



RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES NO LEITE E PRODUTOS LÁCTEOS

Mariana M. Delorme^a, Ramon S. Rocha^{a,b}, Maria Carmela K. H. Duarte^a, Adriano
G. Cruz^b

^a Universidade Federal Fluminense (UFF), Faculdade de Medicina Veterinária, 24230-340, Niterói, Brasil

^b Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Departamento de Alimentos, 20270-021, Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

As tecnologias de processamento e preservação de alimentos devem manter as características intrínsecas do produto, proporcionando um prazo comercial aceitável, além de garantir segurança e valor nutricional. Neste contexto, processamentos emergentes que são aplicados à preservação de alimentos sem os efeitos indesejáveis dos tratamentos térmicos convencionais vêm ganhando destaque. Estas novas tecnologias de processamento de alimentos são vantajosas, pois permitem uma redução significativa do tempo de processamento em comparação aos tratamentos convencionais, resultando em menores gastos de energia, podendo fornecer segurança aos alimentos com amplos benefícios para a indústria.

Dentre os métodos emergentes, a radiação ultravioleta (UV-C) destaca-se como uma das tecnologias mais promissoras, com grande potencial de comercialização e aplicação pelas indústrias.

Palavras-chave: Tecnologias emergentes; Tecnologias de conservação; RUV.



1. RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (UV)

A luz ultravioleta compreende a faixa de comprimento de onda entre 100-400 nm, que produz três principais tipos de raios UV: UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) e UVC (100-280 nm). Os raios UV-C são descritos como germicidas, pois apresentam efeito letal mais eficaz em diferentes microrganismos, como bactérias, vírus, protozoários, fungos e algas (Shin et al., 2016).

A radiação UV-C é uma tecnologia de intervenção não térmica e não química que utiliza energia física, sendo considerada segura e não tóxica. É uma técnica que exige baixos custos de investimento e manutenção em comparação com outros métodos de conservação, além de ser ambientalmente amigável, uma vez que não provoca danos ambientais (Keyser et al., 2008). O processo do tratamento consiste na aplicação da luz UV em comprimentos de onda curtos, na faixa de 100 a 280 nm, que é capaz de causar a quebra de ligações no DNA de microrganismos, alterando seu metabolismo e reprodução, levando à morte celular (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004).

Os efeitos germicidas da radiação UV dependem principalmente da dose de UV (J/m^2) que se refere à irradiância UV ou fluxo de intensidade UV, e é definida como a função da intensidade e do tempo de exposição, sendo geralmente determinada pela Equação (I) (Shama, 2000).

$$D = I \times t \quad (I)$$

Onde D é a 'dose' de UV, conhecida como quantidade de energia UV aplicada a uma superfície específica durante um determinado intervalo de tempo, I é intensidade de UV medida na superfície e t é o tempo de exposição (Matak et al., 2005).



A intensidade da UV (W / m^2) é a radiação total da área especificada. Na maioria dos casos, à medida que o tempo de exposição e a intensidade da luz UV aumentam e a distância da fonte de luz ao alvo diminui, a taxa de inibição das células aumenta. Além disso, a localização das amostras também irá influenciar a taxa de inibição de microrganismos, uma vez que a ação será mais eficaz quando as amostras estiverem posicionadas diretamente sob as lâmpadas germicidas (Koca, Urgu & Saatli, 2018).

A radiação ultravioleta tem sido usada para descontaminação do ar, superfícies e água. Recentemente, a indústria de alimentos tem demonstrado crescente interesse no uso da radiação UV para descontaminação de líquidos e superfícies de alimentos sólidos (Gayán, Condón & Álvarez, 2014). Como uma das intervenções de inativação não térmicas, a radiação com a luz ultravioleta é um método físico reconhecido por sua eficácia germicida com potencial para controlar patógenos transmitidos por alimentos e microrganismos deteriorantes (Beauchamp & Lacroix, 2012). Além disso, a radiação UV-C é uma radiação não ionizante, ou seja, que não fornece nenhuma radioatividade ao produto tratado, em contraste com a radiação ionizante (radiação gama) que fornece radioatividade residual (Park, Kang & Kang, 2018).

A inativação microbiana pela ação da luz ultravioleta ocorre por meio de diversos mecanismos que dependem dos comprimentos de onda aplicados no tratamento. O principal mecanismo pelo qual a radiação UV-C inativa os microrganismos é em grande parte pela ação direta por meio de lesões que interferem na replicação do DNA (Brem, Guven & Karran, 2016). A absorção da radiação UV-C induz modificações na expressão gênica do DNA com a formação de fotoprodutos, chamados de dímeros de ciclobutano



pirimidina (CPDs) e fotoprodutos de pirimidina 6-4 pirimidona (6-4PP). Desses fotoprodutos, o mais importante é o dímero de pirimidina, formado entre moléculas de pirimidina adjacentes da mesma cadeia de DNA, que pode interromper a transcrição e a replicação do DNA, levando à morte celular (Salcedo et al., 2007; Koutchma, 2009). Além disso, efeitos fotoquímicos indiretos, como a formação de radicais livres, também podem induzir mudanças ultraestruturais (Cutler & Zimmerman, 2011).

Os principais parâmetros que afetam a eficácia da inativação microbiana referentes ao processo são o comprimento de onda e a dose de UV. Além disso, outros fatores físicos também são importantes, como por exemplo, o padrão de fluxo, a conformação e a geometria do equipamento UV-C (López-Malo & Palou, 2005).

Com relação ao microrganismo alvo, cada organismo requer uma dose de UV letal específica e, sendo assim, as características microbianas são importantes para a eficácia do processo, uma vez que a sensibilidade à luz UV-C varia significativamente entre os diferentes tipos de microrganismos, espécies e linhagens (Koutchma, 2009). Estudos já demonstraram que é alcançada uma maior eficiência na inativação de bactérias Gram-negativas em comparação com as Gram-positivas, seguida por leveduras, esporos bacterianos, fungos, vírus e protozoários (López-Malo & Palou, 2005; Hijnen et al., 2006). Estas variações na resistência aos raios UV foram atribuídas a diversos fatores microbianos intrínsecos, que podem dificultar a penetração dos fótons de luz UV nas células (Beauchamp & Lacroix, 2012; Kim, Kim, & Kang, 2017).

Outro parâmetro igualmente importante na determinação da eficiência do tratamento com doses corretas de UV é a capacidade de reparar danos induzidos por



UV e sobreviver (Gayán, Condón & Álvarez, 2014). A formação de dímeros provocada pela radiação pode ser revertida através dois mecanismos de reparo: fotoreativação e reparo escuro (Salcedo et al., 2007). A fotoreativação é o principal mecanismo para controle de danos nas bactérias irradiadas, em que estas utilizam enzimas de reparo (Yin et al., 2015). Esta capacidade de reparo aumenta a probabilidade de sobrevivência dos microrganismos e reduz o prazo de validade do produto tratado com UV-C. Portanto, é essencial ter condições de armazenamento que impeçam a fotoreativação dos microrganismos em alimentos irradiados por UV. Sendo assim, é imprescindível evitar a exposição à luz visível após o processamento, a fim de tornar os produtos mais seguros e alcançar os efeitos de controle desejados (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004).

Com relação ao produto a ser tratado, o desempenho da radiação ultravioleta também depende de qual matéria prima será utilizada no processamento, porque, em geral, a penetrabilidade é restrita. A capacidade de penetração da luz UV em alimentos sólidos depende de vários fatores, incluindo propriedades físicas, composicionais e de superfície, como espessura, viscosidade, propriedades ópticas, densidade, cor, presença de sujeiras ou rugosidades (Koca, Urgu & Saatli, 2018).

A radiação ultravioleta também pode ser aplicável em produtos já embalados. Um estudo que avaliou os efeitos do UV-C em diversos patógenos de origem alimentar em superfícies de queijos embalados sugeriu que plásticos transparentes, como o filme de polipropileno (PP) e polietileno (PE) em conjunto com a radiação UV-C, podem garantir a prevenção de contaminação pós-processamento (Há et al., 2016).



Estudo recente publicado no leite (Ansari, Ismail, & Farid, 2019) e diferentes tipos de queijos (Ha, Back, Kim, & Kang, 2016; Keklik et al., 2019) confirmam potencial da luz ultravioleta em inativar diversos microrganismos como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella Typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas spp.*, *Listeria innocua*, entre outros, no leite e em produtos lácteos.

2. RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E A QUALIDADE DE LATICÍNIOS

As características físico-químicas e sensoriais do leite e derivados são extremamente importantes para garantia da qualidade e preservação, sendo influenciadas por fatores como o tipo de tratamento e a intensidade aplicada no processamento (Raso & Barbosa-Cánovas, 2003).

Os parâmetros de qualidade estão estritamente relacionados à aceitação de tecnologias emergentes pelos consumidores e, eventualmente, irão determinar a aceitabilidade da tecnologia UV como alternativa ou adjuvante ao tratamento térmico comercial. Há atualmente poucos estudos na literatura que avaliam os possíveis efeitos negativos da luz UV sobre as características físico-químicas e sensoriais dos laticínios e, portanto, pesquisas neste campo tornam-se necessárias. Em geral, verificou-se que o uso da radiação UV nos alimentos não causa efeitos adversos extensivos no leite, bem como nos produtos lácteos, especialmente quando a luz é aplicada em quantidades moderadas (Krishnamurthy et al., 2007). No entanto, também já foi descrito que a aplicação de doses mais elevadas de UV pode levar à perda nutricional, deterioração da qualidade e formação de componentes indesejáveis (Orlowska et al., 2013).



Com relação ao leite, a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) afirma que o tratamento com radiação UV resulta em um aumento nas concentrações de vitamina D₃, devido à conversão do 7-desidrocolesterol em vitamina D₃. Além do incremento de vitamina D₃, não são descritas diferenças significativas no teor de nutrientes dos leites tratados com UV (EFSA, 2016). Além disso, outros parâmetros de importância na qualidade do leite, como pH, cor, teor de sólidos solúveis e viscosidade, foram avaliados após o processamento com UV e o leite integral irradiado não apresentou diferenças significativas nestas características (Orlowska et al., 2013).

Em relação aos produtos lácteos, um estudo avaliou as alterações na cor e oxidação lipídica de queijos, nos quais os tratamentos UV foram aplicados em graus leves (5s a 13 cm), moderados (30s a 8 cm) e extremos (40s a 5 cm). Os resultados mostraram que, após tratamentos suaves, a cor e a qualidade físico-química não foram significativamente diferentes (Can et al., 2014). O mesmo foi observado para outros produtos lácteos, como os queijos Gouda e Manchego (Férrandez et al., 2016) e o queijo Kashar (Keklik et al., 2019).

No entanto, a aplicação de tratamentos drásticos de UV pode resultar em alterações nas características físico-químicas e sensoriais dos produtos, como alterações de cor (Can et al., 2014; Keklik et al., 2019), oxidação de proteínas, que pode ocorrer devido à absorção da luz UV pelos aminoácidos ou envolvendo fotosensibilizadores, como a riboflavina (Férrandez et al., 2014) e redução dos valores de pH (Keklik et al., 2019).



Sendo assim, os resultados da literatura sugerem que, embora o efeito antimicrobiano seja comprovado, ainda é desafiador definir os parâmetros ótimos do processo tendo em vista reduzir o crescimento microbiano sem causar alterações físico-químicas e sensoriais (Koca, Uргу & Saatli, 2018).

3. VANTAGENS, DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A radiação UV-C é uma tecnologia emergente não térmica que oferece múltiplas vantagens sobre o processamento convencional, como a inativação efetiva de uma ampla gama de microrganismos patogênicos e deteriorantes, com perda mínima da qualidade nutricional e sensorial dos alimentos. Além disso, nenhum resíduo de tratamento é gerado e nenhum efeito tóxico é causado (Gayán, Condón & Álvarez, 2014). A radiação UV é eficiente em termos energéticos e apresenta boa relação custo-benefício em comparação com outros métodos (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004). Outra vantagem é que esta tecnologia foi aprovada pela *Food and Drug Administration* (FDA) dos EUA, e a Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA).

A utilização da luz UV pode ser interessante para a indústria de alimentos como um método alternativo atraente tendo em vista eliminar ou controlar o crescimento da contaminação pós-processamento com a aplicação superficial em produtos lácteos (Koca, Uргу & Saatli, 2018). No entanto, por ser uma forma de radiação



eletromagnética relativamente não penetrante, sua aplicação é limitada (Koutchma, 2009).

Em relação ao processamento do leite, as principais razões para a falta de exploração da tecnologia UV-C são: baixa penetração da luz UV no leite, possível comprometimento do sabor, incapacidade da luz UV de eliminar completamente os esporos bacterianos e resistência de alguns patógenos à luz UV (Datta & Tomasula, 2015).

4. PERSPECTIVAS

A crescente demanda e consumo global de leite e produtos lácteos em todo o mundo tem chamado a atenção da indústria de alimentos para o potencial das tecnologias emergentes como novos métodos de conservação. Assim, a adequação do tratamento com UV-C pode ser útil, pois existe uma oportunidade promissora para o desenvolvimento e a comercialização dessa tecnologia em escala industrial no processamento de laticínios.

A radiação com a luz UV possui capacidade de inativar uma ampla gama de microrganismos. No entanto, vários aspectos ainda precisam ser investigados, principalmente no que se refere à sua utilização em alimentos. Embora os benefícios da aplicação da luz ultravioleta já tenham sido relatados, alguns estudos demonstraram certas limitações do tratamento com luz ultravioleta em produtos lácteos, como a capacidade restrita de penetração. Portanto são necessárias mais pesquisas que



ajudarão a desenvolver a tecnologia UV-C como uma alternativa econômica e potencialmente viável para a indústria de laticínios.



5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ansari, J. A., Ismail, M., & Farid, M. (2019). Investigate the efficacy of UV pretreatment on thermal inactivation of *Bacillus subtilis* spores in different types of milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *52*, 387-393.
- Barba, F. J., Koubaa, M., Prado-Silva, L., Orlieen, V., & Sant'Ana, A. (2017). Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *66*, 20–35.
- Beauchamp, S., & Lacroix, M. (2012). Resistance of the genome of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* to irradiation evaluated by the induction of cyclobutane pyrimidine dimers and 6-4 photoproducts using gamma and UV-C radiations. *Radiation Physics and Chemistry*, *81*, 1193-1197.
- Brem, R., Guven, M., & Karran, P. (2017). Oxidatively-generated damage to DNA and proteins mediated by photosensitized UVA. *Free Radical Biology and Medicine*, *107*, 101-109.
- Cutler, T. D., & Zimmerman, J. J. (2011). Ultraviolet irradiation and the mechanisms underlying its inactivation of infectious agents. *Animal Health Research Reviews*, *12*, 15-23.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2016). Safety of UV-treated milk as a novel food pursuant to Regulation (EC) No 258/97. *EFSA Journal*, *14*, 4370.
- FDA, U.S. Food and Drug Administration. Ultraviolet (UV) Radiation. Available in: <<https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/tanning/ultraviolet-uv-radiation#1>> Accessed in: 04/10/2019.
- Fernández, M., Ganan, M., Guerra, C., & Hierro, E. (2014). Protein oxidation in processed cheese slices treated with pulsed light technology. *Food Chemistry*, *159*, 388–390.
- Fernández, M., Arias, K., & Hierro, E. (2016). Application of Pulsed Light to Sliced Cheese: Effect on *Listeria* Inactivation, Sensory Quality and Volatile Profile. *Food and Bioprocess Technology*, *9*, 1335-1344.



- Gayán, E., Condón, S., & Álvarez, I. (2014). Biological aspects in food preservation by ultraviolet light: a review. *Food and Bioprocess Technology*, *7*, 1-20.
- Guerrero-Beltrán, J.A., Barbosa-Cánovas, G.V. (2004). Advantages and limitations on processing foods by UV Light. *Food Science & Technology International*, *10*, 137–147.
- Ha, J. W., Back, K. H., Kim, Y. H., & Kang, D. H. (2016). Efficacy of UV-C irradiation for inactivation of food-borne pathogens on sliced cheese packaged with different types and thicknesses of plastic films. *Food Microbiology*, *57*, 172-177.
- Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F., & Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review. *Water Research*, *40*, 3-22.
- Keklik, N. M., Elik, A., Salgin, U., Demirci, A., & Koçer, G. (2019). Inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* O157: H7 on fresh kashar cheese with pulsed ultraviolet light. *Food Science and Technology International*, *25*, 680-691.
- Keyser, M., Müller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., & Gouws, P. A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *9*, 348-354.
- Kim, D. K., Kim, S. J., & Kang, D. H. (2017). Bactericidal effect of 266 to 279 nm wavelength UVC-LEDs for inactivation of Gram positive and Gram negative foodborne pathogenic bacteria and yeasts. *Food Research International*, *97*, 280-287.
- Koca, N.; Urgan, M.; Saatli, T (2018). Ultraviolet Light Applications in Dairy Processing, Edited by KOCA, Nurcan. *Technological Approaches for Novel Applications in Dairy Processing*. Intech Open,. Chapter 1.
- Koutchma, T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, *2*(2), 138-155.
- Koutchma, T. (2019). Advances in UV-C Light Technology Improve Safety and Quality Attributes of Juices, Beverages, and Milk Products. Available in: <



<https://www.foodsafetymagazine.com/magazine-archive1/februarymarch-2019/advances-in-uv-c-light-technology-improve-safety-and-quality-attributes-of-juices-beverages-and-milk-products/>> Accessed in: 09/01/2020.

- Misra, N. N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., Inácio, R. S., Saraiva, J. A., & Barba, F. J. (2017). Landmarks in the historical development of twenty-first century food processing technologies. *Food Research International*, *97*, 318-339.
- Morales-de la Peña, M., Welti-Chanes, J., & Martín-Belloso, O. (2019). Novel technologies to improve food safety and quality. *Current Opinion in Food Science*, *30*, 1-7.
- Orlowska, M., Koutchma, T., Grapperhaus, M., Gallagher, J., Schaefer, R., & Defelice, C. (2013). Continuous and pulsed ultraviolet light for nonthermal treatment of liquid foods. Part 1: effects on quality of fructose solution, apple juice, and milk. *Food and Bioprocess Technology*, *6*, 1580-1592.
- Park, S. H., Kang, J. W., & Kang, D. H. (2018). Inactivation of foodborne pathogens on fresh produce by combined treatment with UV-C radiation and chlorine dioxide gas, and mechanisms of synergistic inactivation. *Food control*, *92*, 331-340.
- Raso, J., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2003). Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques.
- Salcedo, I., Andrade, J. A., Quiroga, J. M., & Nebot, E. (2007). Photoreactivation and dark repair in UV-treated microorganisms: effect of temperature. *Applied Environmental Microbiology*, *73*, 1594-1600.
- Shama, G. (2000). Ultraviolet light. © Academic Press (Elsevier).
- Shin, J.Y., Kim, S.J., Kim, D.K. & Kanga, D.H (2016). Fundamental characteristics of deep-UV light emitting diodes and their application to control foodborne pathogens. *Applied and Environmental Microbiology*, *82*, 2-10.
- Yin, F., Zhu, Y., Koutchma, T., & Gong, J. (2015). Inactivation and potential reactivation of pathogenic Escherichia coli O157: H7 in bovine milk exposed to three monochromatic ultraviolet UVC lights. *Food Microbiology*, *49*, 74-81.