

## AVALIAÇÃO DE ALERGENICIDADE DE VERNIZES ACRÍLICOS DE CURA UV CONVENCIONAL (LÂMPADA DE MERCÚRIO) E UV-LED

**Aline Susana Lain<sup>1</sup>, Edson Francisquetti<sup>1</sup>, Daiane Romanzini<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> PPGTEM – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Farroupilha, RS, Brasil. E-mail: [aline\\_susana@hotmail.com](mailto:aline_susana@hotmail.com); [edson.francisquetti@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:edson.francisquetti@farroupilha.ifrs.edu.br)

<sup>2</sup> PPGTEM – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Feliz, RS, Brasil.  
[\\*daiane.romanzini@feliz.ifrs.edu.br](mailto:*daiane.romanzini@feliz.ifrs.edu.br)

**Recibido: Febrero de 2022; Aceito: Marzo de 2022**

### RESUMO

A utilização de tintas de cura por radiação ultravioleta (UV) está amplamente difundida no meio industrial, podendo ser encontrada em processos de impressão digital, tratamento de superfície para indústria moveleira e de decoração, impressão de embalagens, etc. A composição desse tipo de tinta compreende a utilização de monômeros acrilatos e metacrilatos, conhecidos por desenvolverem dermatites de contato. O processo de cura UV convencional faz uso de lâmpadas de mercúrio, que embora muito difundido, apresenta desvantagens. Por esta razão, a tecnologia de cura UV, conhecida como diodo de emissão de luz ultravioleta (UV-LED), pode ser estudada como uma alternativa às lâmpadas de mercúrio para tintas aplicadas em substrato PVC. Portanto, este trabalho objetiva avaliar formulações de tintas, desenvolvidas para a cura UV com lâmpada de mercúrio e UV-LED, quanto à reticulação e irritabilidade dérmica, e definir uma formulação que possa ser empregada em contato direto com a pele. Foram avaliadas formulações para cura UV com lâmpada de mercúrio (J92) e UV-LED (LB16) por meio das técnicas de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), Termogravimetria (TGA) e teste de irritabilidade dérmica pelo método Draize. Os resultados mostraram que o processo de cura, embora não completo, é eficiente. Por este motivo, ambos os processos de cura, tanto por UV convencional, quanto por UV-LED, podem ser indicados, para as formulações estudadas, para serem aplicados em produtos que tenham contato direto com a pele.

**Palavras-chave:** Vernizes acrílicos, Tecnologia Industrial, Cura UV, Irritabilidade Dérmica.

### ABSTRACT

The use of ultraviolet (UV) radiation curing inks is widespread: digital printing processes, surface treatment for furniture, packaging printing. The composition includes, among other components, acrylate and methacrylate monomers known to cause contact dermatitis. The conventional UV curing process makes use of mercury lamps and, although widespread, it has disadvantages. For this reason, the Ultraviolet light emitting diode (UV-LED) curing systems are suggested as an alternative to the mercury lamp. Therefore, this aims to evaluate varnish formulations developed for UV curing, regarding photo-polymerization and dermal irritability, defining a formulation that could be used in skin contact. UV mercury curing (J92) and UV-LED curing (LB16) varnish formulations were studied and were evaluated by Fourier-Transform Infrared spectroscopy (FTIR), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Thermogravimetry analysis (TGA) and dermal irritability by the Draize method. The results that the curing process, although not complete, is efficient. Both curing systems studied could be indicated to be applied in skin direct contact products.

**Keywords:** Acrylate-based Varnishes, Industrial applications, UV Cure, Dermal Irritability.

### INTRODUÇÃO

A cura por radiação ultravioleta (UV) permite a conversão rápida de um líquido reativo (tintas ou vernizes desenvolvidos para este fim) em um filme sólido. A exposição deste líquido à radiação UV promove o início das reações de polimerização e reticulação, gerando um revestimento de estrutura tridimensional, insolúvel e termofixo [1]. ÇAKIR e SERHATL [2] relataram em seus estudos que a cura de tintas por UV possibilitou o seu uso em diversas aplicações. Além disso, essa tecnologia tem como características a baixa emissão de compostos orgânicos voláteis e o baixo consumo de

energia [3]. Para complementar, estudos relataram excelentes propriedades em filme polimérico após a cura (maior resistência mecânica e química), assim como a melhora na adesão em diversos substratos e na resistência ao impacto facilitaram a disseminação dessa tecnologia. Esses fatores permitiram a aplicação da cura UV em diversos segmentos como móveis, impressão de embalagens de alimentos, aplicações em polímeros e metais, entre outros [2-4].

Convencionalmente, são utilizadas como fontes de radiação lâmpadas de mercúrio. Uma alternativa à lâmpada de mercúrio, embora ainda pouco utilizado na indústria, são os sistemas de cura por UV-LED. Este sistema tem recebido atenção especial nos últimos anos devido a vantagens apresentadas quando comparado com o sistema UV convencional [5]. No entanto, independente do equipamento utilizado para cura (lâmpada de mercúrio ou LED), existem restrições quanto a utilização deste tipo de tinta em contato direto com a pele devido aos problemas de irritabilidade dérmica. A irritabilidade dérmica, gerada pelos componentes acrilatos ou metacrilatos presentes na tinta, é conhecida como dermatite de contato, que é definida como o processo inflamatório ocasionado por agentes irritantes externos quando em contato com a pele. Isso acontece por causa do dano causado à pele por agentes químicos, neste caso, e que ocorre mais rapidamente do que a sua capacidade de regeneração [6, 7].

A composição de tintas ou vernizes usados em sistemas de cura UV geralmente incluem oligômeros, monômeros, fotoiniciadores, aditivos e pigmentos [8]. Uma das características físicas associadas é a viscosidade, fundamental para a sua aplicação e acabamento final. O ajuste deste parâmetro é realizado com a adição de monômeros de baixa funcionalidade, que permitem redução na viscosidade sem interferência abrupta no processo de reticulação e cura do sistema. SHUKLA et al. [9] reportaram que monômeros de acrilato são adicionados para reduzir a viscosidade da formulação de modo a atender às especificações recomendadas para sua aplicação. XIAOLI et al. [10] citaram o uso de monômeros no ajuste de parâmetros como cor, densidade e brilho em de formulações, além de melhorarem o nivelamento dos filmes produzidos.

Embora existam outros componentes nas formulações de vernizes, a irritação por monômeros de acrilatos e metacrilatos é mais frequente devido à baixa massa molar destas moléculas. Conforme explicado por SCARSELLA et al. [11], estes componentes migram mais facilmente que outros. Esta característica aumenta a probabilidade de ocorrência de irritabilidade dérmica devido ao aumento da mobilidade, e facilidade de solubilização e difusão na pele. A avaliação de potencial de alergenicidade destes componentes têm sido reportada em vários estudos. TAN et al. [6] e MESTACH et al. [12] destacaram que os monômeros são os principais componentes que ocasionam irritação na pele, devido a presença de acrilatos e metacrilatos. KULKARNI et al. [13] esclareceram que, embora os acrilatos sejam um sistema de baixa toxicidade, eles podem causar irritações pontuais quando em contato com a pele ou os olhos. A avaliação da alergenicidade na condição de tinta úmida tem sido relatada recentemente, tanto no uso industrial para sistemas com cura UV (tintas aplicadas por rolo de impressão, pistola, serigrafia, etc.) [14-16] quanto em cosméticos aplicados na região das mãos, abdômen e braços [17]. Na indústria, processos alérgicos também foram identificados na região dos olhos devido à aerossolização dos componentes da tinta causada pela alta velocidade de deposição da tinta no substrato nos processos de impressão [14].

Considerando a avaliação de vernizes curados, ou seja, após processo de cura, ABRAMSSON-ZETTERBERG e SVENSSON [18] apresentaram estudos sobre a migração de monômeros de acrilato e fotoiniciadores presentes em tintas utilizadas na impressão de embalagens de alimentos. Observou-se que esses componentes migram para os alimentos dentro dessas embalagens. No entanto, não foram encontrados estudos relacionados ao desenvolvimento do processo alérgico após a fotopolimerização de vernizes contendo acrilatos e metacrilatos. Além disso, não fica claro na literatura, se vernizes acrílicos que apresentam cura não completa poderiam desenvolver dermatites de contato. Por esta razão, o objetivo deste estudo foi avaliar a irritabilidade dérmica de duas formulações de vernizes desenvolvidos para sistemas convencionais de cura UV e UV-LED. A avaliação da irritabilidade dérmica foi realizada pelo método de Draize, e as condições de cura das

amostras foram avaliadas por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC) e Análise Termogravimétrica (TGA).

## PARTE EXPERIMENTAL

**Composição da amostra:** Duas formulações de tinta para cura UV foram fornecidas pela empresa Tecbril (Caxias do Sul, RS, Brasil), identificadas como J92, para cura UV convencional (lâmpada de mercúrio) e LB16 formulada para cura UV-LED. A formulação é composta por blendas de oligômeros, de monômeros e de fotoiniciadores, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Formulação dos vernizes LB16 e J92

	Formulação dos vernizes	
Componente	LB16	J92
Oligômeros	Resina Amina Acrilada Blenda de resinas acriladas	Resina Amina Acrilada Blenda de resinas acriladas
Monômeros	HDDA1	HDDA TMPEOTA2
Fotoiniciadores	Mistura de Fotoiniciadores	Mistura de Fotoiniciadores

<sup>1</sup>HDDA: 1,6 hexanediol diacrilato

<sup>2</sup>TMPEOTA: trimetilpropano etóxi triacrilato

Além dos componentes mencionados na Tabela 1, aditivos também foram inclusos. Estas formulações foram preparadas de acordo com as especificações da empresa, para uso em indústrias de bens e consumo, sendo possível avaliar como estes produtos, já comercializados, se comportam com relação à irritabilidade dérmica.

**Aplicação dos vernizes e processo de cura:** As amostras foram aplicadas com equipamento de aplicação automático marca DMBRASIL, modelo ZAA2300, utilizando extensor. Foi utilizado extensor de 25 µm, aplicado em dois substratos: vidro e papel. O equipamento automático permite manter uniformidade na aplicação, devido a sua estrutura composta por pequenos pesos padrões. Estes pesos mantêm o extensor sobre o substrato, garantindo a camada definida pelo mesmo. Além disso, permite que a aplicação ocorra na mesma velocidade em toda a extensão do substrato, sem

interferência da ação humana. Os dois substratos empregados foram posicionados na bancada do extensor e os vernizes aplicados com a mesma velocidade, peso e extensor. As aplicações realizadas no vidro foram raspadas para utilização nas análises de FTIR, DSC e TGA. As aplicações realizadas em papel foram utilizadas para o teste de irritabilidade dérmica (Teste Draize).

O processo de cura do verniz foi realizado utilizando lâmpada UV de mercúrio (Alpha Pain) em túnel de cura UV marca CQ Nova Cura (Master Paint), com velocidade de 15 m/s e intensidade da lâmpada de 50%. As características de processo seguiram as recomendações do fabricante e a exposição à radiação ocorreu durante um período de aproximadamente 8 s.

A cura com UV-LED foi realizada utilizando lâmpada de comprimento de onda de 395 nm em um equipamento portátil de marca Fast Curing. A cura foi realizada de forma estática: após aplicação do verniz, o substrato foi posicionado sobre uma superfície uniforme. Sobre o verniz foi posicionada a lâmpada, utilizando um suporte adequado para manter a distância entre o verniz e a luz invariável. Cada exposição à radiação durou 8 s e esta condição é parâmetro de cura definido pelo fabricante para a amostra LB16. Cada amostra foi exposta uma vez até cinco vezes à radiação.

**Caracterização:** As análises de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR - Frontier - Perkin Elmer Infrared) foram realizadas na faixa de 650-4000 cm<sup>-1</sup> utilizando a técnica de ATR. Os testes foram realizados para amostras não curadas, e amostras expostas 1, 2, 3, 4 e 5 vezes à radiação. As análises de Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC 6000 - Perkin Elmer) foram realizadas a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, sob condições inertes (fluxo de nitrogênio de 50 ml/min), partindo da temperatura ambiente entre 20°C à 25°C até 270°C, para amostras não curadas, e para amostras expostas 5 vezes à radiação.

As análises termogravimétricas (TGA 4000 - Perkin Elmer) foram conduzidas em uma faixa de temperatura entre 25 e 800°C, e taxa de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de nitrogênio (20 mL/min). Por fim, o teste de irritabilidade dérmica foi realizado para as amostras J92 e LB16 curadas, no laboratório Pró Ambiente (Porto Alegre, RS), usando o método Draize, de acordo com a

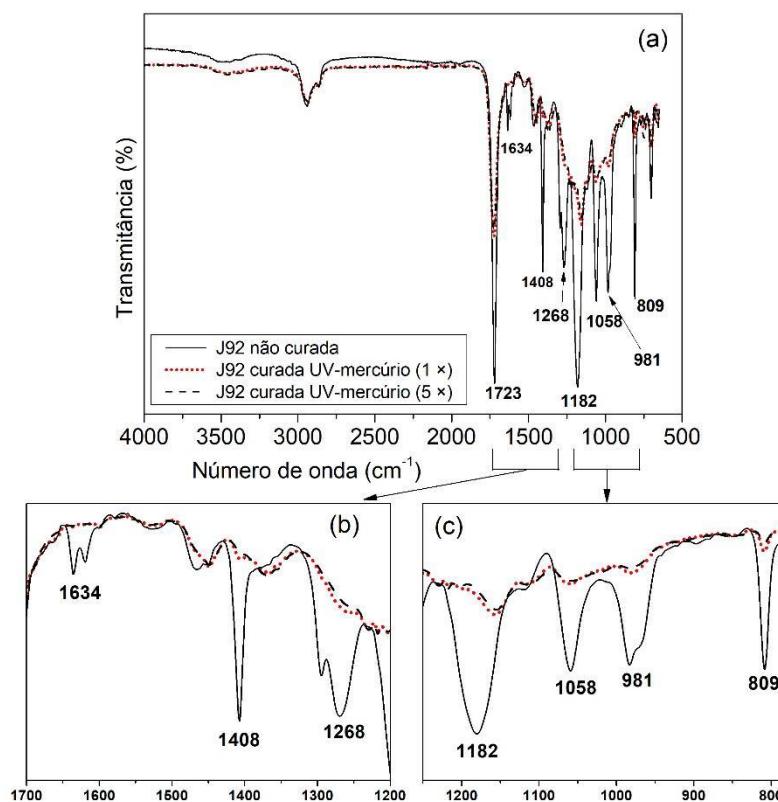
norma OED 404 (Manual Técnico do Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde – 05/85) e Manual de Ensaios Tóxicológicos in vivo.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

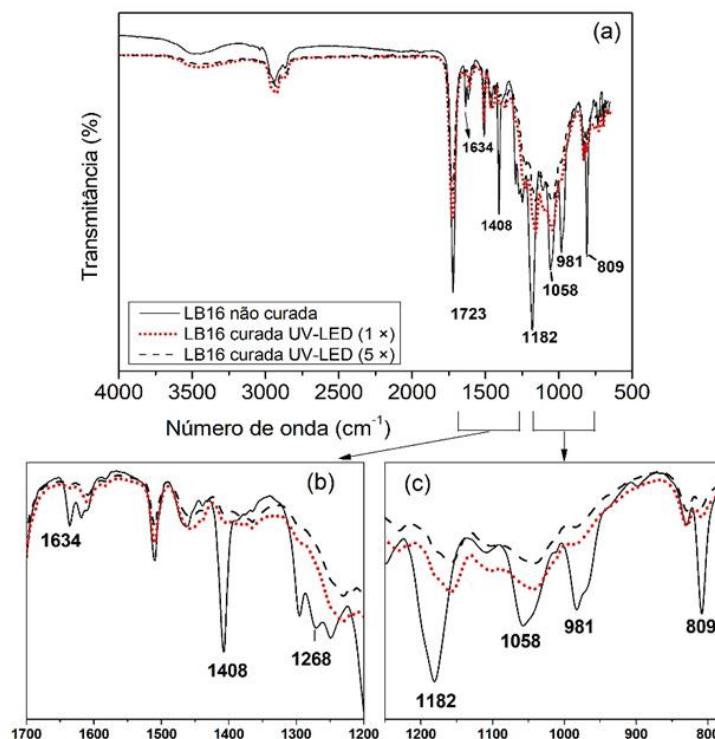
A Figura 1 mostra os resultados para a análise de FTIR comparando as amostras J92 não curadas e as amostras J92 curadas, quando expostas à lâmpada de mercúrio uma ( $1 \times$ ) e cinco vezes ( $5 \times$ ). Os resultados encontrados para as amostras expostas duas, três e quatro vezes foram suprimidos, pelo fato de apresentarem resultados similares, da mesma forma que ocorreu para uma e cinco exposições.

Comparando as amostras, as bandas em  $1723\text{ cm}^{-1}$  e  $1408\text{ cm}^{-1}$  características dos grupos funcionais C=O e C-O, respectivamente, apresentaram alterações significativas na intensidade. Também foram identificadas modificações em  $1182\text{ cm}^{-1}$  e  $1268\text{ cm}^{-1}$  característica de vibrações de estiramento C-O e em  $809\text{ cm}^{-1}$  e  $981\text{ cm}^{-1}$  correspondendo ao rompimento das ligações insaturadas C=C, podendo ser observado redução na intensidade para as amostras curadas, quando comparadas com as amostras não curadas, sendo indicativo de ocorrência de reações de reticulação após a exposição à radiação UV [19-21]. Também foi observada a presença de uma banda em  $1634\text{ cm}^{-1}$ , característica de grupos acrilatos, para as amostras não curadas. Esta não foi observada para as amostras curadas, indicando que estes grupos reativos desaparecem após processo de cura [2].

A Figura 2 apresenta os resultados de FTIR comparando as amostras LB16 não curadas e LB16 curadas, expostas à radiação UV-LED uma ( $1 \times$ ) e cinco vezes ( $5 \times$ ). Os resultados encontrados para as amostras expostas duas, três e quarto vezes foram suprimidos. Conforme relatado para a amostra J92, as amostras LB16 também apresentaram alterações significativas em  $1723\text{ cm}^{-1}$ ,  $1634\text{ cm}^{-1}$  e  $1408\text{ cm}^{-1}$ , e na faixa entre  $800\text{ cm}^{-1}$  a  $1300\text{ cm}^{-1}$  ( $809\text{ cm}^{-1}$ ,  $981\text{ cm}^{-1}$ ,  $1058\text{ cm}^{-1}$ ,  $1182\text{ cm}^{-1}$ ,  $1268\text{ cm}^{-1}$ ), com redução de intensidade para as amostras curadas em relação às não curadas, indicando a ocorrência de processo de reticulação e cura após exposição à radiação UV-LED [19-20].



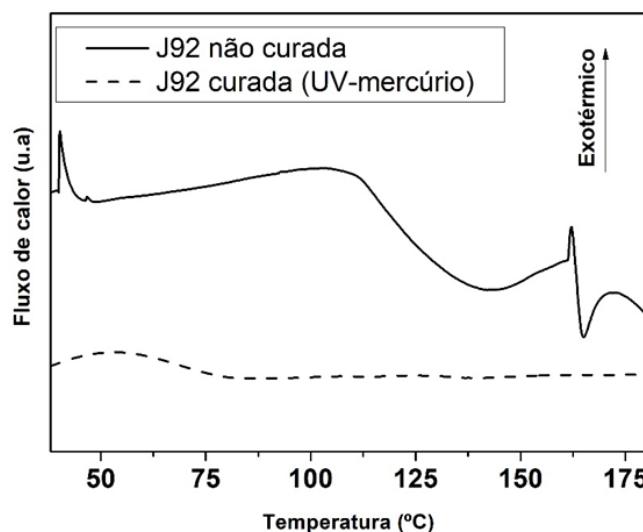
**Figura 1.** Espectros de FTIR para amostras J92 antes e depois do processo de cura (lâmpada UV de mercúrio)



**Figura 2.** Espectros de FTIR para amostras LB16 antes e depois do processo de cura (lâmpada UV-LED)

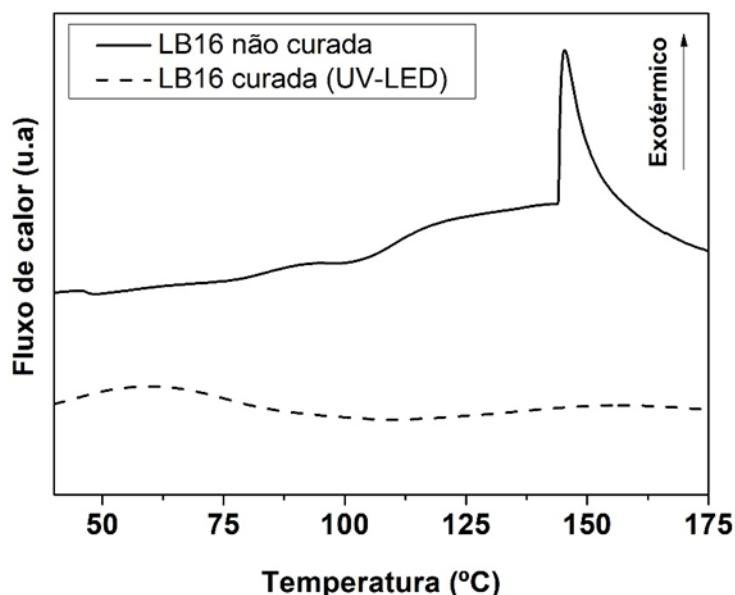
Resultados para a análise de calorimetria diferencial exploratória para as amostras J92 não curada e J92 curada (após serem expostas 5 vezes ao processo de cura com lâmpada UV de mercúrio) são mostrados na Figura 3. Os picos de fluxo de calor exotérmico para a amostra J92 não curada podem ser vistos, consistindo de um pico em torno de 25 a 50°C, outro evento térmico que ocorre na faixa de 100 a 125°C, e um terceiro evento em torno de 170°C. Os picos exotérmicos estão relacionados ao calor gerado durante a reação de cura [22-23]. Já para a amostra exposta à lâmpada UV de mercúrio, o perfil da curva muda claramente, verificando-se um ombro entre aproximadamente 35 e 75°C, o que indica a existência de reação de cura residual.

RUOWEN et al. [22] estudaram o desempenho da resina éster vinílica por meio de escrita direta com tinta combinando cura UV e térmica. Os autores relatam que a cura residual das amostras começa em torno de 40 °C, devido aos radicais livres fotoiniciados residuais nas amostras. Além disso, eles revelaram que a amostra não está totalmente curada principalmente devido à profundidade de penetração limitada da luz UV e ao baixo tempo de exposição durante o processo. Assim, os resultados corroboram com aqueles verificados no teste de FTIR, cuja ausência de grupos reativos após exposição à radiação UV indica que o processo de cura ocorreu. No entanto, as informações adicionadas pela análise de calorimetria de varredura diferencial evidenciam que a amostra não está totalmente curada.



**Figura 3.** Resultados da análise de DSC para a amostra J92 antes e depois do processo de cura (lâmpada UV de mercúrio)

Resultados para a análise de calorimetria diferencial exploratória para as amostras LB16 não curada e LB16 curada (exposta 5 vezes ao processo de cura com uma lâmpada LED) são mostrados na Figura 4. Os resultados para as amostras LB16 são semelhantes aos encontrados para a amostra J92. A amostra não curada apresenta um evento exotérmico entre aproximadamente 140°C e 155°C, o que representa as reações de reticulação que ocorrem durante o processo de cura [22-23]. Este pico não é visto na amostra curada. A amostra LB16 curada por UV-LED mostra uma clara mudança no perfil da curva, com um ombro entre 35°C e 75°C, indicando um possível processo de cura residual. Neste caso, a análise DSC também indicou que a amostra LB16 exposta à lâmpada de UV-LED não está totalmente curada.

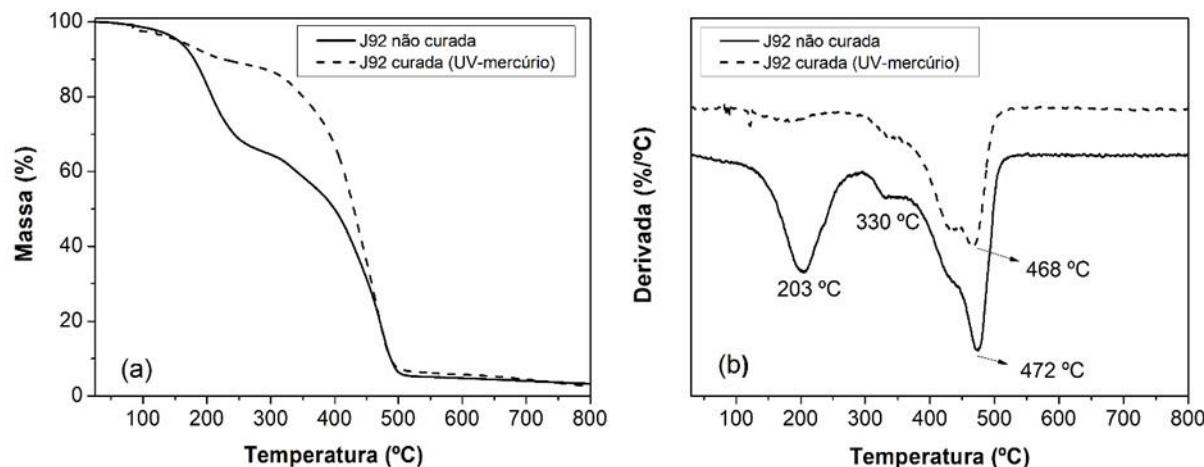


**Figura 4.** Resultados da análise de DSC para amostras LB16 antes e depois do processo de cura (lâmpada UV-LED)

A Figura 5 mostra os resultados para a análise termogravimétrica (TGA) e as curvas derivadas da análise termogravimétrica (DTGA) para as amostras J92 não curada e curada (exposta 5 vezes ao processo de cura com lâmpada UV de mercúrio). A amostra não curada apresentou dois estágios principais de perda de massa, com picos em 203°C e 472°C, e um ombro a 330°C (Figura 5.b). O evento térmico em 203°C está relacionado à volatilização de alguns componentes de baixa massa

molar, que também são responsáveis pela presença do ombro em 330°C. O evento térmico relacionado à temperatura de 472°C é característico do processo de degradação da resina polimérica [21,24].

Em relação à amostra J92 curada, o perfil da curva apresentou um deslocamento para maiores temperaturas para o início da degradação quando comparado à amostra J92 não curada (Figura 5.a). Além disso, a curva DTG (Figura 5.b) apresentou um evento térmica com máxima velocidade de degradação a 203°C para a amostra J92 não curada, indicando perda de massa em torno de 40%, enquanto que a perda de massa na faixa de 150°C a 250°C para a amostra J92 curada fica em torno de 10%. Isso significa que praticamente todos os componentes da formulação participaram do processo de cura, indicando que o principal evento de perda de massa para a amostra J92 curada está relacionado à degradação da resina polimérica reticulada. Esses resultados corroboram com

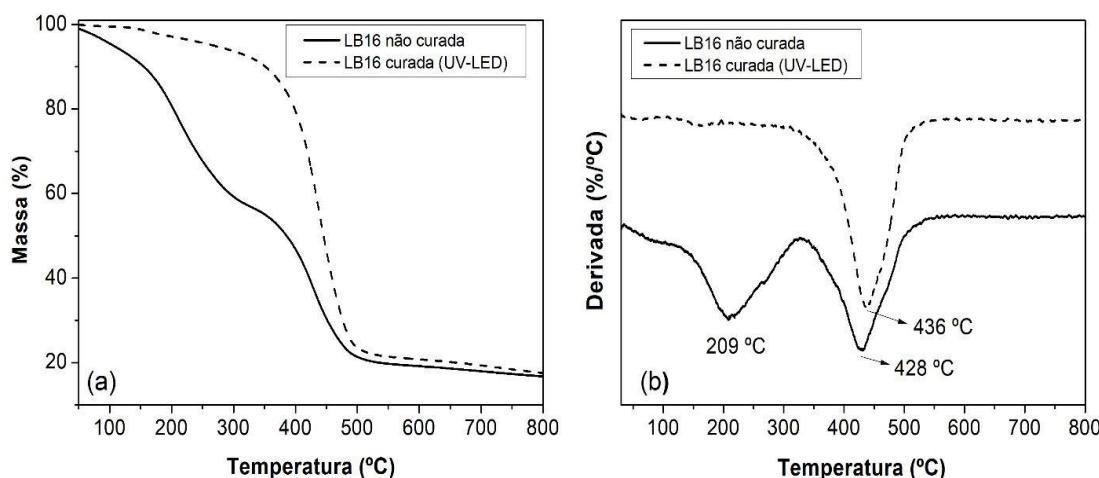


aqueles verificados na análise do DSC.

**Figura 5.** Resultados da análise de (a) TGA e (b) DTGA para a amostra J92 antes e depois do processo de cura (lâmpada UV de mercúrio)

A Figura 6 apresenta os resultados da análise termogravimétrica (TGA) e as curvas derivadas da análise termogravimétrica (DTGA) para as amostras LB16 não curada e LB16 curada (após exposta 5 vezes ao processo de cura com lâmpada UV-LED). Novamente, há uma alteração no perfil da curva para a amostra curada em relação a não curada. A amostra LB16 não curada mostrou dois

eventos principais de perda de massa a 209°C e 428°C. As informações obtidas na análise de DSC permitem inferir que o evento de perda de massa a 209°C está relacionado à reticulação induzida pelo calor. Como esta amostra foi desenvolvida para cura UV, a cura induzida pelo calor leva à volatilização de componentes como fotoiniciadores e monômeros, responsáveis pela perda de massa de aproximadamente 25% [24]. Além disso, o evento térmico com máxima velocidade de degradação a 428°C está relacionado ao processo de degradação da resina polimérica utilizada na formulação. A amostra LB16 LED curada apresentou um evento principal de perda de massa a 436°C, devido ao processo de degradação da resina polimérica utilizada na formulação [21].



**Figura 6.** Resultados da análise de (a) TGA and (b) DTGA para amostras LB16 antes e depois do processo de cura (lâmpada UV-LED)

Considerando a análise de teste Draize, as amostras testadas (J92 e LB16, ambas curadas) apresentaram resultados satisfatórios. As análises foram realizadas conforme metodologia e não foram identificados processos alérgicos cutâneos devido ao contato das amostras, independente da aplicação em pele ilesa ou escarificada (foram submetidas as duas condições). Conforme observado na Tabela 2 o resultado da análise de teste Draize para a amostra J92 curada apresentou ausência de processo alérgico cutâneo durante todo o teste. A Tabela 2 traz informações de ocorrência de eritemas, escaras e edemas na pele ilesa e escarificada, quando exposta à amostra. A simbologia “0”

indica ausência de alteração na pele na área analisada, indicado consequentemente, ausência de processo alérgico cutâneo.

**Tabela 2.** Resultados da análise de teste Draize para eritema e escaras e para edema para amostra J92 curada.

Eritema e Escaras	Leituras	Coelhos/N°					Edema	Leituras	Coelhos/N°				
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
Pele íntegra	01h	0	0	0	0	0	Pele íntegra	01h	0	0	0	0	0
	24h	0	0	0	0	0		24h	0	0	0	0	0
	72h	0	0	0	0	0		72h	0	0	0	0	0
	7dd	0	0	0	0	0		7dd	0	0	0	0	0
Pele escarificada	01h	0	0	0	0	0	Pele escarificada	01h	0	0	0	0	0
	24h	0	0	0	0	0		24h	0	0	0	0	0
	72h	0	0	0	0	0		72h	0	0	0	0	0
	7dd	0	0	0	0	0		7dd	0	0	0	0	0

O mesmo foi observado na Tabela 3, resultado da análise de teste Draize para a amostra LB16 curada. Conforme observado pela Tabela 3 o resultado da análise de teste Draize para a amostra LB16 curada apresentou ausência de processo alérgico cutâneo durante todo o teste. A Tabela 3 traz informações de ocorrência de eritemas, escaras e edemas na pele ilesa e escarificada, quando exposta à amostra. A simbologia “0” indica ausência de alteração na pele na área analisada, indicado consequentemente, ausência de processo alérgico cutâneo.

**Tabela 3.** Resultados da análise de teste Draize para eritema e escaras e edema para amostra LB 16 curada.

Eritema e Escaras	Leituras	Coelhos/N°					Edema	Leituras	Coelhos/N°				
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
Pele íntegra	01h	0	0	0	0	0	Pele íntegra	01h	0	0	0	0	0
	24h	0	0	0	0	0		24h	0	0	0	0	0
	72h	0	0	0	0	0		72h	0	0	0	0	0
	7dd	0	0	0	0	0		7dd	0	0	0	0	0

Pele escarificada	01h	0	0	0	0	0	Pele escarificada	01h	0	0	0	0	0
	24h	0	0	0	0	0		24h	0	0	0	0	0
	72h	0	0	0	0	0		72h	0	0	0	0	0
	7dd	0	0	0	0	0		7dd	0	0	0	0	0

Conforme relatado por NÓBREGA et al. (2008), o método Draize é bastante conhecido e apresenta uma correlação satisfatória com testes realizados em humanos, o que permite substituir a aplicação do *patch test*, pois apresenta resultados confiáveis [25].

## CONCLUSÕES

Neste estudo, duas formulações de vernizes foram estudadas para sistemas de cura UV convencional (amostras J92 curada e não curada) e UV-LED (amostras LB16 curada e não curada). A avaliação da irritabilidade dérmica foi realizada usando o teste Draize, e as condições de cura das amostras foram analisadas pelas técnicas de FTIR, DSC e TGA.

A análise de FTIR permitiu comparar a presença ou não de grupos reativos antes e após realizada a cura por exposição à radiação UV. As análises de TGA e DSC indicaram processo de cura residual, indicando que as amostras, após exposição à radiação UV, não estão completamente curadas. E, para complementar, o resultado encontrado no teste Draize para não irritante, permite inferir que o processo de cura não completo observado por DSC e TGA pode ser insignificante quando avaliado do ponto de vista de alergenicidade, pois não foi suficiente para iniciar um processo alérgico.

A partir destas considerações, é possível indicar o uso das amostras J92 e LB16 para aplicações em produtos que tenham contato direto com a pele, considerando a metodologia e condições de cura aplicadas neste estudo. Além disso, o sistema de cura UV-LED pode ser usado como uma alternativa às convencionais lâmpadas de mercúrio.

Portanto, os resultados obtidos no teste Draize são um indicativo de que as análises de FTIR, DSC e TGA podem ser aplicadas como método de avaliação indireta de irritabilidade dérmica para vernizes curados por UV (filmes secos). No entanto, são necessários mais estudos abrangendo um

largo número de formulações e quantificando, por exemplo, o grau de cura e os limites para a não ocorrência de um processo alérgico, conforme a formulação utilizada.

### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), e da empresa Tecbril.

### **REFERÊNCIAS**

- [1] Lu C, Liu H., Zhu L, Patel S, Young M, Gogos C, Bonnet P, Powder Technol., 218, 169 (2012).
- [2] Çanak T, Serhatlı I, Prog. Org. Coat., 76, 388 (2013).
- [3] Bao F, Shi W, Prog. Org. Coat., 68, 334 (2010).
- [4] Tey J, Soutar A, Priyadarshi A, Mhaisalkar S, Hew K, J. Appl. Polym. Sci., 103, 1985 (2007).
- [5] Xu H, Qiu F, Wang Y, Wu W, Yang D, Guo Q, Prog. Org. Coat., 73, 47 (2012).
- [6] Tan C, Rasool S, Johnston G, Clinics Dermatol., 32, 116, (2014).
- [7] Verhulst L, Goossens A, Contact Dermatitis, 75, 333 (2016).
- [8] Exner, D. Handbook of Industrial Inkjet Printing: A Full System Approach, Wiley:VCH Verlag GmbH & Co, KGaA, 2018.
- [9] Shukla V, Bajpai M, Singh D, Singh M, Shukla R., Pigm. Resin Technol., 33, 272 (2004).
- [10] Xiaoli X, Luo S, Xu W, Mao K, Huang J, Xiao Y, He D, Meng R, “Analysis of UV-LED curing technology and existing problems of varnish for printed matter”, In: Proceedings of the 2016 International Conference on Innovative Material Science and Technology (2016).
- [11] Scarsella J, Zhang N, Hartman T, Molecules, 24(19), 3592 (2019).
- [12] Mestach L, Huygens S, Goossens A, Gilissen L, Contact Dermatitis, 79(2), 81 (2018).
- [13] Kulkarni R, Chaudhari M, Mishra S, Pigm. Resin Technol., 42, 53 (2013).
- [14] Burns A, Green P, J. Am. Acad. Dermatol., 66(4) 2012.
- [15] Higgins E, Collins P, Contact Dermatitis, 66, 340 (2012).
- [16] Warshaw E, Hagen S, Belsito D, Dekoven J, Maibach H, Mathias T, Zug K, Sasseville D, Zirwas M, Fowler J, Fransway A, Deleo V, Marks J, Pratt M, Taylor J, American Contact Dermatitis Society, 28 (2017).
- [17] Le Q, Cahil J, Palmer-Le A, Nixon R, Australas. J. Dermatol., 56, 221 (2015).
- [18] Abramsson-Zetterberg L, Svensson K, Toxicol. Lett., 201, 235 (2011).
- [19] Chittavanich P, Miller K, Soucek M, Prog. Org. Coat., 73, 392, 2012.
- [20] Hajirahimkhan S, Xu C, Ragogna P, ACS Sustainable Chem. Eng., 6, 14685 (2018).
- [21] Silva A, Veronezi A, Mantovani R, Zorel H, Ribeiro C, Crespi M, Ecletica Quím., 25 (2000).
- [22] Ruowen T, Sodano HA, Addit. Manuf., 46 (2021).
- [23] Kisiel M, Leszczak-Mossety B, Strachot B, Strachota A, Express Polym. Lett., 15, 274 (2021).
- [24] Ruiz C, Machado L, Vanin J, Volponi J, J. Therm. Anal. Calorim., 67, 335 (2002).
- [25] Nóbreg A, Alves E, Presgrave R, Delgado I, Universitas: Ciências da Saúde, 6, 103 (2008).