

Plataforma para testes de LEDs UV-C em aplicações de desinfecção microbiológica

1st Marcelo S. da Costa
GSEC

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil
costa.marcelo@acad.ufsm.br

2nd Álysson R. Seidel
GSEC

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil
seidel@ctism.ufsm.br

3rd Rodrigo V. Tambara
GSEC

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil
rodvarella10@gmail.com

4th Maikel F. Menke
GSEC

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil
maikelmanke@gmail.com

Resumo—Este artigo apresenta uma plataforma de testes de radiação UV-C para ação germicida (ou desinfecção microbiológica), utilizando LEDs. Ela é composta pela matriz de LEDs UV-C, a instrumentação necessária para a medição da irradiância, e a câmera de testes especialmente desenvolvida com a finalidade de avaliar a eficácia desses componentes na desinfecção de superfícies. Para a realização das medidas de irradiância, foram definidos sensores que respondem à faixa de comprimento de onda específico dos LEDs para que, assim, seja possível medir a irradiância UV-C adequadamente. Para demonstrar a funcionalidade da plataforma, se obteve dados experimentais, que depois foram usados para construir gráficos que relacionam a irradiância e a dose em função da distância entre os LEDs e os sensores, de modo a obter os mapeamentos da irradiância e dose emitida pela matriz de LEDs UV-C.

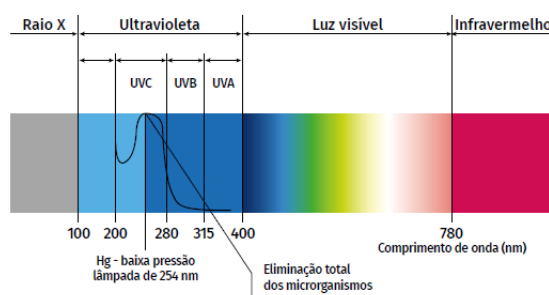
Index Terms—Ação germicida, Diodos emissores de luz, Instrumentação, UV-C.

I. INTRODUÇÃO

Durante a pandemia do SARS-CoV-2, diversos métodos de ação germicida foram pesquisados e alguns já existentes foram aprimorados. Um desses métodos é baseada na utilização de radiação ultravioleta (UV) por meio de lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão (LVMBP), que são utilizadas para a desinfecção do ar, de superfícies e da água. Elas se mostram extremamente eficientes contra vírus, fungos e bactérias, mas a convenção de Minamata, em 2013, definiu que o ano de 2020 seria o ano limite para produção dessas lâmpadas [3]. Desde então, o desenvolvimento de LEDs UV tornou-se opção para a utilização em sistemas de desinfecção e ação germicida. A radiação UV, é um tipo de radiação eletromagnética que tem a capacidade de destruir a habilidade de reprodução de microrganismos através de uma reação foto-química no ácido ribonucleico (RNA) ou do ácido desoxirribonucleico (DNA) [12]. O espectro da luz ultravioleta se estende dos

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) e também com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Figura 1. Espectro da luz com destaque para a região ultravioleta.



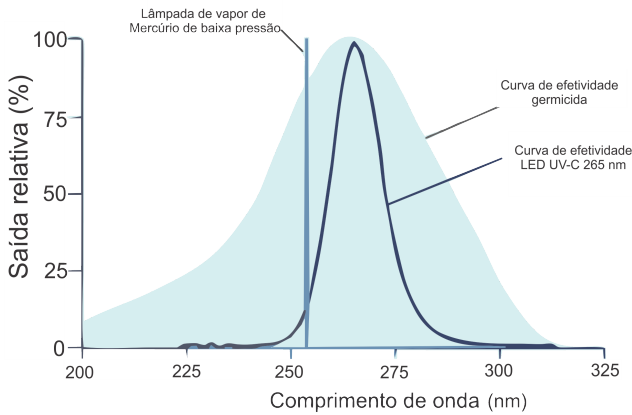
Fonte: International Journal Implant News.

comprimentos de onda de 100 a 400 nm, e sua subdivisão, segundo a Comissão internacional de iluminação (CIE), é realizada da seguinte forma: UV-A (320 - 400 nm), UV-B (280 - 320 nm) e UV-C (200 - 280 nm). O espectro UV pode ser melhor visualizado na Figura 1.

As primeiras observações científicas sobre os efeitos germicidas da radiação ultravioleta foram observados em 1877 por *Downes e Blunt*, onde foi registrado que um tipo de bactéria havia sido inativada com a luz solar. Em 1885, *Arloing e Duclaux*, demonstraram os efeitos em outros tipos de bactérias. Por volta dos anos de 1930 foi realizada a primeira aplicação com UV-C para o controle de infecções em um hospital [6].

Os comprimentos de onda dentro da faixa UV-C, são os que causam maiores danos as células e os que tem maior absorção pelas proteínas de DNA e RNA. Por muitos anos, as LVMBP foram as únicas fontes de emissão de luz UV-C, mas com o avanço da tecnologia dos LEDs UV-C, eles estão se tornando uma proeminente alternativa. Seu comprimento

Figura 2. Gráfico intensidade relativa em função comprimento de onda.



Fonte: Modificado de Klaran ®.

de onda encontra-se exatamente na faixa de maior efetividade germicida, como pode ser visto na Figura 2, que apresenta as curvas de comparação do LED UV-C e da LVMBP.

Para que um sistema de desinfecção ou ação germicida, possa funcionar de forma satisfatória, deve-se estar atento a alguns parâmetros pelos quais o sistema deve estar de acordo e algumas grandezas que devem ser mensuradas de forma precisa para que sua efetividade seja comprovada. Entre eles estão, o comprimento de onda do pico, pico de irradiância e a dose. Outro fator importante é a estabilidade da radiação UV na saída do LED, e isso inclui a potência radiante e a irradiância. E para que haja resultados de boa qualidade, o sistema deve ser monitorado regularmente [5].

A seguir, alguns parâmetros físicos importantes são definidos.

Pico do comprimento de onda: O comprimento de onda emitido pelo LED UV é controlado pelo semicondutor selecionado/projetado e materiais de dopagem. Ao contrário das lâmpadas UV convencionais, a emissão de LEDs UV tem um espectro monocromático com comprimento de onda de pico específico e largura de banda relativamente estreita, tipicamente entre 9-15 nm, em comparação com a largura de banda dos LEDs visíveis. Por exemplo, o comprimento de onda de um LED de nitreto de gálio, GaN, é definido pela adição de diferentes proporções de dopantes índio e alumínio. Geralmente seu comprimento é dado em nm (nanômetros). [2]

Dose: Representa a energia radiante total que incide sobre uma superfície ou um microrganismo e tem as unidades mJ/cm^2 (mWs/m^2). A dose de UV é entendida como a quantidade de exposição de UV, sendo a dose para a qual a superfície ou microrganismo é exposta, e não a dose absorvida, que é desconhecida [17]. Pode-se calcular a dose através de (1). D_{UV} : Dose UV, I_{UV} : irradiância UV e T : Tempo

$$D_{UV} = I_{UV} \cdot T \quad (1)$$

A dose não é determinada apenas pela intensidade instantânea de radiação, mas também pelo tempo T em que o objeto ou superfície foi exposta a radiação UV-C.

Irradiância: é definida como a potência radiante total de todas as direções ascendentes incidentes sobre um elemento em área infinitesimal de superfície plana e sua grandeza é medida em mW/cm^2 [7]. É possível calcular a irradiância através de (2)

$$I_{UV} = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2)$$

A irradiância é uma grandeza de vital importância na desinfecção UV-C, e pode ser influenciada por três fatores principais:

- 1° Intensidade UV da fonte de luz;
- 2° Distância da fonte; e
- 3° Ângulo em relação a fonte de iluminação [16].

Potência de irradiância e a potência elétrica, podem causar alguma confusão, mas são grandezas totalmente diferentes, deve-se saber que a irradiância UV pode ser até mesmo descrita pelo fabricante, mas não se sabe como a energia UV é distribuída e isso depende dos três fatores citados anteriormente.

Nos últimos anos o desenvolvimento e a aplicação de LEDs ultravioleta apresentaram um grande crescimento e, como dito anteriormente, a pandemia do SARS COV-19 acelerou o mercado e o desenvolvimento de LEDs UV. Além dos LEDs, há também uma demanda crescente por métodos adequados para a realização de medições confiáveis das fontes de emissão de UV. E para isso existem alguns desafios para quantificar esta intensidade e, um deles, é a metodologia para obtenção de medidas confiáveis.

Um ponto importante a ser destacado é que os radiômetros comerciais como por exemplo o *LUTRON®UVC-254 Professional UVC LIGHT METER*, são projetados, normalmente, para serem utilizados em torno do comprimento de onda de LVMBP UV-C que é de 254 nm, com uma banda muito estreita. Isto dificulta o desenvolvimento de testes adequados com a tecnologia de LEDs UV-C que trabalham em outra faixa de comprimento de onda, de 260 nm a 270 nm.

A partir das reflexões apresentadas, este artigo propõe a construção de uma plataforma para testes de LEDs UV-C juntamente com uma instrumentação para medição de irradiância e dose dentro do espectro de comprimentos de onda de 260 nm a 270 nm pois esta faixa de comprimento de onda mostra-se a mais efetiva para o uso de ação germicida.

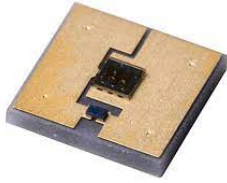
Este artigo está organizado como segue. A seção II apresenta os materiais e dispositivos selecionados para a construção da plataforma. A seção III discute os procedimentos utilizados para a realização das medições de irradiância e dose UV-C e apresenta as curvas de irradiância e dose obtidas a partir da calibração do sensor de radiação UV-C. Por fim, a seção IV conclui o artigo.

II. DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA DE TESTES

A. LEDs UV-C

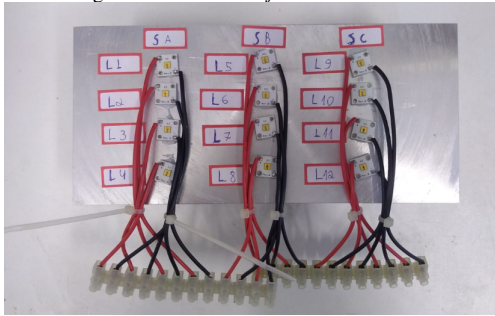
Um dos aspectos chaves para a utilização de LEDs UV-C, é a sua precisão em emitir luz na faixa de comprimentos

Figura 3. LED *KL265-50U-SM-WD*.



Fonte: Klaran ®.

Figura 4. LED Arranjo de LEDs UV-C.



Fonte: Autor.

de onda mais adequada na sanitização de patógenos como *E. Coli*, *MRSA*, *Crypto* entre outros [6].

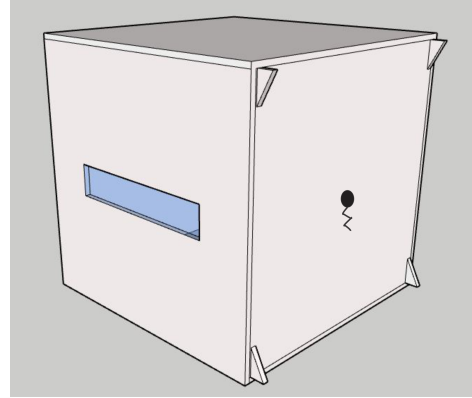
O modelo de LED utilizado para os testes foi o *KL265-50U-SM-WD* da fabricante *Cristal IS* ®, como mostra a Figura 3, que possui as seguintes características: faixa de comprimento de onda entre 260 e 270 nm e potência ótica de 60 mW. Na plataforma, os LEDs são ligados em um formato matricial de três séries de quatro LEDs (matriz 3 x 4). A corrente nominal de cada LED é de 500 mA.

Na Figura 4 é apresentada o arranjo de LEDs utilizado na plataforma.

Quanto a vida útil dos modelos de LED UV-C em [15], demonstra experimentalmente que os LEDs podem ter uma durabilidade de, aproximadamente, 19 mil horas com uma incerteza de 3%. Além do mais, com a crescente evolução desses dispositivos, a durabilidade continuará a subir. Outra vantagem em relação as LVMBP é a possibilidade de utilização de luz pulsada sem impactar na vida útil do LED [13].

Comparados as com as LVMBP, atualmente os LEDs ainda são limitados em potência irradiante e ainda possuem um elevado custo. Mas com as recentes pesquisas e pela maior demanda do mercado, estima-se que em um futuro próximo, ocorra uma diminuição do seu custo por miliwatt (mW). Em [13] são descritas duas medidas que são comumente utilizadas para aferir a eficiência do LEDs UV-C: a *Wall Plug Efficiency* (WPE) e a *External Quantum Efficiency* (EQE). A WPE é o produto entre EQE e a eficiência elétrica, e representa a razão do fluxo radiante (potência de saída ótica radiométrica total do dispositivo, em watts) pela entrada elétrica. Atualmente os LEDs UV-C possuem em média 8% de WPE, isto significa que 92% de sua energia é transformada em calor. Já a EQE é a razão entre o número de fótons emitidos pelo LED e o

Figura 5. Perspectiva da câmara com a tampa móvel (à direita) para medidas em diferentes distâncias da fonte com detalhe do posicionamento do sensor e recorte de acrílico para visualização interna segura da câmara durante testes.



Fonte: Autor.

número de elétrons que passam pelo dispositivo - em outras palavras, a eficiência com que o dispositivo converte elétrons em fótons e permite que eles escapem. Hoje a porcentagem desse valor nos LEDs UV-C está entre 10% e 20% EQE [14].

B. Câmara de testes

A utilização de radiação UV para ação germicida é comprovadamente eficaz para a utilização no ar ou em superfícies, mas apresenta um risco potencial a saúde humana. Como os raios UV são invisíveis a olho nu, o ser humano é passível de estar exposto a altas doses de UV. A exposição por um período de tempo elevado, traz riscos e pode causar danos à visão, queimaduras na pele, além de potencialmente causar câncer de pele. Por exemplo a exposição dos olhos a radiação UV entre 200 a 315 nm, poderá causar uma sensação de dor entre 4 à 12 horas após a exposição [12]. Desta forma, para que os testes com os LEDs UV-C pudessem ser realizados com segurança, foi necessário o projeto e a construção de uma câmara. Ela foi produzida em madeira MDF, que possui um volume de 1 m³, ela pode ser visualizada na Figura 5.

Já nas Figuras 6 e 7 é possível visualizar a câmara implementada, em que é possível perceber o detalhe da tampa móvel, onde em seu interior fica o sensor UV, que permite realizar medições em diferentes distâncias da fonte UV-C. Além de possuir uma abertura em acrílico, que permite a visualização do teste

Para realizar medições de irradiância e dose em diferentes distâncias, a tampa móvel permite que os sensores utilizados possam se deslocar em relação aos LEDs UV-C. Deste modo, é possível realizar o mapeamento da irradiância e da dose emitida em função da distância.

Os sensores do modelo *GUVCL-T21GH* da *GENUV* ®, apresentado na Figura 8, foram escolhidos por responder adequadamente na faixa de comprimentos de onda emitida pelos LEDs UV-C (260 a 270 nm).

Este sensor possui uma faixa de espectro de detecção de 220 a 280 nm e uma responsividade típica de 0,6 mA/nW como é apresentada na sua curva de responsividade na Figura 9.

Figura 6. Câmara de testes construída.



Fonte: Autor.

Figura 7. Vista da câmara com a tampa deslocada.



Fonte: Autor.

Assim, pode-se observar, na Figura 9 que o sensor responde adequadamente dentro da faixa de comprimento de onda dos LEDs selecionados.

III. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO E RESULTADOS

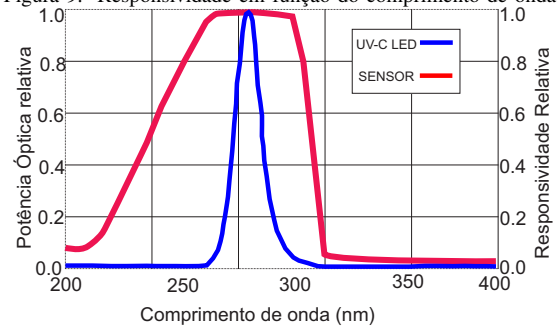
Em [1], [10], [11] e [18] são descritas metodologias para a realização de medições em LVMBP, usando lâmpadas de diferentes modelos e em diferentes arranjos, com o objetivo de quantificar a eficiência dessas lâmpadas na emissão de

Figura 8. Sensor GUVCL-T21GH



Fonte: Genicom ®

Figura 9. Responsividade em função do comprimento de onda.



Fonte: modificado de Genicom ®

radiação UV. Já em [4], [9] e [13] são apresentados protocolos de aquisição das medidas em LEDs UV para medir o pico do comprimento de onda, o espectro de emissão UV, a dose UV e irradiância. No presente artigo, as medições foram realizadas com o *array* de LEDs acionados por uma fonte de corrente em quatro níveis: 100%, 75%, 50% e 25%, os quais correspondem respectivamente à 500 mA, 375 mA, 250 mA e 125 mA da corrente do LED. Todos os testes foram realizados com o sensor em 6 diferentes distâncias: 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm e 40 cm.

A partir da implementação da câmara de testes, foram obtidas as medidas da tensão de saída do sensor UV-C. Com essas medidas foi possível calcular o valor da irradiância emitida pelo arranjo de LEDs UV-C através de (3), deduzida a partir da reta de calibração disponibilizada no *datasheet* do fabricante do sensor.

$$I_{UV} = \frac{V_{out}}{0,83} \quad (3)$$

Os dados obtidos nos ensaios e os cálculos realizados mostram os seguintes resultados: Com uma corrente de 500 mA, nas seis diferentes distâncias, a tensão de saída apresentada pelo sensor variou de 88,354 mV até 1726 mV. Já a irradiância calculada através de (3), teve uma variação de 0,106 mW/cm² a 2,080 mW/cm². Com a corrente em 75% da nominal a tensão apresentou valores entre 73,572 mV e 1.404 mV e sua irradiância calculada foi de 0,089 à 1,692 mW/cm². Com a metade da corrente nominal, 250 mA, e o sensor nas diferentes distâncias, a tensão de saída apresentada no sensor vai de 53,786 mV a 1034 mV, e nessas condições apresentadas a irradiância variou de 0,065 mW/cm² à 1,246 mW/cm². Na última etapa do teste, quando a corrente foi de 125 mA, a variação de tensão apresentada na medição realizada na saída do sensor foi de 27,851 mV em 40 cm de distância, enquanto a 10 cm de distância sua tensão foi de 560,156 mV. Sendo assim, as irradiâncias alcançadas foram de 0,034 mW/cm² a 0,675 mW/cm².

Com os dados das medições obtidos é possível traçar os gráficos da tensão de saída do sensor UV pela irradiância emitida pelo *array* de LEDs, apresentados nas Figuras 10, 11, 12 e 13.

Figura 10. Tensão de saída do sensor em função da irradiância (corrente de 500 mA nos LEDs).

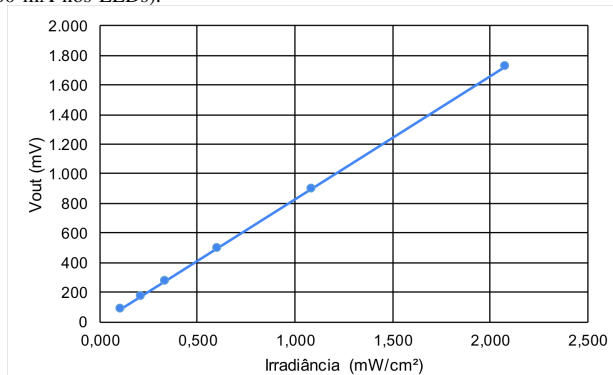
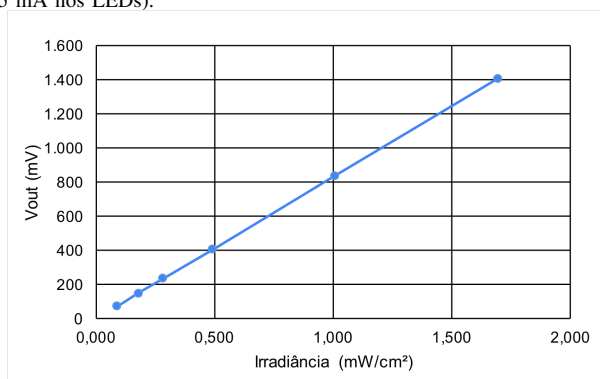


Figura 11. Tensão de saída do sensor em função da irradiância (corrente de 375 mA nos LEDs).



Adicionalmente, com esses resultados, é possível traçar o gráfico da tensão de saída pela distância (Figura 14), onde pode-se perceber a redução da tensão de saída quanto maior é a distância e, conseqüentemente, menor será a irradiância.

Outro cálculo realizado foi a da dose UV-C, obtida a partir da irradiância e do tempo. Calcula-se o valor da irradiância emitida por (3), e com isso calcula-se o valor da dose UV-C através de (1). Neste experimento (Figura 15), foram realizadas medidas em quatro diferentes tempos: 10, 30, 60 e 180 segundos (s) e nos mesmos valores de distância utilizados no

Figura 12. Tensão de saída do sensor em função da irradiância (corrente de 250 mA nos LEDs).

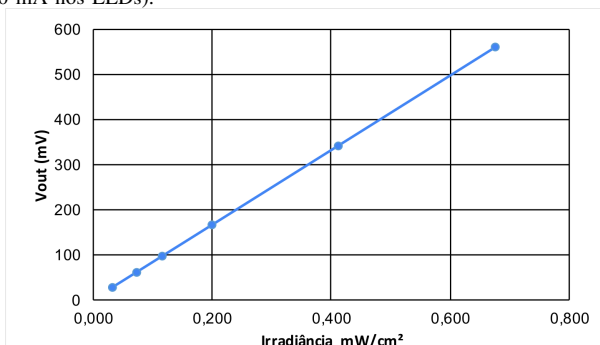


Figura 13. Tensão de saída do sensor em função da irradiância (corrente de 125 mA nos LEDs).

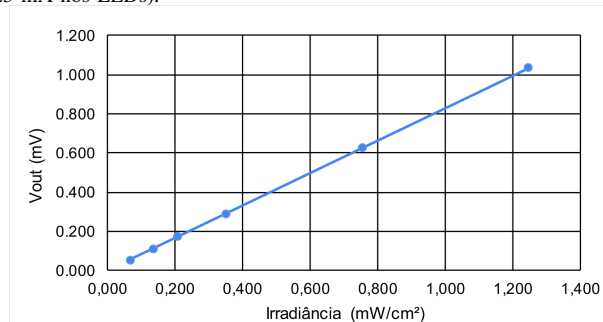
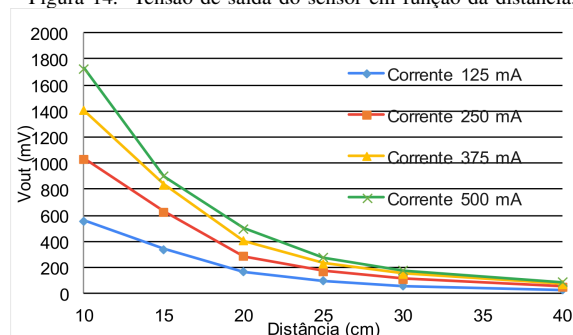


Figura 14. Tensão de saída do sensor em função da distância.



primeiro teste. No tempo de 10 s, com a distância mínima de 10 cm e a máxima de 40 cm, obteve-se o valor de irradiância de 2,067 mW/cm² e 0,108 mW/cm², e nessas distâncias as doses atingidas foram de 20,666 mJ/cm² a 1,076 mJ/cm². Nos testes realizados com um tempo de 30 s, os resultados obtidos foram os seguintes: os valores da irradiância foram muito próximos aos mensurados anteriormente com o tempo de 10 s, sendo o valor máximo de 2,050 e o valor mínimo de 0,106 mW/cm², já os valores da dose UV-C obtidos na medição foram de 3,187 a 61,496 mJ/cm². No tempo de 60 s as irradiâncias obtidas, nas diferentes distâncias, foram de 2,039 a 0,106 mW/cm². Devido ao dobro do tempo de exposição, sua dose UV-C também dobrou, sendo a dose máxima alcançada de 122,328 e a mínima de 6,342 mJ/cm². No último valor de tempo estabelecido, 180 s, os valores de irradiância novamente não sofreram grandes alterações. Sendo o valor máximo de 2,017 e o mínimo de 0,105 mW/cm². E os valores da dose foram de 363,129 mJ/cm² a 10 cm de distância, e de 18,869 mJ/cm² em uma distância de 40 cm.

A Figura 15 permite uma melhor comparação dos resultados da exposição a radiação UV-C para diferentes distâncias em relação a fonte e em tempos de exposição distintos. O tempo de exposição cresce quadraticamente a medida que a distância aumenta e isso mostra-se importante pois para os diversos microrganismos existentes é necessário diferentes tempos de exposição e dose UV.

A seguir, a Figura 16 apresenta os gráficos de irradiância em diferentes potências e diferentes distâncias de radiação.

Figura 15. Dose UV-C em função do tempo e distância.

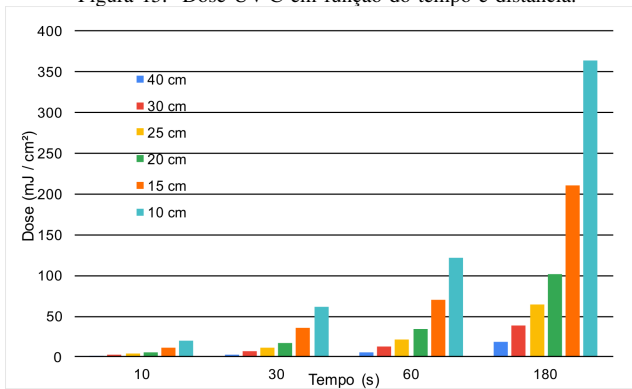
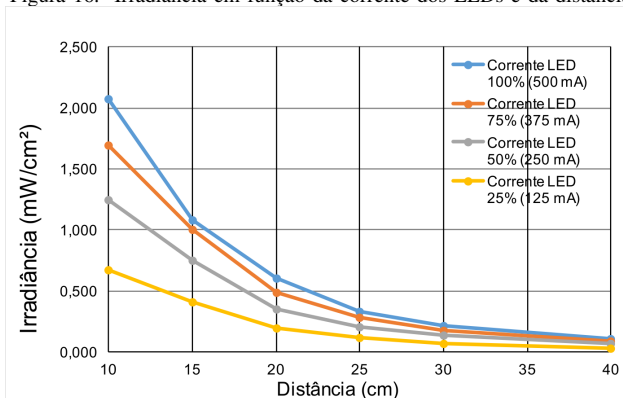


Figura 16. Irradiância em função da corrente dos LEDs e da distância.



Estudos demonstram que quando a distância de radiação aumenta, a irradiância sobre o objeto diminui [8], o que pode ser confirmado na Figura 16. Analisando os gráficos obtidos é possível verificar que: se a potência óptica do LED for elevada, é possível compensar a perda de irradiância que teremos com o aumento da distância entre o sensor e a fonte UV-C. Por isso, estudos sobre a atenuação da irradiância são importantes para se ter uma desinfecção eficiente.

IV. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma proposta de plataforma de ensaios para LEDs UV-C. Devido a faixa de comprimentos de onda específica desses LEDs, que diferem dos radiômetros comumente utilizados em LVMBP, uma instrumentação específica foi escolhida e um procedimento de calibração, baseado em informações do *datasheet*, foi desenvolvida para obtenção de curvas de irradiância e de dose em função da distância, em diferentes níveis de corrente nos LEDs. Nota-se o comportamento quadrático da irradiância e da dose à medida que a distância aumenta. Essas curvas possibilitam a dosagem adequada de irradiação UV-C para diferentes distâncias e níveis de corrente na utilização de LEDs UV-C. Os próximos passos do trabalho são: a calibração da instrumentação com um radiômetro comercial, construção de uma plataforma eletrônica para acionamento, controle e supervisão dos ensaios. Para verificar se a redução da irradiância,

em função da distância, poderá afetar os efeitos de desinfecção microbiológica, serão realizados testes de efetividade em microrganismos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e também com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Processo 313338/2018-3.

REFERÊNCIAS

- [1] Ies guide for measurement of ultraviolet radiation from light sources. *Journal of the Illuminating Engineering Society* 18, 2 (1989), 153–156.
- [2] HEATHCOTE, J. UV-LED Overview Part I - Operation and Measurement. Tech. Rep. August, 2010.
- [3] JUAREZ-LEON, F. A., SORIANO-SÁNCHEZ, A. G., RODRÍGUEZ-LICEA, M. A., AND PEREZ-PINAL, F. J. Design and Implementation of a Germicidal UVC-LED Lamp. *IEEE Access* 8 (2020), 196951–196962.
- [4] KHEYRANDISH, A., MOHSENI, M., AND TAGHIPOUR, F. Protocol for Determining Ultraviolet Light Emitting Diode (UV-LED) Fluence for Microbial Inactivation Studies. *Environmental Science and Technology* 52, 13 (2018), 7390–7398.
- [5] KOUTCHMA, T. *Ultraviolet LED Technology for Food Applications*.
- [6] KOWALSKI, W. *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook UVGI for Air and Surface Disinfection*. New York, 2009.
- [7] LAWAL, O. A., DUSSERT, B. X., HOWARTH, C. H., PLATZER, K. L., SAGES, M. T., MULLER, J. T., WHITBY, E. C. C., STOWE, R. F. U., ADAM, V. H., WITHAM, D. U., ENGEL, S. S., POSY, P. A., AND VAN DER POL, A. P. Method for the Measurement of the Output of Monochromatic (254 nm) Low-Pressure UV Lamps. *IUVA News* 19, 1 (2017), 9–16.
- [8] LI, X., YANG, D., AND CAI, M. New analysis method for radiation modeling and sterilization effect of UVC-LED module. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 452, 4 (2018), 0–6.
- [9] RAYMONT, J., AND KASHYAP, A. Measuring the Output of UV Light Emitting Diodes (LEDs).
- [10] REED, N. G., WENGRAITIS, S., AND SLINNEY, D. H. Intercomparison of instruments used for safety and performance measurements of ultraviolet germicidal irradiation lamps. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 6, 5 (2009), 289–297.
- [11] SAGES, M., AND ROBINSON, J. Accurate measurement of UV lamp output. *IUVA news* 7, 3 (2005), 21–25.
- [12] SCHUCH, A. P. *Avaliação da ação genotóxica induzida pela radiação ultravioleta solar na molécula de DNA*. PhD thesis, 2009.
- [13] SHOLTES, K. *UV Led Measurement, Characterization, Inactivation, and Comparison Tools for Drinking Water Applications*. PhD thesis, University of Colorado at Boulder, 2019.
- [14] SHOLTES, K., KELIHER, R., AND LINDEN, K. G. Standardization of a UV LED Peak Wavelength, Emission Spectrum, and Irradiance Measurement and Comparison Protocol. *Environmental Science and Technology* 53, 16 (2019), 9755–9763.
- [15] SUN, K. X., LEINDECKER, N., HIGUCHI, S., GOEBEL, J., BUCHMAN, S., AND BYER, R. L. UV LED operation lifetime and radiation hardness qualification for space flights. *Journal of Physics: Conference Series* 154 (2009).
- [16] TANGDIONGGA, G., DOMINIC, D. M., AND STEPHAN, D. UV LED curing systems : Measuring accurately and eliminating safety hazards.
- [17] WANG, L., YANG, D., WANG, X., YANG, Z., AND CAI, M. Light extraction efficiency enhancement of 265nm UVC-LED with Micro-array structure, 2018.
- [18] WEDECO, O. L., SIEMENS, B. D., HANOVIA, C. H., PLATZER, K., SOURCES, L., TROJAN, M. S., TROJAN, J. M., WHITBY, E., CARBON, C., STOWE, R., UV, F., HERAEUS, V. A., UVDI, D. W., SANUVOX, S. E., AND ATLANTIUM, P. P. PROPOSED METHOD FOR MEASUREMENT OF THE OUTPUT OF MONOCHROMATIC (254 nm) LOW PRESSURE UV LAMPS. *IUVA news* 10, 1 (2008), 14–17.