



## DESENVOLVIMENTO DE TINTAS INTUMESCENTES

**Gabriela dos Santos Tognolli<sup>1</sup>, Karen Locoselli da Matta Silva<sup>1</sup>, Arthur Gregório Ângelo Galvani<sup>1</sup>, Viviane Tavares Moraes<sup>2</sup>, Juliana Cordeiro Ribeiro<sup>3\*</sup>**

*1 – Graduando, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia*

*2 – Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia*

*3 – Departamento de Engenharia Química, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. Praça Mauá, n1 – São Caetano do Sul – SP, CEP 09580-900*

*Autor juliana.rc@maua.br*

### RESUMO

*A ocorrência de incêndios pode culminar em catástrofes, acarretando mortes, danos físicos, danos materiais, entre outros. Assim, ao longo dos anos, diversas estratégias para evitar ou amenizar acidentes com fogo foram desenvolvidas. Uma das soluções é revestir superfícies com materiais de proteção antitérmica, e a partir dessa ideia, pensou-se em uma nova formulação de tintas. Neste trabalho, foram preparadas duas tintas intumescentes base água, uma para proteção contra fogo celulósico e outra para proteção contra fogo de hidrocarbonetos. O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver sistemas com potencial intumescente anti-fogo contendo compostos diferentes dos usuais, como dextrina, alumina trihidratada e sorbitol na proteção contra fogo capaz de proteger substratos metálicos e madeira. No estudo das tintas, foram realizados ensaios de performance de aplicação em superfícies e resistência ao fogo e a camada de carbono foi avaliada através de sua medição de dimensão e transferência de calor para o substrato. Foi observado que formulações contendo melamina e grafite expansível e apenas grafite expansível fazendo função de agente de expansão e fonte de carbono favoreceram a proteção do substrato com formação de expressiva camada carbonosa, além de diminuir a transferência de calor para o substrato.*

**Palavras-chave:** *tinta, intumescente, proteção.*

### INTRODUÇÃO

A ocorrência de incêndios pode ser catastrófica e ao longo dos anos, diversas estratégias para evitar ou amenizar acidentes com fogo foram estudadas. Uma possível solução consiste em revestir superfícies com materiais de proteção antitérmica e a partir disso, resolveu-se propor uma nova formulação para tintas. A primeira patente de desenvolvimento de tintas intumescentes é de 1938 e desde então

houve aprimoramento de técnicas e formulações em conjunto com o avanço da tecnologia <sup>(1)</sup>.

Tintas intumescentes são revestimentos utilizados como proteção contra o fogo e têm como finalidade reduzir, através de uma película, a transferência de calor para o material protegido <sup>(2)</sup>. Essas tintas podem ser vantajosas quando comparadas a materiais de mesma propriedade pois, além de serem um produto de fácil aplicação que confere bom acabamento às superfícies, não alteram as propriedades inerentes do material que recebe sua demão e podem ser utilizadas em diversos substratos, incluindo metais, polímeros, têxteis e madeira <sup>(3)</sup>.

O fenômeno de crescimento da camada de proteção ocorre devido à natureza do revestimento de formar e expandir uma camada de carbono multicelular quando exposto a uma fonte de calor. Quando há o aumento da temperatura do material e esse aumento supera sua temperatura crítica, ocorre o inchamento do material intumescente e posteriormente, o crescimento do composto polimérico. A combustão do polímero é interrompida na sua fase inicial em que, de forma cooperativa, ocorre a degradação térmica dos componentes devido a uma série de reações que acontecem a partir do aumento da temperatura do objeto. Essa camada carbonácea atua como uma barreira térmica e física, protegendo a superfície do brusco aumento de temperatura e mantendo sua integridade <sup>(4)</sup>.

Sistemas intumescentes consistem em três componentes principais: fonte de ácido, fonte de carbono e agente expensor e para unir esses componentes, o polímero ligante (normalmente resinas).

A fonte de ácido pode ser um ácido inorgânico ou um composto capaz de liberar espécies ácidas quando aquecido, tais como: polifosfato de amônio (APP), ácidos bórico e fosfórico <sup>(5)</sup>. A fonte de carbono é o composto responsável pela formação da camada protetora, sendo comumente empregados o pentaeritriol (PER), o próprio polímero e sorbitol. O agente expensor, que pode ser grafite expansível, é responsável pela dilatação do revestimento intumescente, que quando degradado, forma gases que levam a expansão da camada carbonosa.

Quando exposto a uma fonte de calor, o grafite expansível é oxidado pelo composto de intercalação ( $H_2SO_4$ ) e se decompõe em produtos gasosos, como dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e água ( $H_2O$ ). O comportamento desses gases que exercem pressão entre flocos espaçados entre si, resultando na expansão irreversível do grafite expansível.

No mercado em geral, existem dois tipos de tintas intumescentes: uma para proteção de fogo celulósico, que seria a queima de madeira, papéis e/ou tecidos e, uma para proteção de fogo de hidrocarboneto, o qual é geral pela queima de gás natural, óleos e seus derivados. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é desenvolver tintas com potencial intumescente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Formulação das tintas

Os componentes utilizados na formulação das tintas foram: emulsão acrílica estirenada (resina acrílica), primer (preparador de superfície), ácido bórico 100% P.A. (fonte ácida), alumina tri-hidratada (ATH) (retardante de chamas), grafite expansível 95200-110 (fonte de carbono/agente de expansão), melamina (agente de expansão), dióxido de titânio, TiO<sub>2</sub>, (carga), dextrina (fonte de carbono), óleos minerais (antiespumante) e espessante acrílico (espessante) <sup>(6)</sup>.

Em porcentagem mássica, as composições das tintas estão apresentadas na Tabela 1. Entre as formulações com melhores desempenhos, variaram-se alguns componentes (grafite expansível e melamina) na formulação. Cabe ressaltar que também se formulou a tinta padrão, chamada de Branco, que continha somente resina e pigmento (TiO<sub>2</sub>).

*Tabela 1. Formulação das tintas intumescentes.*

Teste	Resina (%)	Melamina (%)	Grafite expansível (%)	Dextrina (%)	Sorbitol (%)	Ácido bórico (%)	Alumina tri-hidratada (%)	Dióxido de titânio (%)
Branco	55,60	-	-	-	-	-	-	44,40
TGE	63,00	-	12,00	-	-	7,00	5,50	12,50
TMLDX	60,00	6,00	-	6,00	-	5,25	5,50	17,25
TGEDX	60,00	-	6,00	6,00	-	5,25	5,50	17,25
TGEML	60,00	6,00	6,00	-	-	5,25	5,50	17,25
TMLSB	60,00	6,00	-	-	6,00	5,25	5,50	17,25
TML	60,00	9,00	-	8,00	-	5,50	-	17,50

### Preparação e aplicação das tintas

A preparação das tintas deu-se da seguinte maneira: primeiramente, foi adicionada a resina em um dispersor de tintas IKA RW 20, acoplado a um disco tipo *cow/less*. A resina foi dispersada por 10 minutos para a sua homogeneização e, em

seguida, os componentes foram adicionados, separadamente, seguindo a ordem: TiO<sub>2</sub>, ATH, fonte ácida, fonte de carbono e fonte de expansão, em que a adição de um componente ocorria somente após a incorporação do anterior. As tintas em preparo foram mantidas sob agitação a 2500 rpm em temperatura ambiente por uma hora após a completa adição de todas as matérias primas. Por fim, água destilada foi utilizada para o ajuste de viscosidade.

Finalmente, as tintas preparadas foram aplicadas sobre superfícies de madeira e aço carbono.

### **Testes de resistência a fogo**

Para os testes de resistência ao fogo, as tintas foram aplicadas em placas de aço carbono com dimensões de 150 mm × 100 mm × 2 mm e placas de madeira com dimensões de 80 mm × 100 mm × 3 mm. As placas foram polidas utilizando, sequencialmente, lixas nº 80, 180 e 220. Após a preparação da superfície, as tintas foram aplicadas sobre os substratos com auxílio de um extensor e cada ensaio foi realizado em duplicata. Os moldes das placas foram feitos do mesmo aço com 1,5 cm de borda, 1,5 cm de largura interna e 2 mm de altura, tendo sido utilizados para delimitar a espessura dos revestimentos. A secagem das amostras foi feita em temperatura ambiente durante 2 dias e a espessura final do filme seco foi de 2 mm.

Em seguida, em duplicata, as amostras foram submetidas a teste de resistência ao fogo por um período de 30 minutos para avaliar seus desempenhos na proteção do aço e da madeira <sup>(7)</sup>. Nos testes, as amostras foram fixadas a 2 cm de distância de um bico de Bunsen e, na parte sem revestimento dos substratos, alocou-se um termopar tipo K para monitorar a temperatura durante a análise. É importante ressaltar que a chama do bico de Bunsen pode chegar até 1200 °C.

### **Medida da expansão da camada carbonosa protetora (intumescência)**

A expansão da camada foi medida com o auxílio de um paquímetro. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática de expansão da camada.

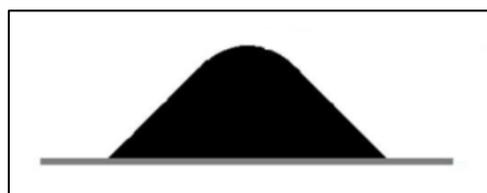


Figura 1. Representação esquemática da expansão da camada.

A medida foi realizada por meio da subtração da espessura inicial da espessura final. Com isso, a relação percentual da expansão foi calculada a partir da espessura inicial.

Foram realizadas as medidas das espessuras das camadas carbonosas formadas a partir da tinta para proteção contra incêndios de hidrocarbonetos. A expansão foi avaliada, sabendo que a espessura de tinta seca nos corpos de prova, previamente medida, foi igual a 2,0 mm.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Preparação e aplicação das tintas

De acordo com o procedimento descrito, analisou-se a aplicação das tintas sobre as superfícies de madeira e aço carbono. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 2.

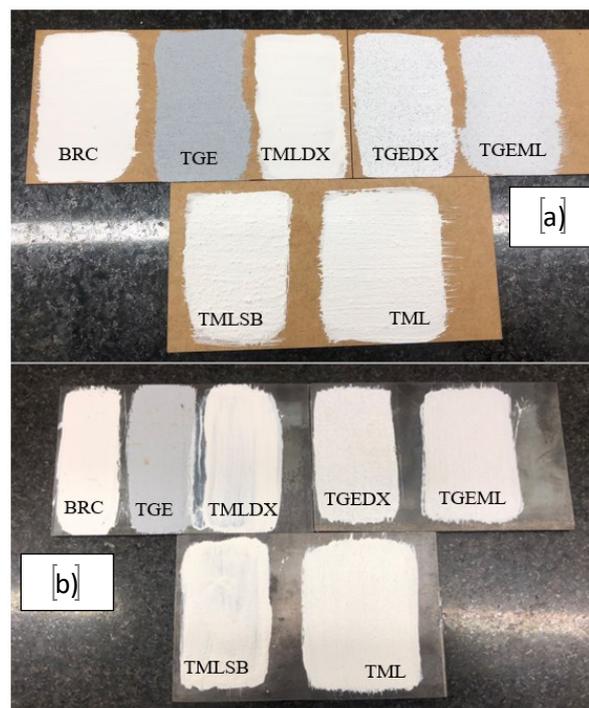


Figura 2. Placas de (a) madeira e (b) aço carbono após secagem.

Comparando-se, visualmente, as tintas, notou-se que a tinta com o grafite expansível apresentou coloração acinzentada. Já as demais tintas, exibiram-se coloração branca. Outra diferença visual relaciona-se à viscosidade das tintas. A tinta com o GE mostrou-se mais viscosa quando comparada com as outras tintas produzidas.

As principais diferenças observadas entre as tintas no momento da aplicação consistiram na viscosidade e na coloração. As amostras apresentaram consistência satisfatória com bom poder de cobertura, permanecendo integralmente sobre a superfície, com exceção das tintas TMLDX e TMLSB, que se mostraram pouco viscosas, interferindo na aderência ao substrato. Além disso, visualmente, as tintas TGE, TGEDX e TGEML apresentaram coloração mais acinzentada, por possuírem, em sua composição, grafite expansível.

### Testes de resistência a fogo

A Figura 3 mostra a placa com o molde e após a aplicação da tinta.



Figura 3. (a) Placa com molde e (b) placa com tinta aplicada.

Para efeito de comparação, a Figura 4 mostra o gráfico de monitoramento da temperatura ao longo do tempo para substratos de madeira e aço sem revestimento.

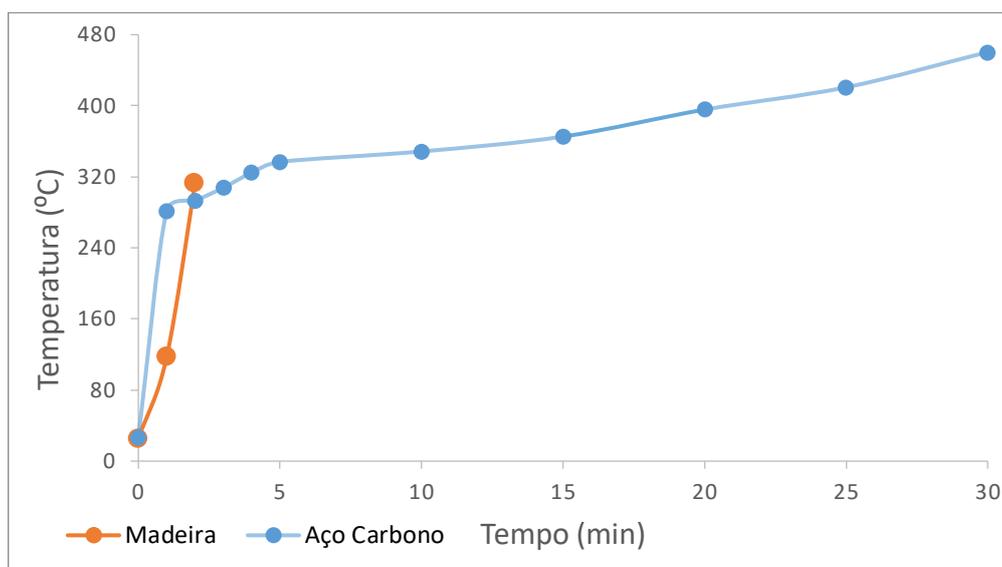


Figura 4. Gráfico da temperatura (°C) *versus* tempo (minutos) das superfícies sem revestimento.

Pode-se observar que a área posterior da placa de aço sem revestimento atingiu temperatura máxima próxima a 460 °C. Esta temperatura é compatível com a temperatura crítica na qual o aço começa a perder parte de suas propriedades (entre 450 °C e 500 °C). A placa de madeira sem revestimento, por sua vez, começa a se deteriorar em temperatura próxima de 120 °C e ao atingir cerca de 300 °C, a combustão atinge seu ápice.

As Figuras 5 e 6 trazem os gráficos de monitoramento da temperatura ao longo do teste de verificação da proteção contra o fogo nos substratos metálico e de madeira. Os gráficos estão apresentados para os tipos de substratos estudados e as formulações intumescentes são comparadas com aço e madeira sem revestimento.

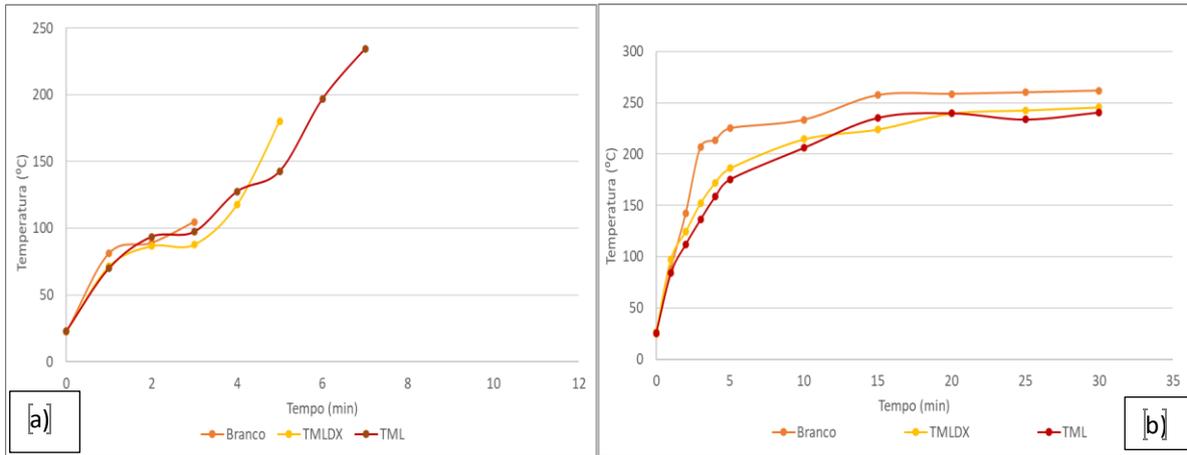


Figura 5. Gráfico de temperatura (°C) versus tempo (minutos) das amostras de tintas para proteção contra fogo celulósico no substrato (a) madeira e (b) aço carbono.

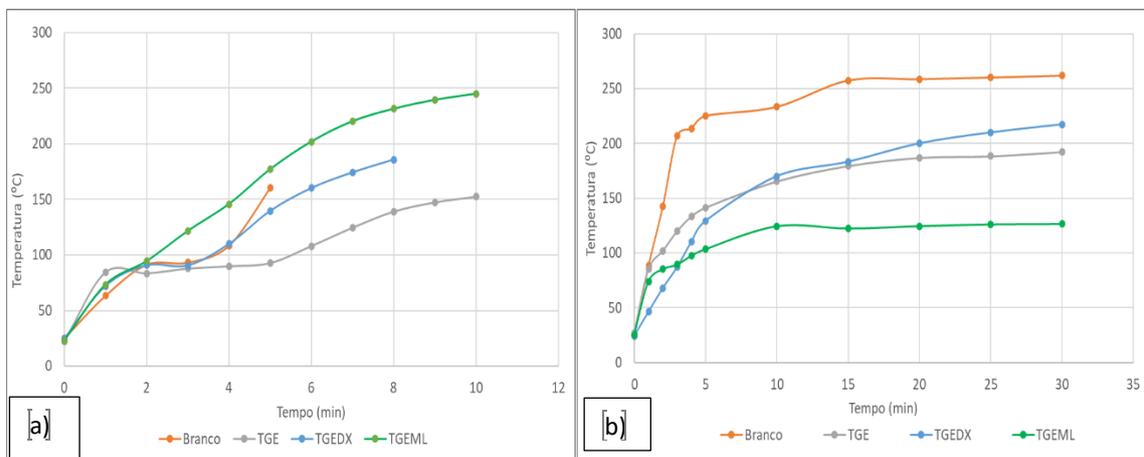


Figura 6. Gráfico de temperatura (°C) versus tempo (minutos) das amostras de tintas para proteção contra fogo de hidrocarbonetos no substrato (a) madeira e (b) aço carbono.

Analisando os gráficos da Figura 5, percebe-se que as tintas intumescentes não ultrapassaram temperatura de 250 °C. Deve-se levar em conta, no entanto, que no caso de exposição prolongada à chama, essa temperatura pode aumentar, pois houve formação de uma camada carbonosa pouco isolante térmica e não expandida, devido à ausência de um composto auxiliar à intumescência e até mesmo à pouca quantidade do componente na formulação.

Observando os gráficos da Figura 6, percebe-se que as tintas intumescentes contendo grafite expansível conseguiram atingir seu objetivo de proteção. Ainda, observou-se que houve formação e expansão da camada carbonosa, porém o

substrato de madeira (a) não suportou mais que 10 minutos antes de incendiar. Isso se deve à formação de uma camada carbonosa pouco isolante térmica e não expandida aliada ao fato de que a madeira é um material combustível, necessitando de uma camada isolante mais grossa para impedir o calor de chegar à superfície.

Verificando o gráfico da proteção em aço carbono (b), nota-se que a tinta TGEML foi a mais eficiente, pois conseguiu manter temperatura média próxima de 100 °C. Seguindo a mesma lógica, o teste TGE, em que grafite expansível foi utilizado como fonte de carbono e agente de expansão, mostrou-se também eficiente, com temperatura máxima de 138 °C.

É importante enfatizar que as temperaturas médias dos substratos revestidos com as formulações TGE e TGEML foram de 138 °C e 100 °C, respectivamente, em aço carbono, e 103 °C e 162 °C, respectivamente, em madeira. Com base nos resultados obtidos nos ensaios de queima, as amostras TGE, TGEDX e TGEML foram as que apresentaram melhores desempenhos e tiveram, portanto, suas camadas carbonosas medidas.

#### **Medida da expansão da camada carbonosa protetora (intumescência)**

Na Tabela 2, estão apresentadas as medidas das camadas carbonosas de cada uma das amostras após o teste de resistência ao fogo e os resultados percentuais das expansões.

**Tabela 2. Medida da camada carbonosa formada durante o teste de resistência a fogo.**

<b>Testes</b>	<b>Substrato</b>	<b>Camada inicial (mm)</b>	<b>Camada final (mm)</b>	<b>Expansão (%)</b>
TGE	Aço	2	20	900
TGE	Madeira	2	43	2050
TGEDX	Aço	2	5	150
TGEDX	Madeira	2	8	300
TGEML	Aço	2	25	1150
TMLSB	Madeira	2	10	400
TML	60,00	9,00	-	8,00

O teste TGE, representado na Figura 7, apresentou maior expansão da camada carbonosa quando em contato com a chama. Vale notar, contudo, que as camadas expandidas se mostraram frágeis.



Figura 7. Tinta TGE no teste de resistência de fogo.

Já os testes da tinta TGEML, apresentado na Figura 8, apresentou melhor resultado de resistência ao fogo, além do crescimento de camada carbonosa.



Figura 8. Tinta TGEML após teste de queima.

Nesse contexto, a extensão da expansão da camada tem influência considerável no sistema intumescente, embora não seja o único parâmetro relevante para proporcionar bom isolamento térmico do substrato <sup>(8)</sup>. Evidência desse comportamento pode ser observada no estudo da amostra TGEDX, que expandiu pouco, como mostrado na Figura 9, mas apresentou temperaturas baixas no teste de queima.



Figura 9. Tinta TGEDX após teste de queima.

## CONCLUSÕES

O potencial das duas tintas intumescentes base água produzidas foi evidenciado. Além das formulações terem sido processadas de modo eficaz, as placas de aço revestidas com as formulações intumescentes apresentaram temperatura média muito abaixo da temperatura crítica em que o aço começa a perder propriedades mecânicas. Já as placas de madeira tiveram proteção inferior às de aço, o que é esperado. Mesmo assim, cabe notar que o revestimento foi capaz de proteger o substrato, com o tempo de proteção menor. A utilização de compostos como dextrina e sorbitol e a substituição do APP pela ATH, mostrou que se pode ter a mesma eficiência com matérias-primas de custo menor. Por fim, conclui-se que é possível utilizar diferentes componentes em formulações intumescentes. As tintas que contém grafite expansível proporcionam melhor isolamento térmico ao substrato metálico e de madeira, além de elevada expansão da camada carbonosa, impedindo que ocorra grande transferência de calor para os substratos.

## Agradecimentos

Ao Instituto Mauá de Tecnologia.

## REFERÊNCIAS

1. Sales, C. A. S. (2016) Análise da resistência ao fogo de blocos de alvenaria cerâmica de vedação utilizando roteção de tinta intumescente. Dissertação, Universidade Católica de Pernambuco, Recife.
2. Ullah, H.; Ahmad, F.; Yusoff, P. S. M. (2013) Effect of boric acid and melamine on the intumescent fire-retardant coating composition for fire protection of structural steel substrates. *Journal of Applied Polymer Science*, 128 (5), 2983-2993.
3. Jimenez, M. S.; Duquesne, B.; Bourbigot, S. (2006) Intumescent fire protective coating: Toward a better understanding of their mechanism of action. *Thermochimica Acta*, 449 (1-2), 16-26.
4. Fateh, T.; Guillaume, E.; Joseph, P. (2017) An experimental study of the thermal performance of a novel intumescent fire protection coating. *Fire Safety Journal*, 92, 132-141.
5. Alongi, J.; Han Z; Bourbigot, S. (2014) Intumescent tradition versus novelty: a comprehensive review. *Progress in Polymer Science*, 51, 28-73.
6. Puri, R.G.; Khanna, A. S. (2013) Intumescent coatings: a review on recent progress. *Journal of Coatings Technology Research*, 14 (1), 1-20.
7. Ullah, S. (2017) Effects of ammonium polyphosphate and boric acid on thermal degradation of an intumescent fire-retardant coating. *Progress in Organic Coatings*, 109, 70-82.
8. Wladyka-Przybylak, M.; Kozłowski, R. (1999) The thermal characteristics of different intumescent coatings. *Fire and Materials*, 23, 33-43.

## DEVELOPMENT OF INTUMESCENT PAINTS

### ABSTRACT

*The occurrence of a fire can culminate in catastrophes, causing deaths, physical damage, material damage, among others. So, over the years, several strategies to avoid or mitigate fire accidents have been developed. One of the solutions is to coat surfaces with thermal protection materials, and based on this idea, a new paint formulation was considered. In this work, two water-based intumescent paints were prepared, one for cellulosic fire protection and the other for hydrocarbon fire protection. The main objective of this work was to develop a potential intumescent anti-fire system containing compounds different from the usual ones, such as dextrin, alumina tri-hydrate and sorbitol in fire protection capable of protecting metallic and wooden substrates. In the study of the paints, performance tests were carried out: application on surfaces and fire resistance. The carbon layer was evaluated through its dimension measurement and heat transfer to the substrate.*

**Keywords:** *ink, intumescence, protection.*