de relevância hospitalar. Diversos autores indicam que a exposição a doses de UV-C entre 20 e 100 J/m² é suficiente para promover a inativação de patógenos como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e SARS-CoV-2, sendo 75 J/m² um valor representativo da faixa necessária para garantir reduções superiores a 99,9% da carga microbiana em superfícies (Kowalski, 2009; Memarzadeh *et al.*, 2010; Bergman, 2021). A escolha desse valor intermediário assegura uma abordagem conservadora, considerando as variações na suscetibilidade entre diferentes microrganismos e as condições ambientais simuladas.

A partir desses resultados, foram analisadas as limitações da radiação UV-C em ambientes reais e propostas medidas mitigadoras complementares, como adequações no *layout* e reforço de procedimentos de limpeza manual em áreas de menor exposição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação aqui apresentada como fonte de dados, cujo intuito é possibilitar a identificação de áreas críticas do ambiente de enfermaria hospitalar, foi realizada pelo *software* de iluminação Dialux Evo, conforme ilustrado nas Figuras 2, 3 e 4.

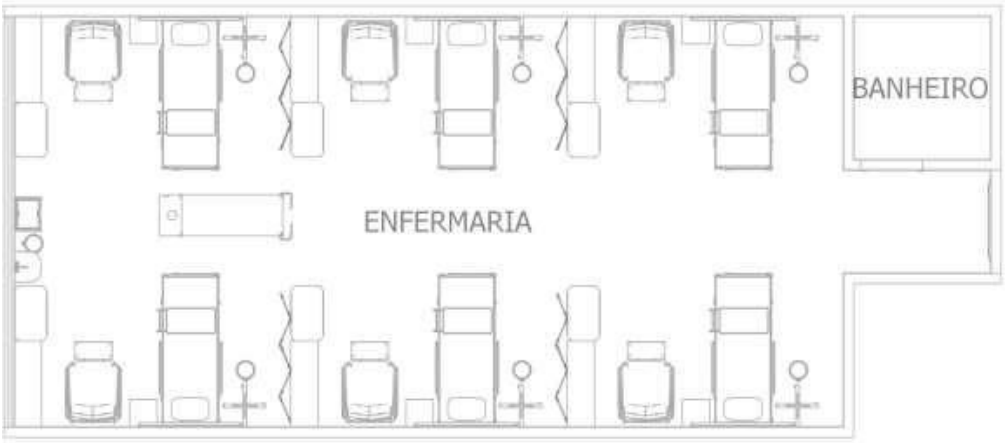
Todas as diretrizes para a composição do ambiente foram previamente estudadas e adotadas neste trabalho, características dos materiais de construção como Grau de Reflexão e Espelhamento foram inseridas com base em normas e recomendações que também serviram para o dimensionamento da quantidade de leitos bem como a correta inclusão de todos os equipamentos e mobiliários de apoio necessários para a funcionalidade do ambiente.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

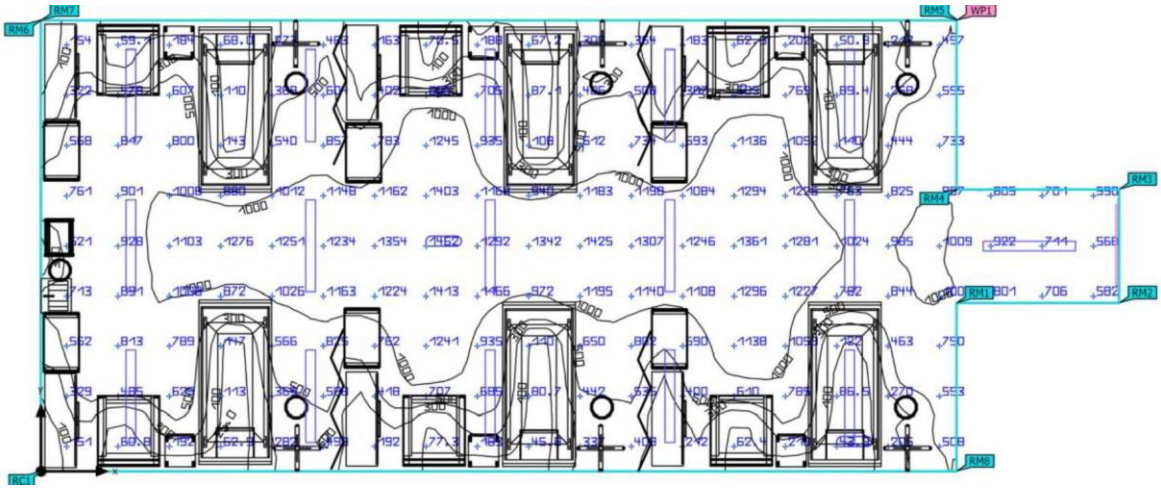
Figura 2. *Layout* do modelo adotado para enfermaria

Legenda: 01 - Cama hospitalar com colchão fawler, 02 - Escada com dois degraus, 03 - Maca para transporte, 04 - Régua de gases, 05 - Suporte de hamper, 06 - Suporte de soro de chão, 07 - Mesa para refeição, 08 – Armário, 09 - Balde cilíndrico porta-detritos com pedal, 10 - Mesa de cabeceira, 11 – Poltrona.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 3. Gráfico de Isolinhas Lux



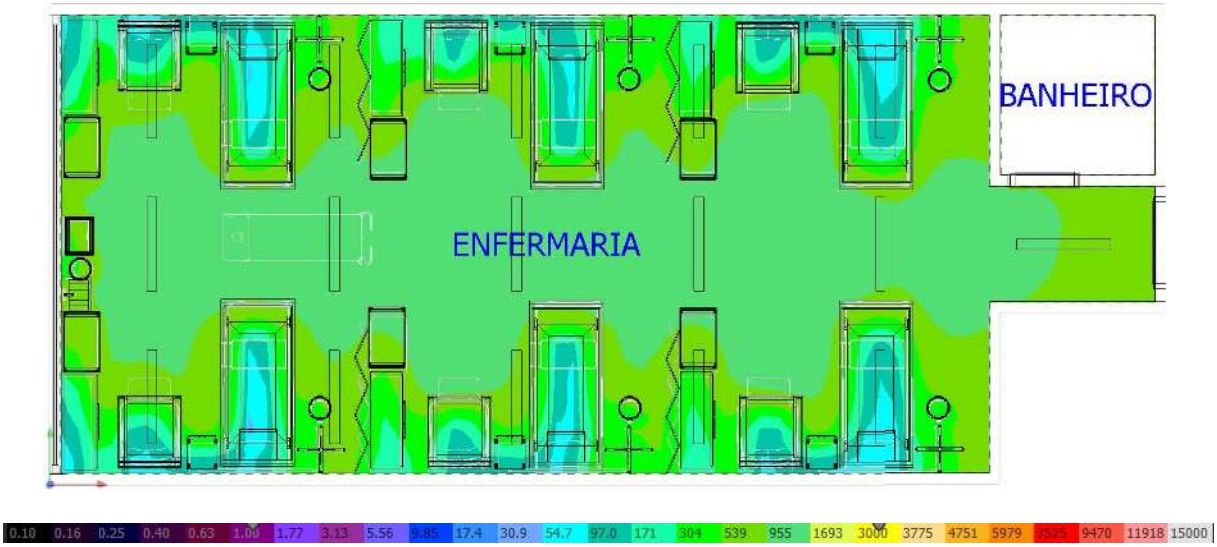
Fonte: Autor, 2025.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

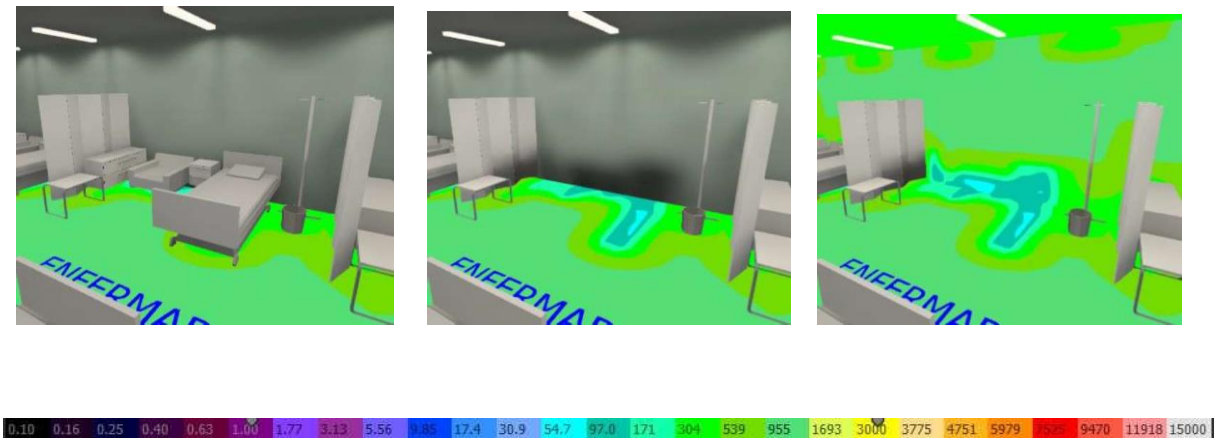
Figura 4. *Layout* do modelo e gráfico de cores falsas adotado para enfermaria modelo



Fonte: Autor, 2025.

Para primeira comparação apresentada, relacionando o afastamento do mobiliário livre das alvenarias de vedação do ambiente entre si, Figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10, obteve-se os seguintes resultados:

Figura 5, 6 e 7. *Layout* com afastamento do mobiliário entrei si e a alvenaria de vedação

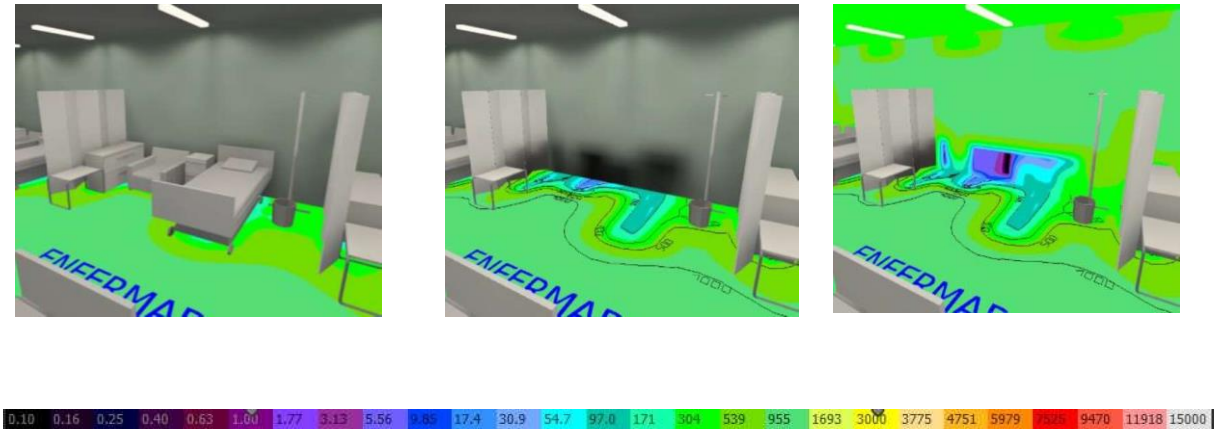


Fonte: Autor, 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

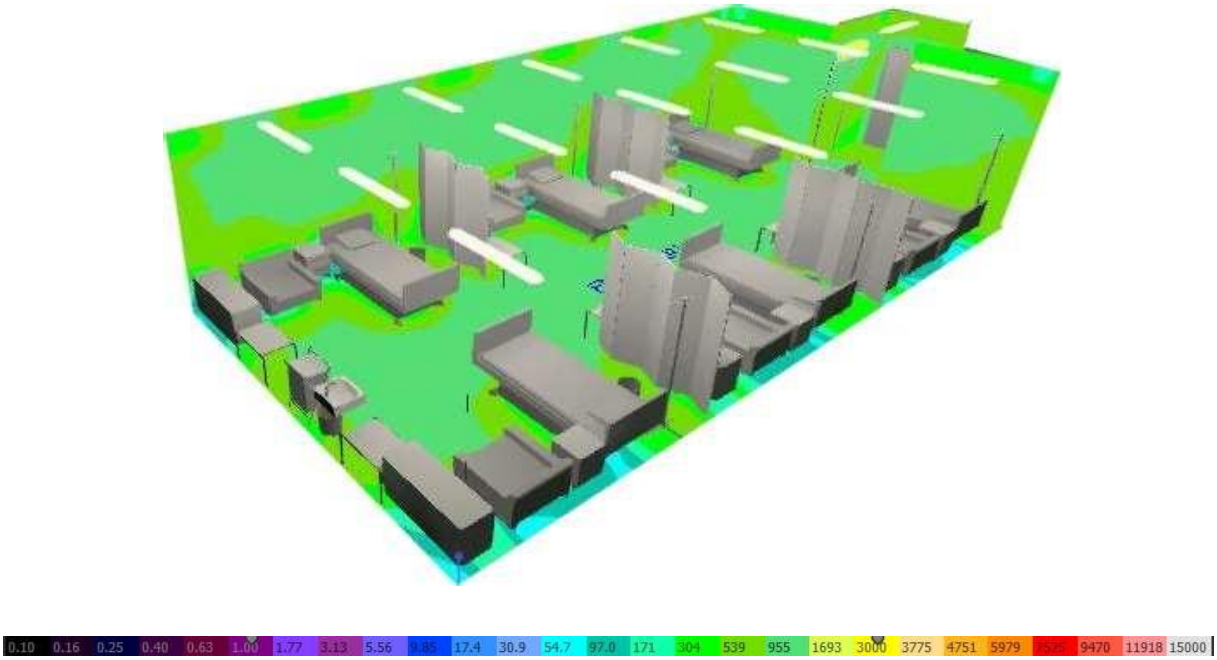
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 8, 9 e 10. *Layout* sem afastamento do mobiliário entrei si e a alvenaria de vedação



Fonte: Autor, 2025.

Figura 11. *Layout* sem afastamento do mobiliário entrei si e a alvenaria de vedação



Fonte: Autor, 2025.

Para a identificação do tempo necessário de uma dose eficaz de irradiação UV-C com efeito germicida nas áreas críticas do ambiente de enfermaria dessa simulação foi realizada a sequência de conversão de unidades para que o ponto crítico identificado em Lux possa ser representado com seu valor de irradiância, e logo após apontado pudesse ser parte da equação que demonstra a quantidade de tempo necessário.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Considerando que o Ponto Crítico de menor incidência de lux no ambiente de enfermaria possui 67,2 Lux e que o valor do lux intermediário de todo ambiente é de 955lux o que está, nesta situação, relacionado a irradiância UV-C em 16632 mW/m², valor indicado pela fabricante da luminária, então a equação de conversão foi aplicada da seguinte forma:

$$E_{\text{UV-C, ponto}} = \frac{67,2}{955} \times 16632 \quad \rightarrow \quad E_{\text{UV-C, ponto}} \approx 1171\,\text{mW/m}^2$$

Ao indicar o valor da irradiância nas superfícies críticas do ambiente é possível indicar o tempo necessário para que a radiação UV-C tenha efeito actínico, a indicação desse tempo está representada pela equação abaixo:

$$t = \frac{D}{E_{\text{UV-C}}} \quad \rightarrow \quad t = \frac{75}{1,171} \quad \rightarrow \quad t \approx 64,06\,\text{segundos}$$

Onde, 75 J/m² é a Dose de irradiância mais utilizada para reduzir em até 90% uma grande quantidade de vírus e bactérias e 1,171W/m² é a dose de irradiância no ponto crítico desse projeto.

Nesta pesquisa não foram considerados a umidade relativa do ar nem como a combinação de sistemas de radiação da iluminação UV-C no ambiente de enfermaria. A alta umidade relativa (UR > 60%) pode se tornar uma barreira física que absorve ou reflete parte dos raios UV-C, diminuindo a dose efetiva. Estudos demonstram que, quando a umidade relativa aumenta de 50% para 90%, a susceptibilidade de bactérias ao UV-C pode ser reduzida em até 60% (Zhang *et al.*, 2020).

Os dados para os materiais de construção presentes neste trabalho demonstram significativa participação quanto a distribuição da Irradiação UV-C nos ambientes de enfermaria Hospitalar. É de interesse mencionar como o simples ajuste na volumetria do ambiente pode trazer impactos significativos quanto a interrupção do espaço como colaborador das infecções nosocomiais.

Regiões do ambiente que, sem o ajuste proposto nessa pesquisa, apresentavam em suas superfícies aproximadamente 65lux passaram a apresentar na mesma área fluxo luminoso na faixa de 100lux a 150lux. Vale destacar que os principais pontos críticos identificados neste trabalho se encontraram em regiões de acomodação dos paciente e acompanhantes, o principal ponto crítico está localizado próximo a áreas de encosto das macas da enfermaria, situação que pode vir a contribuir com possíveis explicações para tantos casos de contaminações nosocomiais.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

A partir dos dados extraídos das simulações, foram compilados os valores de iluminância (lux) nas superfícies de interesse, permitindo a conversão para irradiância UV-C (W/m²) conforme a metodologia adotada. A Tabela 1 apresenta a síntese dos resultados obtidos nos dois cenários analisados.

Tabela 1. Valores comparativos de iluminância nos cenários com e sem afastamento do mobiliário

Parâmetro	Cenário sem afastamento	Cenário com afastamento	Variação absoluta	Variação percentual
Iluminância mínima (lux)	65	100	+35 lux	+53,8%
Iluminância máxima (lux)	955	1.150	+195 lux	+20,4%
Iluminância média (lux)	380	520	+140 lux	+36,8%
Irradiância no ponto crítico (mW/m²)	1.171	1.820	+649 mW/m²	+55,4%

Fonte: Autor, 2025.

Quando relacionado ao tempo de exposição e funcionamento dos equipamentos de iluminação UV-C, os resultados mostram como a indicação de tempos maiores e um grande número de pesquisas para que a desinfecção ocorra da maneira correta está dentro de uma margem segura para eliminação desses patógenos, quando o próprio resultado dessa pesquisa sugere que a dose necessária só precisa ser aplicada por até 1min4s.

Cabe a recomendação de criação e implantação de novos protocolos de higienização manual levando em consideração as áreas críticas desses ambientes, tantos as indicadas por essa pesquisa quanto por outros trabalhos também.

Nesta pesquisa, não foram considerados a umidade relativa do ar nem a combinação de sistemas de radiação da iluminação UV-C no ambiente de enfermaria. A alta umidade relativa (UR > 60%) pode se tornar uma barreira física que absorve ou reflete parte dos raios UV-C, diminuindo a dose efetiva. Estudos demonstram que, quando a umidade relativa aumenta de 50% para 90%, a suscetibilidade de bactérias ao UV-C pode ser reduzida em até 60% (Zhang *et al.*, 2020).

Portanto, o tempo de 1 minuto e 4 segundos deve ser interpretado como uma estimativa teórica em condições ideais, servindo como referência para o dimensionamento de protocolos, mas não como garantia de eliminação universal de todos os patógenos. Recomenda-se que, na

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

prática, os ciclos de desinfecção sejam dimensionados com margens de segurança, considerando os microrganismos de maior resistência presentes no ambiente hospitalar.

4. CONSIDERAÇÕES

Este estudo teve como objetivo contribuir para a redução do risco de contaminações nosocomiais por meio da análise da aplicação da radiação UV-C em ambientes hospitalares, considerando a influência da composição volumétrica e dos materiais de acabamento na eficiência da desinfecção. Os resultados obtidos evidenciam que pequenas modificações no arranjo físico do ambiente, associadas à correta seleção de materiais, podem impactar significativamente a distribuição da irradiância e, consequentemente, a eficácia do processo germicida.

Verificou-se que a Engenharia Civil desempenha papel fundamental nesse contexto, ao atuar na especificação adequada dos materiais, no planejamento dos ambientes e na compatibilização entre soluções arquitetônicas e tecnologias de desinfecção. A correta concepção do espaço hospitalar contribui não apenas para a eficiência sanitária, mas também para a segurança, funcionalidade e qualidade do atendimento prestado à população.

Os resultados da simulação demonstraram que ajustes volumétricos simples, como o afastamento de mobiliários e a elevação de elementos construtivos, favorecem a difusão da radiação UV-C, reduzindo zonas de sombreamento e aumentando a efetividade do processo. A análise comparativa revelou ganhos expressivos: a iluminância nas áreas críticas elevou-se de 65 lux para valores entre 100 e 150 lux, representando um incremento superior a 50% na irradiância incidente sobre superfícies antes caracterizadas como pontos de baixa exposição. Esse achado reforça a tese de que a geometria interna do ambiente, frequentemente negligenciada em protocolos convencionais de desinfecção, constitui variável relevante para o sucesso de estratégias baseadas em radiação UV-C.

O tempo de exposição necessário identificado neste estudo, calculado em aproximadamente 1 minuto e 4 segundos para que a dose de 75 J/m² fosse atingida no ponto crítico, mostrou-se tecnicamente viável sob a ótica da simulação, indicando potencial aplicabilidade prática da tecnologia em ambientes reais, desde que observados os critérios de segurança e controle operacional. No entanto, é fundamental relativizar esse dado: a suscetibilidade à radiação UV-C varia significativamente entre diferentes microrganismos, e fatores como a presença de biofilmes, matéria orgânica e variações na umidade relativa do ar podem reduzir drasticamente a eficácia da radiação em condições reais, exigindo tempos de exposição mais prolongados ou a combinação com outros métodos de desinfecção.

Ressalta-se, entretanto, que esta pesquisa se limitou à análise por simulação computacional, e é preciso explicitar com rigor as limitações inerentes a essa abordagem. O software Dialux Evo, embora robusto para simulações luminotécnicas, opera com base em

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

premissas idealizadas, tais como superfícies perfeitamente difusas, ausência de obstruções dinâmicas e condições ambientais constantes. Na realidade de uma enfermaria em operação, existem variáveis não contempladas no modelo: a circulação de pessoas, a presença de cortinas e lençóis, a variação da umidade relativa do ar e a existência de partículas em suspensão, todos fatores que podem atenuar a radiação e criar sombreamentos dinâmicos não previstos na simulação. Além disso, a metodologia de conversão de valores de iluminância para irradiância baseou-se em uma relação linear proporcional que, embora tecnicamente consistente, assume que a distribuição espectral da luminária é constante em todas as direções, o que pode não se verificar com exatidão em medições físicas.

Outra limitação importante diz respeito à impossibilidade de generalização automática dos resultados para ambientes reais. Os valores obtidos referem-se a um modelo específico de enfermaria, com geometria, materiais e mobiliário pré-definidos. Embora representativos de tipologias hospitalares comuns, não podem ser automaticamente estendidos para outros *layouts*, dimensões, configurações de leitos ou hospitais com diferentes padrões construtivos. Cada ambiente real apresenta particularidades geométricas, ocupacionais e operacionais que influenciam a distribuição da radiação UV-C, de modo que os resultados aqui apresentados devem ser interpretados como evidências de tendências e não como valores absolutos e universalmente aplicáveis.

Diante dessas limitações, recomenda-se que estudos futuros aprofundem as abordagens aqui iniciadas por meio de ensaios experimentais in loco, com medições reais de irradiância UV-C em hospitais utilizando dosímetros e sensores calibrados, de modo a validar os modelos computacionais desenvolvidos. Igualmente relevantes seriam análises microbiológicas que avaliassem a redução efetiva da carga microbiana em superfícies submetidas à radiação UV-C, considerando diferentes microrganismos e condições de contaminação. A avaliação de sistemas integrados de desinfecção, combinando radiação UV-C com outras tecnologias como filtração do ar, renovação ambiental e métodos manuais de higienização, também se mostra promissora para determinar sinergias e protocolos otimizados. Por fim, estudos paramétricos que explorem diferentes geometrias, materiais, alturas de pé-direito e posicionamentos de luminárias poderiam contribuir para o estabelecimento de diretrizes projetuais mais abrangentes e robustas.

Por fim, os resultados obtidos reforçam o potencial da radiação UV-C como ferramenta complementar no controle de infecções hospitalares, evidenciando a importância do planejamento arquitetônico e da engenharia aplicada na promoção de ambientes mais seguros e eficientes. A integração entre simulação, experimentação e monitoramento contínuo constitui o caminho mais promissor para o desenvolvimento de soluções efetivas no enfrentamento das infecções relacionadas à assistência à saúde, reafirmando o papel da Engenharia Civil como disciplina essencial na concepção de espaços que conciliem funcionalidade, segurança e eficácia sanitária.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 20 mar. 2002. p. 39. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/rdc0050_21_02_2002.html. Acesso em: 21 fev. 2026.

ANDERSON, Deverick J.; CHEN, Luke F.; WEBER, David J.; MOEHRING, Rebekah W.; LEWIS, Sarah S.; TRIPLETT, Patricia F.; BLOCKER, Michael; BECHERER, Paul; SCHWAB, J. Conrad; KNELSON, Lauren P.; LOKHNYGINA, Yuliya; RUTALA, William A.; KANAMORI, Hajime; GERGEN, Maria F.; SEXTON, Daniel J.; FOR THE CDC PREVENTION EPICENTERS PROGRAM. Enhanced terminal room disinfection and acquisition and infection caused by multidrug-resistant organisms and Clostridium difficile (the Benefits of Enhanced Terminal Room Disinfection study): a cluster-randomised, multicentre, crossover study. **The Lancet**, London, v. 389, n. 10071, p. 805-814, 2017. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31588-4.

ANTONIO-GUTIÉRREZ, Oscar; LÓPEZ-DÍAZ, Andrea; LÓPEZ-MALO, Aurelio; PALOU, Enrique; RAMÍREZ-CORONA, Nelly. UV-C light for processing beverages: principles, applications, and future trends. *In*: GRUMEZESCU, Alexandru Mihai; HOLBAN, Alina Maria (ed.). **Processing and sustainability of beverages**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019. p. 205-234. DOI: 10.1016/B978-0-12-815259-1.00007-0.

BAYSAL, A. H. Short-wave ultraviolet light inactivation of pathogens in fruit juices. *In:* RAJAURIA, G.; TIWARI, B. K. (ed.). **Fruit juices**. London: Academic Press, 2018. p. 463-510. DOI: 10.1016/B978-0-12-802230-6.00024-2.

BERGMAN, R. S. Germicidal UV sources and systems. **Photochemistry and Photobiology**, Oxford, v. 97, n. 3, p. 466-470, 2021. DOI: 10.1111/php.13387.

BOYCE, John M.; DONSKEY, Curtis J. Understanding ultraviolet light surface decontamination in hospital rooms: a primer. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, Cambridge, v. 40, n. 9, p. 1030-1035, 2019. DOI: 10.1017/ice.2019.161.

CARLING, Philip C.; HUANG, Susan S. Improving healthcare environmental cleaning and disinfection: current and evolving issues. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, Cambridge, v. 34, n. 5, p. 507-513, 2013. DOI: 10.1086/670222.

CHIAPPA, F. *et al.* The efficacy of ultraviolet light-emitting technology against coronaviruses: a systematic review. **Journal of Hospital Infection**, London, v. 114, p. 63-78, 2021. DOI: 10.1016/j.jhin.2021.05.005.

DHANGAR, M. *et al*. Advanced smart textiles for ultraviolet radiation-shielding applications: a review. *In:* VERMA, S.; SRIVASTAVA, A. K. (ed.). **Advanced radiation shielding materials**. Cambridge: Elsevier, 2024. p. 323-336. DOI: 10.1016/B978-0-323-95387-0.00008-X.

FARIAS, N. P. S. **Aplicação da iluminação UV-C como agente esterilizante em UTIs e enfermarias**: uma perspectiva de engenharia civil na infraestrutura hospitalar. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal do Amazonas, Manaus, 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

FREIRE, Joana de Oliveira Pantoja; PAES, Graciele Oroski; GONZALEZ, Christiany Moçali; BARREIROS, Maria da Gloria Carvalho; FERREIRA, Adriana Lucia Pires. Luz UV-C como estratégia de desinfecção do ar e superfícies hospitalares. **Acta Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v. 37, eAPE002191, 2024. DOI: 10.37689/acta-ape/2024AO000121911.

GÜLEN, Ş. M. *et al.* TiO_2-based glass-ceramic coatings: an innovative approach to architectural panel applications. **Case Studies in Construction Materials**, Amsterdam, v. 16, e00805, 2022. DOI: 10.1016/j.csem.2021.e00805.

GÜLEN, Ş. M.; ÇÖPOĞLU, N.; YILMAZ, Y. B.; KARAAHMET, O.; CENGIZ, T.; GÖKDEMIR, H.; ÇIÇEK, B. TiO_2-based glass-ceramic coatings: an innovative approach to architectural panel applications. **Case Studies in Construction Materials**, Amsterdam, v. 16, e00805, 2022. DOI: 10.1016/j.cscm.2021.e00805.

KIRKPATRICK, S. J. A primer on radiometry. **Dental Materials**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 21-26, 2005. DOI: 10.1016/j.dental.2004.10.002.

KOWALSKI, Wladyslaw Jan. **Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook**: UVGI for air and surface disinfection. Heidelberg: Springer, 2009. 501 p. DOI: 10.1007/978-3-642-01999-9.

KUMAR, Anand; HAILU, Gebremichael Gebremedhin; XV, Meijin; QIU, Hui; CHOI, Sun-Il; LEE, Ok-Hwan; WANG, Zefu; HAN, Zongyuan; LIU, Shucheng; WEI, Shuai. Synergistic integration of high-pressure processing, pulsed electric fields, cold plasma, and UV light with bioactive compounds for enhanced food safety, quality, and shelf-life: new advances and mechanisms. **Food and Humanity**, Amsterdam, v. 5, 100757, 2025. DOI: 10.1016/j.foohum.2025.100757.

LI, X.; YAN, Y.; TU, J. Effects of surface radiation on gaseous contaminants emission and dispersion in indoor environment: a numerical study. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, Oxford, v. 131, p. 854-862, 2019. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.11.102.

MAUGERI, Andrea; CASINI, Beatrice; ESPOSITO, Egle; BRACALONI, Sara; SCARPACI, Miriam; PATANÈ, Federica; MILAZZO, Giulia; AGODI, Antonella; BARCHITTA, Martina. Impact of ultraviolet light disinfection on reducing hospital-associated infections: a systematic review in healthcare environments. **Journal of Hospital Infection**, London, v. 159, p. 32-41, May 2025. DOI: 10.1016/j.jhin.2025.01.014.

MEMARZADEH, Farhad; OLMSTED, Russell N.; BARTLEY, Judene M. Applications of ultraviolet germicidal irradiation disinfection in health care facilities: effective adjunct, but not stand-alone technology. **American Journal of Infection Control**, St. Louis, v. 38, n. 5, supplement, p. S13-S24, June 2010. DOI: 10.1016/j.ajic.2010.04.208.

MITXELENA-IRIBARREN, Oihane; MONDRAGON, Beñat; PÉREZ-LORENZO, Eva; SMERDOU, Cristian; GUILLEN-GRIMA, Francisco; SIERRA-GARCIA, Jaime; RODRIGUEZ-MERINO, Francisco; ARANA, Sergio. Evaluation of the degradation of materials by exposure to germicide UV-C light through colorimetry, tensile strength and surface microstructure analyses. **Materials Today Communications**, Amsterdam, v. 31, 103690, June 2022. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2022.103690.

OUELLETTE, R. J.; RAWN, J. D. UV-visible and infrared spectroscopy. *In:* OUELLETTE, R. J.; RAWN, J. D. **Organic chemistry**. 2nd ed. London: Academic Press, 2018. p. 409-425. DOI: 10.1016/B978-0-12-812838-1.50014-1.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

PAULESCU, M.; BADESCU, V. Spectral nature of solar radiation. *In:* PAULESCU, M.; BADESCU, V. **Spectral characteristics of solar radiation**. Cambridge: Elsevier, 2025. p. 3-32. DOI: 10.1016/B978-0-443-23839-0.00001-8.

RANA, Siddharth; TARNTAIR, Fu-Gow; HORNG, Ray-Hua; SINGH, J. P. Enhancement-mode ZnGa2O4-based phototransistor with high UV–visible rejection ratio grown by metalorganic chemical vapor deposition. **Journal of Alloys and Compounds**, Lausanne, v. 1004, 175944, 2024. DOI: 10.1016/j.jallcom.2024.175944.

SCORPIO, Michelangelo; LAFFI, Roberto; TEIMORZADEH, Ava; CIAMPI, Giovanni; MASULLO, Massimiliano; SIBILIO, Sergio. A calibration methodology for light sources aimed at using immersive virtual reality game engine as a tool for lighting design in buildings. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 48, 103998, 2022. DOI: 10.1016/j.jobe.2022.103998.

SHINDE, Sharwari Sadashiv; VISHAL; KUMAR, K. S. V. S. S.; THAKUR, Pooja; WAGHMARE, R. Preservation of beverage under ultraviolet light: techno-functional and microbiological characteristics of beverage. *In:* WAGHMARE, R.; KUMAR, M. (ed.). **Developments in food quality and safety**: emerging green processing technologies for beverages. Cambridge: Academic Press, 2025. p. 213-239. DOI: 10.1016/B978-0-443-15732-5.00008-3.

SKUDRA, Atis; REVALDE, Gita; ZAJAKINA, Anna; MEZULE, Linda; SPUNDE, Karina; JUHNA, Talis; RANCANE, Kristiana. UV inactivation of Semliki Forest virus and E. coli bacteria by alternative light sources. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, Amsterdam, v. 10, 100120, June 2022. DOI: 10.1016/j.jpap.2022.100120.

SOMA SUS. **Portal Soma SUS**. Brasília: Ministério da Saúde, 2024. Disponível em: https://www.somasus.saude.gov.br. Acesso em: 21 fev. 2026.

TESKE, N. M.; JACOBE, H. T. Phototherapy for sclerosing skin conditions. Clinics in Dermatology, New York, v. 34, n. 5, p. 614-622, 2016. DOI: 10.1016/j.clindermatol.2016.05.012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule**. Washington, DC: EPA, 2006. (EPA 815-R-06-007).

VICKERY, Karen; DEVA, Anand K.; JACOMBS, Anita; ALLAN, James; VALENTE, Pedro; GOSBELL, Iain B. Presence of biofilm containing viable multiresistant organisms despite terminal cleaning on clinical surfaces in an intensive care unit. **Journal of Hospital Infection**, London, v. 80, n. 1, p. 52-55, Jan. 2012. DOI: 10.1016/j.jhin.2011.07.007.

WU, X.; HU, X.; HAMBLIN, M. R. Ultraviolet blood irradiation: is it time to remember "the cure that time forgot"? **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, Lausanne, v. 157, p. 89-96, 2016. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2016.02.007.

ZEINALI, A.; PLATT, L. S. Surface materials and cleaning efficacy in healthcare: a comprehensive review of strategies and outcomes. **Building and Environment**, Oxford, v. 280, 113179, 2025. DOI: 10.1016/j.buildenv.2025.113179.

ZHANG, Huihui; JIN, Xin; NUNAYON, Sunday Segbenu; LAI, Alvin C. K. Disinfection by in-duct ultraviolet lamps under different environmental conditions in turbulent airflows. **Indoor Air**, Copenhagen, v. 30, n. 3, p. 500-511, May 2020. DOI: 10.1111/ina.12642. PMID: 31903622.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ZHAO, Xinyu; LIN, Lin; LI, Ruiqi; ZHANG, Tong; CAO, Yinan; WANG, Zhisheng. Predictive modeling of office lighting comfort: interactive effects of illuminance and color temperature on EEG and cognitive workload. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 118, 115023, 2026. DOI: 10.1016/j.jobe.2025.115023.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.