

4^{as} JORNADAS de Segurança aos Incêndios Urbanos



Instituto Politécnico de Bragança

Atas dos Artigos



TÍTULO:

Atas dos Artigos das 4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

EDIÇÃO:

ALBRASCI (Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio)

EDITORES:

Débora Ferreira (IPB), Elza Fonseca (IPB), João Carlos Viegas (LNEC), João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI), José Pedro Lopes (ANPC), Luís Mesquita (IPB), Nuno Lopes (UA), Paulo Piloto (IPB)

DESIGN GRÁFICO:

Soraia Maduro – CIPweb IPB

EDIÇÃO:

1^a, Novembro de 2014

ISBN:

978-989-97210-2-9

DEPÓSITO LEGAL:

382800/14

IMPRESSÃO:

Bringráfica – Indústrias Gráficas, Lda

OBSERVAÇÃO:

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita dos autores e da editora

PREFÁCIO

A Segurança Contra Incêndio de Edifícios (SCIE) atingiu a sua maturidade em Portugal fruto do desenvolvimento sustentado que tem tido na última década não só ao nível da investigação com a realização de vários projetos nacionais e europeus em várias instituições Portuguesas, como com o aparecimento de formação avançada (mestrado e doutoramento) e formação profissional em várias áreas da SCIE e da criação duma regulamentação uniforme para a área, suportada por uma normalização também ela completa e abrangente de toda a área da SCIE. Este desenvolvimento trará enormes retornos não só ao nível da segurança das edificações, bens e pessoas, como económicos, com um reflexo positivo para a sociedade. Portugal está hoje na primeira linha do desenvolvimento na área da SCIE. Poderemos dizer que projetar e construir hoje é mais seguro em termos de SCIE do que há quinze anos atrás e por isso temos que nos sentir orgulhosos.

No acompanhamento deste desenvolvimento, os Laboratórios das instituições públicas Portuguesas também se apetrecharam com novos e importantes equipamentos, que permitem o ensaio e certificação dos produtos das indústrias nacionais, tornando estas mais competitivas na sua ação não só no mercado nacional como internacional.

Portugal é hoje uma referência mundial na área da SCIE, sendo respeitado no Brasil e restantes PALOP como no resto do mundo. Neste relacionamento deve se destacar a ligação com o Brasil não só ao nível dos bombeiros, dos técnicos da empresas e dos professores e investigadores que na ALBRASCI – Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio encontraram um espaço de discussão e colaboração em diferentes iniciativas em SCIE.

As Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos começaram em 2006, aquando da realização do primeiro Mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos na Universidade de Coimbra, e em cada nova edição o sucesso vai-se renovando com o aparecimento de novos trabalhos científicos com um nível científico cada vez maior. Estas Jornadas têm constituído um fórum de debate alargado entre técnicos e demais interessados na área da SCIE.

As 4^{as} Jornadas em SCIE (4JORNINC) realizam-se este ano em Bragança, no Instituto Politécnico, pois esta é uma Escola que ao longo das últimas décadas tem realizado trabalho na área e criou um grupo de investigação que tem atuado ao maior nível em termos nacionais e internacionais. O número e qualidade das publicações submetidas a este evento foi muito bom pelo que o sucesso das 4JORNINC está assegurado.

Para finalizar queria agradecer a sua participação nestas Jornadas que serão certamente do seu maior interesse e profícuas para o seu desenvolvimento profissional.

João Paulo C. Rodrigues

COMISSÃO ORGANIZADORA

Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI)
João Carlos Viegas (LNEC)
Luís Mesquita (IPB)
Nuno Lopes (UA)
José Pedro Lopes (ANPC)
Paulo A. G. Piloto (IPB)



COMISSÃO CIENTÍFICA

Aldina M. da Cruz Santiago (FCTUC)
António Moura Correia (IPC)
A. Sérgio Miguel (U Minho)
Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)
Carlos Pina dos Santos (LNEC)
Cristina Calmeiro dos Santos (IPCB)
Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
José Carlos M. Góis (FCTUC)
João Carlos Viegas (LNEC)
João Ferreira (IST)
João Paulo C. Rodrigues (FCTUC)
João Pinheiro (CDOS Bragança – ANPC)
João Ramôa Correia (IST)
Joaquim Barros (U Minho)
Jorge Gil Saraiva (LNEC)
Lino Forte Marques (FCTUC)
Luís Laím (FCTUC)
Luís Mesquita (IPB)
Miguel Chichorro Gonçalves (FEUP)
Nuno Lopes (UA)
Paulo A. G. Piloto (IPB)
Paulo Jorge M. F. Vila Real (UA)
Paulo Lourenço (U Minho)
Pedro Martins Arezes (U Minho)
Pedro Vieira Carvalheira (FCTUC)
Rui Faria (FEUP)
Vítor Carlos T. Abrantes (FEUP)

ÍNDICE

PREFÁCIO	i
COMISSÃO ORGANIZADORA	iii
COMISSÃO CIENTÍFICA	iv
PALESTRAS	1
O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE ESTRUTURAS E OS EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIS	3
PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA OS RISCOS DERIVADOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS.....	27
GRAU DE PRONTIDÃO DOS MEIOS DE SOCORRO E A EFICÁCIA DOS BOMBEIROS PORTUGUESES	37
CONTROLO DE FUMO EM GRANDES ÁTRIOS.....	47
VALIDAÇÃO NUMÉRICA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO.....	61
ARTIGOS	111
SESSÃO DE ARTIGOS 1:	111
ANÁLISE DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS E PROPOSTA DA SUA APLICAÇÃO EM MOÇAMBIQUE.....	113
UMA VISÃO SISTÊMICA DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES NO BRASIL E A POSSIBILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM REGULAMENTO NACIONAL.....	127
ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SEGUNDO OS PRECEITOS DE DESEMPENHO, DURABILIDADE E SEGURANÇA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME AS PRESCRIÇÕES NORMATIVAS BRASILEIRAS.....	139
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES DE ARMAZENAMENTO DE MERCADORIAS.....	149
INCÊNDIOS EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS – ENSAIOS À ESCALA REAL	157
IMPLEMENTAÇÃO DA DIRETIVA ATEX NO SETOR INDUSTRIAL	167
CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES SECAS.....	177
COMPUTATIONAL SIMULATION ON THE PERFORMANCE OF AIR PLANE JETS FOR SMOKE CONTROL.....	187
CARACTERIZAÇÃO DOS JATOS GERADOS POR VENTILADORES DE IMPULSO.....	199
SESSÃO DE ARTIGOS 2:	213
ANÁLISE DO PERIGO DE INCÊNDIO NA ANTIGA VILA DOS PESCADORES EM PORTO ALEGRE (RIO GRANDE DO SUL - BRASIL).....	215
ADEQUAÇÃO DO MÉTODO DE GREENER À AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NOS CENTROS URBANOS ANTIGOS.....	225
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS.....	235

AValiação DE RISCO DE INCêNDIO URBANO – PROPOSTA DE UM MêTODo PARA ANálISE E GESTãO DO EDIFICáDO EXISTENTE	245
ORGANIZaçãO E GESTãO DA SEGURANça CONTRA INCêNDIOS: PRINCIPAIS GRUPOS DE INTERESSE.....	253
A SEGURANça OPERACIONAL NA ATIVIDADE DE SALVAMENTO E DE COMBATE A INCêNDIOS	263
SEGURANça CONTRA INCêNDIO EM EDIFÍCIOS GESTãO NO USO DOS EDIFÍCIOS	273
ESTUDO DA EVACUAçãO EM CASO DE INCêNDIO EM EDIFÍCIOS.....	283
O CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E A EVACUAçãO EM LOCAIS DE RISCO.....	293
SESSãO DE ARTIGOS 3:	305
ANálISE NUMÉRICA DA ENCURVADURA POR ESFORço TRANSVERSO EM VIGAS SUJEITAS A INTERAçãO ENTRE ESFORço TRANSVERSO E MOMENTO FLETOR A TEMPERATURAS ELEVADAS	307
ESTUDO PARAMêTRICO DA RESISTêNCIA AO FOGO DE VIGAS EM C ENFORMADAS A FRIO	319
EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURES ON THE BOND STRENGTH OF FRP-STRENGTHENED BRICKS	331
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIóN A ALTAS TEMPERATURAS.....	341
RESISTêNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIIS DE Aço INOXIDáVEL COM SECçõES TUBULARES QUADRADAS DE CLASSE 4 SUJEITOS A FLEXãO COMPOSTA COM COMPRESSãO	351
COMPORTAMENTO AO FOGO DE ELEMENTOS DE COMPARTIMENTAçãO DE BASE GESSO SUJEITOS A INCêNDIO NATURAL	363
COMPORTAMENTO AO FOGO DE VIGAS DE BETãO ARMADO REFORçADAS à FLEXãO COM LAMINADOS DE CFRP COLADOS EXTERIORMENTE. ESTUDO EXPERIMENTAL	375
ANálISE NUMÉRICA DE VIGAS MISTAS PARCIALMENTE REVESTIDAS DE Aço E CONCRETO EM SITUAçãO DE INCêNDIO.....	387
ANálISE TêRMICA DE PILARES DE Aço EXPOSTOS A INCêNDIOS LOCALIZADOS.....	399
SESSãO DE ARTIGOS 4:	411
PROPAGAçãO DE CHAMAS ATRAVÉS DE VãOS DE FACHADA EM EDIFÍCIOS.....	413
COMPORTAMENTO AO FOGO DE COLUNAS DE GFRP. ESTUDO EXPERIMENTAL	425
BETõES CORRENTES EM SITUAçãO DE INCêNDIO.....	435
ANálISE DE SENSIBILIDADE DOS MODELOS DE CÁLCULO DA EN1993-1-2 PARA O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE VIGAS C EM Aço ENFORMADAS A FRIO.....	445
BETãO COM ADIçãO DE FIBRAS DE Aço E TêXTEIS RECICLADAS DE PNEU SUJEITO A ALTAS TEMPERATURAS.....	457
ANálISE TêRMICA 2D E 3D DE UM PAVIMENTO/COBERTURA EM MADEIRA COM PERFURAçõES.....	467
RESISTêNCIA AO FOGO DE VIGAS EM MADEIRA E SECçõES DE PERFIS EM Aço.....	475

4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
Instituto Politécnico de Bragança - Portugal - 6-7 de Novembro de 2014

REDUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS SECÇÕES METÁLICAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS COM BETÃO SUJEITAS AO FOGO	483
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PAREDES EM TABIQUE.....	493
SESSÃO DE ARTIGOS 5:.....	505
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	507
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE NUMÉRICA.....	517
RESISTÊNCIA AO FOGO DE BLOCOS DE BETÃO LEVE À BASE DE CAROÇO DE ESPIGA DE MILHO	527
REAÇÃO AO FOGO DE BETÃO COM E SEM FIBRAS DE POLIPROPILENO – ANÁLISE EXPERIMENTAL E VALIDAÇÃO NUMÉRICA.....	537
VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS NÃO UNIFORMES EM AÇO - VALIDAÇÃO NUMÉRICA DO MÉTODO GERAL DO EC3.....	549
FORMULAÇÃO E COMPORTAMENTO DE TINTAS INTUMESCENTES.....	559
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN EXPUESTAS A FUEGO ISO834.....	569
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PERFIS C E Z ENFORMADOS A FRIO	579
ENSAIOS DE REAÇÃO AO FOGO DE TINTAS INTUMESCENTES COM GRANULADO DE CORTIÇA.....	589
FATOR DE REDUÇÃO DO NÍVEL DE CARREGAMENTO, η_n : VALORES DE PROJETO E CONSEQUÊNCIAS DA SIMPLIFICAÇÃO APONTADA NO EC2-1-2.....	599
NÍVEL DE CARREGAMENTO À TEMPERATURA NORMAL, n : VALORES DE PROJETO E VALORES MÁXIMOS APONTADOS NO EC2-1-2	609

ENSAIOS DE REAÇÃO AO FOGO DE TINTAS INTUMESCENTES COM GRANULADO DE CORTIÇA

Luis Mesquita*
Professor
IPB - Bragança

Marco Teixeira
Aluno
IPB - Bragança

Paulo Piloto
Professor
IPB - Bragança

Luísa Barreira
Técnica Lab.
IPB - Bragança

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo experimental acerca da eficiência da proteção ao fogo de um material composto por uma emulsão de tinta intumescente com granulado de cortiça. A análise é realizada ao nível do comportamento à microescala, com testes de termogravimetria (TG) e calorimetria diferencial de varrimento (DSC), a temperaturas elevadas, e num calorímetro de perda de massa em placas de pequena dimensão, a temperaturas representativas de uma situação de incêndio. Os resultados permitem concluir que se obtém uma maior eficiência de proteção quando é utilizada uma granulometria inferior da cortiça e com uma fração mássica de cortiça de 5%.

PALAVRAS-CHAVE: Proteção ao Fogo; Granulado de Cortiça, Reação ao Fogo; Calorímetro de Cone.

1. INTRODUÇÃO

A diminuição da resistência do aço com a temperatura e a necessidade do cumprimento da legislação de segurança contra incêndios pode obrigar à aplicação de materiais de proteção contra incêndio, dos quais as tintas intumescentes são exemplo. Este material sofre uma série de reações químicas e físicas quando é exposto a temperaturas elevadas, originando um aumento de volume de maior resistência térmica, diminuindo o fluxo de calor transmitido ao aço.

* Autor correspondente – Dep. de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança. Campus Santa Apolónia, 5301-857 Bragança.

Telef.: +351 273 303116, Fax: +351 273 313051, E-mail: lmesquita@ipb.pt

A formulação das tintas intumescentes compreendem vários ingredientes. No entanto, os componentes ativos são em geral comuns às várias tintas existentes no mercado: uma fonte de ácido, como o polifosfato de amónio (APP), agentes carboníferos, como o pentaeritritol (PER) e um composto espumífero ou expansor [1, 2].

Considerando as propriedades únicas e intrínsecas da cortiça, nomeadamente a sua resistência térmica e mecânica, tratando-se de um material natural, reciclável e renovável, sendo Portugal o maior produtor mundial [3, 4], propõe-se a aplicação deste material como matéria-prima de um material de proteção ao fogo através da sua dispersão numa emulsão de tinta intumescente. A utilização da cortiça como ingrediente na formulação permite a sua contribuição como agente carbonífero e como agente expansor, devido aos gases libertados durante a sua decomposição térmica.

Este estudo passa pela caracterização à microescala dos dois materiais a temperaturas elevadas, nomeadamente através de testes de termogravimetria (TGA) e de calorimetria diferencial exploratória (DSC), verificando-se as sinergias existentes entre os mesmos. A eficiência do material de proteção é analisada através de testes realizados num calorímetro de perda de massa com uma análise paramétrica da: (i) influência do fluxo de calor por radiação, (ii) influência da granulometria da cortiça (0.18 e 0.25 [mm]) e do (iii) efeito da fração mássica percentual de granulado de cortiça no material de proteção.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

O estudo apresentado é desenvolvido a partir de uma formulação de tinta intumescente existente no mercado (Interchar 1120, da empresa International Paints) e de granulado de cortiça fornecido pela Granorte®. Este granulado de cortiça, com uma granulometria entre 0.2-0.5 [mm] é obtido através de desperdícios da produção da rolha de cortiça e outros produtos. A cortiça fornecida foi separada em diferentes granulometrias, com peneiras de abertura de malha igual a A=0.18, B=0.25, C=0.3, D=0.425, E=0.6 [mm], como apresentado na Figura 1. Na mesma figura é ainda apresentado o resultado da análise granulométrica, em valor percentual da passagem acumulada de cada peneira.

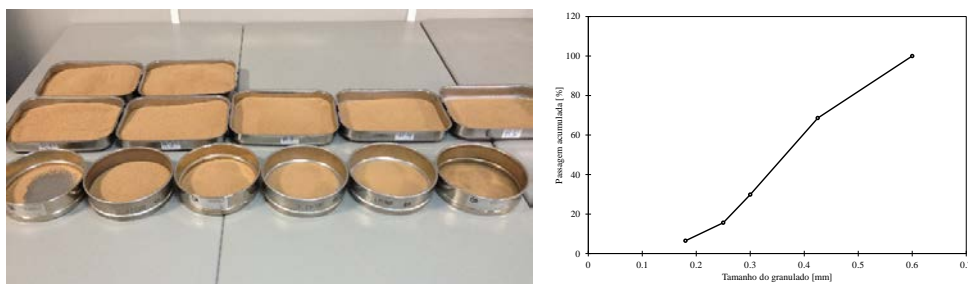


Figura 1 – Peneiras utilizadas na composição granulométrica da cortiça e análise granulométrica da cortiça.

A massa específica da tinta intumescente é de 1400 [kg/m³], e a da cortiça, embora varie com a granulometria da mesma, é aproximadamente igual a 76.8±1.44 [kg/m³]. Devido à baixa densidade do granulado de cortiça, as frações mássicas da cortiça na amostra de 5% e 10%, correspondem frações volumétricas de 48.9% e de 66,98 %, respetivamente.

3. CARATERIZAÇÃO DOS MATERIAIS À MICROESCALA E PEQUENA ESCALA

3.1 Testes de TG e DSC

O comportamento dos dois materiais (tinta intumescente e granulado de cortiça) foi estudado à microescala através do analisador termogravimétrico Netzsch TG209-F3 e por calorimetria diferencial de varrimento (DSC) através do equipamento DSC204 F1.

Nos testes de termogravimetria as amostras de tinta intumescente variam entre uma massa inicial de 11.17 [mg] e 12.50[mg] foram sujeitas a taxas de aquecimento constantes de 10, 15, 20 e 50 [°C/min], desde uma temperatura inicial de 20 [°C] até 900[°C]. As amostras do granulado de cortiça variam entre uma massa inicial de 4.22 [mg] e 4.74 [mg] e foram analisadas com as mesmas taxas de aquecimento. Foi utilizada uma atmosfera de nitrogénio com um caudal de 20 [ml/min].

Os testes DSC são frequentes no estudo e deteção de reações ou etapas de transição ou decomposição dos materiais, classificando assim os processos térmicos das reações como endotérmicos ou exotérmicos. Permite ainda determinar a entalpia de cada etapa de decomposição. As amostras foram analisadas em ambiente de N₂ com um caudal de 20 [ml/min] e uma taxa de aquecimento de 10 [°C/min], desde a temperatura ambiente até 550 [°C].

3.2 Testes realizados em calorímetro de perda de massa

A reação dos materiais foi analisada sob a ação de temperaturas elevadas provenientes de um calorímetro de perda de massa. Este equipamento permite a especificação de um fluxo de calor radiante constante, previamente calibrado por um medidor de fluxo de calor, em função da especificação da temperatura da resistência elétrica. Nos testes apresentados foram seguidas as especificações da norma [5], considerando-se fluxos de calor de 35 [kW/m²] e 75 [kW/m²], aos quais correspondem as temperaturas na resistência de 769 [°C] e 970 [°C], respetivamente. Devido à intumescência que ocorre durante o ensaio, as amostras são colocadas a uma distância de 60 [mm] da base do cone. Adicionalmente, este equipamento encontrando-se equipado com uma chaminé de exaustão instrumentada com termopares que, após calibração com gás metano (>99.5%), permite a determinação da taxa de libertação de calor das amostras, ver a Figura 2.

Os provetes são constituídos por placas de aço quadradas, 100 [mm], com espessuras entre 5 [mm] e 14 [mm], protegidas numa das faces com diferentes espessuras de proteção. A variação da temperatura do aço é medida através de um termopar, tipo K, soldado à superfície

inferior da placa (não exposta), sobre uma manta de fibra cerâmica de baixa densidade e de baixa condutividade térmica.

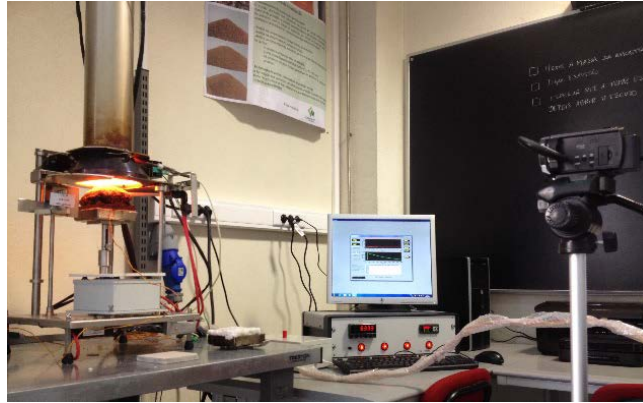


Figura 2 – Calorímetro de perda de massa e setup experimental.

A Tabela 1 apresenta a caracterização das amostras analisadas. É estudado o efeito da proteção só com a aplicação da tinta intumescente (amostras T_IC_i) para dois fluxos de calor radiante distintos (q_r), para diferentes espessuras da placa de aço e da espessura seca de proteção (DFT). As restantes amostras (T_C_IC_i) são relativas à adição da cortiça na base de tinta, com duas granulometrias distintas ($A=0.18$ e $B=0.25$ [mm]) e dois pesos percentuais da massa de cortiça na massa total da amostra (5% e 10%).

O processamento de imagem da gravação vídeo dos testes permite a obtenção da variação da intumescência ao longo da exposição térmica.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Resultados dos testes de microescala

Os resultados dos testes TG e DSC encontram-se apresentados na Figura 3 à Figura 5. As curvas TG e DTG da tinta intumescente identificam uma decomposição térmica através de três etapas principais, num intervalo de temperatura entre os 250 e os 500 [°C]. Para uma taxa de aquecimento de 10 [°C/min] estas reações ocorrem a temperaturas de 241, 341 e 447 [°C]. Com o aumento da taxa de aquecimento, a temperatura de pico das etapas referidas sob ligeiramente devido ao efeito da carbonização do material. O valor da massa residual do material também varia com a taxa de aquecimento, resultando em valores compreendidos entre 30.9% e 39.9%.

No caso do comportamento da cortiça, a decomposição térmica é caracterizada por duas etapas predominantes, cujos valores de máximos de perda de massa ocorrem no intervalo de 291-319 [°C] e 402-422 [°C], para as taxas de aquecimento analisadas. O valor de massa residual da cortiça é nulo para as duas taxas de aquecimento mais baixas, mas para 20 e 50

Ensaio de reação ao fogo de tintas intumescentes com granulado de cortiça

[°C/min], por se tratarem de taxas de aquecimento elevadas, para uma temperatura de 900 [°C] a amostra possui uma massa residual de 10% e 12%, respetivamente.

Tabela 1 – Caracterização das amostras ensaiadas no calorímetro de perda de massa.

Referência	qr [kW/m ²]	ds [mm]	Gran. de Tipo %	m0 [g]	DFT [µm]	Maior dp	Menor dp	Desv Padrão	Temp [°C] t=30 [min]
NP_6mm_35kW	35	6							510
NP_14mm_35kW	35	14							472
NP_6mm_75kW	75	6							703
NP_14mm_75kW	75	14							674
T_IC_2	35	6		467.2	1260	1370	1150	63.2	272.25
T_IC_4	35	14		1123.5	1250	1420	1100	85.8	219.39
T_IC_10	75	6		485.6	1250	1340	1190	50.6	322.71
T_IC_11	75	8		631.9	1310	1470	1150	81.3	283.25
T_IC_12	75	14		1142.0	1242	1361	1121	77.1	245.65
T_IC_16	75	14		1152.8	1930	2190	1560	190	217.82
T_C_IC_1_A5	35	5	A 5	401.8	1030	1100	956	37.6	352.54
T_C_IC_2_A5	35	14	A 5	1134.7	1030	1100	936	45.4	271.90
T_C_IC_3_A5	75	5	A 5	403.6	1160	1440	858	178	465.43
T_C_IC_4_A5	75	14	A 5	1127.0	982	1050	802	69.8	327.73
T_C_IC_4_A10	75	14	A 10	1109.7	932	1267	634	190.1	427.97
T_C_IC_1_B5	35	5	B 5	383.0	1620	1750	1390	121	343.02
T_C_IC_4_B5	35	14	B 5	1126.2	1410	1570	1170	129	240.83
T_C_IC_7_B5	75	5	B 5	391.7	1360	1500	1180	89.2	482.61
T_C_IC_10_B5	75	14	B 5	1093.5	1394	1534	1216	109.6	309.62
T_C_IC_11_B10	75	14	B 10	1148.3	1530	1730	1370	110	420.78

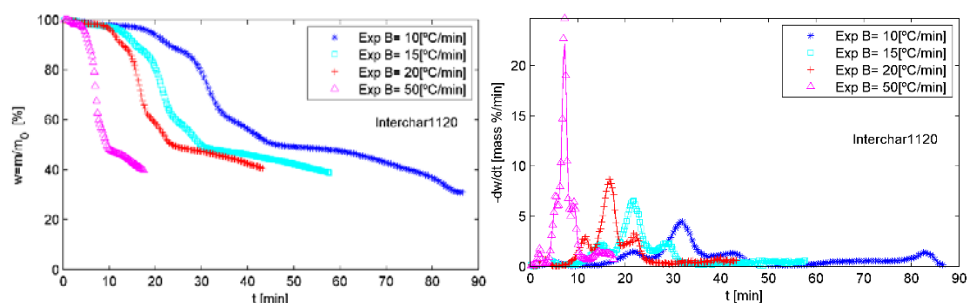


Figura 3 - Curvas TG e DTG da tinta intumescente a diferentes taxas de aquecimento.

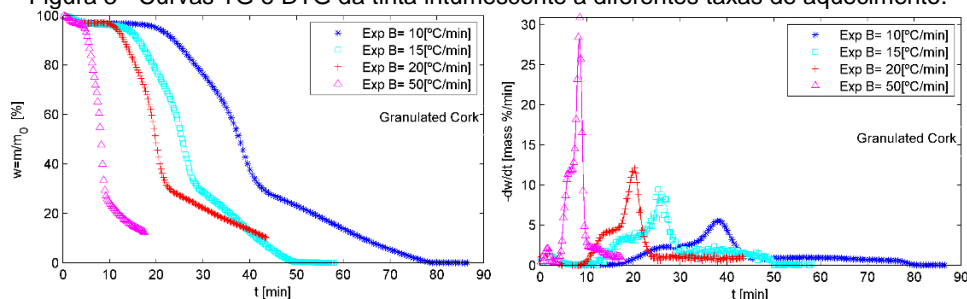


Figura 4 - Curvas TG e DTG do granulado de cortiça para diferentes taxas de aquecimento.

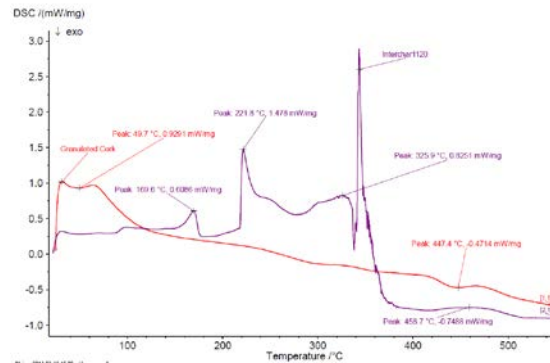


Figura 5 – Resultados do teste DSC da tinta intumescente e do granulado de cortiça.

Os testes DSC a uma taxa de aquecimento de 10 [°C/min] mostram uma diferença significativa entre os dois materiais. Enquanto que a tinta intumescente é caracterizada por várias reações endotérmicas, a cortiça possui dois picos exotérmicos, visíveis a aproximadamente 300 [°C] e a 447 [°C], conforme já identificado no trabalho de Şen et al [6].

4.2 Resultados dos testes realizados no calorímetro de perda de massa

Os resultados dos ensaios efetuados no calorímetro de cone são apresentados nas figuras seguintes. Como referência são apresentados, na Figura 6, os resultados da variação da temperatura dos ensaios realizados em placas de 6 e 14 [mm] com uma exposição de 35 e 75 [kW/m²] sem proteção. As placas testadas atingem uma temperatura estacionária de 490 [°C] e de 698 [°C], para 35 e 75 [kW/m²], respetivamente.

Os resultados da variação da temperatura das placas protegidas com tinta intumescente, ver a Figura 6 e Figura 7, é significativamente inferior às placas não protegidas, mostrando a eficiência deste material de proteção. Para um período de tempo específico, a temperatura diminui com o aumento da espessura da tinta (DFT) e com o aumento da espessura da placa de aço.

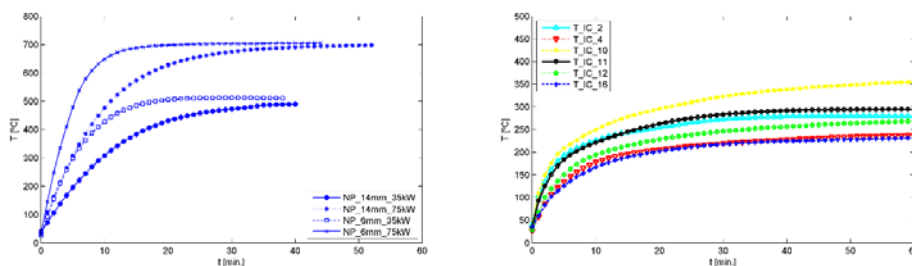


Figura 6 - Variação da temperatura do aço das placas de aço sem proteção ao fogo e com proteção de tinta intumescente.

Ensaio de reação ao fogo de tintas intumescentes com granulado de cortiça

As amostras protegidas com granulado A e B atingem temperaturas mais elevadas quando comparadas com a proteção de tinta intumescente, e entre estas as que apresentam uma maior eficiência são as protegidas com granulado de cortiça do tipo A (0.18 [mm]). A Tabela 1 apresenta valores de referência da temperatura do aço para um período de exposição de 30 [min.].

Na Tabela 2 são apresentados os resultados experimentais da temperatura da placa do aço para diferentes instantes de tempo de referência. Para o mesmo instante de tempo, pode-se verificar a redução acentuada da temperatura do aço resultante da aplicação do material de proteção, seja só com tinta intumescente ou a mistura com granulado de cortiça. Nas amostras apresentadas e para o instante de 10 minutos, pode-se verificar que a mistura com um granulado de cortiça superior (tipo B) resulta numa maior proteção quando comparada com a mesma percentagem de granulado do tipo A. No entanto, para tempos de exposição à radiação térmica superiores, esta tendência inverte-se e o granulado do tipo A mostra-se mais eficiente.

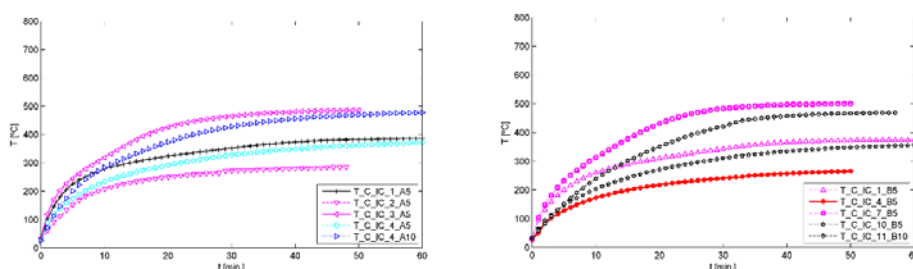


Figura 7 - Variação da temperatura do aço das amostras com granulado do tipo A (esq.) e do tipo B (dir.).

Tabela 2 – Valores experimentais da temperatura do aço das placas protegidas e não protegidas para diferentes instantes de tempo de referência.

Ref.	Temperatura do aço [°C]			
	t= 10 [min.]	t= 20 [min.]	t= 30 [min.]	t= 60 [min.]
NP_6mm_35kW	427	504	510	509
NP_14mm_35kW	308	430	472	489
NP_6mm_75kW	648	697	703	705
NP_14mm_75kW	476	627	674	697
T_IC_2	226	254	272	279
T_IC_4	177	206	219	237
T_IC_10	249	295	322	354
T_IC_11	221	262	283	294
T_IC_12	193	228	245	268
T_IC_16	166	201	217	231
T_C_IC_1_A5	277	323	352	385
T_C_IC_2_A5	207	250	271	284
T_C_IC_3_A5	317	425	465	486
T_C_IC_4_A5	233	291	327	371
T_C_IC_2_B5	172	217	240	265
T_C_IC_4_B5	202	270	309	355

Como já referido, embora a fração mássica de cortiça seja de 5% e 10%, a fração volumétrica de cortiça na amostra é muito superior, o que reflete a diferença da expansão da intumescência entre as amostra só com tinta em comparação com as amostras de tinta mais granulado de cortiça, como se pode verificar da Figura 8 à Figura 10. Estas figuras apresentam o valor médio da variação da espessura da intumescência da zona central das placas (50% da largura) e o respetivo desvio padrão dos 20 pontos medidos.

Os testes realizados com um fluxo de calor de 35 [kW/m²] resultam numa intumescência que não é tão uniforme como as ensaiadas com 75 [kW/m²], o que diminui a sua eficiência de proteção. No caso do fluxo mais elevado, é criada uma camada carbonizada logo nos instantes iniciais impedindo que os gases que produzem a expansão saiam, originando uma expansão mais uniforme e mais elevadas.

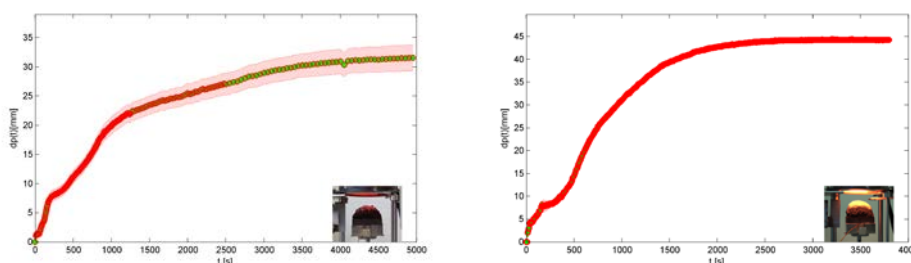


Figura 8 – Variação com o tempo da espessura da intumescência média da amostra T_IC_4 (esq.) e T_IC_12 (dir).

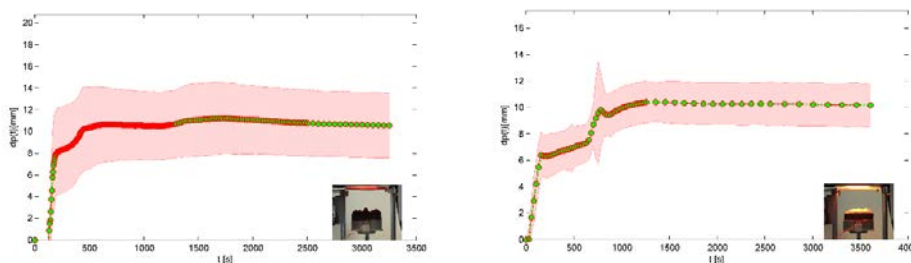


Figura 9 - Variação com o tempo da espessura da intumescência média da amostra T_C_IC_2_A5 (esq.) e T_C_IC_4_A5 (Dir.).

Quando é utilizada uma fração mássica de cortiça de 10% (testes A10 e B10), existindo mais cortiça do que tinta intumescente, a carbonização inicial da cortiça origina uma camada superficial de levada rigidez mecânica que a pressão dos gases resultantes da decomposição da tinta não consegue expandir, criando pequenas fissuras superficiais através das quais fluem para o exterior. Nestes casos a expansão das amostras é muito reduzida ou mesmo inexistente.

A Tabela 3 apresenta a comparação dos valores obtidos nos testes experimentais das placas protegidas unicamente com tinta intumescente e com a adição de 5% de granulado do tipo A e do tipo B. Pode-se verificar a diminuição da expansão quando é adicionada a fração mássica de cortiça, verificando-se uma maior intensidade no caso do granulado do tipo B.

Ensaio de reação ao fogo de tintas intumescentes com granulado de cortiça

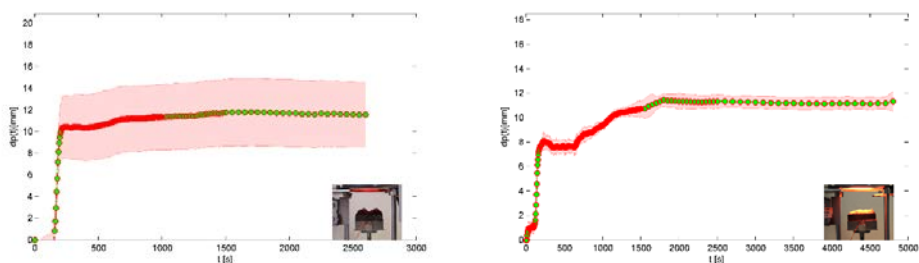


Figura 10- Variação com o tempo da espessura da intumescência média da amostra T_C_IC_4_B5 (esq.) e T_C_IC_10_B5 (Dir.).

Tabela 3 – Valores experimentais da expansão da intumescência das amostras com e sem cortiça, para diferentes instantes de tempo de referência.

Ref.	Intumescência [mm]		
	t= 10 [min]	t= 20 [min]	t= 30 [min]
T_IC_4	14,8	21,0	24,9
T_IC_11	29,4	50,5	50,4
T_IC_12	20,1	34,8	40,4
T_IC_16	19,7	35,1	49,8
T_C_IC_1_A5	20,5	19,7	19,0
T_C_IC_2_A5	10,6	10,3	11,1
T_C_IC_3_A5	14,6	13,8	13,5
T_C_IC_4_A5	7,3	10,1	10,1
T_C_IC_2_B5	11,0	11,0	11,2
T_C_IC_4_B5	7,8	10,2	11,4

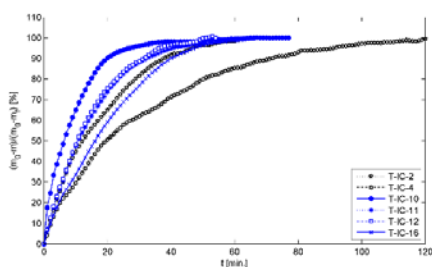


Figura 11 - Perda de massa percentual das amostras com tinta intumescente.

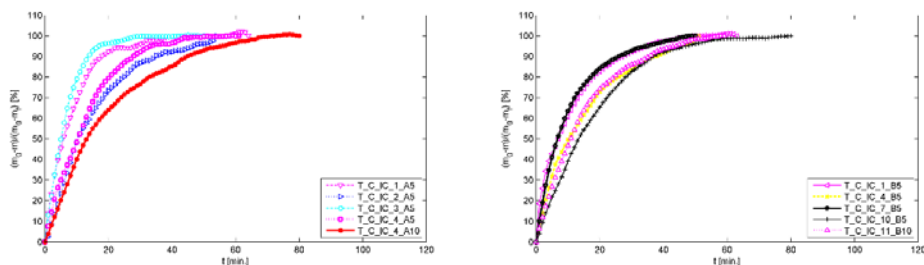


Figura 12 – Perda de massa percentual das amostras com granulado de cortiça do tipo A e do tipo B.

Mesquita, Luís; Teixeira, Marco; Piloto, Paulo; Barreira, Luisa

A perda de massa das amostras é apresentada nas figuras seguintes em função da massa inicial (m_0) e da perda de massa total ($m_0 - m_f$). As figuras mostram, numa fase inicial, a decomposição do material e a capacidade de geração de gás para expandir a camada de proteção e, numa fase posterior, uma segunda etapa do processo de carbonização, com a transformação oxidativa do material carbonoso.

A taxa de perda de massa é tanto mais acentuada quanto maior for a taxa de aquecimento do material de proteção, ocorrendo para fluxos de calor superiores e espessuras da chapa de aço

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta e demonstra claramente o interesse e a potencialidade de se utilizar o granulado de cortiça como material de proteção ao fogo. Os testes realizados com duas granulometrias de cortiça (0.18 e 0.25 [mm]) permitem aferir uma maior eficiência de proteção com granulometrias inferiores. As frações mássicas de cortiça estudadas possuem um comportamento muito distinto. Quando é utilizada uma fração de 10% de cortiça não se verifica uma expansão da proteção significativa, resultando numa camada de proteção de elevada rigidez, por comparação com a fração de 5%. Neste último caso, a expansão e a eficiência térmica resultante é significativa, prevendo-se um elevado potencial deste material de proteção.

Assim, os autores têm planeados ensaios adicionais com vista à otimização da formulação para se obter um melhor desempenho final deste material de proteção ao fogo.

AGRADECIMENTOS

Os autores reconhecem o apoio e o fornecimento dos materiais das empresas Granorte® e International Paints® utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1]. Duquesne, S., B. S., and R. Delobel, *Mechanism of fire protection in intumescent coatings*, in *European Coatings Conference: Fire Retardant Coatings II*. 2007: Berlin.
- [2]. Mesquita, L., et al., *Caracterização da decomposição térmica e formação carbonosa de tintas intumescentes*, in *8º Congresso Nacional de Mecânica Experimental*. 2010: Guimarães. p. 169-170.
- [3]. Gil, L., *Capítulo 13 – Cortiça*, in *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*, M.C. Gonçalves and F. Margarido, Editors. 2012.
- [4]. Gil, A.M.L., *Cork for Sustainable Product Design*. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 2011. 23(3/4).
- [5]. ISO, *ISO5660-1: Reaction to fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*. 2002, International Organization for Standardization.
- [6]. Şen, A., et al., *Thermal behaviour of cork and cork components*. *Thermochimica Acta*, 2014. 582(0): p. 94-100.