

METODOLOGIA ESTATÍSTICA PARA ANÁLISE DE FORNOS DE CURA DE VERNIZ POR ULTRAVIOLETA

Fabio Soares Loyola (Programa de Pós-Graduação em Energia) E-mail: loyola1077@hotmail.com
Taisa Shimosakai de Lira (Programa de Pós-Graduação em Energia) E-mail: taisa.lira@ufes.br
Marcelo Silveira Bacelos (Programa de Pós-Graduação em Energia) E-mail: marcelo.bacelos@ufes.br
Daniel da Cunha Ribeiro (Programa de Pós-Graduação em Energia) E-mail: daniel.ribeiro@ufes.br

Resumo: Normalmente, o processo de cura em painéis envernizados em escala industrial é feito por meio de lâmpadas ultravioleta (UV) alojadas em fornos. Estes fornos controlam a dosagem de potência e possuem mecanismos ajustáveis de ventilação para retirada de ar quente de seu interior, além de controle de transporte dos painéis até sua cavidade. Na fase de processamento da cura, os ajustes entre os três fatores que caracterizam o forno são importantes. Este trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito da potência de irradiação, velocidade de transporte dos painéis e velocidade de ventilação sobre a temperatura do filme de verniz com uso de método estatístico descritivo. Os fatores foram levantados preliminarmente, em planta de produção industrial de cura de painéis de MDF. Para definir a faixa de potência irradiada, velocidade de transporte e ventilação, foram coletadas três medidas para cada nível e adotado o valor médio. O instrumento usado para medir a potência foi o radiômetro *EIT Power Puck II UV* modelo digital, para a velocidade de transporte foi o tacômetro *minipa* modelo MDT-2238B e para velocidade de ventilação o anemômetro digital da marca *minipa* modelo MDA-20. Neste estudo, adotou-se as faixas entre 170W/cm² à 330W/cm² para potência, para velocidade de transporte entre 10m/min à 22m/min, e para velocidade de ventilação entre 18m/s à 31m/s todos com pontos intermediários. Foi preciso elaborar matriz planejamento com três fatores e três níveis perfazendo 27 experimentos, utilizado o *software Statistica versão 10*. Os principais resultados deste trabalho mostraram que o efeito da radiação é cinco vezes maior em relação aos efeitos dos demais fatores, logo provocou aumento significativo da temperatura do filme. Já os efeitos da convecção e velocidade de transporte são inversamente proporcionais ao aumento térmico do filme. Com 95% de confiança, a equação modelo é capaz de prever as variações de temperatura em acordo com faixa dos fatores adotados.

Palavras-chave: cura por UV, eficiência energética, planejamento experimental, painéis de MDF.

STATISTICAL METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF ULTRAVIOLET VARNISH CURING FURNACES

Abstract: The objective of this work was to evaluate the efficiency of the irradiation power, the speed of panel transport and the speed of ventilation on the temperature of the varnish film in ultraviolet furnace using the descriptive statistical method. The factors were preliminarily raised, in MDF panel curing industrial production plant. For each of the three factors, the measurements were collected for each level and the average value was adopted for each one of them. In which the working ranges were adopted, from 100 m/min to 22 m/min, to an advantage of between 18 m/min to 31 m/min all intermediate points. The software was developed with three factors and three levels with a total of 27 experiments, using the software Statistica® version 10. The results of this work were the effects of the propagation of the same in relation to the other factors, with the advent of the effect of the film temperature. However, the effects of convection and transport velocity are inversely proportional to the thermal increase of the film. With 95% confidence, the model equation is able to predict the temperature variations according to the range of factors adopted.

Keywords: UV cure, energy efficiency, experimental design, MDF panels

1. Introdução

Durante décadas, o processo de cura de vernizes no Brasil foi fortemente predominado com uso de fontes de energias orgânicas e poluentes. Esse modo de cura além de

improdutivo, deixa a operação diante de riscos químicos provenientes do verniz no decorrer da secagem. A partir da década 1970, as indústrias do seguimento moveleiro iniciou a substituição deste processo de cura, por irradiação ultravioleta (ALMEIDA, 2011). Para Gao C. *et al* (2018), o uso de cura de vernizes por técnicas ultravioleta, representa menor índices de poluentes na atmosfera. Já Magnoni, F. *et al*, (2018), descrevem o processo de cura por irradiação UV, como método em que permiti melhor controle do processo, aplicabilidade diversificada, além de menor emissão de compostos orgânicos voláteis.

Entretanto, os autores enfatizam que durante o processo podem surgir imperfeições na cura, como exemplo, irrisistência a arranhões ou abrasão, muito comum na prática de cura e conhecido empiricamente como deslocamento do verniz. Para Martins (2011), é preciso compreender como acontece o processo de cura, além das razões que levam ao deslocamento do filme, acrescenta ainda que as perdas de produção que ocorrem por problemas como estes são irreparáveis. De acordo com boletim técnico emitido pela *Visioncure uv & Technology* (2014) sobre aspectos importantes de cura a UV, tais imperfeições sobre o filme são inerentes a vários fatores incutidos ao processo, enfatizam ser importante estudar a cura de verniz por UV.

Rodrigues e Neumann (2003) descrevem, que na prática a reação de cura deve ser processada sob uma faixa de temperatura ótima, de modo que inicie e propague a reação. Caso a temperatura seja abaixo da faixa ótima, a reação pode iniciar, mas não propagar, o que impede a formação de película sólida. Por outro lado, se a temperatura for elevada demais, pode provocar a degradação do filme. Quaisquer das duas hipóteses são prejudiciais ao produto final já que não conferem qualidade aceitável (FRAGATA *et al.*, 2010). Assim, a faixa de temperatura ótima deve ser obtida por meio de ajustes entre a velocidade com que os painéis entram no forno, potência irradiada por meio das lâmpadas sobre os painéis e da velocidade de ventilação na cavidade do forno.

Em recente pesquisa na literatura notou-se que há poucos trabalhos que abordam a cura de vernizes com aplicação de UV. Apesar disso, procurou-se investigar a maneira em que diversos autores tratam as interações entre os fenômenos físicos da transferência de calor existentes na cavidade de fornos. Notou-se que a adoção de modelagem a parâmetros concentrados tem sido muito empregada. Entretanto, outros autores já têm preferência por coeficiente de convecção empírico, outros por campo de velocidades e temperatura.

Por exemplo, Sakin, Kaymak-ertekin e Ilicali (2009) avaliaram o coeficiente de transferência de calor combinado (convectivo e radiativo), na superfície de um cilindro de alumínio, aquecido em forno com e sem convecção forçada. A proposta delineou-se através de dois modelos distintos: parâmetros concentrados, em que a única variável independente é o tempo e distribuídos. O modelo mostrou boa aderência aos dados experimentais publicados na literatura. Os autores enfatizam ser possível o uso do modelo a diferentes arranjos de fornos.

Putranto, Chen e Webley (2010) investigaram o processo de secagem, de uma solução a base de polímero aquoso, por convecção. O objetivo, foi avaliar o perfil de temperatura, e o teor de umidade em função do tempo, durante o processo de secagem. Para equacionamento, foi necessário o balanço de massa e energia. Os autores explicam, que as análises experimentais, junto ao modelo são determinantes, pois se completam. Sugerem, sempre que possível, confrontar resultados simulados com análise experimental.

Satit (2010), propôs estudar os efeitos das propriedades radiativas da superfície de recobrimento em pó de painéis de Fibra de Média Densidade (MDF), sobre a transferência de calor em um forno de infravermelho. As simulações foram conduzidas de forma transiente, até atingir o regime permanente, o que significa um tempo real de 1500 s. Os resultados numéricos, foram comparados entre si sem dados experimentais de literatura para referência. Os autores concluem, que materiais com baixa condutividade como o MDF, podem apresentar dificuldade no aquecimento durante a reação de cura, o que foi confirmado por Carrasco *et al.* (2010).

Rek, Rudolf e Zun (2012), estudaram a influência da geometria e das condições de contorno de fornos para panificação. O objetivo principal, foi criar condições ideais de cozimento, para distintos sistemas de aquecimento. Os autores ressaltam, a importância da escolha de um modelo de radiação adequado, já que os valores de temperatura foram bem divergentes, para todas as outras alternativas testadas na modelagem. Outra discussão relevante foi sobre as condições de contorno da velocidade, em que seus efeitos podem alterar em potencial a distribuição homogênea do campo de temperaturas sobre a cavidade.

Os autores Ruiz e Machado (2010), propuseram analisar, as variáveis do processo, tanto em cura com ultravioleta (UV), como aceleração de elétrons (EB). Na cura por UV, foi irradiado a superfície revestida por filme líquido, com determinada potência de maneira controlada, afim de ativar a reação.

A Tabela 1 mostra o planejamento experimental, que os autores usaram, para as análises de cura UV, variando a potência das lâmpadas, dose e números de passadas.

Tabela 1 – Planejamento experimental para Cura UV

Amostra	Potência (W/cm)	Dose (mJ cm ⁻²)	Número de passada
UV1	125	25	4
UV2	125	50	2
UV3	200	50	2
UV4	200	100	1
UV5	300	100	1

Já a Tabela 2 mostra os fatores usados para o planejamento experimental de cura por EB, variando a corrente do feixe, a taxa de dose, a dose por passada, a velocidade da esteira e o número de passadas.

Tabela 2 – Planejamento experimental para cura EB

Amostra	Corrente de feixe (mA)	Taxa de dose (kGy/s)	Dose (kGy)	Velocidade da esteira (m/min)	Número de volta na esteira
EB1	1,0	5,83	5,2	1,68	1
EB2	1,0	5,83	2,6	3,36	2
EB3	1,0	5,83	1,3	6,72	4
EB4	0,5	2,92	1,3	3,36	4
EB5	0,5	2,92	5,2	0,84	1
EB6	2,0	11,67	5,2	3,36	1

Os principais resultados, mostraram que o aumento da potência, acelerou o processo de cura, o que levou ao aumento precoce da temperatura superficial, além de provocar alterações nas propriedades mecânicas do filme curado. Salientam, ser importante para o processo de cura, controlar a potência irradiada, velocidade da esteira e a taxa de dose sobre o substrato.

Outros autores como Ciofini *et al* (2016), em escala laboratorial, analisaram os espectros resultantes da composição do filme, por meio de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR). O principal resultado foi a ocorrência de maior foto oxidação e consequente aumento de temperatura sobre o filme, com irradiação em comprimento de onda acima de 266 nm.

Os autores Miranda; Ziviani e Júnior (2007), comentam encontrar dificuldades ao modelar um tipo de forno para aquecimento de placas de soleira, em que haviam gases na cavidade. Os autores enfatizam, que parte dos espectros de luz irradiados, em meio a existência de gases em suspensão, podem ser interceptados, aconselham ser necessário removê-los de forma dosada.

Diante do que mostrou a literatura o objetivo principal deste trabalho é avaliar os efeitos da potência, velocidade de transporte e velocidade de ventilação sobre a temperatura do filme de verniz através de método estatístico descritivo, além de obter o modelo estocástico capaz de prever a temperatura do filme. Os fatores adotados foram previamente definidos com base a literatura e em escala industrial. A escolha da temperatura, foi com base no que diz os autores Ciofini *et al* (2016) e Paoli (2008), sobre a degradação de verniz, caso ocorra aumento térmico do filme, expostos a índices elevados de irradiação solar.

Para o planejamento experimental foi usado o *software Estatística versão 10* e a execução ocorreu em uma indústria na Cidade de Linhares- ES. Antecipadamente procurou-se conhecer o processo, os equipamentos e os procedimentos que normalmente são praticados. Vale ressaltar que este método, ainda não foi experimentado em aplicações de cura de vernizes em fornos UV.

2. Metodologia

A metodologia está baseada em duas etapas: levantamento de dados experimentais e tratamento estocástico dos dados coletados. Na primeira etapa, foram primeiramente identificados os parâmetros operacionais, que se converteram em fatores no planejamento experimental. Na segunda etapa, os parâmetros de entrada ou de ajuste foram analisados em aplicativo computacional de métodos estatísticos e obtida correlação empírica.

Antes, porém, será descrito o sistema objeto de estudo.

2.1. Sistema de estudo

O forno de cura por UV tem como principal característica operação de forma contínua. A Figura 1 mostra um esquema do forno ultravioleta, em que é ilustrado a troca por irradiação e os efeitos da convecção.

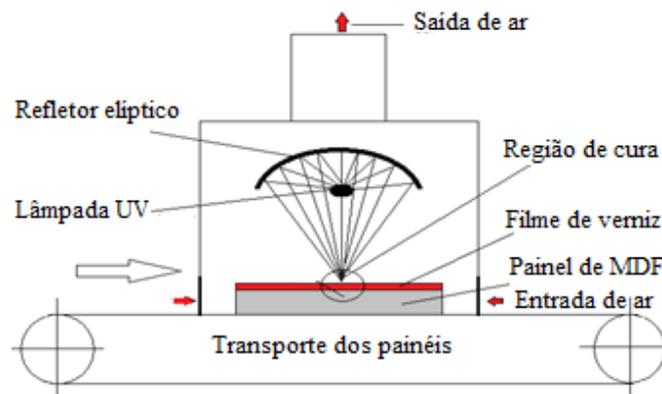


Figura 1 – desenho esquemático do forno UV

De acordo com o esquema da Figura 1, o painel recoberto com uma camada fina de verniz (filme de verniz) movimenta-se por meio de esteira de transporte dos painéis de modo contínuo, entrando e saindo do forno. Ao entrar na cavidade, recebe a irradiação por meio de lâmpadas de UV que concentram o foco irradiado na região central do forno. Já o fenômeno de convecção sobre o painel, ocorre devido aos ventiladores, que retiram os gases em suspensão conforme ilustram as setas de entrada e saída de ar. A partir daí, iniciou-se de modo preliminar a investigação entre os fatores de maior interferência ao processo.

2.2. Identificação dos fatores ajustáveis

Entende-se que alterando qualquer um dos fatores (potência irradiada, velocidade de transporte e velocidade do ar), modificará a temperatura superficial de cura dos painéis. Os fatores citados, foram investigados in loco de forma preliminar e escolhidos com base ao que mostrou a literatura. Na sequência será mostrado como foi mensurado cada fator.

2.3. Potência das lâmpadas

Foi adotado o valor médio, após três medidas de potência, para cada nível (P_1 , P_2 e P_3) conforme mostra a Tabela 3. A razão por coletar três valores, foi estimar possível variação entre cada valor medido. O instrumento foi introduzido ao forno passando pelas lâmpadas, ao sair, foi coletado o valor da potência, indicado no display.

O tipo de lâmpada usado foi vapor de mercúrio da marca Germetec, estimada em 1500 horas de trabalho e comprimento de onda de 385 nm. Os ajustes de potência em cada nível, foram por meio de botão localizado no próprio forno, e na sequência feito a medição.

Tabela 3 – Potência das lâmpadas coletadas

	P_1 (W/cm ²)			P_2 (W/cm ²)			P_3 (W/cm ²)		
Valor coletado	168,30	171,25	170,25	244,00	244,10	246,05	331	329	330
Valor médio considerado	170,80			244,15			330,55		

O instrumento utilizado nas medições foi o radiômetro *EIT Power Puck II UV, Light Intensity Meter*, modelo digital, precisão de 0,1 W/cm² para medida acima de 10 W/cm².

2.4. Velocidade de transporte

A Tabela 4 mostra três níveis de velocidade de transporte V_{t1} , V_{t2} e V_{t3} , em que para cada nível, foram coletadas três medidas e considerado o valor médio. O motivo para três medições foi avaliar o erro inerente ao processo de medição.

Os ajustes entre os níveis foram feitos por meio de inversor de frequência, indicando no display do equipamento o valor desejado, contudo, ainda foi conveniente certificar, o valor real do sistema físico, medindo sobre a esteira de transporte se os valores estavam aderentes ao mostrado no inversor. O sensor do instrumento foi apoiado sobre a correia de transporte em movimento e coletado o valor indicado no instrumento.

Tabela 4 – Velocidades de transporte coletadas

	V_{t1} (m/min)			V_{t2} (m/min)			V_{t3} (m/min)		
Valor coletado	8,20	11,30	10,20	13,10	14,20	16,15	20,00	22,15	23,0
Valor médio considerado	10,70			14,45			22,15		

O instrumento utilizado para a coleta dos valores reais foi o tacômetro foto-contato digital, modelo MDT-2238B da marca Minipa, resolução de 0,01 m/min (0,05 a 99,99 m/min) e 0,1 m/min acima 100 m/min, precisão de 0,05%.

2.5. Velocidade de ventilação

Para medir a velocidade foi desconectado o tubo de saída do ventilador acoplado ao forno e adaptado um cone com diâmetro de saída similar ao diâmetro do sensor do anemômetro. Na sequência, o sensor foi posicionado logo na saída do tubo conforme descreve a Figura 2.

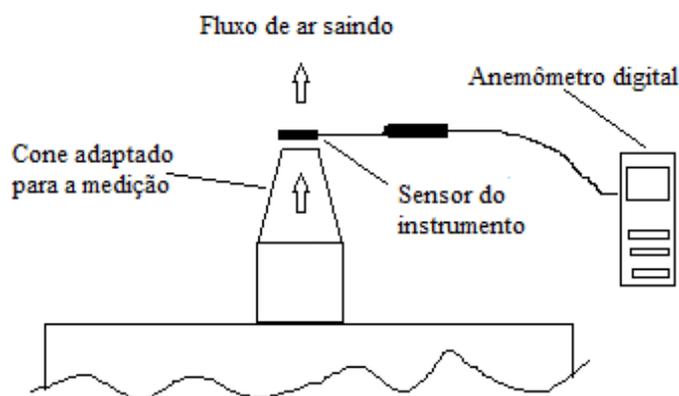


Figura 2 – Procedimento de medição da velocidade de ventilação

A Tabela 5 mostra três níveis de velocidade de ventilação Var_1 , Var_2 e Var_3 , para obter os valores foram coletadas três medidas para cada nível. Notou que não houve variação significativa entre as medidas coletadas, foi então adotado o valor médio.

Tabela 5 – Velocidades de ventilação do ar coletadas

	Var ₁ (m/min)			Var ₂ (m/min)			Var ₃ (m/min)		
Valor coletado	18,20	20,10	17,20	24,25	25,20	26,25	32,10	30,15	31,0
Valor médio considerado	18,50			24,70			31,25		

O instrumento utilizado foi o anemômetro digital da marca Minipa modelo MDA-20, precisão de $\pm 3\%$ da leitura, para medições acima de 30m/s.

2.6. Planejamento experimental

A relação entre os fatores foi avaliada por meio de matriz planejamento experimental. Para elaborar a matriz, foi usado software Statística® versão 10, com a inserção de dados que se delineou de forma aleatória.

O planejamento experimental adequado à investigação sobre o forno foi 3^3 (três fatores e três níveis), totalizando 27 experimentos. A Tabela 6 descreve a matriz planejamento gerada, baseada nos fatores adotados (potência irradiada, velocidade de transporte e velocidade do ar) e executados de forma aleatória.

Tabela 6 – Matriz planejamento

Experimentos	P(W/cm ²)	Vt (m/min)	Var (m/min)
1	330,55	22,15	31,25
2	330,55	22,15	24,70
3	330,55	22,15	18,50
4	330,55	14,45	31,25
5	330,55	14,45	24,70
6	330,55	14,45	18,50
7	330,55	10,70	31,25
8	330,55	10,70	24,70
9	330,55	10,70	18,50
10	244,15	22,15	31,25
11	244,15	22,15	24,70
12	244,15	22,15	18,50
13	244,15	14,45	31,25
14	244,15	14,45	24,70
15	244,15	14,45	18,50
16	244,15	10,70	31,25
17	244,15	10,70	24,70
18	244,15	10,70	18,50
19	170,80	22,15	31,25
20	170,80	22,15	24,70
21	170,80	22,15	18,50
22	170,80	14,45	31,25
23	170,80	14,45	24,70
24	170,80	14,45	18,50
25	170,80	10,70	31,25
26	170,80	10,70	24,70
27	170,80	10,70	18,50

Durante toda a realização experimental, o corpo técnico de uma indústria situada na região de Linhares ES observou e auxiliou na utilização do equipamento. Vale ressaltar que todos os equipamentos e orientações de segurança, instrumentos usados para medição, foram cedidos pela empresa, além de técnicos do setor de pintura para acompanhamento. Para medir a temperatura em cada experimento executado, foi usado um pirômetro digital da marca Minipa, modelo MT-320A, precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 0,5\%$ e faixa de emissividade de 0,10 a 1,0. Cabe dizer, que o instrumento foi ajustado na faixa de 0,90 apropriada para medir verniz sobre madeira.

3. Resultados e discussão

3.1. Efeitos dos fatores sobre a temperatura

A Tabela 7 mostra todos os efeitos dos fatores lineares e quadráticos sobre a temperatura. Com base a estes resultados foi conveniente simplificar, eliminando os termos não significativos de Var (Q) e P (Q), pois seus efeitos mostraram o p-valor acima de 5%. Por outro lado, a P (L) sobressai em relação aos demais fatores com maior efeito para o aumento de temperatura, considerando o mesmo P-valor anteriormente citado. Já a Vt (L) e Var (L) apresentaram valores negativos apesar de serem significativos, isso indica que o aumento deles diminui temperatura.

Tabela 7 – Estimativa de efeitos para a temperatura

	Efeito	Desvio padrão	t	P-valor
Média	57,79434	0,789976	73,15958	0,000000
Var (L)	-4,23333	1,915559	-2,20997	0,038929
Var (Q)	-1,42393	1,660558	-0,85750	0,401327
Vt (L)	-5,03333	1,915559	-2,62761	0,016133
Vt (Q)	-5,20000	1,689364	-3,07808	0,005932
P (L)	23,88889	1,915559	12,47098	0,000000
P (Q)	1,91806	1,660477	1,15512	0,261655

Com base na Tabela 7, o efeito da potência é quatro vezes mais em relação aos demais fatores e tende a aumentar a temperatura do filme. Já as velocidades de ventilação e transporte seus efeitos são inversamente proporcionais ao aumento de temperatura.

3.2. Superfícies de resposta dos fatores

A Figura 3 mostra as superfícies ajustadas dos fatores em relação à resposta temperatura, considerando um intervalo de confiança de 95%. A Fig. (a), refere-se à velocidade de transporte combinada à velocidade do ar, a Fig. (b), mostra potência combinada à velocidade do ar, já a Fig. (c) a potência combinada à velocidade de transporte.

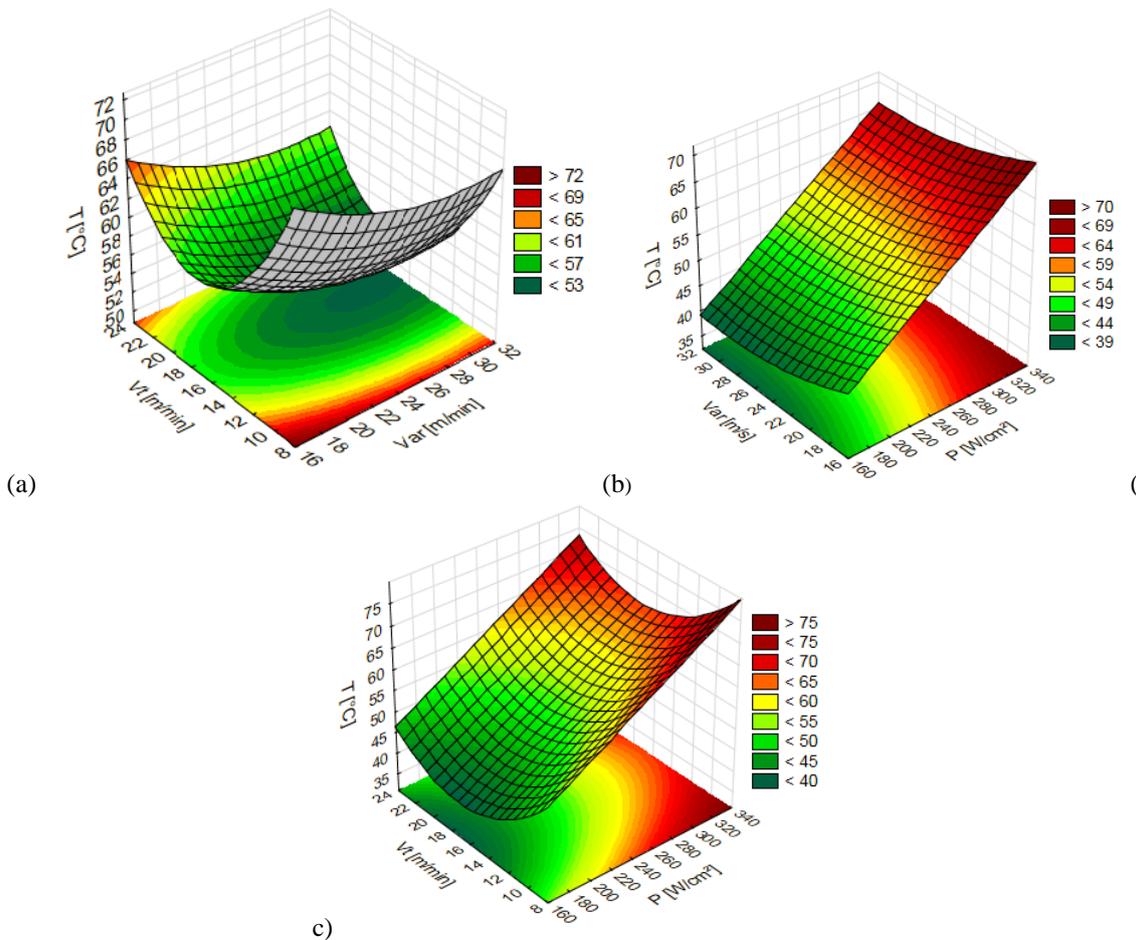


Figura 3 – Gráfico de superfície para variável temperatura: (a) resposta a variação de velocidade de transporte e velocidade do ar, (b) resposta a variação de velocidade do ar e potência e (c) resposta a variação da velocidade de transporte e potência

3.3. Análise da probabilidade normal e valores preditos

A Figura 4 mostra a probabilidade normal como uma função resíduo. Notou-se que os pontos representando a dispersão residual se distribuem normalmente ao longo da reta. Isso indica que as suposições feitas para o modelo ajustado aos fatores, são válida e convergem para resultados confiáveis.

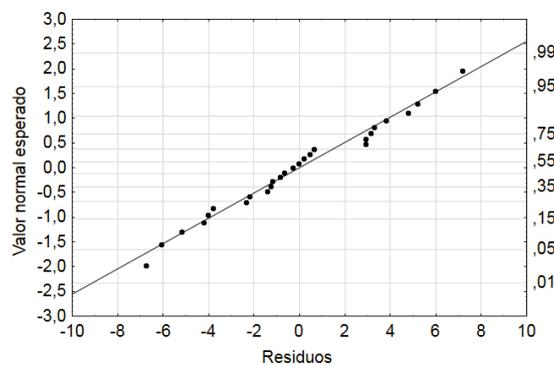


Figura 4 – Probabilidade normal versus resíduo

A Figura 5 descreve os valores preditos em função dos resíduos. Essa análise é importante, pois indica o quanto o modelo consegue prever a tendência apontada pelos

resultados experimentais. Os pontos dispersos em torno da reta que representa o ponto zero, indicam ser o modelo capaz de prever os valores da variável resposta temperatura de acordo com as variações dos fatores.

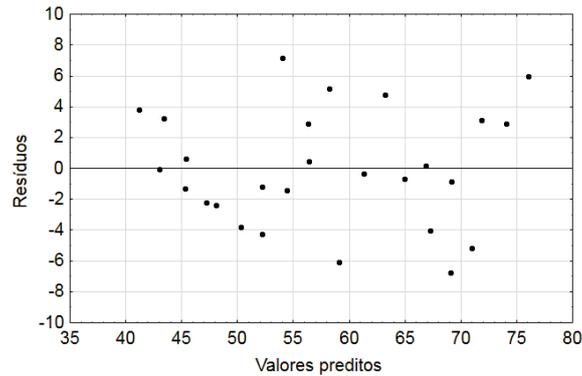


Figura 5 – Valores preditos versus resíduos

3.4. Equação proposta do modelo

A Tabela 8 descreve a equação do modelo de regressão capaz de prevê a variável resposta em acordo com as faixas ajustadas das variáveis adotadas. Para esta aplicação em escala industrial, determinou-se a equação modelo para a temperatura, considerando a interação entre os termos V_t e P , já que o efeito da Var foi muito menor em relação ao demais fatores.

Tabela 8 – Modelo matemático utilizando variáveis reais

Faixa	R ²	Equação
18,50 < Var < 31,25 10,70 < Vt < 22,15 170,80 < P < 330,55	0,88	$T = 47,16 - 5,16 V_t + 0,16 V_t^2 + 0,3P - 0,0003P^2$ (1)

Em que “T” é a temperatura de cura do filme de verniz expressa em graus Celsius (⁰C), para qualquer variação entre os fatores. Logo, “P” é a potência das lâmpadas em [W/cm²], “Vt” é a velocidade de transporte do painel em [m/min].

4. Conclusão

Dentre os fatores avaliados o efeito de irradiação sobre o filme é cinco vezes mais em relação à convecção e velocidade de transporte para o aumento da temperatura de cura;

O efeito da convecção e velocidade de transporte são inversamente proporcionais ao aumento de temperatura de cura;

Com 95% de confiança, o modelo estatístico consegue prever todas as tendências dos dados de temperatura de cura;

A equação modelo obtida neste trabalho que melhor representou os efeitos entre os fatores, foi com base na interação entre o fenômeno de irradiação e velocidade de transporte;

A metodologia empregada é aceitável para o conhecimento aplicado a produção de chapas curadas por fornos UV.

Referências

- ALMEIDA, H. *Tintas UV – Cura por UV alia produtividade alta com menor gasto de energia*. <https://goo.gl/EhgDoW> 15 de abril de 2011 (acessado em 02/05/18).
- ASTM D3359-17, *Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- CARRASCO, E. V. M., CALDAS, R. B., OLIVEIRA, A. L. C., FAKURY, R. H. *Análise numérica da transferência de calor em madeiras brasileiras em situação de incêndio*. Cerne, Lavras, 16 (julho), Suplemento, 58-65, 2010.
- CIOFINI, D., OUJJA, M., CAÑAMARES, M. V., SIANO, S., CASTILLEJO, M. *Spectroscopic assessment of the UV laser removal of varnishes from painted surfaces*. Microchemical J., Vol. 124, p.792–803, 2016.
- CUENCA, R. *Será que curou?* Revista Tecnologia Gráfica, n.78, 2011.
- FRAGATA, F., AMORIM, C. C., ORDINE, A. P. *Desempenho de tintas de acabamento frente às radiações ultravioleta, UVA e UVB, e condensação de umidade*. Corrosão e Proteção de Materiais. Vol. 29, n.3, p.91-98, 2010.
- GAO, C., HAN, S., ZHANG, D., WANG, B., WANG, C., WU, Y., LIU, Y. *Facile preparation of UV-cured films from waterborne unsaturated polyester via click reaction*. *Progress in Organic Coatings*, Vol. 124, p.232-239, 2018.
- MAGNONI, F., RANNÉE, A., MARASINGHE, L., EL-FOUHAILI, B., ALLONAS, X., CROUTXÉ-BARGHORN, C. *Correlation between the scratch resistance of UV-cured PUA-based coatings and the structure and functionality of reactive diluents*. *Progress in Organic Coatings*, Vol. 124, p.193–199, 2018.
- MARTINS, V. J. *Entenda detalhes da cura UV*. *Revista da madeira*, n. 126, 2011.
- MIRANDA, L. L., ZIVIANI, M., JÚNIOR, F. B. *Modelagem matemática do processo do forno de reaquecimento wb2 da ltq da Acesita*. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, Vol. 3, n.2, 2007.
- PAOLI, M. A. *Degradação e Estabilização de Polímeros*, 2^a ed. Rio de Janeiro: Artliber, 2009.
- PUTRANTO, A., CHEN, X. D., WEBLEY, P. A. *Application of the reaction engineering approach (REA) to model cyclic drying of thin layers of polyvinyl alcohol (PVA)/glycerol/water mixture*. *Chemical Engineering Science*, Vol. 65, n.18, p.5193-5203, 2010.
- RUIZ, C. S. B., MACHADO, L. D. B. *Influência da taxa de dose e da velocidade de processo na cura de revestimentos por radiação UV/EB*. VI National Meeting on Nuclear Applications - International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro, Brazil, August 11-16, 2002.
- RODRIGUES, M. R., NEUMANN, M. G. *Fotopolimerização: princípios e métodos*. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, Vol. 13, n.4, p.276-286, 2003.
- SAKIN, M., KAYMAK-ERTEKIN, F., ILICALI, C. *Convection and radiation combined surface heat transfer coefficient in baking ovens*. *Journal of Food Engineering*, Vol. 94, n.3–4, p.344–349, 2009.
- SATIT, P. *Computational Fluid Dynamic (CFD) Modeling and Validation of Temperature Distribution in the Infrared Oven*. PhD Thesis, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, 2010.
- VISIONCURE UV & IR TECHNOLOGY *Boletim Técnico 018 - Dimensionamento do Sistema de refrigeração UV a ar*, 2014.