



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM GESTÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM SAÚDE

ADRIANA BARROS LUNA GOMES

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO AUTOMATIZADO COM LUZ UV
PARA DESINFECÇÃO DE CARROS DE TRANSPORTE DE DIETAS DO SETOR DE
NUTRIÇÃO EM UM HOSPITAL UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO

Aracaju

2025

ADRIANA BARROS LUNA GOMES

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO AUTOMATIZADO COM LUZ UV
PARA DESINFECÇÃO DE CARROS DE TRANSPORTE DE DIETAS DO SETOR DE
NUTRIÇÃO EM UM HOSPITAL UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Inovação Tecnológica em Saúde da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Inovação Tecnológica em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Prado Nunes
Coorientador: Prof. Dr. Lysandro Pinto Borges

Linha de pesquisa: Tecnologia e Inovação em Saúde

Aracaju/SE

2025

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA SAÚDE – BISAU
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

G633d Gomes, Adriana Barros Luna
 Desenvolvimento de um equipamento automatizado com luz UV para
 desinfecção de carros de transporte de dietas do setor de nutrição em um
 hospital universitário brasileiro / Adriana Barros Luna Gomes ; orientador:
 Marco Antonio Prado Nunes. – Aracaju, 2025.
 62 f. : il.

 Dissertação (Mestrado em Gestão e Inovação Tecnológica em Saúde da
 Universidade Federal de Sergipe), 2025.

 1. Saúde pública. 2. Infecção hospitalar. 3. Hospitais - Desinfecção. I.
 Nunes, Marco Antonio Prado (orien). II. Título.

CDU 616-022.36

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO AUTOMATIZADO COM LUZ UV
PARA DESINFECÇÃO DE CARROS DE TRANSPORTE DE DIETAS DO SETOR DE
NUTRIÇÃO EM UM HOSPITAL UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO**

Dissertação de Mestrado Profissional apresentado
ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e
Inovação Tecnológica em Saúde, da Universidade
Federal de Sergipe, como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Mestre em Gestão e
Inovação Tecnológica em Saúde

Aprovada em: **03 / 09 / 2025**

Orientador: Dr. Marco Antonio Prado Nunes

Coorientador: Prof. Dr. Lysandro Pinto Borges

1º Examinador: Prof. Dr^a. Anny Danyelly da Costa Ribeiro

2º Examinador: Prof. Dr^a. Brenda Carla Lima Araújo

3º Examinador: Prof. Dr. Lucas Alves da Mota Santana

Dedico esse trabalho à Deus pela Fé sempre presente em minha vida, aos meus pais (in memoriam), pela minha existência e oportunidade de educação e à minha família pelo incentivo e apoio em todo momento, especialmente meus filhos.

AGRADECIMENTOS

Enfim, concluo esse mestrado, que adiei por várias vezes em função do cuidado com minha família e atribuições diárias de trabalho. Foram dias de muita dedicação e momentos de insegurança diante de tantas atribuições e percalços no início dessa jornada por parte de terceiros que não compreenderam o verdadeiro objetivo desse projeto. Esses obstáculos foram superados exclusivamente pela fé em Deus, que me encorajou e me deu forças para não desistir, aliados ao apoio da minha família, esposo, filhos e professores.

Agradeço ao PPGITS e a seus docentes pelos ensinamentos adquiridos e pela oportunidade em realizar o desejo de me formar Mestre. Agradeço também a Universidade Federal de Sergipe e o Hospital Universitário HU/UFS/EBSERH, em especial ao setor de Nutrição, o qual me dedico há 30 anos e me proporcionou desenvolver e implementar o projeto.

Ao meu coordenador, professor Lyzandro Pinto Borges, minha gratidão pelo apoio, dedicação, encorajamentos e por acreditar que é possível vencer as batalhas sem soltar a minha mão em momento algum.

À minha coorientadora, Susana Lalic, por ter me acolhido e orientado desde o primeiro momento em que compartilhei minha ideia. Obrigada por sua orientação, apoio e por abrir portas para a parceria com os professores da Universidade de Pisa, na Itália.

A Universidade de Pisa em nome do professor Francesco e do doutorando Gianpaolo, responsáveis pelo desenho industrial do protótipo do produto final.

Ao meu esposo, Osmário Júnior, pela parceria ao assumir as tarefas de casa e o cuidado com nossos filhos nos momentos em que precisei me ausentar para me dedicar aos estudos.

Ao meu filho Giovani, meu maior incentivador e inspiração para conclusão deste tão sonhado mestrado.

E, em especial a minha filha primogênita, Zuleide, que esteve presente em várias etapas nesses dois anos, desde a inscrição no programa até a conclusão do projeto, me apoiando e ajudando em todos os sentidos desse projeto de vida, não medindo esforços e por muitas vezes dividindo as preocupações e desfechos nessa jornada. Ela foi minha fiel parceira até os dias de hoje, e provavelmente estará segurando minha mão no dia da defesa.

RESUMO

Introdução: O controle das infecções hospitalares constitui um desafio complexo, em grande parte devido à vulnerabilidade dos pacientes. Entre os fatores que contribuem para a disseminação desses microrganismos, destaca-se a higienização inadequada de carros utilizados para o transporte de refeições, os quais podem atuar como vetores indiretos de contaminação. Diante desse cenário, torna-se necessário o desenvolvimento de soluções tecnológicas para descontaminação de superfícies. **Objetivo:** Desenvolver um equipamento que utilize luz UV-C para desinfecção de carros de transporte de dietas hospitalares, desde o desenho industrial até a confecção de um protótipo. **Metodologia:** Trata-se de uma pesquisa de produção tecnológica e inovação em saúde, que visa avaliar e aperfeiçoar estratégias na área de desinfecção hospitalar. O estudo foi dividido em três etapas: (1) revisão de literatura nas bases de dados SciELO, LILACS, Capes, Bireme, PubMed e Scopus, além de capítulos de livros, (2) busca de anterioridade em bases de patentes como ESPACENET, PATENTSCOPE, INPI e ORBIT e (3) desenvolvimento do desenho industrial e confecção do protótipo. **Resultados:** A busca nas bases de dados resultou em 367 artigos, dos quais 45 foram selecionados para leitura na íntegra por apresentarem maior relevância ao tema. Na análise experimental, observou-se associação significativa entre o método de higienização e a carga microbiana nos carros de transporte de dietas. Carros sem qualquer sanitização (Grupo 2) apresentaram a maior contaminação média (240 UFC). Aqueles higienizados apenas com álcool 70% (Grupo 3) mostraram redução significativa da carga microbiana (média de 45 UFC), enquanto o uso combinado de detergente e álcool (Grupo 1) resultou em uma contaminação média intermediária. Por fim, os carros submetidos à desinfecção com luz UV-C (Grupo 4) não apresentaram crescimento microbiano em nenhuma das amostras, evidenciando a superioridade do método. **Conclusão:** O protótipo do equipamento de desinfecção por luz UV-C foi concluído, e uma notificação de invenção (NIA687 - 2025) foi submetida ao Núcleo de Inovação Tecnológica. O equipamento oferece uma solução automatizada para a desinfecção de carros de transporte de dietas. Futuras etapas incluem a validação da segurança microbiológica a longo prazo, a análise de custo-benefício e a avaliação da usabilidade pelos profissionais de saúde, visando garantir sua eficácia e aplicabilidade na prática hospitalar.

PALAVRAS-CHAVE: Raios ultravioleta; Infecção Hospitalar ; Desinfecção; Controle de Infecções.

ABSTRACT

Introduction: The presence of pathogenic microorganisms in hospital environments poses a constant challenge for the control of healthcare-associated infections (HAIs), especially due to the vulnerability of patients. Among the factors contributing to the spread of these agents is the inadequate cleaning of food transport carts, which may act as indirect vectors of contamination. In this context, the development of effective technological solutions for surface disinfection is essential. **Objective:** To develop a UV-C light-based device for the disinfection of hospital dietary transport carts, from industrial design to prototype construction. **Methodology:** This is an applied research project focused on technological development and health innovation, aiming to evaluate and improve strategies for hospital disinfection. The study was divided into three stages: (1) literature review, (2) prior art search, and (3) development of the industrial design and construction of the prototype. The literature review was conducted using databases such as SciELO, LILACS, CAPES, BIREME, PubMed, and Scopus, in addition to technical literature. The prior art search included patent databases such as ESPACENET, PATENTSCOPE, INPI, and ORBIT. **Results:** A significant association was found between the cleaning method/condition and the microbial contamination levels of the dietary transport carts. Carts cleaned only with 70% alcohol (Group 3) showed a lower average contamination (45 CFU) and a lower likelihood of contamination compared to those cleaned with detergent + ethanol (Group 1). Carts without sanitation (Group 2) had the highest average contamination (240 CFU). Carts disinfected with UV-C light (Group 4) showed no microbial growth, demonstrating superior efficacy. **Conclusions:** The UV-C light disinfection device prototype was successfully developed, and an invention disclosure (NIA687 – 2025) was submitted to the Technology Innovation Office. The proposed equipment offers an automated, effective, and functional solution for disinfecting hospital dietary transport carts. Future steps include long-term microbiological safety validation, cost-benefit analysis, and usability evaluation by healthcare professionals, aiming to ensure its effectiveness and applicability in clinical practice.

KEYWORDS: Ultraviolet Rays; Delivery of Health Care; Disinfection; Infection control

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ÁGAR SS	Ágar Salmonella-Shigella
ÁGAR CLED	Cystine Lactose Electrolyte Deficient
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ANOVA	Análise de Variância
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar condicionado
BHI	Brain Heart Infusion
CLED	Cystine Lactose Electrolyte Deficient
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EBSERH	Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares
ECN	<i>Estafilococos</i> coagulase negativa
ERC	Enterobactérias Resistentes aos Carbapenêmicos
HU	Hospital Universitário
IRAS	Infecções Relacionadas à Assistência de Saúde
LABIC	Laboratório de Pesquisa em Bioquímica e Imunologia Clínica
MDF	Medium Density Fiberboard
MDPI	Multidisciplinary Digital Publishing Institute
MRSA	<i>Staphylococcus aureus</i> resistente à meticilina
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica
OR	Odds ratio
PBM	patógenos bacterianos multirresistentes
PX-UV	Lâmpada UV de Xenônio pulsada
RNA	Ácido ribonucleico
SND	Serviço de Nutrição e Dietética
SS	Salmonella-Shigella
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFS	Universidade Federal de Sergipe
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
UV	Radiação Ultravioleta
UV-A	Radiação Ultravioleta de onda longa
UV-B	Radiação Ultravioleta de onda média
UV-C	Radiação Ultravioleta de ondas curtas
UVGI	Luz Ultravioleta Germicida

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Carrinho "esqueleto"(esquerda) e carrinho térmico (direita).	15
Figura 2 - Carros de transporte vendidos pela empresa francesa Socamel.	16
Figura 3 - Espectro de ondas eletromagnéticas do Ultravioleta (Uv-C) até o infravermelho.	21
Figura 4 - Carrinho de serviço- refeições utilizado no HU/UFS.	28
Figura 5 - Protótipo da caixa de desinfecção com luz UV-C.	29
Figura 6 - Produto desenvolvido.	30
Figura 7 - Radiômetro.	30
Figura 8 - Pontos de coleta com o swab para validação microbiológica da desinfecção.	32
Figura 9 - Gráfico dos resultados da pesquisa.	35
Figura 10- Placas de cultura em ágar SS e MAC referentes ao ponto de coleta 11 do carrinho após desinfecção com álcool 70% e detergente (esquerda) e por exposição à luz UV-C (direita).	35
Figura 11- Placas de cultura em ágar SS e CLED referentes aos pontos de coleta 1 e 2 do carrinho após desinfecção por exposição à luz UV-C.	36
Figura 12- Placas de cultura em ágar SS e CLED referentes aos pontos de coleta 9 e 10 do carrinho após desinfecção com álcool 70% e detergente.	36

LISTA DE QUADROS E TABELAS

TABELA 1- Patentes relacionadas ao desenvolvimento de equipamentos para desinfecção por UV

23

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
ESTADO DA ARTE E DA TÉCNICA	15
1- Revisão da Literatura	15
1.1- Distribuição de Refeições em Ambientes Hospitalares	15
1.2- Higienização e Riscos de Contaminação	16
1.3- Níveis de Desinfecção e Produtos Utilizados	17
1.4- Agentes Microbiológicos Relacionados à Nutrição Hospitalar	18
1.5. A radiação UV	20
2- Busca da Anterioridade	23
OBJETIVOS	26
1. Objetivo Geral	26
2. Objetivos Específicos	26
METODOLOGIA	27
1. Delineamento da pesquisa	27
1.1 Tipo de Estudo	27
1.2. Revisão de literatura	27
1.3 Aspectos éticos da pesquisa	28
1.4 Análise do carro de transporte de dietas do HU/UFS/ EBSERH	28
1.5. Desenvolvimento do protótipo do produto	29
1.6. Análise comparativa de eficiência e custo/ benefício	29
1.7. Coleta e Análise microbiológica	31
1.8. Análise estatística	33
RESULTADOS	34
DISCUSSÃO	38
CONCLUSÕES	40
CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	41
REFERÊNCIAS	42
ANEXOS:	46

INTRODUÇÃO

A contaminação cruzada em ambientes hospitalares representa um dos principais mecanismos de disseminação de microrganismos patogênicos, contribuindo significativamente para a ocorrência de infecções relacionadas à assistência à saúde (IRAS) (WEBER et al., 2010). Esse processo ocorre quando microrganismos são transferidos de uma superfície, objeto ou indivíduo para outro, direta ou indiretamente, favorecendo a transmissão de agentes infecciosos entre pacientes, profissionais de saúde e equipamentos hospitalares (SULEYMAN, 2018). A proliferação microbiana é agravada por fatores como alta rotatividade de pessoas, uso de dispositivos invasivos e de antibióticos, além da presença de pacientes imunocomprometidos (KUBDE et al., 2023). Quando a higienização é inadequada, superfícies e profissionais tornam-se reservatórios e vetores dessa transmissão, intensificando os riscos de contaminação cruzada no ambiente hospitalar.

Com o tempo, o uso excessivo de antimicrobianos promoveu o surgimento e a dispersão de patógenos bacterianos multirresistentes (PBM), como o *Mycobacterium tuberculosis*. Outras infecções comuns em hospitais também se tornaram resistentes, incluindo *Escherichia coli*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Streptococcus pneumoniae* e, principalmente, o *Staphylococcus aureus* (GYGLI, 2017; PULINGAM 2022).

O *Staphylococcus aureus* é um microrganismo oportunista com alta prevalência em infecções hospitalares, sendo capaz de sobreviver em superfícies por longos períodos devido à sua resistência a condições ambientais adversas. Sua capacidade de adquirir genes de resistência a antimicrobianos e fatores de virulência o torna altamente adaptável aos diferentes ambientes, incluindo as áreas hospitalares (TONG, 2015; HUANG, 2006).

Diante dos riscos que os patógenos hospitalares representam à saúde pública, a higienização é uma medida essencial no controle das IRAS. Apesar de sua importância, ainda não há consenso internacional sobre protocolos padronizados para sua aplicação em ambientes hospitalares (Assadian et al., 2021; WHO, 2016). A limpeza, etapa inicial do processo, é crucial para reduzir a carga microbiana, pois resíduos orgânicos podem comprometer a eficácia da desinfecção (Rutala & Weber, 2019).

A desinfecção, por sua vez, visa inativar microrganismos patogênicos presentes em superfícies inanimadas. Este processo pode ser realizado por meio de agentes químicos ou métodos físicos, como calor ou radiação UV. A eficácia depende de diversos fatores, incluindo concentração do produto, tempo de contato, pH, temperatura e ausência de matéria orgânica (RUTALA et al., 2010; ANVISA, 2010).

Segundo a ANVISA (2010), a desinfecção pode ser classificada em três níveis: baixo,

intermediário e alto. A escolha do agente e da técnica de desinfecção depende do nível necessário, do tipo de superfície, do risco envolvido e da compatibilidade química entre o produto e os materiais (ANVISA, 2010; RUTALA & WEBER, 2010). No Brasil, os principais desinfetantes incluem álcool 70%, fenóis, hipoclorito de sódio, quaternários de amônio, peróxido de hidrogênio e glutaraldeído. O hipoclorito, embora eficaz, pode ser inativado por matéria orgânica e causar danos a superfícies sensíveis (RUTALA & WEBER, 2010).

Superfícies de contato frequente, como os carros de distribuição de refeições, representam risco à segurança do paciente, podendo atuar como vetores de contaminação cruzada. Além disso, a higienização manual desses equipamentos é trabalhosa e nem sempre garante eficácia microbiológica (THOMAS, 2022).

Diante dessa problemática, torna-se necessário buscar alternativas inovadoras que promovam a descontaminação desses equipamentos de forma mais eficiente, segura e automatizada. A incorporação de tecnologias baseadas na luz UV-C tem se mostrado promissora na inativação de microrganismos em diversas superfícies, sendo uma estratégia já utilizada em outros contextos hospitalares.

Nesse sentido, este trabalho tem como justificativa a necessidade de aprimorar os métodos de higienização dos carros de distribuição de refeições hospitalares, visando reduzir riscos de infecção e otimizar os processos de limpeza. A proposta de um sistema automatizado de desinfecção por luz UV busca não apenas mitigar a contaminação microbiológica, mas também oferecer uma alternativa viável e tecnicamente eficaz para a rotina hospitalar.

Assim, o objetivo geral deste estudo é desenvolver e avaliar uma solução tecnológica baseada no uso da radiação ultravioleta para higienização dos carros de distribuição de dietas em hospitais. A questão norteadora que guia esta pesquisa: É possível reduzir a contaminação microbiológica em carrinhos de distribuição de dietas hospitalares por meio de um sistema automatizado de desinfecção utilizando luz (UV)?

ESTADO DA ARTE E DA TÉCNICA

1- Revisão da Literatura

1.1- Distribuição de Refeições em Ambientes Hospitalares

Os carrinhos de transporte de alimentos são amplamente utilizados em hospitais do Brasil e do mundo para distribuição de refeições dos pacientes e de seus acompanhantes (BERTINATO, 2015). Os modelos existentes são diversos, com preços que variam de acordo com a função específica desejada para cada um, porém, hospitais brasileiros adquirem com maior frequência os carrinhos “esqueleto”, nos quais as bandejas são depositadas livremente, e os carrinhos “térmicos”, que são fechados e termicamente impermeáveis, ilustrados na Figura 1. (MEDICALEXPO, 2024)

FIGURA 1: Carrinho "esqueleto" (esquerda) e carrinho térmico (direita).



Fonte: KIM (2013)

No cenário hospitalar brasileiro, as principais empresas responsáveis pela comercialização de carrinhos de transporte alimentar são: Mediteq comercial®, UFA hospitalar®, Electro Calorique Groupe® e SoCamel Technologies®.

A empresa SoCamel® é uma empresa francesa que possui os seguintes modelos: o Servizio, o Servizio cafe, o carrinho Multiserv e o Ergochef, ilustrados na Figura 2. No Servizio Cafe, existe a possibilidade da adequação de 3 diferentes tipos de líquidos que serão colocados no momento de servir o paciente e que se mantém aquecido até a distribuição do carrinho (MEDICALEXPO, 2024), o que contribui para minimizar queixas relacionadas à temperatura inadequada das bebidas servidas aos pacientes. Ele emite , ainda, alertas automáticos que indicam quando a limpeza é necessária, reduzindo risco de contaminação pelo manuseio

excessivo pelo copeiro, que é o profissional responsável pela distribuição dos alimentos.

O carrinho da Multiserv® apresenta funções de cocção, refrigeração e transporte seguro e eficaz dos alimentos, com foco voltado para operação silenciosa com intuito de incomodar menos os pacientes internados em enfermarias ou Unidades de Terapia Intensiva (UTI).

FIGURA 2: Três carrinhos vendidos pela empresa francesa Socamel na ordem: Ergochef - Servizio Café - Multiserv



Fonte: MEDICALEXPO (2024)

Apesar dos avanços tecnológicos, nos hospitais brasileiros, a realidade é distinta. A limitação orçamentária frequentemente obriga a adoção de modelos mais simples, principalmente o carrinho do tipo “esqueleto”, o que contribui para queixas de alimentos frios e aumento do risco de contaminação e disseminação de patógenos, com implicações para a segurança tanto dos pacientes quanto dos copeiros, devido ao maior contato com o ambiente. O uso de filme plástico para envolver as bandejas, uma das soluções adotadas para minimizar esse contato, representa um risco adicional, pelo risco de contaminação cruzada durante a sua aplicação manual (KIM, 2013).

Embora o carrinho térmico apresente uma melhoria quanto a preservação da temperatura dos alimentos, o seu manejo apresenta pontos negativos devido a dificuldade operacional e de mobilidade, e a obstáculos na limpeza como a retenção de água nas bandejas após a lavagem, facilitando o erro na limpeza que faz com que as bandejas endureçam e se tornem mais difíceis de tirar do carrinho conforme o estudo de Kim et al. (2013).

1.2- Higienização e Riscos de Contaminação

A realidade dos carrinhos de alto padrão, quando bem higienizados, poderia contribuir para uma diminuição da incidência de infecções relacionadas à alimentação. Contudo, considerando as limitações orçamentárias da maioria dos hospitais brasileiros, uma alternativa viável está na adoção de métodos de higienização mais eficientes e menos operador-dependente

(DRAEGER, 2019).

Os copeiros são os profissionais responsáveis pelo manejo e pela limpeza dos carrinhos e das bandejas utilizados na distribuição de refeições para pacientes internados. De forma rotineira, os carrinhos passam por ciclos diários que envolvem a distribuição do alimento dentro do hospital, ficando em contato com diversos setores e, dessa forma, expondo-se a diversas partes da instituição que podem trazer os mais variados tipos de patógenos, sendo a higienização deles de fundamental relevância para evitar a disseminação deles e potenciais doenças. Existem três locais principais por onde os carrinhos passam com maior frequência: o Serviço de nutrição e dietética (SND), as copas e as unidades clínicas (KIM, et al 2013; DRAEGER, 2019).

Ainda de acordo com Kim et al. (2013) mostrou que a montagem das bandejas ocorre no SND, seguida de ajustes nas copas e, por fim, na distribuição nas clínicas. Após o uso, as bandejas reutilizáveis são lavadas manualmente com água corrente de torneiras industriais, produtos de limpeza em esponja, e devolvidas aos carrinhos para a secagem com pano seco, e o ciclo se repete a cada refeição. Tal procedimento ocorre de maneira similar na maioria dos Hospitais Universitários do Brasil, podendo diferir nos produtos químicos para garantir higienização mais eficaz.

Por tanto, ressalta-se a necessidade de uma higienização eficiente e sistemática dos carrinhos de distribuição de alimentos, a fim de evitar a propagação de patógenos entre pacientes e profissionais. A parte interna dos carrinhos pode apresentar umidade decorrente dos alimentos, favorecendo a proliferação de microrganismos, enquanto a parte externa é constantemente manipulada pelas copeiras, que circulam por diferentes quartos e enfermarias, potencializando o risco de contaminação cruzada.

1.3- Níveis de Desinfecção e Produtos Utilizados

Existem três níveis principais de desinfecção de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA): baixo, intermediário e alto. A desinfecção de baixo nível Remove a maioria das bactérias vegetativas, alguns fungos e alguns vírus, mas não é eficaz contra micobactérias ou esporos bacterianos e é adequada para superfícies e artigos não críticos, ou seja, aqueles que entram em contato apenas com a pele íntegra do paciente como estetoscópios (ANVISA, 2010).

Já a de nível moderado é eficaz contra bactérias vegetativas, a maioria dos vírus e fungos, e também contra micobactérias, no entanto, não elimina esporos bacterianos, sendo indicada para artigos semicríticos, que entram em contato com mucosas ou pele não íntegra, como endoscópios e alguns equipamentos de terapia respiratória (ANVISA, 2010).

E a de alto nível elimina todos os microrganismos, exceto um grande número de esporos bacterianos, caracterizada por ser um processo mais rigoroso, geralmente aplicado a artigos semicríticos que não podem ser submetidos à esterilização como alguns tipos de endoscópios (ANVISA, 2010).

O álcool 70%, embora eficaz contra bactérias vegetativas e alguns vírus envelopados, evapora rapidamente, o que pode comprometer o tempo de contato necessário para desinfecção adequada. Além disso, é ineficaz na presença de sujidade visível e não atua contra esporos (WEBER et al., 2010). Já os compostos fenólicos e quaternários de amônio são usados em superfícies não críticas, mas apresentam limitações frente a alguns vírus e micobactérias. O peróxido de hidrogênio e o glutaraldeído, classificados como desinfetantes de alto nível, são empregados em equipamentos semi críticos, como endoscópios. No entanto, o glutaraldeído, apesar de eficaz, apresenta toxicidade para os profissionais expostos, exigindo manuseio cuidadoso e áreas ventiladas (RUTALA, 2010).

Apesar da variedade de agentes disponíveis, há fragilidades recorrentes no processo de desinfecção, como o uso inadequado de diluições, tempo de contato insuficiente, armazenamento incorreto dos produtos e falhas na capacitação das equipes de limpeza. Além disso, a ausência de padronização nos protocolos institucionais e a falta de monitoramento da eficácia da desinfecção são apontadas como fatores críticos que comprometem os resultados esperados, especialmente em ambientes de assistência à saúde (WHO, 2016; ASSADIAN et al., 2021).

1.4- Agentes Microbiológicos Relacionados à Nutrição Hospitalar

Existem dois tipos de microrganismos que podem se encontrar e contaminar os alimentos: os deterioradores e os patogênicos. Os microrganismos deterioradores são aqueles que podem mudar a cor, textura, odor e a aparência do alimento, e os patogênicos são os responsáveis por infecções, agravando o estado de saúde dos pacientes, sendo os mais comuns: *Staphylococcus aureus* (coagulase positiva), *Klebsiella spp*, *Pseudomonas spp*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes* (SILVA et al., 2006).

Entre os principais patógenos associados à contaminação alimentar em ambientes hospitalares, destaca-se o *Staphylococcus aureus* (coagulase positiva), microrganismo frequentemente relacionado a infecções hospitalares. Sua capacidade de resistir a baixas temperaturas permite sua sobrevivência em ambientes refrigerados, o que aumenta o risco de sua presença em alimentos armazenados inadequadamente. A transmissão pode ocorrer tanto por contato direto com indivíduos infectados quanto de forma indireta, por meio de objetos ou

alimentos contaminados (TOUAITIA et al., 2025; CHEUNG, BAE, OTTO 2021).

Outro patógeno relevante é a *Klebsiella spp.*, que, embora colonize naturalmente o trato gastrointestinal, respiratório e geniturinário, pode causar infecções graves, principalmente em pacientes imunossuprimidos ou em extremos de idade, grupos comumente presentes no ambiente hospitalar (GUPTA et al., 2023). A presença desses microrganismos em superfícies ou utensílios utilizados na distribuição de alimentos representa um risco significativo para a segurança alimentar dos pacientes hospitalizados.

A *Escherichia coli*, integrante natural da microbiota intestinal humana, é amplamente reconhecida como um indicador de contaminação fecal em alimentos e água. Embora diversas cepas sejam comensais, algumas variantes patogênicas estão associadas a doenças graves, como colite hemorrágica, síndrome hemolítico-urêmica e púrpura trombocitopênica trombótica, condições que podem ter desfechos clínicos severos, especialmente em indivíduos hospitalizados, imunossuprimidos ou em extremos de idade (SCHMIDT, et. al., 2025).

De forma semelhante, a *Listeria monocytogenes* é um patógeno ambiental de ampla distribuição, frequentemente encontrado em água, solo e alimentos contaminados, com destaque para produtos lácteos e prontos para o consumo. Sua relevância no contexto hospitalar decorre do potencial de causar infecções graves, como septicemia, meningite e infecções intrauterinas, com alta taxa de letalidade entre gestantes, neonatos e pacientes imunocomprometidos (MANYI-LOH, RYK LUES, 2025). Dessa forma, a presença dessas bactérias em alimentos oferecidos a pacientes internados representa um risco significativo à segurança alimentar no ambiente hospitalar.

Em adição, o estudo de Silva et al. (2023), realizado em um hospital de baixa e média complexidade no Rio Grande do Sul, identificou crescimento bacteriano em 50 dos 99 pontos avaliados, incluindo superfícies de contato frequente e equipamentos utilizados na assistência direta aos pacientes. Foram isolados *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA) e *Estafilococos coagulase negativa* (ECN), com maior prevalência nas áreas da clínica médica e do setor de nutrição, ambientes com intensa manipulação de materiais e proximidade constante com os pacientes.

As superfícies contaminadas incluíam estetoscópios, mesas cirúrgicas, berços aquecidos, bandejas de alimentação e as mãos dos profissionais de saúde. Esses achados reforçam a necessidade de protocolos rigorosos de higienização e controle microbiológico em áreas críticas, especialmente naquelas relacionadas ao preparo e à distribuição de alimentos, a fim de prevenir infecções cruzadas e garantir a segurança dos pacientes.

No contexto hospitalar, especialmente nas unidades de nutrição e dietética, objetos

compartilhados entre diferentes setores, como carrinhos de distribuição e bandejas, foram identificados como potenciais veículos de contaminação cruzada. Associado a isso, a inadequada temperatura de armazenamento e transporte dos alimentos favorece a proliferação de patógenos, representando um risco significativo à segurança alimentar. O preparo insuficiente ou a manutenção dos alimentos fora das faixas térmicas adequadas aumenta a incidência de infecções relacionadas à ingestão de microrganismos como *Salmonella spp.*, *E. coli* e *S. aureus* (TAVARES et al., 2023). Esses fatores, quando combinados, evidenciam a necessidade de protocolos rigorosos de controle sanitário, com ênfase na higienização dos utensílios, na vigilância da cadeia térmica e na capacitação contínua dos profissionais envolvidos na manipulação e distribuição de alimentos em ambientes hospitalares.

A contaminação alimentar em ambientes hospitalares está diretamente associada a falhas na higienização das mãos e ao manejo inadequado dos alimentos. Coelho et al. (2021) apontam que hábitos de higiene precários figuram entre as principais causas da presença de microrganismos em utensílios e superfícies. Em consonância com esses dados, Maestri et al. (2020) identificaram Enterobactérias Resistentes aos Carbapenêmicos (ERC) em 10% das amostras coletadas das mãos de manipuladores de alimentos, como copeiras e auxiliares de cozinha, evidenciando riscos significativos à segurança alimentar hospitalar. A presença de microrganismos multirresistentes nesse contexto reforça a necessidade de estratégias eficazes de controle sanitário, capacitação contínua das equipes e monitoramento das práticas adotadas nos setores de nutrição e dietética.

Diante das exigências de biossegurança nas instituições de saúde, torna-se essencial a adoção de tecnologias que reduzam o contato direto entre os profissionais e as superfícies potencialmente contaminadas. A luz ultravioleta (UV), especialmente do tipo C (UV-C), tem se consolidado como uma alternativa eficaz para a desinfecção de ambientes hospitalares, sobretudo após a pandemia de COVID-19, quando seu uso foi intensificado e expandido para diferentes contextos (CARVALHO et al., 2022). Apesar de seu uso ser conhecido desde o final do século XIX, sua aplicação em larga escala só se tornou comum mais recentemente, como parte das estratégias de prevenção de infecções.

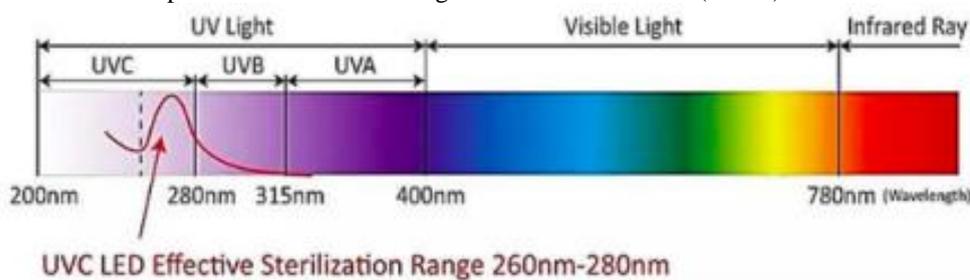
1.5. A radiação UV

A radiação UV-C, com comprimento de onda entre 200 e 280 nanômetros, tem capacidade de danificar o material genético de microrganismos, inativando bactérias e vírus e impedindo sua replicação (DARNELL et al., 2004). Essa característica a torna especialmente relevante em áreas críticas, como as cozinhas hospitalares, onde a eficácia da higienização é

determinante para a prevenção de surtos infecciosos.

Assim, o uso de tecnologias como a radiação UV-C deve ser compreendido não apenas como um recurso complementar, mas como parte integrante de protocolos sanitários mais modernos, capazes de responder aos desafios impostos pela resistência microbiana e pela alta vulnerabilidade dos pacientes hospitalizados. A incorporação dessas soluções exige planejamento, investimento e formação técnica adequada das equipes, reforçando a necessidade de uma abordagem sistêmica e integrada na gestão da segurança alimentar hospitalar. (MAUGERI, et al., 2025).

FIGURA 3: Espectro de ondas eletromagnéticas do Ultravioleta (UV-C) até Infravermelho.



Fonte: Carvalho et al. (2022)

Devido às suas propriedades germicidas e ao elevado poder de penetração no DNA e RNA de microrganismos, a radiação ultravioleta, especialmente na faixa UV-C, apresenta-se como uma alternativa eficaz para a inativação de patógenos potencialmente prejudiciais à saúde humana. No entanto, a exposição direta à radiação UV-C pode causar danos ao DNA de células humanas, o que exige que sua aplicação seja realizada de forma automatizada e na ausência de pessoas, a fim de garantir a segurança durante os processos de desinfecção (CARVALHO, 2022).

O uso da luz ultravioleta germicida (UVGI) é reconhecido como um método eficiente para a desinfecção de patógenos, uma vez que provoca alterações estruturais nos ácidos nucleicos, inativando a capacidade de replicação e, conseqüentemente, de infecção (KOWALSKI, 2009; RUTALA, 2010). A energia eletromagnética emitida pelas lâmpadas UV penetra a parede celular dos microrganismos e compromete seu material genético, tornando-os metabolicamente inativos.

A aplicação da radiação UV como tecnologia de desinfecção passou por um importante processo de desenvolvimento ao longo dos séculos. O marco inicial ocorreu em 1835, com a criação da lâmpada de arco de vapor de mercúrio por Wheatstone ainda rudimentar, mas representativa do potencial tecnológico. Já em 1877, Downes e Blunt documentaram os

primeiros experimentos sobre os efeitos germicidas da luz solar, observando que a radiação, sobretudo nos comprimentos de onda azul-violeta, era eficaz na inativação bacteriana base conceitual para a tecnologia UV-C atualmente empregada (KOWALSKI, 2010).

Em 1910, foi realizada a primeira aplicação prática de desinfecção de água por radiação UV em Marselha, França, demonstrando seu potencial no controle microbiológico em sistemas públicos. Poucos anos depois, Henri (1914) comprovou os efeitos fotoquímicos da radiação sobre microrganismos, consolidando os princípios científicos que ainda embasam o uso da UV-C em ambientes críticos, como hospitais, laboratórios e cozinhas industriais (MARTIN, 2008).

O reconhecimento institucional da tecnologia veio mais recentemente. Em 2003, a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) criou o grupo de trabalho TG2.UVAS, voltado ao uso da radiação UV em sistemas de tratamento de ar e superfícies, posteriormente formalizado como o Comitê Técnico TC 2.9, em 2007 (MARTIN ET AL., 2008). Esse movimento reflete o crescente interesse da comunidade científica e técnica na radiação UV como ferramenta complementar aos protocolos tradicionais de higienização, diante da expansão das infecções nosocomiais e da resistência microbiana.

Castro et al. (2020) apresentaram evidências da eficácia da tecnologia na eliminação de diversos vírus, recomendando sua aplicação como estratégia adicional de desinfecção de ambientes. Anteriormente, McDevitt et al. (2012) já haviam comprovado a ação da luz UV contra bactérias, fungos e vírus em procedimentos laboratoriais, ampliando sua credibilidade científica e prática.

Nos últimos anos, a tecnologia UV tem evoluído significativamente, com a criação de dispositivos patenteados para diferentes contextos de uso. Dentre eles, destacam-se gavetas específicas para higienização de cédulas, compartimentos acopláveis a armários para limpeza de utensílios em ambientes hospitalares e domésticos, caixas espelhadas que otimizam o tempo de exposição e cabines desenvolvidas para a desinfecção de roupas (SILVA et al., 2020). Esses avanços demonstram o potencial adaptativo e a versatilidade da tecnologia, cuja aplicação no ambiente hospitalar contribui significativamente para o fortalecimento dos protocolos de biossegurança.

2- Busca da Anterioridade

Antes de iniciar o desenvolvimento do protótipo do sistema, de forma a verificar a disponibilidade de ferramentas semelhantes à da pesquisa, foi realizada uma busca de anterioridade em bases de depósitos de pedidos de patentes, sendo elas ESPACENET, PATENTSCOPE, INPI, ORBIT, com os seguintes descritores: Carrinho; Alimentação Hospitalar; Esterilização; Luz UV; Hospital; Contaminação; Pacientes; Trolley; food hospital; sterilization; ultraviolet rays; hospitals; contamination; patient. Seguindo a proposta de um carrinho móvel com luz ultravioleta (UV) para uso em ambientes hospitalares, verificando a existência de anterioridades que possam comprometer os requisitos de novidade e atividade inventiva, conforme definidos nos artigos 8º, 11 e 13 da Lei da Propriedade Industrial (LPI - Lei nº 9.279/1996) ilustrados na tabela 1.

TABELA 1: Patentes relacionadas ao desenvolvimento de equipamentos para desinfecção por UV

DOCUMENTO	PAÍS / Nº DE DEPÓSITO	BREVE DESCRIÇÃO
D1	KR20220042552	Carro de distribuição de alimentos com função de esterilização por UV em espaço interno. Aplicação em hospitais, escolas.
D2	CN217886619U	Veículo de desinfecção UV com mecanismo de limpeza da lâmpada, evitando quebra e aumentando eficiência.
D3	CN211157470U	Veículo UV multifuncional dobrável com altura ajustável e direcionamento rotativo da luz UV
D4	BR 10 2020 023727 6	Sistema de descontaminação e conservação de alimentos com UV, ozônio e ação fotodinâmica.
D5	BR 20 2021 006030 7	Equipamento de descontaminação com mesa rotativa e luz UV-C para itens de mercado e indústria.
D6	BR 10 2020 009176 0	Cabine de descontaminação UV para embalagens em pontos de entrada/saída de estabelecimentos comerciais.

REFERÊNCIAS NÃO PATENTÁRIAS: Não foram encontradas nenhuma referência com o uso de palavras chaves indicadas pelos autores.

O documento D1 refere-se a um carro elétrico de distribuição de alimentos utilizado em um local de distribuição de alimentos em massa, como um hospital, uma escola, um instituto de treinamento ou similar. A invenção refere-se ao carro de distribuição de alimentos que adiciona uma função de esterilização utilizando raios ultravioleta a um espaço de armazenamento interno do carro de distribuição de alimentos e adiciona controle eficiente de modo a obter um efeito de prevenção eficiente de intoxicações alimentares.

O documento D2 refere-se a um veículo de desinfecção ultravioleta seguro para locais

públicos e refere-se à área técnica de veículos de desinfecção ultravioleta. O mecanismo de limpeza está conectado à superfície do corpo e compreende uma ranhura deslizante, a ranhura deslizante é formada na superfície de um braço da lâmpada do corpo, um bloco deslizante é conectado de forma móvel ao interior da ranhura deslizante, dois blocos de conexão dispostos são conectados à superfície do bloco deslizante e um anel móvel é conectado a uma extremidade de cada bloco de conexão.

O algodão de limpeza é conectado à superfície circular interna do anel móvel e fica em contato com a superfície da lâmpada ultravioleta do corpo; ao organizar o mecanismo de limpeza, um usuário pode limpar convenientemente a superfície da lâmpada ultravioleta sem desmontar o tubo da lâmpada, de modo que a eficiência da limpeza seja melhorada e, enquanto isso, o problema de o tubo da lâmpada estar quebrado devido ao fato de que a força de limpeza é muito grande quando o usuário limpa a lâmpada ultravioleta também é evitada.

O documento D3 divulga um veículo de desinfecção ultravioleta multifuncional dobrável contendo uma placa móvel disposta na superfície da extremidade superior. Contém garras que são montadas nos dois grupos de placas móveis; as bases são instaladas nos cantos da extremidade inferior do veículo de desinfecção ultravioleta, as rodas giratórias são dispostas nas extremidades inferiores das quatro bases, as mangas são instaladas fixamente nos cantos da extremidade inferior do veículo de desinfecção ultravioleta, as hastes de elevação são dispostas em as quatro mangas, e um disco de fixação é instalado fixamente no meio da extremidade inferior do veículo de desinfecção ultravioleta.

De acordo com o veículo de desinfecção ultravioleta, através da cooperação mútua da primeira haste dobrável e da segunda haste dobrável, o bom efeito de dobramento é alcançado, o ângulo de irradiação da lâmpada ultravioleta pode ser ajustado em um modo rotativo, a desinfecção por irradiação ultravioleta na faixa máxima pode ser alcançada, o bom efeito de desinfecção é alcançado, a altura do veículo de desinfecção ultravioleta pode ser ajustada preliminarmente e a desinfecção móvel pode ser conduzida.

O documento D4 descreve um sistema de descontaminação e conservação de alimentos in natura aplicado em balcões expositores refrigerados. O mecanismo combina baixa temperatura, radiação ultravioleta (UV), ozônio (O₃) e ação fotodinâmica, atuando nos mecanismos celulares dos microrganismos para inibir a formação de colônias bacterianas ou eliminar aquelas já existentes. A invenção é voltada à descontaminação de alimentos expostos a microrganismos provenientes do ambiente, da manipulação, preparação, fracionamento, armazenamento, transporte, distribuição ou exposição para venda.

O documento D5 divulga um equipamento de descontaminação de itens vendidos em

mercados, lojas ou em linhas de produção industrial, independente da temperatura. O sistema compreende de uma cabine com uma mesa rotativa com 03 subdivisões, a qual transporta mercadorias embaladas ou não, a uma câmara de material refletivo (para exposição completa das superfícies) contendo fontes de luz germicidas UV-C (200 a 290 nm) na parte superior, lateral e inferior da câmara, para que ocorra exposição completa do produto alvo aos raios de luz, mesmo em áreas sombreadas do produto, embalados ou não, que se deslocam em forma rotativa por três regiões: um primeiro setor de colocação do produto, o segundo de descontaminação e o terceiro setor de retirada do produto.

O documento D6 apresenta uma cabine de descontaminação por radiação UV, projetada para o tratamento de mercadorias e embalagens nas áreas de entrada e saída de estabelecimentos comerciais e residenciais, como supermercados, farmácias, condomínios, centros logísticos, transportadoras e almoxarifados. O dispositivo tem como objetivo mitigar a contaminação cruzada por microrganismos patogênicos durante o tráfego de volumes por ambientes potencialmente contaminados.

Considerando esses documentos, o projeto aqui analisado apresenta elementos diferenciais que podem configurar atividade inventiva. Destaca-se, sobretudo, a proposta de integração da radiação UV a um carrinho hospitalar com aplicação móvel e funcionalidade voltada à descontaminação de ambientes internos. Essa solução representa uma inovação relevante no contexto hospitalar, com potencial de reforçar as medidas de biossegurança e prevenção de infecções.

OBJETIVOS

1. Objetivo Geral

Desenvolver a construção de um equipamento utilizando luz UV para desinfecção dos carros de transporte de dietas.

2. Objetivos Específicos

Realizar revisão de literatura sobre o tema;

Determinar os patógenos encontrados na pesquisa através da análise microbiológica do swab das superfícies;

Confeccionar um desenho industrial do equipamento;

Avaliar a eficácia da descontaminação com luz UV.

METODOLOGIA

1. Delineamento da pesquisa

1.1 Tipo de Estudo

Trata-se de uma pesquisa observacional, transversal, de produção tecnológica que tem como objetivo o desenvolvimento, avaliação e aperfeiçoamento de instrumentos e estratégias metodológicas voltadas para o desenvolvimento do projeto na área de Nutrição hospitalar. (Polit; Beck, 2011)

1.2. Revisão de literatura

Foi realizada uma revisão junto à literatura com um referencial teórico por meio de busca nas bases de dados eletrônicas SciELO, Lilacs, Capes, Bireme e PubMed, Scopus e capítulos de livros com artigos relevantes para o objetivo da pesquisa. Em cada base de dados, foram utilizados os descritores obtidos pela ferramenta MeSH/DeCS com o operador booleano “AND”: “Raios ultravioleta”, “Desinfecção”, “Controle de infecções”, “Hospital”; “Infecção Hospitalar” em português e inglês. Além dos termos “carrinho de alimentos” e “food trolley”.

Foram identificados 367 artigos relacionados ao tema proposto. Após a leitura dos títulos e resumos, aplicaram-se os critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão consideraram artigos que abordassem formas de desinfecção em ambiente hospitalar, uso de luz UV para desinfecção ou contaminação cruzada publicados nos últimos 10 anos, nos idiomas português ou inglês, que estivessem disponíveis na íntegra.

Os critérios de exclusão envolveram trabalhos duplicados, estudos fora do escopo da pesquisa, resumos não disponíveis e publicações que não atendiam aos objetivos da revisão. Com base nesses critérios, 45 artigos foram selecionados para leitura na íntegra. Esses artigos foram analisados de forma detalhada quanto à metodologia, resultados e contribuições para o tema em questão.

Os artigos selecionados para a análise foram os que abordaram tipos de carros de transporte de dietas, manutenção dos carros, principais patógenos encontrados no ambiente hospitalar, o uso de luz ultravioleta para a higienização e desinfestação e quando a luz UV começou a ser utilizada no conceito hospitalar.

Após a revisão da literatura, foram direcionadas as ações e fases do estudo. Destarte ao englobar os dois assuntos aqui citados, este trabalho tem como objetivo encontrar uma nova forma tecnológica que consiga realizar a higienização dos carrinhos que fazem a distribuição de comida hospitalar através do uso da Luz Ultravioleta e assim responder a questão que norteia

a pesquisa: é possível minimizar a contaminação da comida hospitalar através de alternativas tecnológicas?

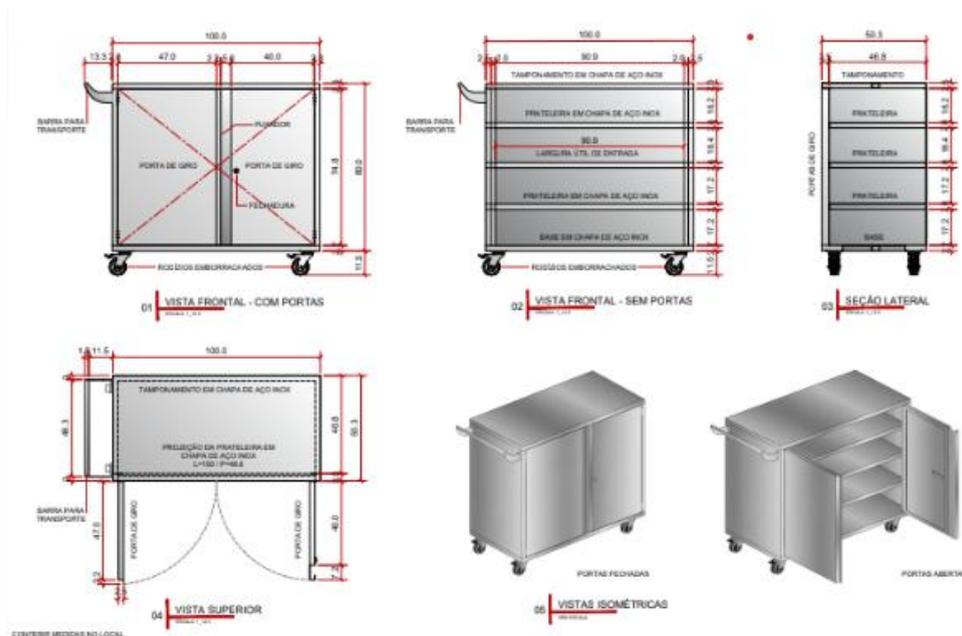
1.3 Aspectos éticos da pesquisa

Esta pesquisa não envolve, em nenhuma de suas etapas, informações diretamente referentes a pessoas, portanto dispensou a aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa de acordo com as diretrizes da Resolução CNS N° 466, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde, que normatiza as pesquisas envolvendo seres humanos.

1.4 Análise do carro de transporte de dietas do HU/UFS/ EBSERH

Após a revisão de literatura e dispensado do comitê de ética e pesquisa por não envolver seres humanos, o carrinho de refeições utilizado no Hospital Universitário de Sergipe foi analisado em seu material (aço inoxidável) e dimensões (100 cm na maior extensão), conforme ilustrado na figura 4. A partir disso, desenvolveu-se um protótipo de estrutura complementar para sobreposição ao carrinho, contendo lâmpadas UV-C estrategicamente posicionadas para garantir a exposição de todas as superfícies internas.

FIGURA 4: Carrinho de serviço- refeições utilizado no HU/UFS/ EBSERH

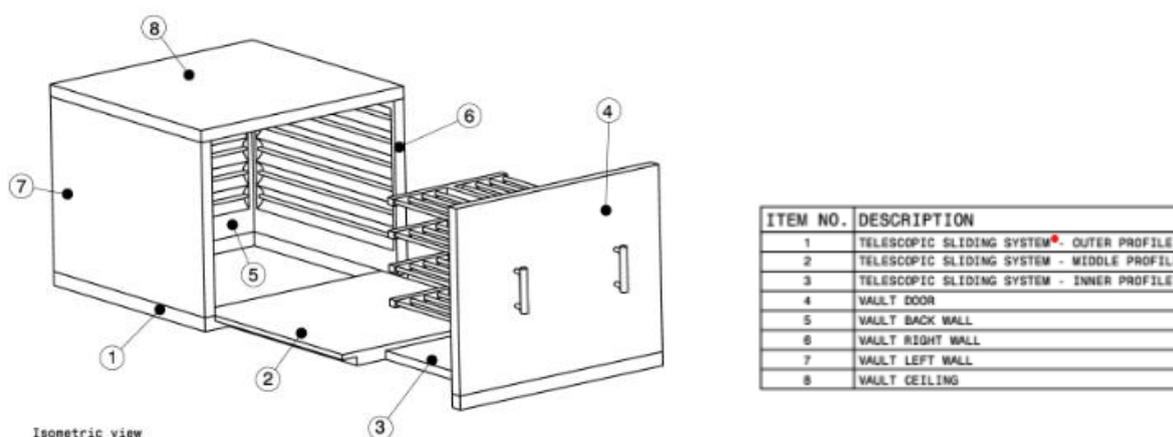


FONTE: Próprio autor, 2025.

1.5. Desenvolvimento do protótipo do produto

Após isso, foi desenvolvido o protótipo de uma caixa para sobrepôr o carrinho de transporte de refeições com as lâmpadas Uv-C instaladas estrategicamente para realização da irradiação e descontaminação com exposição adequada de todas as superfícies, em parceria com engenheiros da faculdade de Pisa na Itália, conforme ilustrado na figuras 5 e no anexo B. O sistema foi projetado também com um temporizador e um mecanismo de segurança de travamento para evitar a exposição da equipe à radiação UV-C durante o manuseio.

FIGURA 5: Protótipo da caixa de desinfecção com luz UV-C



FONTE: Próprio autor, 2025.

Após aprovação e alinhamento de todos os pontos, o produto foi construído em uma estrutura de Medium Density Fiberboard (MDF) de acordo com o projeto tridimensional, sendo montada utilizando parafusos e cola específica, garantindo estabilidade. Posteriormente, foram instalados os soquetes e as lâmpadas UV-C nas posições previamente definidas. A parte elétrica incluiu a montagem do circuito de acionamento das lâmpadas, incorporando o sistema de segurança do intertravamento da porta e um timer programável para controle do tempo de exposição à UV-C, conforme ilustrado na figura 6:

1.6. Análise comparativa de eficiência e custo/ benefício

A segunda fase foi uma análise comparativa do custo/benefício da desinfecção realizada com álcool 70% com o custo com a luz UV-c. Para a realização das medidas foi utilizado um radiômetro digital da marca Solarmeter® (Número de série 01845), modelo 8.0 UVC, ilustrado na figura 7. Esse radiômetro tem sensibilidade na região espectral de 246 a 262 nm, com pico de resposta em 254 nm, podendo realizar medidas de 0 a 199 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ com precisão de 10%.

O radiômetro foi certificado segundo procedimento acreditado pelo NIST e o certificado de no. 01845, realizado em junho de 2023. A eficiência da desinfecção das superfícies foi

analisada através de testes microbiológicos das mesmas, em laboratório credenciado pela Universidade Federal de Sergipe (UFS), sendo feito no Laboratório de Pesquisa em Bioquímica e Imunologia Clínica da Universidade Federal de Sergipe (LABIC/UFS).

FIGURA 6: Produto desenvolvido



FONTE: Próprio autor, 2025

FIGURA 7: Radiômetro



FONTE: Próprio autor, 2025

Sendo assim, a pesquisa comparou quatro protocolos distintos de higienização dos carrinhos de dieta, definidos da seguinte forma:

- Grupo 1: submetido a limpeza padrão do HU/UFS/EBSERH, utilizando solução de etanol a 70% e detergente neutro;
- Grupo 2: controle negativo, ausência de qualquer procedimento de sanitização;
- Grupo 3: submetido a limpeza utilizando solução de etanol a 70% ;
- Grupo 4: submetido a irradiação com luz UV-C durante 10 minutos após o transporte de alimentos.

O detergente neutro utilizado no HU/UFS/EBSERH é da Surfic[®] (Profilática Produtos Odonto Medico Hospitalares S.A, Paraná, Brasil) (Ebserh, 2024a), cuja composição tem como agente principal o Poli-hexametileno Biguanida, um polímero que age diretamente na membrana celular dos microrganismos, expondo o conteúdo celular e tendo efeito microbicida, além de possuir um tensoativo catiônico para permitir a entrada de água e emulsificar a solução (Profilatica, 2025).

Já o álcool utilizado é o etílico a 70% da Essencial Cosméticos Indústria LTDA (São Paulo, Brasil) (Ebserh, 2024b). Com relação a Luz UV-C, o tempo de exposição foi definido com base em estudos anteriores e capacidade germicida da radiação, balanceando eficiência microbiológica e viabilidade operacional.

1.7. Coleta e Análise microbiológica

As coletas microbiológicas foram realizadas em três lados específicos de cada carrinho: a superfície interna, a alça e as rodas, sendo selecionados ao todo 15 pontos distintos da superfície do equipamento, previamente definidos com base em critérios de contato manual frequente e potencial de contaminação cruzada. A localização exata dos pontos amostrados está representada esquematicamente na Figura 8.

As amostras foram obtidas por meio da técnica de swab estéril, seguindo protocolo asséptico. Cada swab foi previamente umedecido em solução salina estéril (0,85%) e friccionado vigorosamente sobre uma área de aproximadamente 25 cm² de cada ponto definido. Os swabs foram acondicionados em tubos contendo caldo Brain Heart Infusion (BHI) (Laborclin[®], Paraná, Brasil) e incubados a 37 °C por 24 horas, com o objetivo de detectar a presença de crescimento bacteriano (teste de presença/ausência) e foram direcionadas para análise no Laboratório de Pesquisa em Bioquímica e Imunologia Clínica da Universidade Federal de Sergipe (LABIC/UFS).

FIGURA 8: Pontos de coleta com o swab para validação microbiológica da desinfecção



FONTE: próprio autor, 2025.

Para os tubos que apresentaram crescimento bacteriano (resultado positivo no teste de presença/ausência), foi realizada a titulação seriada com o objetivo de quantificar a carga bacteriana. A partir de cada cultura positiva em caldo BHI, foram preparadas diluições decimais seriadas (10^{-1} a 10^{-6}) em solução salina estéril (0,85%). Em seguida, alíquotas de 100 μ L de cada diluição foram semeadas, em duplicata, na superfície de placas contendo caldo BHI.

As amostras que apresentaram turbidez indicativa de crescimento no caldo BHI foram posteriormente semeadas em meio sólido, utilizando técnicas de esgotamento por estrias. Foram empregados dois meios de cultura seletivos e diferenciais: Ágar CLED (Cystine Lactose Electrolyte Deficient) ((Newprov®, Paraná, Brasil) e Ágar SS (Salmonella-Shigella) (Newprov®, Paraná, Brasil) para detecção de enterobactérias, especialmente *Salmonella spp.* e *Shigella spp.* As placas foram incubadas a 37 °C por 24 a 48 horas, sendo posteriormente avaliadas quanto ao número de unidades formadoras de colônias (UFC) e às características morfológicas das colônias (Figuras 10, 11 e 12). As colônias representativas foram submetidas à coloração de Gram para caracterização morfotintorial e presuntiva dos isolados.

1.8. Análise estatística

Foi realizado um teste qui-quadrado de independência para investigar a associação entre o método de higienização ou a condição de limpeza dos carrinhos hospitalares e a presença de contaminação microbiana. Foram avaliados 15 pontos de coleta do carrinho submetido a quatro diferentes métodos de higienização, de forma separada: (1) carrinhos higienizados com álcool a 70% e detergente neutro; (2) carrinhos sujos, ou seja, após o uso habitual e sem a utilização de nenhum protocolo de desinfecção; (3) carrinhos higienizados com álcool a 70%; e (4) carrinhos desinfetados com luz ultravioleta (UV).

A análise estatística foi conduzida por meio de ANOVA (Análise de Variância), seguida do teste post hoc de Tukey para comparação entre os grupos. Foi considerado estatisticamente significativo um valor de p inferior a 0,05.

RESULTADOS

Foram encontradas associações altamente significativas entre o método de higienização/condição de limpeza e a contaminação microbiana, tanto pela placa bacteriana ($\chi^2(3) = 20,135$, $p < 0,001$; $\phi = 0,579$) quanto pelo método BHI ($\chi^2(3) = 23,367$, $p < 0,001$; $\phi = 0,624$). Esses resultados indicam que o método de higienização ou a condição de limpeza dos carros de transporte de dietas influencia significativamente a presença de contaminação microbiana. A análise de razão de chances (odds ratio) revelaram diferenças na probabilidade de contaminação entre os grupos em comparação com o grupo 3 (álcool 70%) que é o padrão utilizado no HU/UFS/EBSERH.

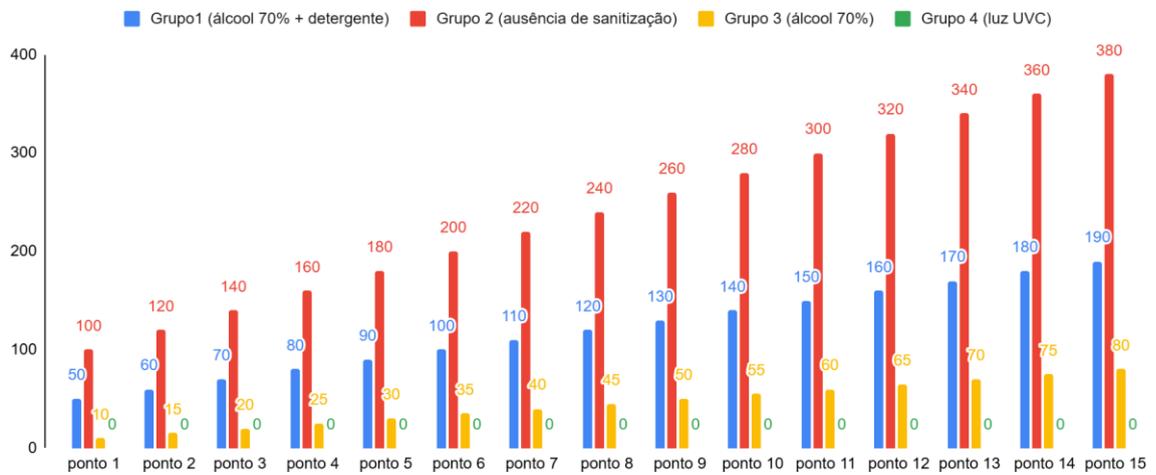
Os carros de transporte de dietas higienizados apenas com álcool 70% (grupo 3) apresentaram menor probabilidade de contaminação, com uma média de contaminação de 45 UFC em 15 pontos coletados. No método placa bacteriana: OR = 0,250, IC 95% [0,059, 1,061]; e pelo método BHI: OR = 0,242, IC 95% [0,058, 1,006] em relação aos higienizados com solução de etanol a 70% e detergente neutro (grupo 1), sugerindo um desempenho inesperadamente superior, apesar da ausência de detergente.

Carros de transporte de dieta sujos, com ausência de sanitização (grupo 2) apresentaram maior probabilidade de contaminação, com uma média de contaminação de 240 UFC em 15 pontos coletados. Pelo método placa bacteriana: OR = 4,800, IC 95% [0,995, 23,149]; e pelo método BHI: OR = 3,438, IC 95% [0,816, 14,479], destacando a necessidade de protocolos de limpeza eficazes.

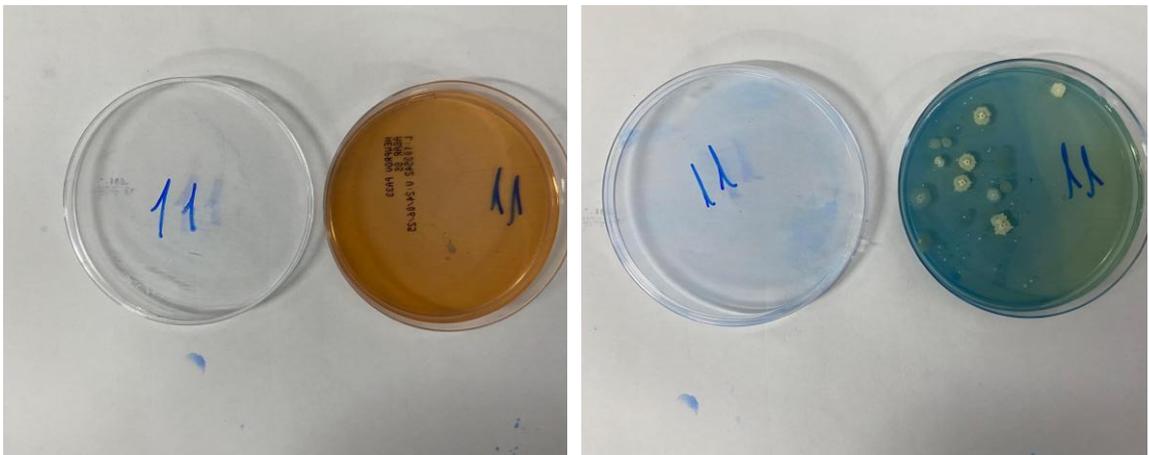
Notavelmente, carrinhos desinfetados com luz UV (grupo 4) não apresentaram contaminação, com resultado de 0% de crescimento de UFC pelos métodos placa bacteriana e método BHI, impossibilitando o cálculo da razão de chances devido à ausência de eventos, mas indicando eficácia superior aos demais grupos. Os resultados analisados foram alocados em um gráfico, como ilustrado nas figuras 9. As imagens 10, 11 e 12 são registros da etapa de cultura das análises microbiológicas.

FIGURA 9: Gráfico dos resultados da pesquisa

Média de crescimento microbiano em cada ponto de coleta

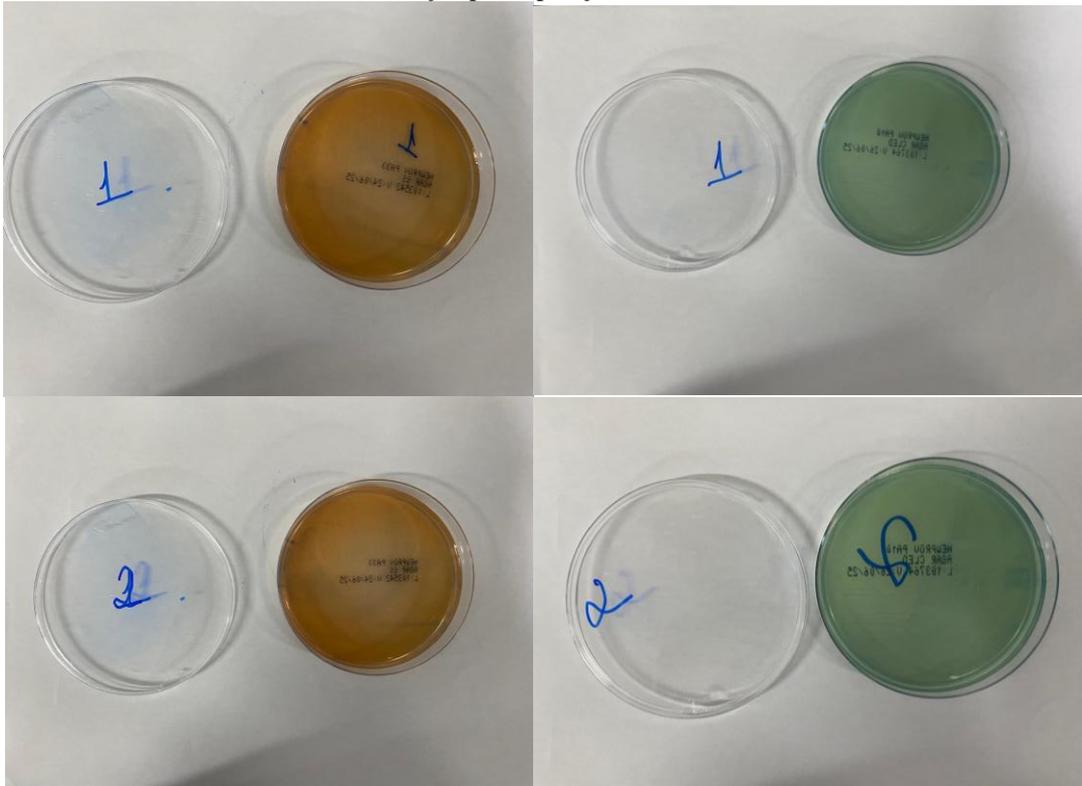


FONTE: próprio autor, 2025.

FIGURA 10: Placas de cultura em ágar SS e CLED referentes ao ponto de coleta 11 do carrinho após desinfecção por exposição à luz UV-C (esquerda) com álcool 70% e detergente (direita).

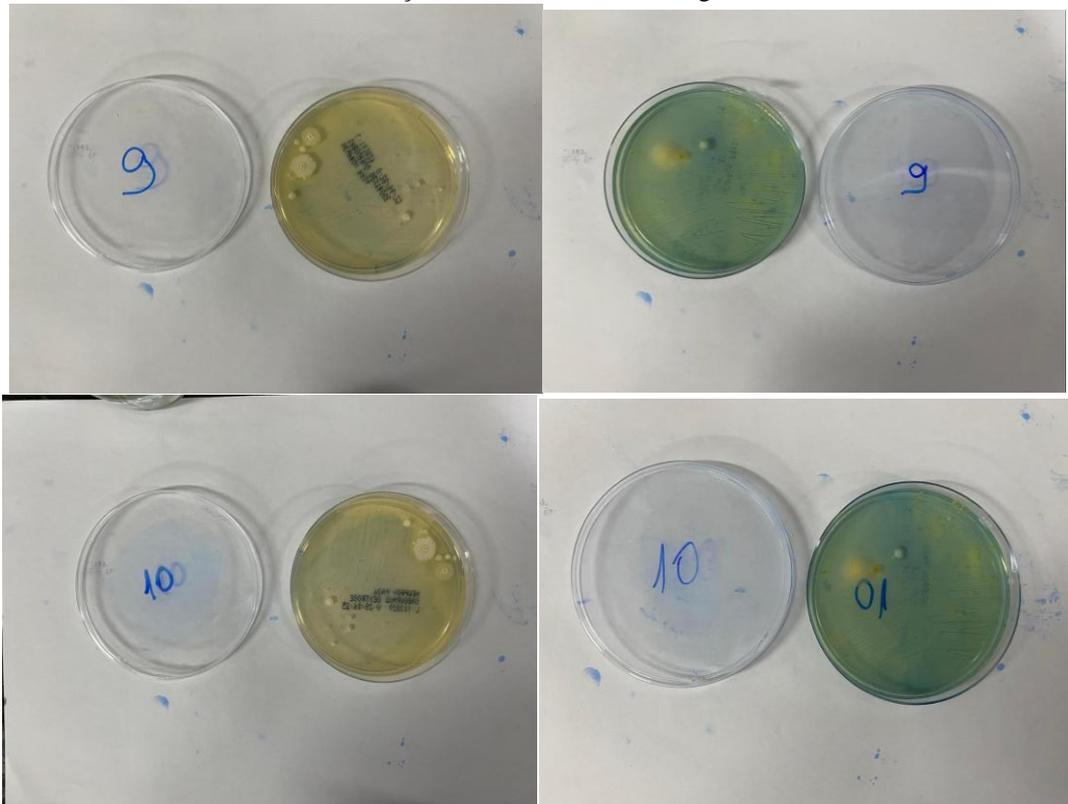
FONTE: próprio autor, 2025.

FIGURA 11: Placas de cultura em ágar SS e CLED referentes aos pontos de coleta 1 e 2 do carrinho após desinfecção por exposição à luz UV-C.



FONTE: próprio autor, 2025.

FIGURA 12: Placas de cultura em ágar SS e CLED referentes aos pontos de coleta 9 e 10 do carrinho após desinfecção com álcool 70% e detergente.



FONTE: próprio autor, 2025.

Na análise do carrinho submetido à higienização com álcool 70%, ocorreu uma redução parcial na carga bacteriana em comparação ao carrinho sem higienização. Apesar da redução na contagem de unidades formadoras de colônia (UFC), foi possível identificar crescimento microbiano em todos os pontos analisados. As UFCs variaram de 50 a 90 por ponto, com crescimento observado em todos os meios utilizados. As principais bactérias encontradas foram *Staphylococcus aureus*, posteriormente isolada em ágar Sal Manitol para controle do resultado; e *Bacillus spp.*, detectadas de maneira recorrente nos diferentes pontos e meios de cultura.

No carrinho submetido ao tratamento combinado de álcool e detergente, foi possível verificar uma variação de 10 a 80 UFC, com a presença de bactérias dos gêneros *Bacillus spp.* e *Micrococcus sp.* Ambas bactérias apresentaram contagens equivalentes em todas as faixas analisadas, indicando uma distribuição homogênea da microbiota residual. Já o carrinho submetido a exposição à luz UV-C revelou ausência total de UFC em todas as amostras avaliadas (0 UFC). Além disso, nenhuma espécie bacteriana foi detectada, indicando que o protocolo de desinfecção por luz UV promoveu desinfecção eficaz contra os microrganismos testados

DISCUSSÃO

Esses achados sugerem que o protocolo padrão de higienização (álcool 70% e detergente) pode ser subótimo, uma vez que foram observadas altas taxas de contaminação (66,7% para placa bacteriana e 73,3% para método BHI). Uma possível explicação para esse resultado é a sobrecarga de tarefas atribuídas aos profissionais responsáveis pela limpeza dos carros de transporte de dietas. A limitação de tempo, associada à rotina intensa desses colaboradores, pode comprometer a higienização completa, especialmente em áreas de difícil acesso, como as partes internas e posteriores dos equipamentos.

Em relação ao crescimento bacteriano, na análise do carrinho sujo, observou-se crescimento bacteriano ≥ 100 UFC, indicando contaminação intensa. As principais bactérias isoladas foram: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella sp.* e *Pseudomonas spp.*, identificadas em diversos pontos.

Os achados são consistentes com estudos anteriores que demonstram a eficácia da radiação UV-C na redução da contaminação microbiana em ambientes de saúde (Boyce et al., 2011; Nerandzic et al., 2015). A novidade desta pesquisa está na aplicação dessa tecnologia a sistemas de transporte de dietas, que frequentemente são negligenciados nos protocolos de prevenção de infecções.

A recorrente presença de microrganismos patogênicos como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella spp.* e *Pseudomonas spp.* em carrinhos aparentemente higienizados evidencia as limitações dos métodos manuais e o risco persistente de contaminação cruzada. Assim, a radiação UV-C se destaca como uma alternativa segura, eficiente e de fácil aplicação, especialmente em setores críticos como terapia intensiva, oncologia e neonatologia, onde o controle microbiológico é essencial para a prevenção de IRAS.

Considerando a simplicidade de implementação e a baixa exigência de trabalho manual, a desinfecção baseada em UV-C pode atuar como uma ferramenta complementar eficaz aos métodos tradicionais, especialmente em unidades de alto risco, como oncologia, neonatologia e terapia intensiva. No entanto, alguns desafios devem ser considerados, como o investimento inicial necessário, os efeitos de sombreamento durante a aplicação da radiação e a possível degradação de materiais com exposições prolongadas à luz UV (Bolton & Cotton, 2008). Pesquisas futuras devem avaliar a segurança microbiológica a longo prazo, a relação custo-benefício e a adesão dos usuários ao método.

Recomenda-se a continuidade da pesquisa por meio de estudos futuros que avaliem o custo-benefício em longo prazo, a durabilidade dos materiais expostos à radiação UV-C e a aplicação do sistema em outros tipos de superfícies e equipamentos hospitalares. É importante,

ainda, considerar a análise da viabilidade de produção em escala e da aceitação por parte das equipes operacionais.

Vale destacar, também, algumas limitações do presente estudo. A análise foi restrita a um único modelo de carrinho e ambiente hospitalar, o que pode limitar a generalização dos resultados. Além disso, não foram avaliados os efeitos cumulativos da radiação UV-C sobre os materiais ao longo do tempo. Há um investimento inicial necessário que, se implementado no setor, terá que ser incluído, além de treinamento com os funcionários responsáveis pelo método de higienização.

Dessa forma, os achados reforçam a contribuição prática e científica desta pesquisa para o aprimoramento dos protocolos de controle de infecção em ambientes hospitalares.

CONCLUSÕES

Este estudo alcançou seus objetivos ao desenvolver e testar um equipamento de desinfecção por luz UV-C para carros de transporte de dietas hospitalares. A revisão de literatura evidenciou a importância da higienização eficaz desses equipamentos, frequentemente negligenciados nos protocolos de controle de infecção, e destacou a eficácia da radiação UV-C como tecnologia complementar em ambientes de saúde.

A análise microbiológica das superfícies revelou alta taxa de contaminação nos carrinhos submetidos aos métodos convencionais (álcool 70% e detergente), com presença recorrente de patógenos como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* sp. e *Pseudomonas* spp.. Mesmo após a higienização, observou-se crescimento microbiano em todos os pontos avaliados, confirmando a limitação dos métodos tradicionais.

O desenho industrial do protótipo foi desenvolvido considerando critérios de funcionalidade, segurança e aplicabilidade hospitalar. Quando testado, o sistema de desinfecção com luz UV-C demonstrou eficácia completa, com eliminação total de unidades formadoras de colônia (0 UFC) em todas as amostras, sem detecção de microrganismos viáveis, reforçando os achados da literatura (BOYCE ET AL., 2011; NERANDZIC ET AL., 2015).

Além de eficaz, o método UV-C apresenta vantagens operacionais como simplicidade de uso, baixo custo operacional e potencial de aplicação em áreas críticas como UTI, oncologia e neonatologia. No entanto, desafios como o investimento inicial, sombreamento e degradação de materiais devem ser considerados (BOLTON & COTTON, 2008). Futuras pesquisas devem investigar a segurança microbiológica a longo prazo, a viabilidade econômica e a aceitação do método pelos profissionais de saúde.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Esse projeto culminou na criação de uma tecnologia inédita voltada à desinfecção microbiológica de carrinhos de distribuição de refeições hospitalares, por meio da aplicação da radiação UV-C. O desempenho do protótipo demonstrou elevada eficácia na eliminação de microrganismos patogênicos relevantes em ambiente hospitalar, evidenciando seu potencial de aplicação como ferramenta complementar ou mesmo substitutiva aos métodos tradicionais de higienização, especialmente em unidades com elevada vulnerabilidade a infecções, como UTIs, alas de oncologia, neonatologia e centros cirúrgicos.

Com base nesses resultados, o dispositivo desenvolvido encontra-se em processo de proteção intelectual junto ao Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) da Universidade Federal de Sergipe, com vistas ao registro de patente. Tal iniciativa visa garantir a titularidade da instituição sobre a tecnologia e fomentar parcerias estratégicas com empresas do setor hospitalar e de equipamentos médicos, permitindo a transferência e a eventual produção em escala industrial do sistema.

Além de sua eficácia, a tecnologia possui atributos operacionais relevantes, como baixo consumo energético, ausência de resíduos químicos, facilidade de uso e tempo reduzido de exposição, fatores que a tornam viável para implementação em rotinas hospitalares com alta demanda. É possível projetar trabalhos futuros que deverão se concentrar na validação da eficácia microbiológica do equipamento em outros contextos de uso, como ambulatórios, ambulâncias, unidades móveis e serviços de apoio logístico hospitalar. Também se recomenda o aprimoramento do sistema por meio da automação da ativação por sensores, temporizadores integrados, feedback visual do processo de desinfecção e monitoramento digital da eficiência por meio de bioindicadores físicos.

A disseminação dos dados por meio da submissão à revista *Acta Microbiologica Hellenica* (MDPI), classificada como Qualis A2 na área de Ciências da Saúde pela CAPES, contribuirá para a visibilidade internacional da tecnologia desenvolvida, promovendo a inserção do conhecimento científico gerado em redes colaborativas e projetos de inovação em saúde. Dessa forma, o presente trabalho não apenas avança no enfrentamento das infecções relacionadas à assistência à saúde, como também oferece uma base sólida para o desenvolvimento de soluções tecnológicas mais amplas, sustentáveis e integradas à realidade hospitalar contemporânea.

facilities for reducing hospital- and facility-acquired bacterial and viral infections: a systematic review. *Journal of Hospital Infection*, v. 122, n. 122, p. 9–26, abr. 2022.

BERTINATO, C. B. **Análise Ergonômica De Uma Cozinha Industrial De Um Hospital Universitário.** 2015. 8 f. TCC (Graduação) - Curso de Enfermagem, Universidade Federal do Paraná - Setor de Ciências da Saúde, Paraná, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309491119_ANALISE_ERGONOMICA_DE_UM_A_COZINHA_INDUSTRIAL_DE_UM_HOSPITAL_UNIVERSITARIO>. Acesso em: 6 jul. 2025.

MEDICALEXPO, 2024. Disponível em: <<https://www.medicalexpo.com/pt/fabricante-medico/carrinho-hospitalar>>. Acesso em: 5 jun. de 2024.

ORGANIZATION, W. H. **Guidelines on core components of infection prevention and control programmes at the national and acute health care facility level.** [s.l.] World Health Organization, 2016.

SILVA, E. O. et al. **Segurança microbiológica em frutas e hortaliças minimamente processadas.** In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE VEGETAIS FRESCOS CORTADOS, San Pedro, SP, Brasil, 2006.

TOUAITIA, R. et al. *Staphylococcus aureus: A Review of the Pathogenesis and Virulence Mechanisms.* **Antibiotics**, v. 14, n. 5, p. 470, maio 2025.

CHEUNG, G. Y. C.; BAE, J. S.; OTTO, M. Pathogenicity and virulence of *Staphylococcus aureus*. **Virulence**, v. 12, n. 1, p. 547–569, 2021.

PRIMIO, E. M. D. **Quantificação e perfil de sensibilidade e resistência a antimicrobianos de patógenos isolados em linhas de produção de alimentos de um hospital.** 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

SCHMIDT, M. A. et al. Economic and Disease Burden Associated with Invasive *Escherichia coli* Disease in the United States. **Infectious Diseases and Therapy**, 8 fev. 2025.

GUPTA, A. et al. ***Klebsiella pneumoniae* produtora de β -lactamase.** *J. Perinatol.*, n 23, p 439-443, 2003. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/7210973>>. Acesso em: 5 jul. 2025.

PROFILATICA. **Surfic®.** Profilatica Produtos Odonto Medico Hospitalares S.A, Paraná, Brasil. 2024. Disponível em: <<https://profilatica.com.br/produtos/surfic/>>. Acesso em: 20 ago. 2025.

TORTORA, Gerard J.; FUNKE, Berdell R; CASE, Christine L. **Microbiologia.** 12 Porto Alegre: Artmed, 2017, 935

MANYI-LOH, C. E.; RYK LUES. *Listeria monocytogenes* and Listeriosis: The Global Enigma. **Foods**, v. 14, n. 7, p. 1266–1266, 3 abr. 2025.

SILVA, A. C.; VIZZOTTO, B. S.; SANTOS, B. R. dos. **Vigilância epidemiológica ambiental de *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA) em hospital de média complexidade na cidade de Santa Maria–RS.** *RBAC*, v. 55, n. 1, p. 67-73, 2023. Disponível em: <<https://www.rbac.org.br/artigos/vigilancia-epidemiologica-ambiental-de->

staphylococcus-aureus-resistente-a-meticilina-mrsa-em-hospital-de-media-complexidade-na-cidade-de-santa-maria-rs/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

TAVARES, K. K. O. et al. **Análise do binômio tempo-temperatura na distribuição de dietas em uma Unidade de Alimentação e Nutrição Hospitalar.** *Nutrivisa-Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde*, v. 10, n. 1, p. e11397-e11397, 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/375808073_Analise_do_binomio_tempo-temperatura_na_distribuicao_de_dietas_em_uma_Unidade_de_Alimentacao_e_Nutricao_Hospitalar>. Acesso em: 5 jul. 2025.

COELHO, R. H.; MOURA, G. S.; ANDRADE, V. de O. A. **Contaminação de alimentos e seus fatores predisponentes: uma revisão integrativa.** *Brazilian Journal of Health Review*, v. 4, n. 3, p. 10071-10087, 2021. Disponível em: <<https://www.mendeley.com/catalogue/2a2114bd-1e72-3e4e-ba97-b5519d912b84/>>. Acesso em 6 jul. 2025.

MAESTRI, G. et al. **Quantificação de Staphylococcus aureus, Escherichia coli e mecanismos de resistência nas mãos de manipuladores de alimentos em UANS hospitalares em SC.** *Disciplinarum Scientia Saúde*, v. 21, n. 1, p. 91-105, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/345417398_Quantificacao_de_Staphylococcus_aureus_Escherichia_coli_e_mecanismos_de_resistencia_nas_maos_de_manipuladores_de_alimentos_em_UANS_hospitalares_em_SC>. Acesso em: 4 jul. 2025.

CARVALHO, L. V. S. et al. **Discursos sobre tecnologias de desinfecção pós-pandêmicas: luz ultravioleta germicida, fotocatalise e ozônio.** *Revista de Casos e Consultoria*, v. 13, n. 1, p. e27985-e27985, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/casoseconsultoria/article/view/27985>>. Acesso em: 7 jul. 2025.

DARNELL, M. E. R. et al. **Inativação do coronavírus que induz a síndrome respiratória aguda grave, SARS-CoV.** *Science Direct*, v. 121, n. 1, p. 85–91, 2004. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15350737/>>. Acesso em: 5 jul. 2025.

KOWALSKI, W. **Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook.** [s.l.] Springer Science & Business Media, 2010.

MARTIN, S. et al. **Ultraviolet Germicidal Irradiation Current Best Practices.** [s.l.: s.n.]. 2008 Disponível em: <<https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/COVID-19/Martin.pdf>>.

CASTRO, C. C. L. P. et al. **Adaptação Dos Cirurgiões-Dentistas Frente À Ameça Da Covid-19.** *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 64449–64459. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/16029>. Acesso em: 4 nov. 2020

MCDEVITT, J. J., RUDNICK, S. N.; RADONOVICH, L. J. **Aerosol susceptibility of influenza virus to UVC light.** *Applied and environmental microbiology*, v. 78, n. 6, p. 1666–1669, 2012 Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22226954/>>. Acesso em: 4 jul. 2025.

BOLTON, J. R.; COTTON, C. A. *The Ultraviolet Disinfection Handbook.* **American Water Works Association**, 2008. Disponível em:

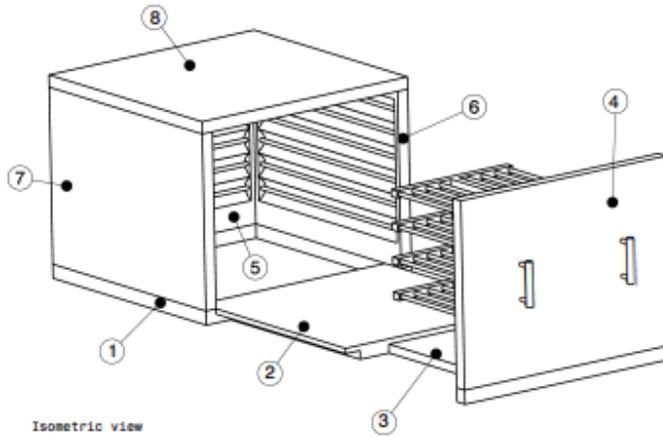
<https://www.researchgate.net/publication/230736701_The_Ultraviolet_Disinfection_Handbook>. Acesso em: 5 jul. 2025.

DRAEGER, C. et al. **Unhygienic Practices of Health Professionals in Brazilian Public Hospital Restaurants: An Alert to Promote New Policies and Hygiene Practices in the Hospitals.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 16, n. 7, p. 1224, 5 abr. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Segurança do paciente em serviços de saúde: limpeza e desinfecção de superfícies.** Brasília: Anvisa, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/publicacoes/manual-de-limpeza-e-desinfeccao-de-superficies.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2025.

ANEXOS

ANEXO A: PROTÓTIPO DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO



ITEM NO.	DESCRIPTION
1	TELESCOPIC SLIDING SYSTEM - OUTER PROFILE
2	TELESCOPIC SLIDING SYSTEM - MIDDLE PROFILE
3	TELESCOPIC SLIDING SYSTEM - INNER PROFILE
4	VAULT DOOR
5	VAULT BACK WALL
6	VAULT RIGHT WALL
7	VAULT LEFT WALL
8	VAULT CEILING

DESCRIPTION

The food cart is loaded onto a conveyor platform connected to the vault chamber through a three-profile telescopic sliding system. The platform itself is designed to function as the middle profile of the sliding system, with the inner and outer profiles integral to the vault chamber and the vault door, respectively.

The UV light sanitizing system includes an outer module for cleaning the cart's exterior surfaces and an inner module for treating its internal shelf compartments.

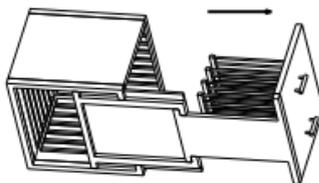
The design of the outer module conceptually derives from louvre-type lampholders. Commercially available 4-ft T8 fluorescent light bulbs are mounted in the louvres of the vault chamber. The louvres act as parabolic reflectors whose focal point aligns with the axis of the corresponding light bulb. Their design is optimized for this purpose, using off-the-shelf light bulb sockets for size reference. Fluorescent tubes in the vault's ceiling and side walls are oriented parallel to the direction of movement of the telescoping sliding system to reduce the risk of bulb damage during cart motion. Metal strips (similar to those typically used in louvre lampholders) may be added for further protection.

The inner module is integral to the vault door and consists of 3-ft T8 fluorescent light bulbs symmetrically mounted in four parallel I-shaped cantilevers. Each cantilever provides sanitization for a single shelf compartment of the cart.

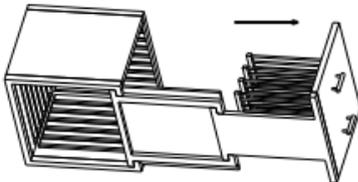
University of Pisa - School of Engineering Department of Civil and Industrial Engineering	
UV SANITIZATION VAULT FOR FOOD CARTS	SCALE 1:20
SIGNATURE Giampaolo Reina	DATE 21/08/2024



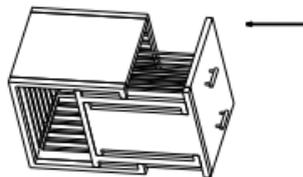
Fully retracted position



Intermediate opening position:
- inner profile fully extended
- middle profile partially extended

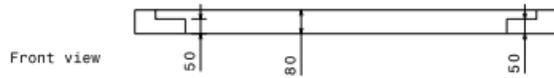


Fully extended position

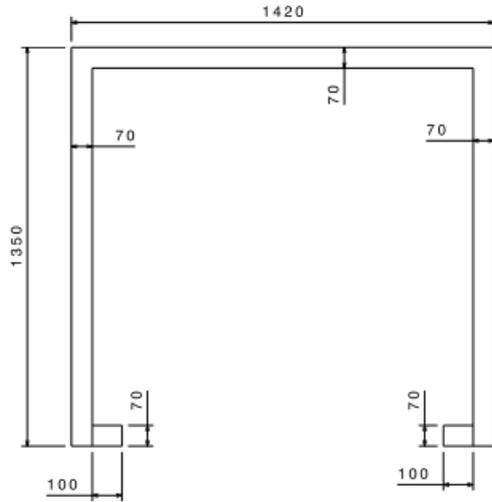


Intermediate closing position:
- inner profile fully retracted
- middle profile partially retracted

University of Pisa - School of Engineering Department of Civil and Industrial Engineering	
TELESCOPIC SLIDING SYSTEM KINEMATIC VIEWS	SCALE 1:35
Part of UV SANITIZATION VAULT FOR FOOD CARTS	SHEET 1 OF 1
SIGNATURE Giampaolo Reina	DATE 21/08/2024



Front view



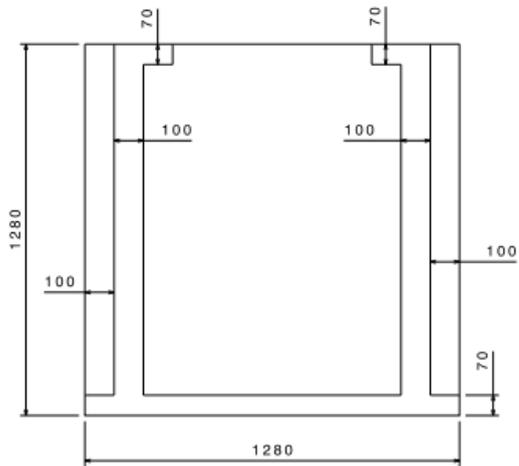
Top view

All dimensions are in mm.

University of Pisa - School of Engineering Department of Civil and Industrial Engineering		
ITEM NO. 1	TELESCOPIC SLIDING SYSTEM OUTER PROFILE	SCALE 1:10
Part of UV SANITIZATION VAULT FOR FOOD CARTS		SHEET 1 OF 1
SIGNATURE Giampaolo Reina	DATE 21/08/2024	



Front view



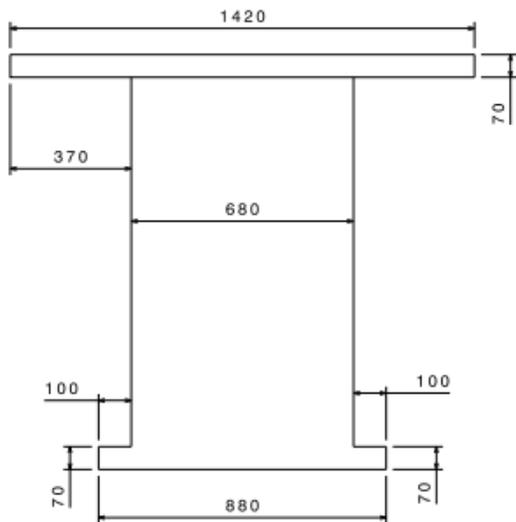
Bottom view

All dimensions are in mm.

University of Pisa - School of Engineering Department of Civil and Industrial Engineering		
ITEM NO. 2	TELESCOPIC SLIDING SYSTEM MIDDLE PROFILE	SCALE 1:10
Part of UV SANITIZATION VAULT FOR FOOD CARTS		SHEET 1 OF 1
SIGNATURE Giampaolo Reina	DATE 21/08/2024	



Front view

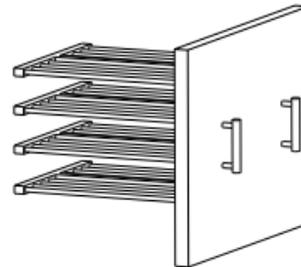


Top view

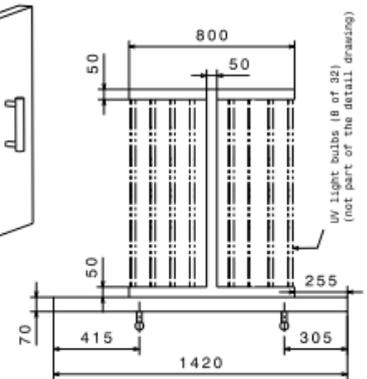
All dimensions are in mm.

University of Pisa - School of Engineering Department of Civil and Industrial Engineering		
ITEM NO. 3	TELESCOPIC SLIDING SYSTEM INNER PROFILE	SCALE 1:10
Part of UV SANITIZATION VAULT FOR FOOD CARTS		SHEET 1 OF 1
SIGNATURE Giampaolo Reina	DATE 21/08/2024	

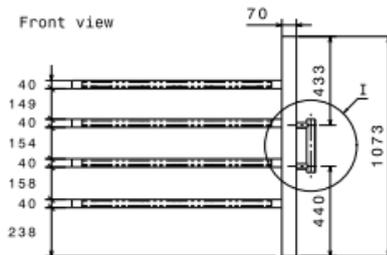
Isometric view



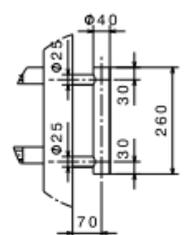
Top view



Front view

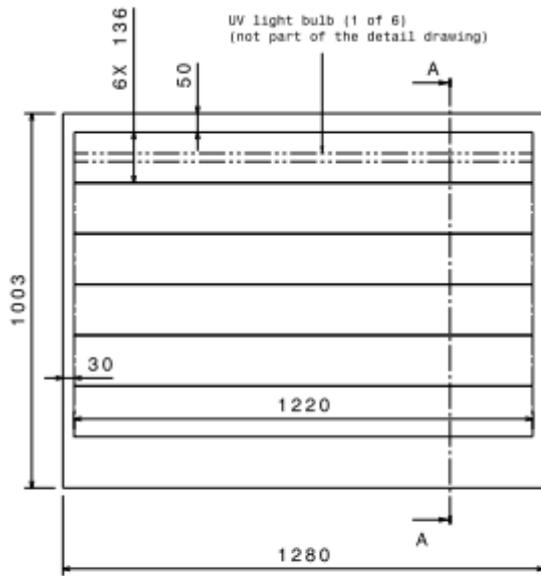


Detail I
Scale: 2:15



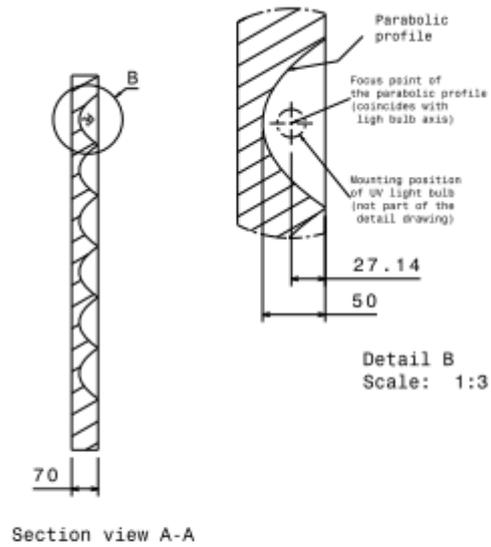
All dimensions are in mm.

University of Pisa - School of Engineering Department of Civil and Industrial Engineering		
ITEM NO. 4	VAULT DOOR	SCALE 1:10
Part of UV SANITIZATION VAULT FOR FOOD CARTS		SHEET 1 OF 1
SIGNATURE Giampaolo Reina	DATE 21/08/2024	

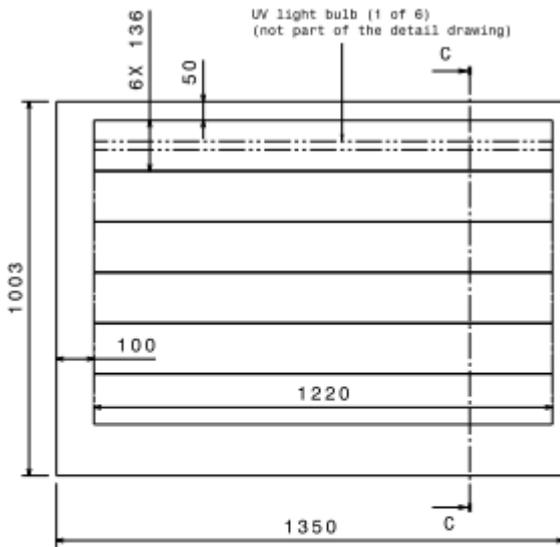


Front view

All dimensions are in mm.

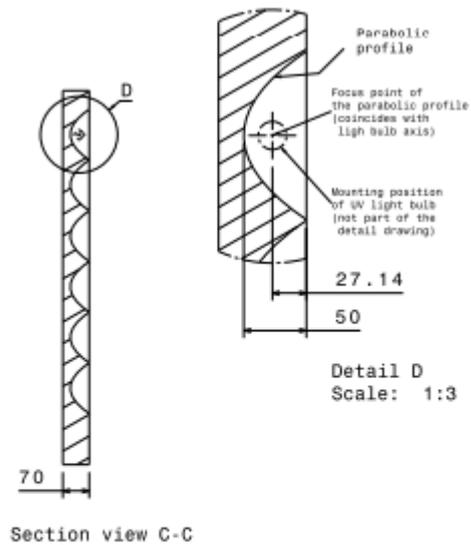


University of Pisa - School of Engineering Department of Civil and Industrial Engineering		
ITEM NO. 5	VAULT BACK WALL	SCALE 1:10
Part of UV SANITIZATION VAULT FOR FOOD CARTS		SHEET 1 OF 1
SIGNATURE Gianpaolo Rolna		DATE 21/08/2024

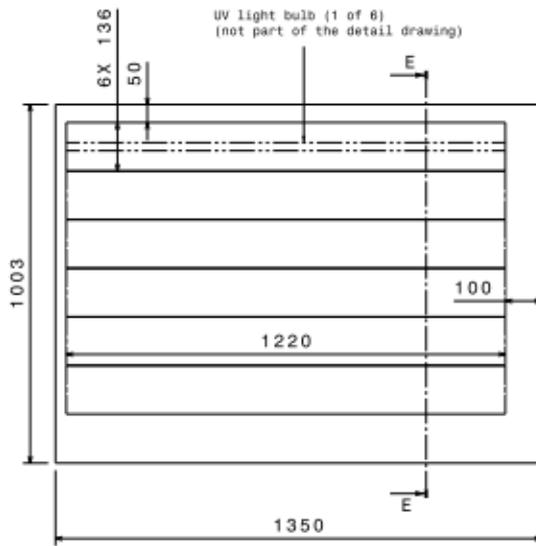


Front view

All dimensions are in mm.

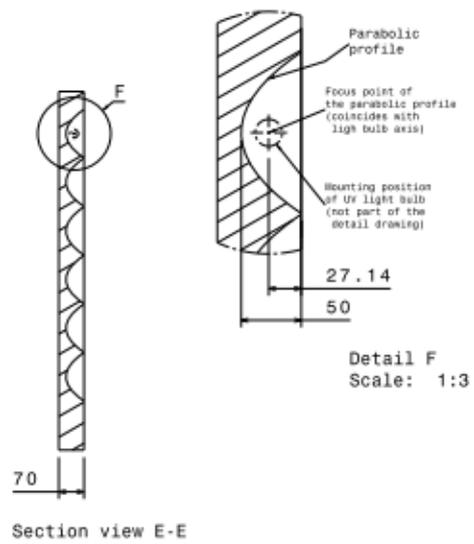


University of Pisa - School of Engineering Department of Civil and Industrial Engineering		
ITEM NO. 6	VAULT RIGHT WALL	SCALE 1:10
Part of UV SANITIZATION VAULT FOR FOOD CARTS		SHEET 1 OF 1
SIGNATURE Gianpaolo Rolna		DATE 21/08/2024



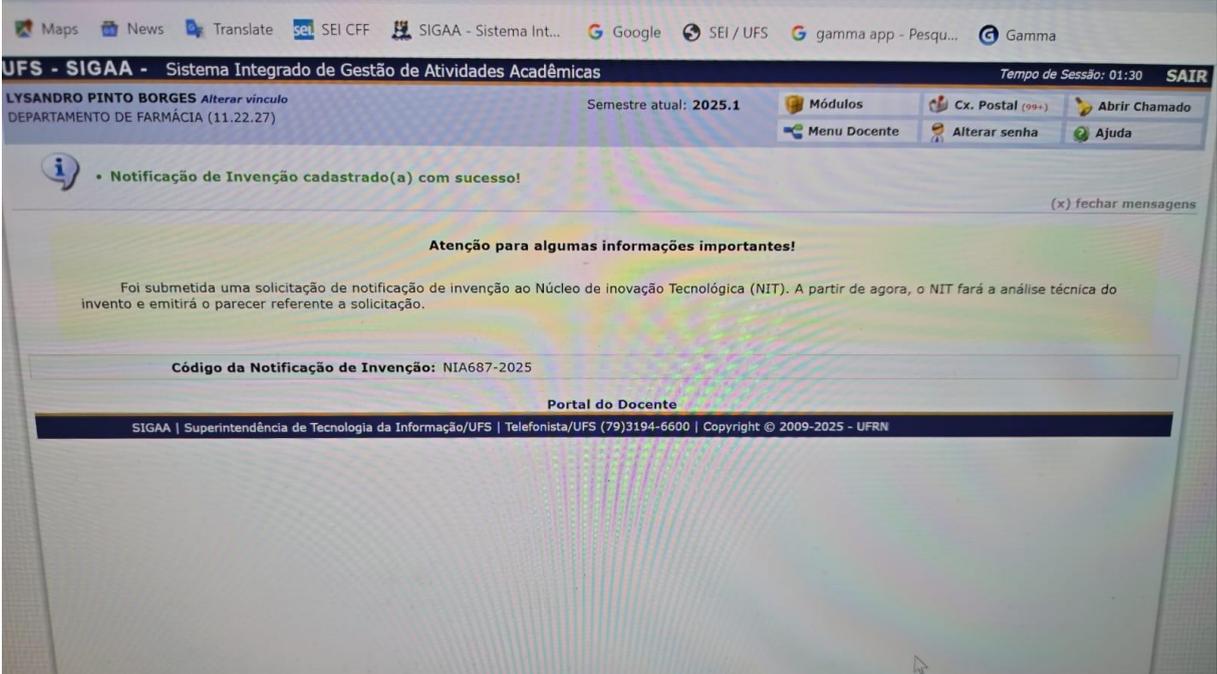
Front view

All dimensions are in mm.



University of Pisa - School of Engineering Department of Civil and Industrial Engineering		
ITEM NO. 7	VAULT LEFT WALL	SCALE 1:10
Part of UV SANITIZATION VAULT FOR FOOD CARTS		SHEET 1 OF 1
SIGNATURE Gianpaolo Molna		DATE 21/08/2024

ANEXO B: SUBMISSÃO AO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA



The screenshot displays the SIGAA (Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas) interface. At the top, the user is identified as LYSANDRO PINTO BORGES, a member of the DEPARTAMENTO DE FARMÁCIA (11.22.27). The current semester is 2025.1. A notification banner at the top center states: "Notificação de Invenção cadastrado(a) com sucesso!". Below this, a yellow box titled "Atenção para algumas informações importantes!" contains the text: "Foi submetida uma solicitação de notificação de invenção ao Núcleo de inovação Tecnológica (NIT). A partir de agora, o NIT fará a análise técnica do invento e emitirá o parecer referente a solicitação." A box below this text displays the "Código da Notificação de Invenção: NIA687-2025". The footer of the page includes the text "Portal do Docente" and "SIGAA | Superintendência de Tecnologia da Informação/UFS | Telefonista/UFS (79)3194-6600 | Copyright © 2009-2025 - UFRN".

Código da Notificação da Invenção: NIA687-2025

ANEXO C: DECLARAÇÃO DE COOPERAÇÃO – UNIVERSITÀ DI PISA



UNIVERSITÀ DI PISA
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
 CIVILE E INDUSTRIALE

Pisa, May 3, 2024

Prof Susana de Souza Lalic
 Department of Physics
 Federal University of Sergipe

DECLARATION

I hereby declare that I am an integral part of the team contributing to the project titled "Desenvolvimento de um equipamento de desinfecção baseado em luz UV no setor de Nutrição Hospitalar do HU/UFS/EBSERH," led by student Adriana Barros Luna Gomes and supervised by Prof. Dr. Susana de Souza Lalic. This project is being developed as part of the PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM GESTÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM SAÚDE at the FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE.

In my role, I am actively engaged in the development and advancement of this project, contributing my skills, knowledge, and expertise towards its successful execution and realization of its objectives.

I affirm my commitment to this endeavor and pledge to continue to dedicate myself to the advancement of this project in collaboration with my fellow team members.

Sincerely,

Full Professor, Nuclear and Biomedical Engineering,
 and Medical Physics, University of Pisa
 Director, Advanced Radiation Protection School "C. Polvani"
 Italian Radiation Protection Association (AIRP-IRPA)
 Fellow, Timothy Dwight College, Yale University



Article

Controlling Microbial Contamination on Food Transport Carts: Evaluation of Traditional and UV-C Sanitization Strategies

Adriana Barros Luna Gomes¹, Eloia Emanuely Dias Silva², Pedro Henrique Macedo Moura², Deise Maria Rego Rodrigues Silva², Marina dos Santos Barreto², Ronaldy Santana Santos^{2,8}, Luana Ramony da Silva Lisboa², Lucas Vinicius Souza Santos², Adriana Kelly Santana Corrêa², Pedro Guilherme Menezes dos Santos², Laylla Maria de Freitas Lima², Ana Amelia Moreira Lira², Adriana Gibara Guimarães², Lucas Alves da Mota Santana³, Kumaraswamy Athesh⁴, Rajiv Gandhi Gopalsamy⁵, Gianpaolo Roina⁶, Susana de Souza Lalic⁷, Lysandro Pinto Borges^{1,8,*}

¹ Graduate Program in Management and Technological Innovation, Federal University of Sergipe, São Cristóvão 49100-000, Brazil; dricalunag@gmail.com (A.B.L.G.);

² Department of Pharmacy, Health and Biological Sciences Center, Federal University of Sergipe, São Cristóvão 49100-000, Brazil;

eloiaemanuely@gmail.com (E.E.D.S.); phmm694@gmail.com (P.H.M.M.); deisemaria588@gmail.com (D.M.R.R.S.); sbarretomarina@outlook.com (M.d.S.B.); ronalyss19@gmail.com (R.S.S.); luanaramony123@gmail.com (L.R.S.L.); lucasza2720@gmail.com (L.V.S.S.); adriaanakeelly@gmail.com (A.K.S.C.); pedro0112@academico.ufs.br (P.G.M.d.S.); layllamfl@gmail.com (L.M.F.L.); ana_lira2@hotmail.com (A.A.M.L.); adrianaagibara@academico.ufs.br (A.G.G.); lysandro@academico.ufs.br (L.P.B.)

³ School of Dentistry, Federal University of Sergipe, São Cristóvão 49100-000, Brazil; lucassantana.pat@gmail.com

⁴ School of Sciences, Bharata Mata College (Autonomous), Kochi 682021, Kerala, India; labic.ufs@gmail.com

⁵ Division of Phytochemistry and Drug Design, Department of Biosciences, Rajagiri College of Social Sciences, Kochi 683104, Kerala, India; egarajiv@gmail.com

⁶ Department of Industrial and Civil Engineering, University of Pisa, Pisa 56126, Italy; gianpaolo.roina@phd.unipi.it (G. R.)

⁷ Department of Physics, Center for Exact and Technological Sciences, Federal University of Sergipe, São Cristóvão 49100-000, Brazil; sosouza@academico.ufs.br

⁸ Department of Immunology, Institute of Biomedical Sciences, University of São Paulo, São Paulo 05508-220, Brazil; lysandro.borges@gmail.com

* Correspondence: lysandro.borges@gmail.com; Tel.: +5579999069092

Abstract

Ultraviolet (UV) light is a type of radiation that includes subtypes such as UV-C, which has the shortest wavelength and, therefore, the greatest capacity to penetrate the DNA of humans and microorganisms. With the emergence of the COVID-19 pandemic, the need arose to implement infection control measures in various hospital sectors, particularly in the Hospital Nutrition sector, making UV-C light a viable option. A prototype box was created to cover the meal transport carts, with UV-C lamps strategically positioned for irradiation and decontamination. To validate this technology, four different hygiene protocols were compared: Group 1, positive control, with no sanitization procedure; Group 2, cleaned using the standard protocol of the University Hospital of UFS (HU/UFS) with 70% ethanol solution; Group 3, negative control, cleaned using the standard HU/UFS protocol with 70% ethanol and neutral detergent; and Group 4, exposed to UV-C light irradiation for 10 minutes after food transport. Microbiological samples were collected from 15 distinct points on the carts, distributed across the internal surface, handle, and wheels, based on criteria of frequent manual contact and risk of cross-contamination. Samples were collected using sterile swabs moistened with 0.85% saline solution and incubated in BHI broth at 37 °C for 24 hours for

Academic Editor: Firstname
Lastname

Received: date
Revised: date
Accepted: date
Published: date

Citation: To be added by editorial staff during production.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

presence/absence testing. Positive samples were plated on selective media (CLED and SS agar), incubated at 37 °C for 24-48 hours, and evaluated for colony-forming unit (CFU) count, colony morphology, and Gram staining.; A statistically significant association was found between the hygiene method and the presence of microbial contamination ($p < 0.001$), based on both bacterial plate counts and BHI broth growth. Carts sanitized with 70% alcohol showed a lower probability of contamination compared to the control group (alcohol + detergent), while unsanitized carts showed a higher risk. UV-C light treatment resulted in complete absence of bacterial growth. UV-C disinfection demonstrated superior effectiveness in eliminating microorganisms, indicating a promising alternative to traditional methods.

Keywords: meal cart; nutritional hospital; disinfection; UV-C light.

1. Introduction

Ultraviolet light is a radiation of visible light that falls within a certain wavelength range. Physics explains that wavelengths from 400 nanometers (nm) to 780 nm are visible to the naked eye, and wavelengths longer than these correspond to infrared, while those shorter than 400 nm correspond to ultraviolet light [1]. This type of light has subtypes, including UV-C light, which has the shortest wavelength and therefore the greatest ability to penetrate human DNA and microorganisms. By penetrating these pathogens, the light induces dose-dependent mutations that lead to the inactivation of the virus or bacteria which, now lacking genetic material, are unable to reproduce [2].

With the emergence of the COVID-19 pandemic, caused by the spread of the SARS-CoV-2 virus, associated with severe acute respiratory syndrome (SARS-CoV-2), the need arose to develop control measures for probable hospital contaminations in various sectors, especially in the Hospital Nutrition sector [3]. Thus, considering the high mobility related to the routes of manual transport carts in the distribution of meals to each clinic, the risk of spreading SARS-CoV-2 and other infectious agents, such as bacteria and fungi, is increased [4].

The proliferation of disease-causing microorganisms in hospital environments is a challenge in healthcare, due to the condition of hospitalized patients and the complexity of hospital infections, which are facilitated by the high turnover of people, use of invasive devices and antibiotics, and the presence of immunocompromised patients [5]. The lack of proper hygiene in hospital services worsens this scenario, making surfaces or even healthcare professionals reservoirs and vectors of transmission, as it favors the proliferation of potentially disease-causing agents [6].

Proper cleaning of surfaces and hospital objects plays a fundamental role in the prevention and control of healthcare-associated infections (HAIs), although currently there are no universally agreed global guidelines or practical recommendations for routine cleaning and disinfection of hospital surfaces [7].

The use of germicidal ultraviolet light (UVGI) is an effective pathogen disinfection method, as it causes significant alterations in their nucleic acids, rendering them unable to perform important metabolic functions [8, 9]. When a UV disinfection system transfers electromagnetic energy from the lamp to the genetic material of an organism (its DNA or RNA), this UV light penetrates the organism's cell wall, destroying its ability to reproduce.

There is a need for innovative tools that promote the decontamination of meal distribution carts. In this way, the proposed disinfection system aims to assist in solving the decontamination issue through the automation of manual processes, seeking to use technology as an effective means to address the problem. Thus, with this method, it will

be possible to limit the spread of infectious agents such as bacteria, fungi, and viruses with an efficient disinfection technology, reducing contamination in the hospital environment and thereby optimizing the cleaning time of diet distribution transport carts.

Food transport carts are widely used in hospitals in Brazil and around the world to distribute meals to patients and their companions. Despite technological advancements, the reality in Brazilian hospitals is quite different. Budget constraints often necessitate the use of simpler models, particularly the "skeleton"-type cart, which contributes to complaints about cold food and increases the risk of contamination and the spread of pathogens posing a threat to both patients and food service workers due to greater exposure to the environment.

One of the solutions adopted to minimize this contact is the use of plastic wrap to cover the trays. However, this practice introduces an additional risk due to the potential for cross-contamination during manual application.

Although thermal carts offer an improvement in maintaining food temperature, they present drawbacks in terms of operational difficulty and limited mobility. Cleaning is also problematic, particularly because water tends to accumulate in the trays after washing. This can lead to cleaning errors, causing the trays to harden and become difficult to remove from the cart, as highlighted in the study by Kim (2013) [10]. High-end carts, when properly sanitized, could help reduce the incidence of food-related infections. However, considering the budget limitations faced by most Brazilian hospitals, a more feasible alternative lies in adopting more efficient and less operator-dependent sanitation methods.

Therefore, by encompassing the topics mentioned here, this work aims to find a new technological method capable of sanitizing the carts used for hospital meal distribution through the use of Ultraviolet Light and thus answer the guiding research question: is it possible to minimize contamination in hospital nutrition through technological alternatives?

2. Materials and Methods

The experimentation took place in October 2025 at the Federal University Hospital located in the city of Aracaju, in the state of Sergipe. The meal cart used in the nutrition department for the distribution of hospital meals to admitted patients was employed. We obtained the dimensions to optimize the arrangement of the UV-C lamps inside the equipment, which was built to fit over the transport cart and perform decontamination. It is made of stainless steel and measures 100 cm at its longest dimension, as illustrated in Figure 1.

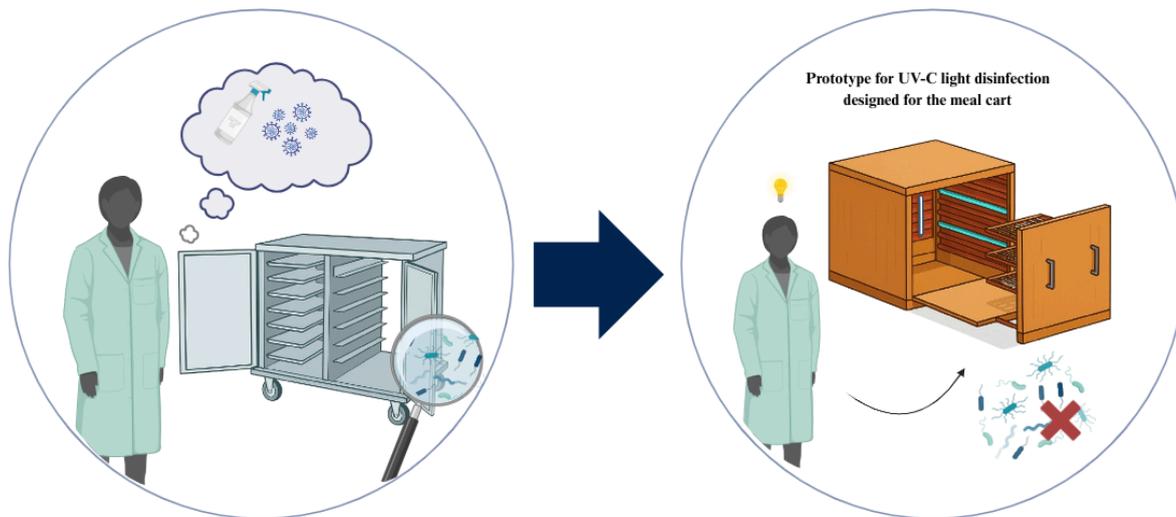


Figure 1. Prototype for UV-C light disinfection designed for the meal cart.

We conducted a cost-benefit comparative analysis between disinfection performed with 70% alcohol and the cost of UV-C light. For the measurements, a digital radiometer from the brand Solarmeter, model 8.0 UVC was used. This radiometer is sensitive in the from 0 to 199 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ with an accuracy of 10%. The radiometer was certified according to a procedure accredited by NIST under certificate no. 01845, issued in June 2023. The efficiespectral region from 246 to 262 nm, with a peak response at 254 nm, and can measure ncy of surface disinfection was analyzed by comparing cleaning protocols with exposure to our UV-C light mechanism.

We compared four distinct cleaning protocols for the diet carts, defined as follows: Group 1: positive control, no sanitization procedure applied; Group 2: subjected to the standard cleaning procedure at HU/UFS using 70% ethanol solution; Group 3: negative control, subjected to the standard cleaning procedure at HU/UFS using 70% ethanol solution and neutral detergent; Group 4: subjected to UV-C light irradiation for 10 minutes after food transport (Figure 2).

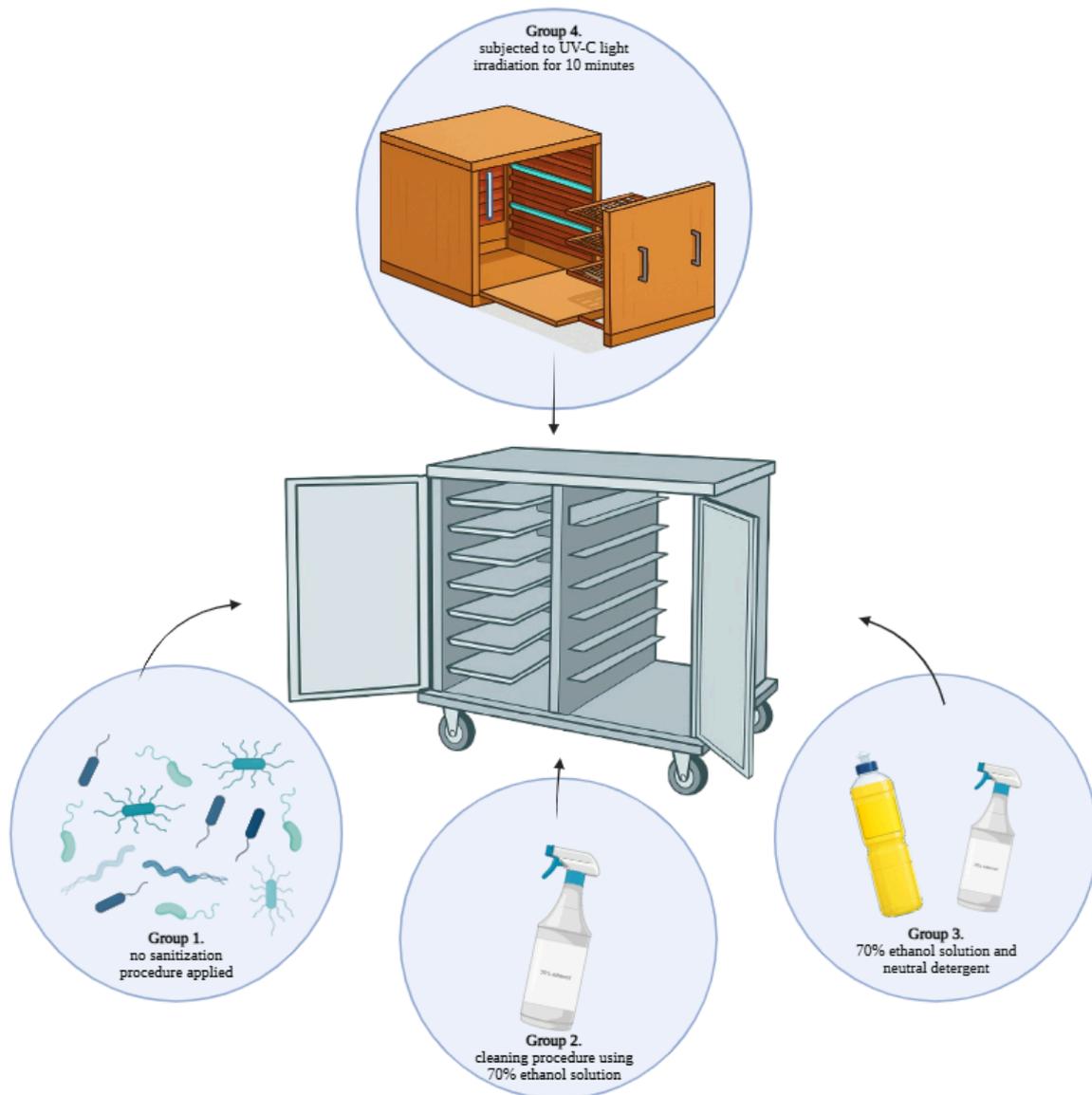


Figure 2. Cleaning protocols used in the study.

2.1. Microbiological Analysis

For microbiological analysis, 15 distinct points on the equipment surface were selected, previously defined based on criteria of frequent manual contact and potential for cross-contamination. The exact locations of the sampled points are schematically represented in Figure 3. Samples were collected using sterile swab techniques following aseptic protocol. Each swab was pre-moistened with sterile saline solution (0.85%) and vigorously rubbed over an area of approximately 25 cm² at each defined point. The swabs were placed in tubes containing BHI broth (Brain Heart Infusion, Merck®) and incubated at 37°C for 24 hours to detect bacterial growth presence/absence.



Figure 3. Designated points for swab collection.

Samples showing turbidity indicative of growth in BHI broth were subsequently streaked onto solid media using the streak plate technique. Two selective and differential culture media were used: CLED agar (Cystine Lactose Electrolyte Deficient) and SS agar (Salmonella-Shigella) for the detection of enterobacteria, especially *Salmonella* spp. and *Shigella* spp. Plates were incubated at 37°C for 24 to 48 hours and then evaluated for colony-forming units (CFU) count and colony morphological characteristics (Figure 4). Representative colonies were subjected to Gram staining for presumptive morphotintorial characterization of the isolates.

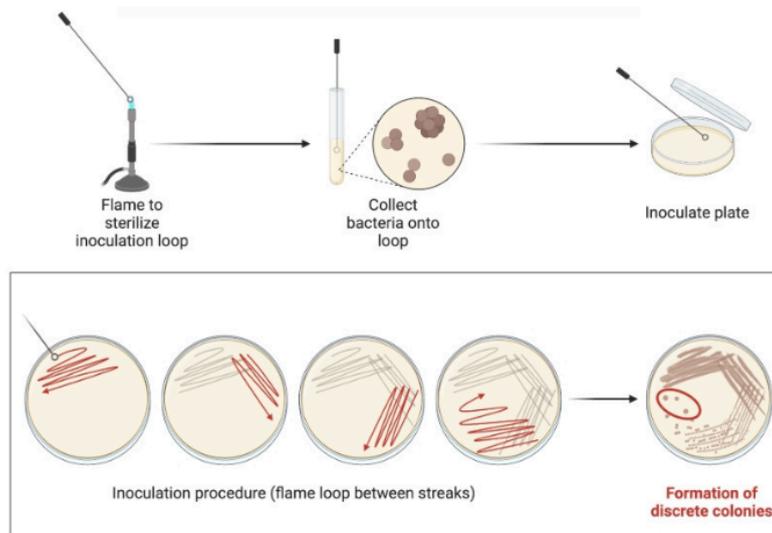


Figure 4. Bacterial culture procedure.

2.2. Data Analysis and Visualization

The results were analyzed using RStudio® software [11]. Statistical analysis was performed using Cochran's Test, followed by McNemar post hoc test with Bonferroni correction for comparisons between groups. A p-value less than 0.05 was considered statistically significant. We used the Circos® software (<http://circos.ca/> (accessed on 6 August 2025)) [12] to illustrate the associations between different sanitization methods applied to hospital meal carts and their corresponding microbiological outcomes in terms of the presence or absence of bacterial contamination.

3. Results

A Cochran's test was conducted to investigate the association between the cleaning method or condition of the hospital carts and the presence of microbial contamination. Fifteen sampling points on the cart were evaluated under four different cleaning methods, separately: (1) dirty carts, meaning after usual use and without any disinfection protocol; (2) carts cleaned with 70% alcohol; (3) carts cleaned with 70% alcohol and detergent (control group); and (4) carts disinfected with ultraviolet (UV) light (Table 1).

Table 1. Description and statistical tests of the effectiveness of disinfection treatments.

	Dirty meal cart	Meal cart sanitized with 70% alcohol	Meal cart sanitized with 70% alcohol and detergent protocol	Meal cart after exposure to UV-C light from the developed device
Ausence (%)	3 (20.0)	10 (66.6)	5 (33.3)	15 (100)
Presence (%)	12 (80.0)	5 (33.3)	10 (66.67)	0 (0)
Standard deviation	0.4140	0.4880	0.4880	0.0000

Cochran's Test			
Q statistic (<i>p-value</i>)	18.9273 (<0.0003)		
McNemar Test			
<i>p-value</i> *	0.923	6.875	< 0.001
Dirty meal cart			

*Note: The Bonferroni correction was used by taking the original *p*-values from each of the three tests and multiplying them by three. This “penalizes” each test to ensure that only the strongest and most evident differences are considered statistically significant, protecting the analysis from conclusions based on chance.

Highly significant associations were found between the cleaning method/condition and microbial contamination, both by bacterial plate count ($\chi^2(3) = 20.135$, $p < 0.001$; $\phi = 0.579$) and by the BHI method ($\chi^2(3) = 23.367$, $p < 0.001$; $\phi = 0.624$). These results indicate that the cleaning method or condition of the carts significantly influences the presence of microbial contamination. Odds ratio analyses revealed differences in contamination likelihood between the groups compared to the control group (70% alcohol and detergent).

Carts cleaned only with 70% alcohol (25/10) showed a lower probability of contamination (bacterial plate: OR = 0.250, 95% CI [0.059, 1.061]; BHI method: OR = 0.242, 95% CI [0.058, 1.006]) compared to the control group, suggesting an unexpectedly superior performance despite the absence of detergent. Dirty carts (30/10) had a higher probability of contamination (bacterial plate: OR = 4.800, 95% CI [0.995, 23.149]; BHI method: OR = 3.438, 95% CI [0.816, 14.479]), highlighting the need for effective cleaning protocols. Notably, carts disinfected with UV light showed no contamination (0% for both bacterial plate and BHI methods) (Figure 5), making odds ratio calculation impossible due to absence of events, but indicating superior efficacy.

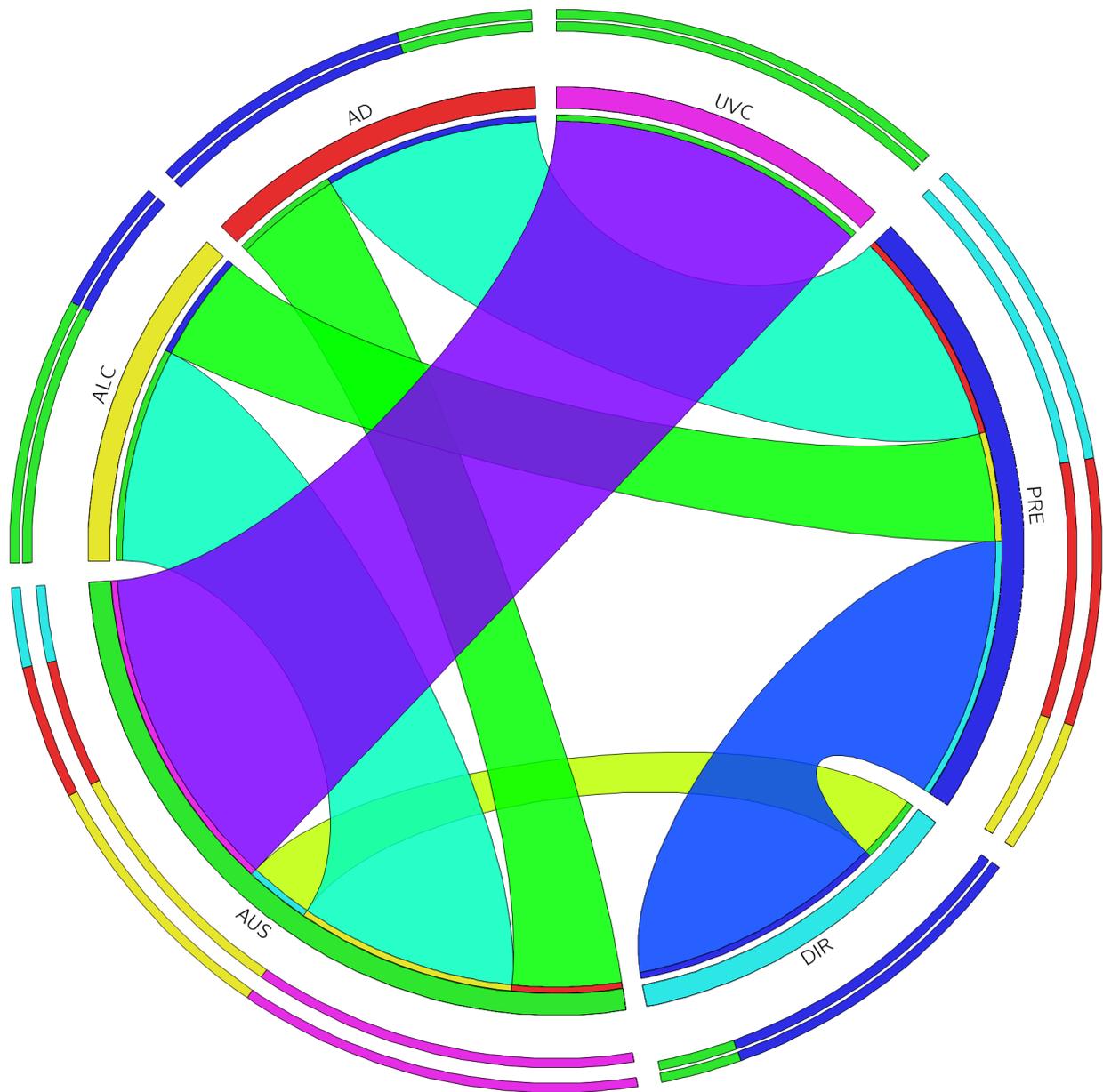


Figure 5. Results of bacterial presence in different methods of sanitizing meal carts. Circos plot illustrates the associations between different sanitization methods applied to hospital meal carts and the corresponding microbiological outcomes regarding the presence or absence of colony-forming unit (CFU). The outer segments represent the four evaluated methods: unsanitized cart (DIR), cart sanitized with 70% alcohol (ALC), cart sanitized with 70% alcohol and detergent (AD), and cart disinfected using UV-C light (UVC). Microbiological outcomes, presence (PRE) or absence (AUS) of contamination are also depicted around the circle. The inner colored ribbons indicate the connections between each sanitization method and its respective outcome, with ribbon width proportional to the frequency of occurrence for each association.

These findings suggest that the standard cleaning protocol (70% alcohol and detergent) may be suboptimal, with high contamination rates (66.7% for bacterial plate and 73.3% for BHI method). The superior performance of UV light disinfection highlights

its potential as a highly effective strategy to reduce microbial contamination on hospital carts, justifying further investigation and consideration for clinical implementation.

In the analysis of the dirty cart, bacterial growth ≥ 100 CFU was observed, indicating intense contamination. The main bacteria isolated were *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* sp., and *Pseudomonas* spp., identified at various points. In the cart cleaned with 70% alcohol, a partial reduction in bacterial load was observed compared to the uncleaned cart. Despite the reduction in colony-forming units (CFU), microbial growth was detected at all sampled points. CFU counts ranged from 50 to 90 per point, with growth observed on all media used. The main bacteria isolated were *Staphylococcus aureus* and *Bacillus* spp., repeatedly detected across different points and culture media.

In the cart subjected to combined alcohol and detergent treatment, CFU counts varied from 10 to 80, with bacteria from the genera *Bacillus* spp. and *Micrococcus* sp. Both bacteria showed equivalent counts across all ranges analyzed, indicating a homogeneous distribution of residual microbiota. The cart exposed to UV-C light revealed a total absence of CFU in all samples evaluated (0 CFU). Furthermore, no bacterial species were detected, indicating that the UV light disinfection protocol promoted effective disinfection against the tested microorganisms.

4. Discussion

The results obtained in this study clearly demonstrate the microbiological efficacy of the prototype developed for disinfecting hospital meal distribution carts using UV-C radiation. The complete absence of bacterial growth in samples subjected to irradiation indicates that the equipment was able to achieve total elimination of viable microorganisms on the analyzed surfaces, significantly outperforming traditional cleaning methods. This evidence reinforces the potential of the technology as a safe, effective, and easily applicable alternative in healthcare services, especially in critical sectors such as intensive care, oncology, and neonatology, where reducing microbial load is essential for preventing healthcare-associated infections (HAIs).

Comparison with conventional protocols, based on 70% alcohol and detergent, revealed that although these methods promote a partial reduction in bacterial load, they are insufficient to ensure complete decontamination of the equipment. The recurrent presence of pathogens such as *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* sp., and *Pseudomonas* spp. on seemingly sanitized carts highlights operational limitations of these procedures and the risks associated with cross-contamination in hospital environments.

Besides its efficacy, the prototype shows promise due to its ease of use, low operational cost, and potential for standardizing cleaning processes, reducing reliance on manual actions prone to human error. Thus, the proposed technology offers a relevant and innovative contribution to hospital infection control protocols, especially in the post-pandemic context, where microbiological safety of hospital environments is even more critical.

Fontana (2025) reported similar findings when testing the Ecological Visible Approach protocol, which aims to serve as an environmentally friendly cleaning method, compared to conventional surface cleaning and disinfection protocols [13]. In contrast, Romanovski's (2024) study identified a high disinfection potential using ozone and hypochlorite solutions on surfaces [14]. Together, these studies highlight the importance of exploring alternative cleaning strategies, yet they still rely on chemical-based approaches. The present study differs by employing UV-C as a sustainable strategy, reducing costs associated with the use of distilled water for the preparation of chemical disinfectants.

In summary, the research validates the use of UV-C radiation as an effective tool applicable to hospital routines, recommending its incorporation as a complementary

biosafety strategy. Future studies may deepen cost-benefit analyses, assess the durability of materials exposed, and explore the applicability of the system to other types of hospital surfaces and equipment.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/doi/s1>; Table S1: dirty meal cart; Table S2: meal cart sanitized with 70% alcohol; Table S3: meal cart sanitized with 70% alcohol and detergent protocol; Table S4: meal cart disinfected by exposure to UV-C light from the developed device.

Author Contributions: Conceptualization, A.B.L.G., L.P.B. and S.S.L.; methodology, A.B.L.G., L.P.B., P.H.M.M., M.S.B. and D.M.R.R.S.; formal analysis, A.B.L.G., P.H.M.M. and R.S.S.; data curation, A.B.L.G. and R.S.S.; visualization, E.E.D.S.; writing—original draft preparation, A.B.L.G. and E.E.D.S.; writing—review and editing, A.B.L.G., E.E.D.S., L.R.S.L., L.V.S.S., A.K.S.C., P.G.M.d.S. and L.M.F.L.; supervision, A.B.L.G., A.A.M.L., A.G.G., L.A.M.S., K.A., R.G.G., L.P.B. and S.S.L.; project administration, A.B.L.G., A.A.M.L., A.G.G., L.A.M.S., K.A., R.G.G., L.P.B. and S.S.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Acknowledgments: The authors gratefully acknowledge the research team for generously providing the original technology model, which served as the Gianpaolo Roina and Francesco D'Errico for its adaptation and application in this study. Their valuable contribution was essential for the development and success of the proposed disinfection system. We extend our sincere gratitude to Zuleide Barros Luna Gomes for her invaluable contribution to the writing of this article. Her expertise, commitment, and insightful input were essential to the development and refinement of this work.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Carvalho, L.V.S.; Silva, M.E.C.; Santos, E.C.L.; Costa, A.A. Discursos sobre tecnologias de desinfecção pós-pandêmicas: luz ultravioleta germicida, fotocatalise e ozônio. *Rev. Casos Consult.* **2022**, *13*, e27985–e27985.
2. Darnell, M.E.R.; Subbarao, K.; Feinstone, S.M.; Taylor, D.R. Inativação do coronavírus que induz a síndrome respiratória aguda grave, SARS-CoV. *Sci. Direct* **2004**, *121*, 85–91.
3. Nguyen, P.H.; Headey, D.; Pecenka, C.; Avula, R.; Ruel, M.T.; Menon, P. COVID-19 Disrupted Provision and Utilization of Health and Nutrition Services in Uttar Pradesh, India: Insights from Service Providers, Household Phone Surveys, and Administrative Data. *J. Nutr.* **2021**, *151*, 2305–2316.
4. Sanchez, E.; Fung, K.M.; Pietrolungo, L.; Vinson, A.; Thompson, J.J.; Widener, M.J. Providing Food and Nutrition Services during the COVID-19 Surge at the Javits New York Medical Station. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 7430.
5. Kubde, D.; Patel, J.; Choudhari, S.; Bhawnani, D. Importance of Hospital Infection Control. *Cureus* **2023**, *15*, e50931.
6. Boyce, J.M.; Havill, N.L.; Moore, B.A.; Dumigan, D.G.; Golebiewski, M. 2011. Impact of Ultraviolet Germicidal Irradiation for Terminal Room Disinfection on Hospital Infection Rates. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* **2015**, *32*, 737–742.
7. Assadian, O.; Tarka, P.; Koburger-Janssen, T.; Kramer, A.; Christiansen, B. Practical recommendations for routine cleaning and disinfection procedures in healthcare institutions: a narrative review. *J. Hosp. Infect.* **2021**, *113*, 104–114.
8. Kowalski, W.J. *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection*; 1st ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, **2009**.
9. Weber, D.J.; Rutala, W.A.; Sickbert-Bennett, E.E.; Kanamori, H.; Gergen, M.F. Continuous room decontamination technologies for disinfection of the healthcare environment. *Am. J. Infect. Control* **2019**, *47*(Suppl 2), A72–A78.
10. Kim, A. *Análise Ergonômica do Trabalho de Copeira no Serviço de Nutrição e Dietética no HU-USP, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2013*. Available online: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/7079edf6-0d0c-4ba0-a089-804b2738065b/AdeliaKim%20TCCPRO13.pdf> (accessed on 5 June 2024).
11. *Circos® Table Viewer*. Available online: <https://circos.ca/> (accessed on 6 August 2025).
12. *RStudio® Software*. Available online: <https://posit.co/products/open-source/rstudio/> (accessed on 5 August 2025).
13. Fontana, R.; Vogli, L.; Buratto, M.; Caproni, A.; Nordi, C.; Pappadà, M.; Facchini, M.; Buffone, C.; Bandera, B.; Marconi, P. Sustainable vs. Conventional Cleaning in Healthcare: Microbiological and Life Cycle Insights. *Sustainability* **2025**, *17*, 1114. <https://doi.org/10.3390/su17031114>

14. Romanovski, V.; Paspelau, A.; Kamarou, M.; Likhavitski, V.; Korob, N.; Romanovskaia, E. Comparative Analysis of the Disinfection Efficiency of Steel and Polymer Surfaces with Aqueous Solutions of Ozone and Sodium Hypochlorite. *Water* **2024**, *16*, 793. <https://doi.org/10.3390/w16050793>

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.