



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE SELAGEM INTUMESCENTE EM CURVA DE INCÊNDIO COM CRESCIMENTO LENTO

EVALUATION OF INTUMESCENT FIRESTOP SYSTEM IN SMOULDERING FIRE CURVE

Autor: Eng. De Segurança Emanuel Pastl (engpastl@gmail.com)

Orientador: Prof. Dr. Jacinto Manuel Antunes de Almeida (jasscarnival@gmail.com)

RESUMO

Este trabalho analisa a variação da classificação de resistência ao fogo de um sistema de selagem para proteção de tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro para a Curva de Crescimento Lenta (EN 13381-8). Portanto, parte-se da pergunta: *Qual a redução da classificação de resistência ao fogo dos sistemas de selagem para tubulações de PVC de 100 mm dentro de cavidades das paredes ou forros?* Argumenta-se que a classificação de resistência ao fogo da selagem destas tubulações pode ter variação, pois estão expostos à diferentes taxas de aquecimento ao estarem localizadas dentro de cavidades de paredes e forros. Este trabalho justifica-se socialmente pelo uso crescente de selagem nas edificações residenciais e comerciais do Brasil, em que ensaios destes sistemas de proteção no Brasil são escassos. Por outro lado, busca-se contribuir academicamente fornecendo análise de sistemas intumescentes de selagem em curva de crescimento lenta. Obteve-se resultados a partir de dois ensaios de resistência ao fogo de um mesmo sistema de selagem certificado exposto na curva ISO-834 e Curva de Crescimento Lenta. Embora o sistema ensaiado foi aprovado para as duas curvas, observou-se que houve variações no critério de isolamento da classificação de resistência ao fogo. Quanto maior a taxa de aquecimento, maior a temperatura na face fria até o fechamento da abertura pelo material intumescente.

Palavras-chave: Selagem resistente ao fogo; ensaio de resistência ao fogo; ensaios experimentais; curvas de crescimento lenta; sistemas intumescentes.

ABSTRACT

This work analyzes the variation of the fire resistance classification of a firestop system for the protection of 100 mm diameter PVC pipes for the Smouldering Curve (EN 13381-8). Therefore, it starts with the question: *What is the reduction of the fire resistance rating of the firestop systems for PVC pipes of 100 mm inside cavities of the walls or ceilings?* It is argued that the fire resistance rating of the firestop of these pipes may vary, as they are exposed to different heating rates when located within cavities of walls and ceilings. This work is socially justified by the increasing use of firestop in residential and commercial buildings in Brazil, in which tests of these protection systems in Brazil are scarce. On the other hand, it seeks to contribute academically by providing analysis of intumescent firestop systems in a smouldering curve. Results were obtained from two tests of fire resistance of the same certified firestop system exposed to the ISO-834 curve and Smouldering Curve. Although the tested system was approved for both curves, it was observed that there were variations in the insulation criteria of the fire resistance classification. The higher the heating rate, the higher the temperature on the cold face until the opening is closed by the intumescent material.

Keywords: firestop; fire resistance test; experimental test; smouldering fire curve; intumescent systems

1. INTRODUÇÃO

Hoje no Brasil, as legislações de muitos Estados da Federação e normas brasileiras exigem que as edificações novas residências e comerciais tenham a medida de proteção contra



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

incêndio de compartimentação vertical e horizontal. Desta maneira, têm sido aplicados, em grande quantidade, sistemas de selagem resistente ao fogo. (PASTL, 2019)

São, aproximadamente, 100.000 unidades residenciais lançadas anualmente no Brasil (ABRAINCO, 2018). Considerando que estas edificações devem atender a NBR 15575, e esta norma faz a exigência de compartimentação vertical, há uma grande demanda de sistemas de selagem, principalmente para as tubulações plásticas de esgoto, pluviais, ventilação, abastecimento e etc. (NBR 15575-3, 2013) Avaliar o desempenho dos sistemas de selagem, para estes casos específicos, é um grande passo em favor da certeza da segurança destas edificações.

Essas tubulações plásticas devem ser protegidas por selos intumescentes, na grande maioria dos casos, para duas horas de resistência fogo. (PASTL, 2019) Esta classificação de resistência deve ser obtida através de ensaios em escala real em fornos de resistência ao fogo com temperatura, tempo e pressão controladas. São construídos corpos de prova com paredes ou pisos, tubulações e selos idênticos às edificações e expostos a altas temperaturas nos fornos por tempos determinados. Este controle de temperatura e tempo é normatizado em curvas temperatura-tempo. Para edificações residências, comerciais etc, deve-se utilizar a curva-padrão de temperatura-tempo correspondente ao incêndio celulósico (ISO-834). (ANDRADE, 2018) Porém, em incêndios reais, as cargas incêndios, as taxas de ventilação e outras características são completamente diferentes dessas curvas padronizadas. Sendo ainda que na maior parte das edificações, as tubulações hidrossanitários estão dentro das cavidades de paredes e forros, não expostas inicialmente ao incêndio, assim as taxas de aquecimento podem ter uma curva temperatura-tempo real diferente das curvas padronizadas.

Os selos intumescentes utilizados para selagem de tubulações plásticas expandem-se com o aumento de temperatura com o objetivo de preencher o espaço da tubulação plástica consumida no incêndio. Sabe-se que a intumescência dos componentes da selagem está em função da volatilização de ácidos do grafite expansível (MELILLO, PEREIRA, *et al.*, 2019) e demais reações químicas, como desenvolvimento de ácidos, hidratações e liberação de gases que dependem diretamente da elevação da temperatura. (OLIVEIRA, MORENO JUNIOR e VIEIRA, 2017). Assim, sistemas que são intumescentes, como tintas de proteção estrutural



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

por exemplo, têm desempenhos diferentes com taxas de aquecimentos variáveis. (LUCHERINI, COSTA, *et al.*, 2016)

Com essas considerações surge a dúvida: Qual a variação da classificação de resistência ao fogo dos sistemas de selagem para tubulações de PVC de 100 mm dentro de cavidades das paredes ou forros?

A hipótese é que a classificação de resistência ao fogo da selagem destas tubulações terá variação com mais ou menos desempenho, pois estão expostos à diferentes taxas de aquecimento ao estarem localizadas dentro de cavidades de paredes e forros.

O objetivo desta pesquisa é avaliar a variação da classificação de resistência ao fogo de um sistema de selagem para proteção de tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro para a Curva de Crescimento Lenta (EN 13381-8).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Intumescência

A propriedade de intumescência dos materiais de proteção contra incêndio tem o objetivo de expandir-se em volume e formar uma camada protetora de baixa condutividade térmica e permeabilidade, para impedir a propagação de temperatura, chama, fumaça e gases quentes. Desta maneira, é utilizada para proteção estrutural, compartimentação e retardar a propagação de chama e liberação de fumaça. (PASTL, 2019)

O processo de intumescência é obtido por reação química e física. É reação física por causa da necessidade de temperatura para desencadear as reações químicas de expansão e formação carbonosa. A formação carbonosa resultante, em geral é composta por carbono puro, porém caso tenha tido a presença de hidróxidos metálicos na composição, como por exemplo Alumina Trihidratada ou Borato de Zinco, haverá também óxidos metálicos, tendo efeito sinérgico ao carbono. (MITTAL e PIZZI, 2009)

É a formação carbonosa de carbono e ou óxidos que dá a característica incombustível. Já a expansão altera a densidade, porosidade e resistência mecânica da formação carbonosa. Então para cada necessidade, há um ponto ótimo de equilíbrio da taxa de expansão e resistência mecânica da formação carbonosa. (UNLU, TAYFUN, *et al.*, 2016)

Os principais processos químicos de intumescência são:



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

- Formação de camada carbonosa, a partir de 215°C, por esterificação através de ataque ácido com liberação de gases. Normalmente os principais componentes químicos são:
 - Fonte ácida: Polifosfato de Amônia
 - Composto polihidrico: Pentaeritritol
 - Fonte de gases: Melamina (OLIVEIRA , MORENO JUNIOR e VIEIRA , 2017)
- O grafite expansível apresenta duas funções tanto como agente de expansão, como fonte de carbono. (CARVALHO e FERREIRA, 2018) A expansão ocorre pela volatilização, com aumento de volume, do ácido que está dentro da estrutura de camadas do grafite. (AYISWORTH, 1915) Os grafite exibe um rápido aumento de volume na faixa de temperatura de 150 a 300 ° C conforme o ácido é liberado. A expansão do volume pode variar de 50:1 até 300:1 (MITTAL e PIZZI, 2009)
- Outros menos utilizados são: Silicatos de metal alcalino hidratados, Vermiculita, Perlita, borosilicatos, Mica e suas combinações, que liberam vapor de água acima de 100°C . (MITTAL e PIZZI, 2009)
- O último aditivo intumescente interessante são as microesferas preenchidas com gás. A Specified Technologies Inc. (Somerville, New Jersey) patenteou um selante intumescente de dois estágios usando microesferas preenchidas com gás como uma expansão secundária a partir de 100°C. Estas microesferas preenchidas com isobutano usadas em conjunto com uma fonte primária de intumescência, como grafite expansível, fornecem boa estabilidade de expansão. (STAHL, 1992)

2.2. Efeitos da variação da temperatura sobre a intumescência

Conforme visto anteriormente, os sistemas intumescentes são reações químicas, na qual a cinética da reação química é função da temperatura. Então a variação da taxa de aumento de temperatura influencia o processo de intumescência, alterando a expansão, densidade e condutividade térmica da formação carbonosa. (ABUSAMHA, 2017)

O processo de intumescência não depende apenas da temperatura, mas também do tipo de incêndio, pois as propriedades térmicas são altamente variadas pelo fluxo de calor exposto. (JIMENEZ, DUQUESNE e BOURBIGOT, 2006)



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

(WANG, DONG e ZHANG, 2015) estudaram e fizeram experimentos sobre o desempenho de revestimentos intumescentes aplicadas em placas de aço sob diferentes curvas de incêndio não padronizadas. Eles fizeram as seguintes descobertas:

- As etapas das reações químicas de intumescência têm forte dependência da máxima temperatura atingida;
- O grau de desenvolvimento da formação carbonosa é altamente afetado pelas condições de aquecimento;
- Além disso, ele descobriu que aumentar a espessura do revestimento intumescente nem sempre fornece melhor desempenho.

(LUCHERINI, COSTA, *et al.*, 2016) pesquisaram o comportamento de estruturas de aço protegidas por diferentes revestimentos intumescentes expostos a várias condições de aquecimento. Perceberam que o revestimento intumescente é influenciado pelo fluxo de calor e espessura do revestimento.

Além disso, (LUCHERINI, COSTA, *et al.*, 2016) confirmaram que o procedimento atual, considerando o fator de massividade¹, para o dimensionamento de revestimentos intumescentes para proteção de estruturas metálicas apresenta algumas deficiências, pois diferentes tintas têm desempenhos diferentes de acordo com as condições de aquecimento. Em particular, diferentes produtos têm diferentes sensibilidades para as taxas de aquecimento de incêndio:

- a tinta à base de água testada teve melhores desempenhos em baixas taxas de aquecimento,
- enquanto a tinta à base de solvente testada teve melhores desempenhos em altas taxas de aquecimento. Porém em taxas de aquecimento muito baixas a tinta não intumesce e nem fornece isolamento, mesmo quando a temperatura ultrapassa 400°C.

(MESQUITA, PILOTO e VAZ, 2007) fizeram uma pesquisa experimental sobre revestimentos intumescentes. Foram usados diferentes cenários de taxas de aumento de temperatura com calorímetro de cone e diferentes espessuras de revestimento. O estudo

¹ O fator de massividade de uma peça estrutural a ser protegida por tinta intumescente é dado pela relação entre sua área exposta ao fogo e o volume do elemento. Em outras palavras, é a relação entre o perímetro aquecido e a área da seção transversal exposta ao fogo. (GUIMARÃES, 2007)



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

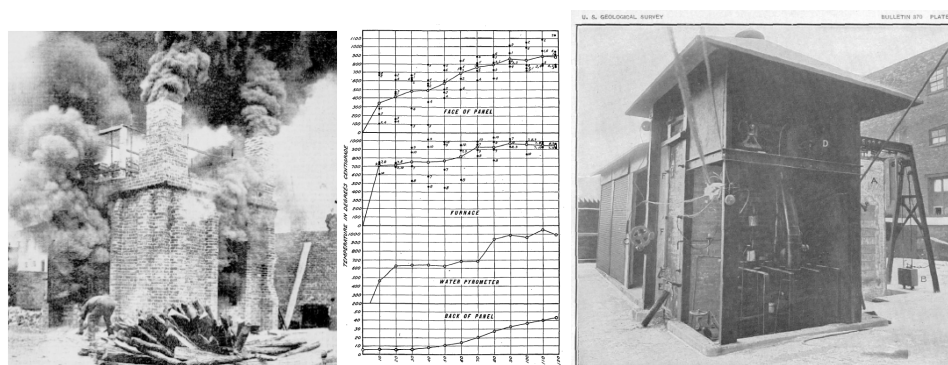
www.ufrgs.br/esci
(2020)

mostrou que o desenvolvimento da intumescência depende muito das espessuras iniciais do filme seco e do fluxo de calor incidente.

2.3. Desenvolvimento de resistência ao fogo e Curva de Temperatura-Tempo

Uma parte significativa da engenharia de segurança contra incêndio, consiste em ensaios em escala real de corpos de prova para representação de edificações em situações de incêndio. Desta maneira, é possível projetar edificações, sistemas e equipamentos para resistirem ao incêndio, evitar sua ignição ou propagação. De acordo com a Instrução Técnica 09 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, quando o objetivo é impedir a propagação do incêndio na edificação, chama-se Compartimentação. Esta medida tem como critério o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF). (CBPMSP, 2019)

Figura 1 – À esquerda: os primeiros testes em fornos, por volta de 1902. Ao meio: uma Curva do Tempo-Temperatura com resultados de ensaio de parede de alvenaria em 1909 realizado pela Underwriters' Laboratories (UL). À direita: forno UL de Chicago em 1909



Fonte: (GALES, MALUK e BISBY, 2012) e (HUMPHREY, 1909)

Foram desenvolvidos ao longo do tempo, normas e procedimentos para realizarem os ensaios dos corpos de prova representativos de edificações que necessitam de desempenho de TRF para garantir a segurança dos ocupantes, proteção da edificações e continuidade operacional. (PASTL, 2019) Os primeiros ensaios e normas de resistência ao fogo, tem início no século XX nos Estados Unidos e no Reino Unido. Por exemplo, embora não fosse uma exigência por norma ou código na época, por volta de 1902 na cidade de Nova York, eram realizados ensaios para pisos com fornos à lenha. A temperatura média era de 927 °C (1700 °F) por 4 horas, com picos de 1093 °C (2000 °F), resfriamento do jato de mangueira², e, finalmente,

² Hose Stream Test.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

teste com cargas quatro vezes superior à carga de serviço de projeto por 24 horas. Se após este teste a deflexão do piso não excedeu 1,4% de sua amplitude, o elemento era considerado como tendo “aprovado”. Este regime de aquecimento (Curva Temperatura-Tempo³) foi obtido pela experiência qualitativa dos bombeiros de Nova York. Em contrapartida, a opinião popular era que “nenhuma sala comum teria material inflamável suficiente para manter um incêndio de 927°C por mais de 30 minutos”. (GALES, MALUK e BISBY, 2012)

Mudanças na curva de temperatura-tempo dos ensaios foram feitas ao longo dos anos em várias revisões de normas ASTM (com cada vez menos ênfase na capacidade residual dos elementos ensaiados após um incêndio), evoluindo para os ensaios de resistência ao fogo muito semelhantes atualmente usados em diversos países. (GALES, MALUK e BISBY, 2012) Porém, mesmo no final dos anos 1920, era amplamente conhecido que as curvas temperatura-tempo não eram representativas de um incêndio real. Muitos pesquisadores, por exemplo como o Simon Ingberg, começaram a fazer estudos correlacionando incêndios reais com as condições das normas de ensaios de resistência ao fogo. Construíam edificações e incendiavam-nas para obterem dados mais precisos. (GALES, MALUK e BISBY, 2012). Em 1928, a NBS⁴, sob a liderança de Simon Ingberg, realizou, dentre muito outros, um notável incêndio em grande escala em edificações abandonadas no centro de Washington, DC, sendo um dos únicos na história da engenharia de proteção contra incêndio. No teste conduzido na manhã de domingo, 17 de junho de 1928, havia duas edificações de alvenaria lado a lado, sendo uma de cinco pavimentos e a outra de dois. Os resultados foram significativos, para a época, para servir de dados para elaboração de curvas temperatura-tempo, procedimentos de ensaios das normas (EVANS, GROSS e WRIGHT, 2002) e desenvolvimento do método do tempo equivalente (SILVA, COSTA e MELÃO, 2017).

Outros pesquisadores continuaram com o desenvolvimento de novos conceitos de padronização de cálculos e curvas temperatura-tempo de incêndio com base em outros critérios (Conceito de Temperatura Máxima e Conceito da mínima capacidade de carga). Os edifícios poderiam então ser reclassificados, não apenas pelo risco de ignição, mas também

³ É a curva que forneça a evolução da temperatura com o tempo do incêndio ou do ensaio. (ANDRADE, 2018)

⁴ National Bureau of Standards (NBS) - O NBS teve alterações no nome, passou a se chamar National Institute of Standards and Technology (NIST) em 1988.

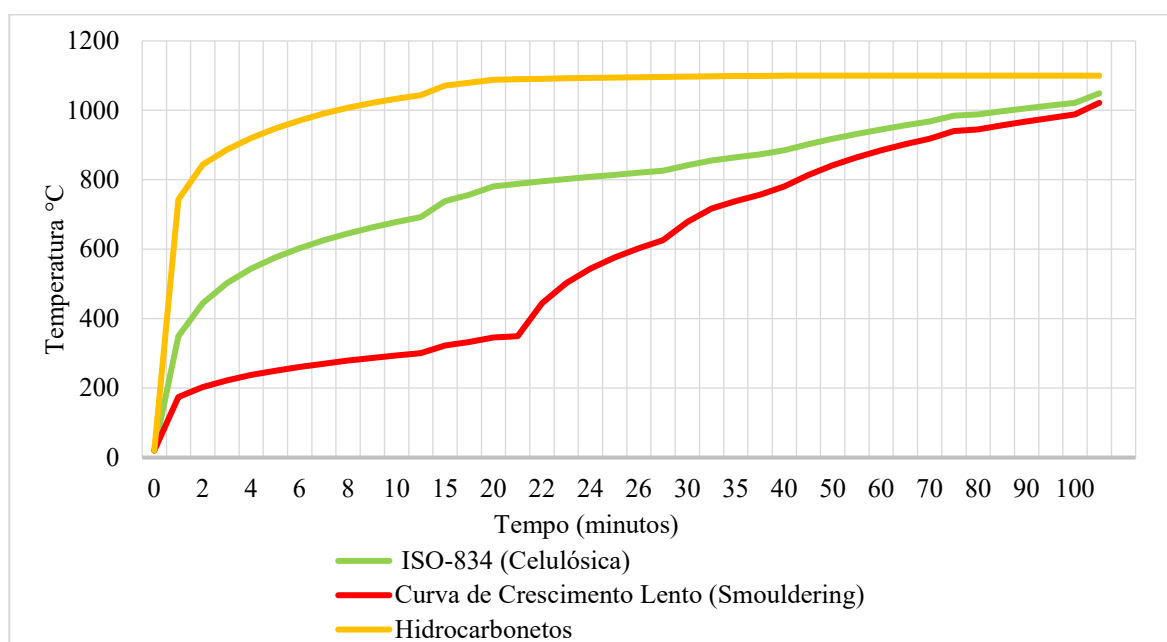


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

pela carga de combustível e pelo tempo requerido de resistência ao fogo equivalente dos elementos de construção. Hoje, o projeto estrutural em situação de incêndio ainda depende predominantemente dos conceitos por métodos equivalentes, desta maneira é baseado em uma simplificação considerável do comportamento real ao assumir curvas temperatura-tempo irreais para o projeto e ensaios de resistência ao fogo. (GALES, MALUK e BISBY, 2012) (ANDRADE, 2018) faz uma revisão bibliográfica das principais curvas temperatura-tempo atualmente padronizadas e utilizadas por normas no mundo. Há uma grande variedade e as indicações para as utilizações das curvas depende das características dos projetos e sistemas de proteção. No Gráfico 1 estão as três principais curvas de incêndio para materiais intumescentes.

Gráfico 1 – Principais curvas temperatura-tempo.



Fonte: Autor (2020)

(ANDRADE, 2018) tem a pesquisa voltada para análise do comportamento de incêndios para possíveis cenários criados em simulação computacional. Com os seus resultados, é possível perceber que a distribuição de temperatura no tempo está em função do local medido no incêndio. A temperatura no forro tende a ser superior do que no nível do piso, no mesmo momento medido. Assim como, a temperatura do ambiente da edificação de foco inicial, será diferente de outro ambiente mais afastado. Desta maneira, conclui-se que no mesmo incêndio

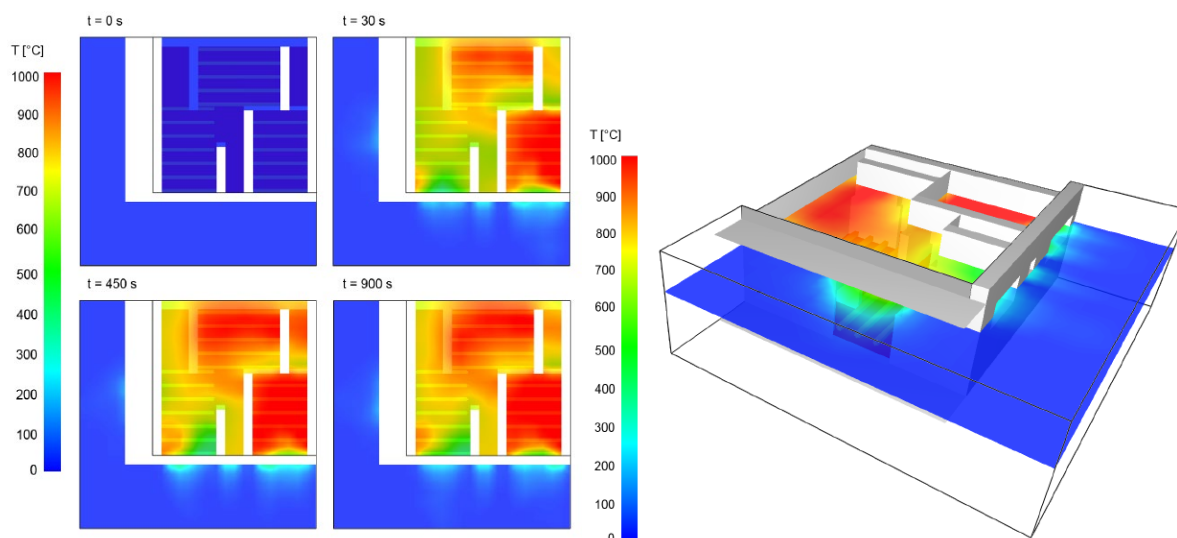


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

há diversas curvas temperatura-tempo, pois a distribuição da temperatura é sempre heterogênea.

Figura 2 – Resultados de simulação computacional medidas ao teto da edificação em instantes diferentes. Vista em corte.



Fonte: (ANDRADE, 2018)

(THOMAS, 1996) faz uma pesquisa experimental para validação de fórmulas de determinação de tempo de resistência ao fogo de estruturas de madeira (de paredes e pisos), considerando parâmetros de ventilação, a carga de material combustível e as propriedades térmicas das cavidades das paredes e pisos. Foram feitos ensaios de acordo com a ISO 834 para comparar com os modelos de cálculos desenvolvidos. Os principais critérios de análise foram a distribuição das temperaturas, em função do tempo, em diversos locais das cavidades das paredes e forros, considerando as faces aquecidas pela curva temperatura-tempo ISO 834. A Figura 3 mostra como foram montadas as estruturas analisadas dos forros e paredes. Na Figura 4, estão plotados, em gráfico, os resultados de um ensaio de resistência ao fogo em comparação com os modelos analisados. Os resultados indicam as diferentes curvas temperatura-tempo conforme a localização interna da cavidade. Conclui-se que a curva temperatura-tempo de um incêndio imediatamente inferior ao forro é diferente da curva temperatura-tempo dentro da cavidade do forro (ver marcação em vermelho nas Figura 3 e Figura 4). Isso também é válido para as cavidades das paredes. Além disso, é possível observar, que a curva temperatura-tempo dentro da cavidade de um forro terá um crescimento

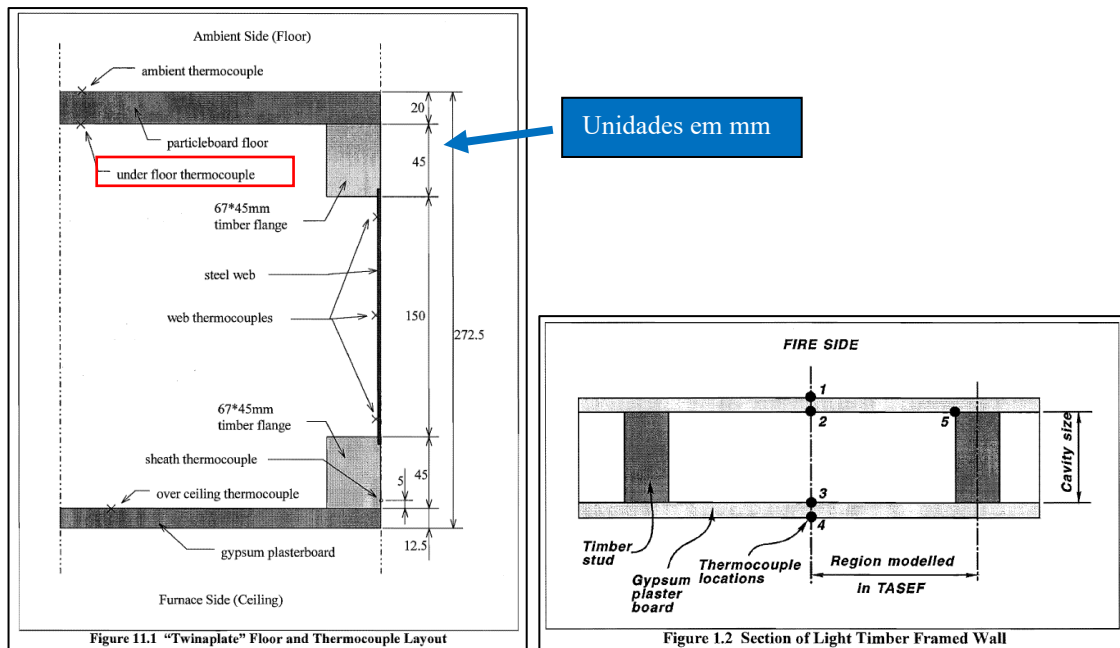


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

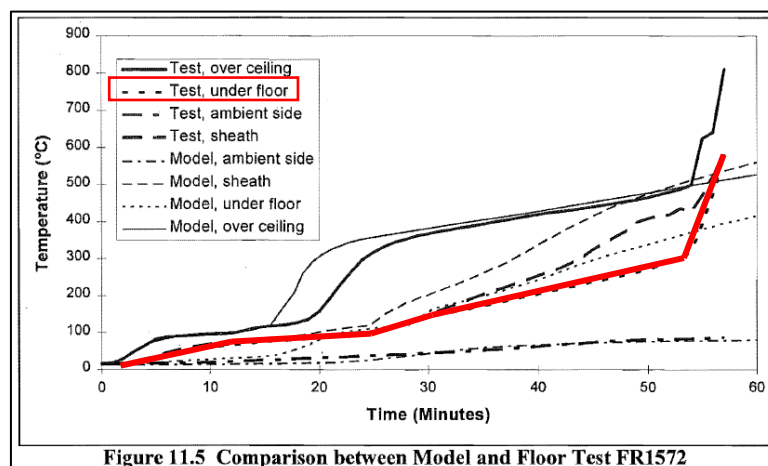
lento, em comparação a ISO 834. No Gráfico 2 é possível identificar com clareza este crescimento lento, foi elaborado pelo autor deste trabalho a comparação entre a curva dentro do forro, obtida pelo (THOMAS, 1996), e a ISO 834.

Figura 3 – À esquerda: vista de corte do forro. À direita: vista em corte da parede. (THOMAS, 1996).



Fonte: (THOMAS, 1996).

Figura 4 – Temperaturas dentro da cavidade de forro de gesso, figura 11.5 da dissertação do (THOMAS, 1996).



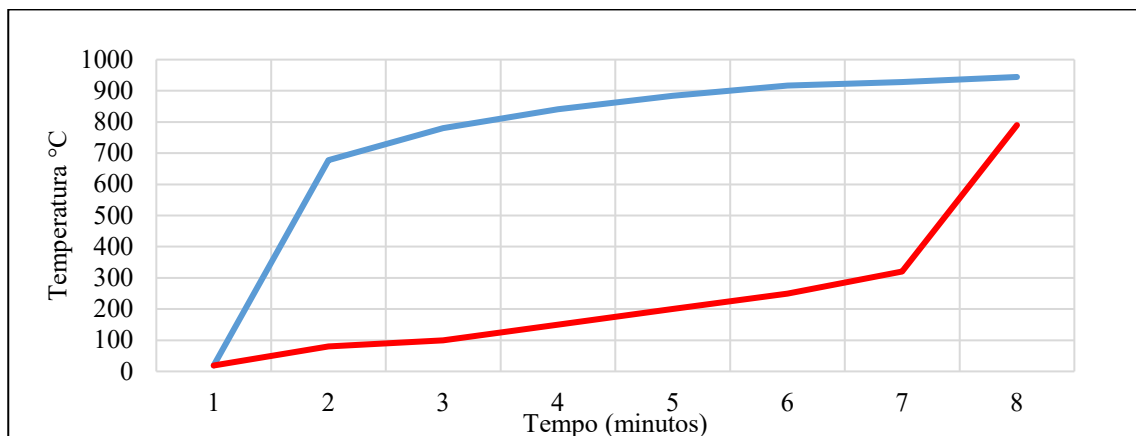
Fonte: (THOMAS, 1996).



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Gráfico 2 – Comparação das curvas temperatura-tempo entre a ISO 834 (azul) e dentro do forno (vermelho).



Fonte: Autor (2020), com base nos resultados da pesquisa do (THOMAS, 1996)

2.4. Selagem resistente ao fogo

(GALES, MALUK e BISBY, 2012) relataram com sua pesquisa que os primeiros conceitos de compartimentação com classificação por ensaio de resistência ao fogo surgiram em Nova York, por volta de 1905. Os códigos de proteção contra incêndio em edifícios da cidade começaram inicialmente com as restrições a certos materiais estruturais conhecidos por serem problemáticos em caso de incêndio. Posteriormente, houve exigências de maiores desempenho para materiais em pisos e paredes divisórias para resistência ao fogo com o objetivo de conter a propagação do fogo e prevenir incêndios em centros urbanos densos.

Os objetivos da compartimentação são confinar os incêndios de edificações em diversos compartimentos durante o tempo suficiente para a evacuação da população e da chegada dos bombeiros para fazerem o combate (RODRIGUES, 2009).

Quando o confinamento é feito com elementos de compartimentação para impedir a propagação do incêndio no sentido horizontal da edificação, é chamado de “Compartimentação Horizontal”. Para impedir a propagação no sentido vertical, entre pavimentos, chama-se “Compartimentação Vertical”. (CBPMSP, 2019)

De acordo com (PASTL, 2019), quando uma tubulação, cabo elétrico ou duto de ventilação, por exemplo, cruza por uma barreira de compartimentação (laje ou parede), faz com que haja uma abertura no elemento de compartimentação, desta maneira neste local o fogo e a fumaça irão propagar-se. Assim, a compartimentação foi perdida, ocasionada pela penetração destes elementos de instalações da edificação. Para devolver a resistência a fogo destas barreiras:



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

devem ser instalados sistemas de selagem resistente ao fogo. A selagem tem o objetivo de devolver a classificação horária de resistência ao fogo da barreira de compartimentação, quando perdidas por quaisquer aberturas. As aberturas, normalmente, são causadas pelas instalações hidráulicas, elétricas, ventilação, pele de vidro, juntas perimetrais e juntas de dilatação. A Figura 5 ilustra uma quebra de compartimentação numa laje de concreto.

Figura 5 – Exemplo de quebra de compartimentação vertical em laje por tubulação hidráulica.



Fonte: Autor (2020), obra visitada em Porto Alegre em 2018

2.5. Ensaios de Selagem Resistente ao Fogo

O método para dimensionamento do tempo de resistência ao fogo da selagem resistente ao fogo é totalmente empírico. Os corpos de provas são ensaiados em escala real em fornos específicos para estarem expostos em curvas de incêndio padronizadas com pressões e temperaturas controladas. Há critérios objetivos para análise e classificação dos corpos de prova. Praticamente não existem grandes interpolações ou extrapolação de resultados. Ou seja, se a selagem resistente ao fogo foi ensaiada para uma tubulação de Polietileno de 150 mm de diâmetro, esta não pode ser utilizada para tubulação de PVC ou de 100 mm de diâmetro. Caso a selagem requeira 3 mm de espessura de tinta intumescente, não pode ser instalado no edifício com apenas 1 mm (PASTL, 2019).

Hoje, as principais normas de ensaio de resistência ao fogo para a selagem são:

- Para penetrações: EN 1366:Part 3, UL 1479, ASTM E814 e AS 4072.1-2005
- Para juntas de construção: EN 1366: Part4 e UL 2079
- Juntas perimetrais: ASTM E2307 e EN 1364:Part 4

(PASTL, 2019) faz análise comparativa entre as duas principais normas de selagem para penetrações, que são a UL 1479 que é a referência na América do Norte e a EN 1366:Parte 3 que é referência na Europa. Ele analisa o objetivo, procedimento de ensaio e critérios de classificação de desempenho, e mostra que são muito parecidas. A principal diferença é que a



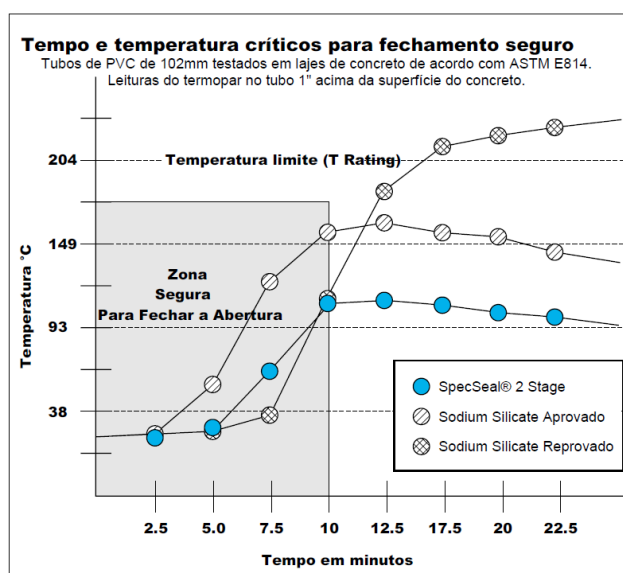
Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

UL 1479 exige um teste adicional de integridade mecânica com o jato de água em alta pressão para avaliação de situações como choque térmico e *backdrafts*⁵ de incêndios.

(PASTL, 2019) conclui em sua análise que o principal método de selagem para tubulações plásticas de 100 mm de diâmetro é por material intumescente. Pois se faz necessário, que o espaço vazio, causado pelo consumo do plástico no incêndio, seja preenchido por um material capaz de impedir a propagação de fogo, fumaça e gases quentes.

Figura 6 – Tempo crítico para fechamento da abertura em selagem de tubo de 100 mm de PVC



Fonte: (SPECIFIED TECHNOLOGIES INC, 1999) (tradução da imagem pelo autor).

De acordo com (SPECIFIED TECHNOLOGIES INC, 1999), há um pequeno espaço de tempo para ser a diferença entre passar ou reprovar em um ensaio de selagem. Foram feitas vinte e cinco análises de instalações com materiais intumescentes para proteção de tubulações plásticas, inclusive de PVC. É indicado com veemência que a configuração de maior dificuldade para proteção são os tubos abertos. Como a extremidade do tubo da face fria (face não exposta ao fogo) é deixada destampada, o fogo e gases quentes correm por dentro da tubulação causados pela diferença de pressão entre o incêndio (pressão relativa positiva) e a face fria (pressão relativa negativa). Então, nessa situação o material intumescente da proteção tem que reagir velozmente para fechar a abertura antes que a tubulação entre em combustão na face fria. O tempo de fechamento completo não pode ser superior a dez

⁵ *Backdraft* é a explosão decorrente da entrada repentina de ar, num ambiente pouco ventilado com grande concentração de gases aquecidos, e com fogo em estado de latência.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

minutos, pois do contrário a temperatura na face fria irá ultrapassar o limite de 180°C acima da temperatura ambiente. A Figura 6 ilustra isto para maior esclarecimento.

2.6. Importância de Ensaio da Curva de Crescimento Lento

(LUCHERINI, COSTA, *et al.*, 2016) concluem, como já relatado, que de fato as tintas intumescentes em curvas de crescimento lento podem ter desempenho de proteção prejudicado. (SILVA, BILOTTA e NIGRO, 2019) descrevem que para tintas intumescentes para proteção de estruturas, é importante a análise de desempenho destas tintas para a Curva de Crescimento Lento⁶, além de ensaios padrões para a ISO 834⁷, como requerido pela EN 13381-8⁸. Essa norma faz essa exigência, pois sabe-se que essas tintas têm reações diferentes em variações de temperatura, principalmente com crescimento mais lentos. (SILVA, BILOTTA e NIGRO, 2019) comenta que mesmo que o fabricante tenha feito apenas uma pequena modificação na fórmula da tinta intumescente, todo o processo de ensaio de resistência ao fogo deve ser repetido, inclusive para a Curva de Crescimento Lento. O Gráfico 1 mostra a comparação entre a Curva ISO 834 e a Curva de Crescimento Lento.

Com essas informações, é inevitável fazer as seguintes considerações:

- É importante a análise do desempenho de sistemas com materiais intumescentes para diferentes curvas temperatura-tempo;
- Dentre as curvas padrões existentes, é possível identificar uma similaridade de taxa de aquecimento da curva temperatura-tempo de elementos dentro de cavidades de paredes e forros (Figura 4) com a Curva de Crescimento Lento descrito na EN 13381-8 (Gráfico 1).
- Há um momento crítico de expansão do material intumescente para garantir a aprovação da selagem em tubulações de 100 mm de diâmetro de PVC, para a Curva ISO 834 normalmente é inferior a 10 minutos de ensaio.

⁶ Em inglês este termo é *Smouldering Fire Curve*.

⁷ Como este trabalho se trata de edificações convencionais, não há o mérito de análises para Curvas de Hidrocarbonetos, Túneis e etc.

⁸ EN 13381-8: *Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 8: Applied reactive protection to steel members*



3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Principal sistema de selagem usado no Brasil

Foram feitas análises de dezesseis projetos de edificações residenciais da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, com objetivo de verificar quais são, em maior número, as instalações que quebram a compartimentação vertical⁹. Não é possível divulgar os nomes dos projetos, por questão de sigilo exigido pelos proprietários. Todos estes projetos têm a exigência legal de fazerem a compartimentação vertical, pois têm mais de doze metros de altura¹⁰. (RS, 2014) É possível perceber, na Tabela 1, que as passagens plásticas de PVC diâmetro de 100 mm compõem 46,8% das passagens analisadas. Desta maneira a passagem deste diâmetro é a maior responsável pelas quebras de compartimentação vertical. Outra observação importante é que em todos os projetos analisados, a maioria das tubulações estavam dentro de cavidades de paredes e forros. Isso acontece, pois por questões estéticas, as instalações hidrossanitários devem ficar ocultas. Na Figura 7, é possível visualizar o *shaft* hidráulico com as tubulações hidrossanitários fechadas por paredes, na qual estão quebrando a compartimentação vertical na laje.

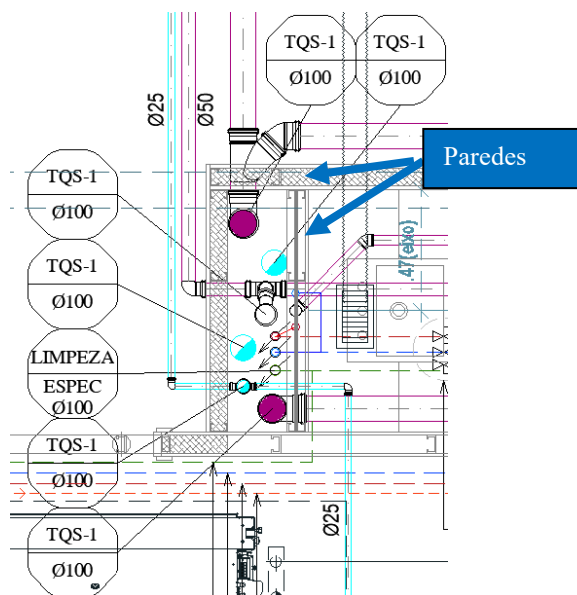


Figura 7 – Exemplo real de shaft hidráulico com tubulações dentro da parede

⁹ Não foram consideradas as tubulações plásticas de diâmetro igual ou inferior à 40 mm, pois em geral a selagem não é feita necessariamente com fitas intumescentes. Muitas vezes utiliza-se selantes e silicones resistentes ao fogo. (PASTL, 2019)

¹⁰ Altura medida da cota do último pavimento superior ocupado ao piso de descarga (normalmente térreo).



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Tabela 1 – Levantamento dos principais locais de selagem

Local com quebra de compartimentação vertical na unidade por instalação hidráulica	Participação (%)
Ralo de Banheiro de 150mm de diâmetro	22,7
Ralo de Banheiro de 100mm de diâmetro	4,4
Vaso Sanitário de Banheiro de 100mm de diâmetro	15,3
Shaft com Tubo Aberto ¹¹ de 150mm de diâmetro	0,3
Shaft com Tubo Aberto de 100mm de diâmetro	27,1
Shaft com Tubo Aberto de 75mm de diâmetro	14,7
Shaft com Tubo Aberto de 50mm de diâmetro	13,6
Tubo Aberto de pia da lavanderia de 50mm de diâmetro	1,8
Total das Tubulações de 100 mm de diâmetro	46,8

Fonte: Autor (2020), projetos de Porto Alegre

3.2. Construção do Forno

Para a realização do ensaio foi utilizado uma mufla elétrica com as seguintes características:

- Potência: 24 KW trifásico 220V
- Dimensão da Mufla: 60 cm de largura; 45 cm de altura; 45 cm de profundidade
- Pressão diferencial é medida na cota de 30 cm e medida com transmissor de pressão modelo TP-699 do fabricante Huba Control.
- A entrada de ar para pressurização é pela lateral direita na cota 5 cm tendo uma válvula registro agulha para controlar a entrada de ar. O Compressor de ar é da marca Schulz, de 1 CV, com capacidade de 102 litros por minuto e pressão máxima de 9,8 kgf/cm²
- No centro, na cota 60 cm, tem um orifício aberto para extração da fumaça e gases quentes
- O termopar do controlador estava na cota 55 cm. O controlador é o Modelo N1040 da NOVUS.
- Para medir a temperatura na face fria é utilizado termopares tipo k de cabo kapton de até 400 °C. Para calibração do controlador é utilizado como referência dois termopares tipo K com faixa entre -100 a 1250 °C com haste metálica de 5 mm de diâmetro. Os termômetros

¹¹ Tubos abertos (Vented), em geral são as tubulações pluviais, esgoto, ventilação e drenos. No momento, do ensaio de resistência ao fogo, na face fria a tubulação deve estar destampada para que o corpo de prova possa ser representativo dessas situações. Tubos fechados (Closed) são as tubulações de recalque, água fria, água quente, abastecimento e suprimento, na qual são tampadas na face fria no momento do ensaio. (ASTM E814, 2017) (EN 1366-3, 2009) (UL 1479, 2015).

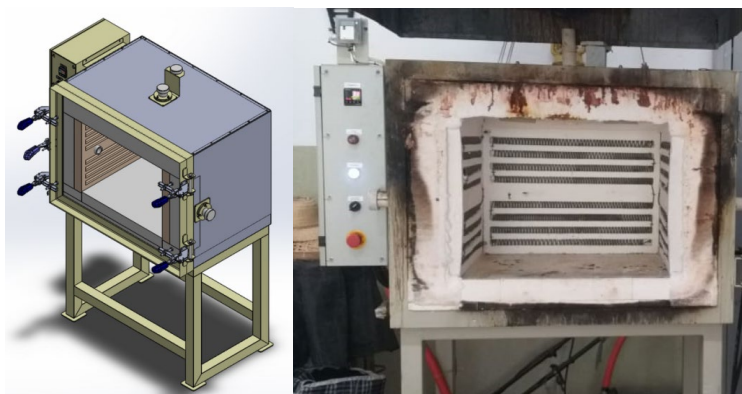


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

conectados aos termopares são da marca Ftec e modelo Tm-902c com faixa de medição entre -50 e 1300° C.

Figura 8 – Forno utilizado para os ensaios

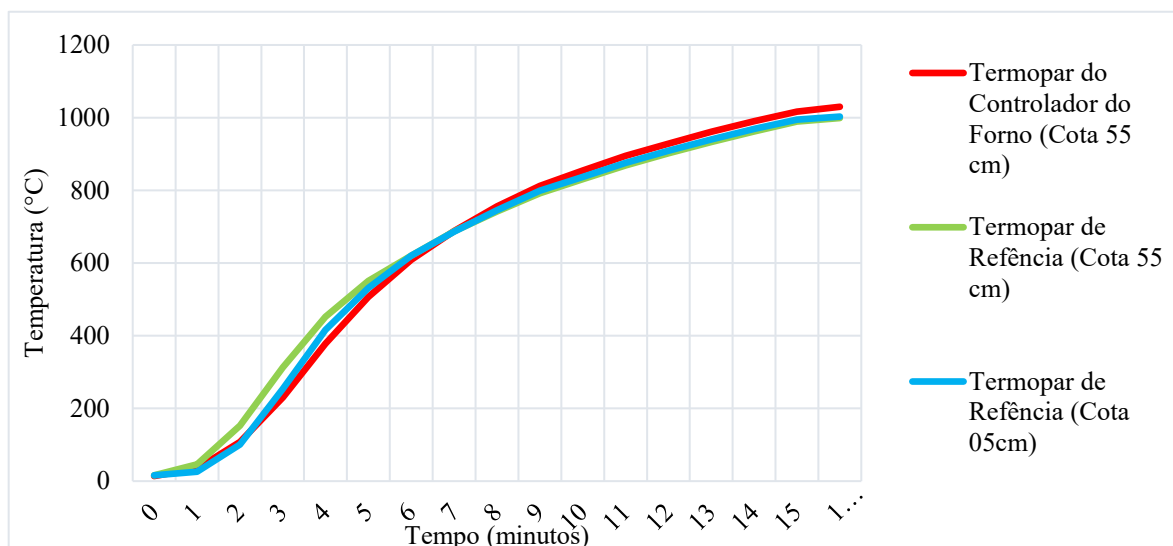


Fonte: Autor (2020)

3.3. Calibração do Forno

Foi feito um ensaio com outros dois termopares de haste metálica para verificar a calibração do termopar do controlador e o gradiente de distribuição da temperatura dentro do forno. Então foi colocado um termopar de referência na mesma cota do termopar do controlador, que é cota 55 cm, e outro na cota 05 cm (na base do forno).

Gráfico 3 – Ensaio de Verificação do Termopar do Forno e Gradiente de Distribuição de Temperatura do Forno



Fonte: Autor (2020)



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

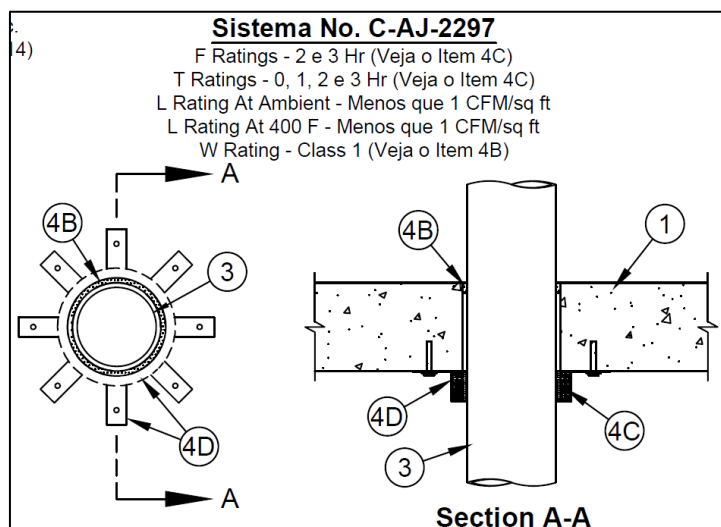
www.ufrgs.br/esci
(2020)

No Gráfico 3, estão os resultados do ensaio, no qual é possível concluir que praticamente não há diferença de gradiente nas faixas de temperatura entre 20°C e 1030°C. Isto se deve, provavelmente, ao fato da mufla ser em escala reduzida e a distribuição de temperatura ser praticamente homogênea. A diferença de medida entre o termopar do controlador e do termopar de referência é praticamente insignificante.

3.4. Seleção do Sistema de Selagem para Experimento

A Specified Technologies Inc (STI Firestop) tem um sistema online para indicar os sistemas de selagem mais utilizados, entre os mais de 1.600 sistemas certificados. Foram aplicados os seguintes filtros: Sistema de Selagem para Penetrante; Parede de Concreto; PVC *Vented*; diâmetro máximo de 4" (102 mm). Com esses filtros, o sistema fez a sugestão para aplicação do sistema C-AJ-2297 certificado pela *Underwriters Laboratories*.

Figura 9 – Croqui do Sistema C-AJ-2297



Fonte: (SPECIFIED TECHNOLOGIES INC, 2020)

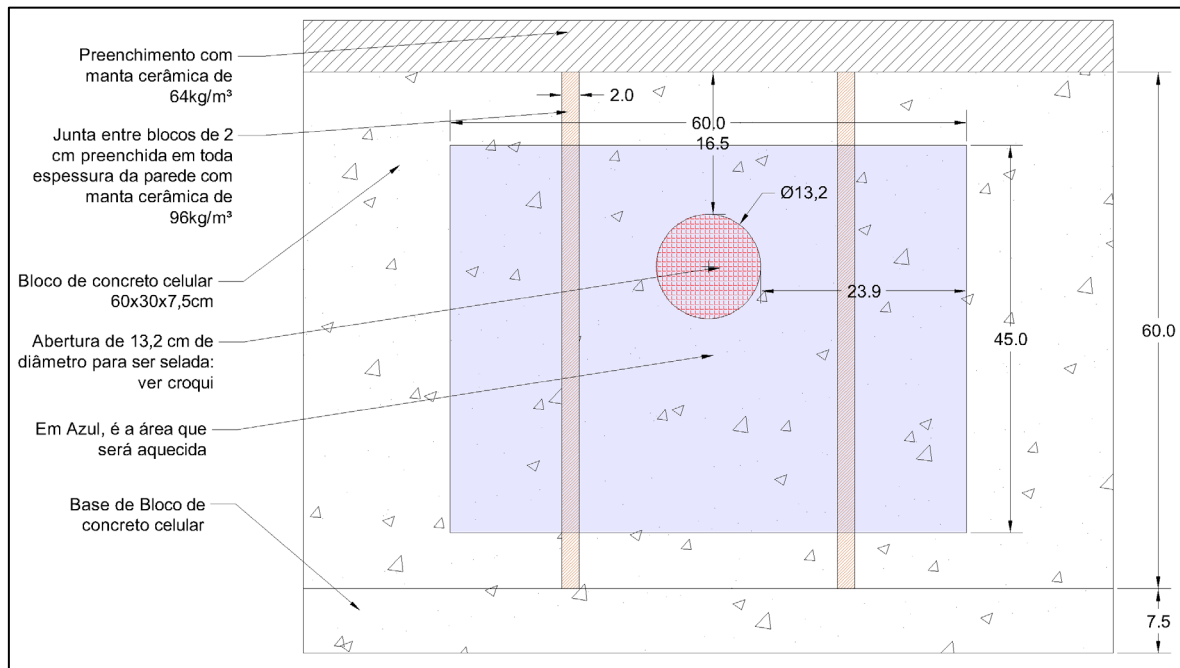
Com base no sistema C-AJ-2297, foi elaborado a parede e o sistema de selagem que foi utilizado como corpo de prova para os ensaios de resistência ao fogo. Foi feito dois corpos de provas idênticos. A parede foi construída com bloco de concreto celular autoclavado de 7,5 cm de espessura. As juntas entre os blocos foram vedadas com manta cerâmica de 96 kg/m³. Na Figura 10, estão todos os detalhes da construção da parede e a disposição do local de selagem.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 10 – Croqui da parede utilizada os ensaios

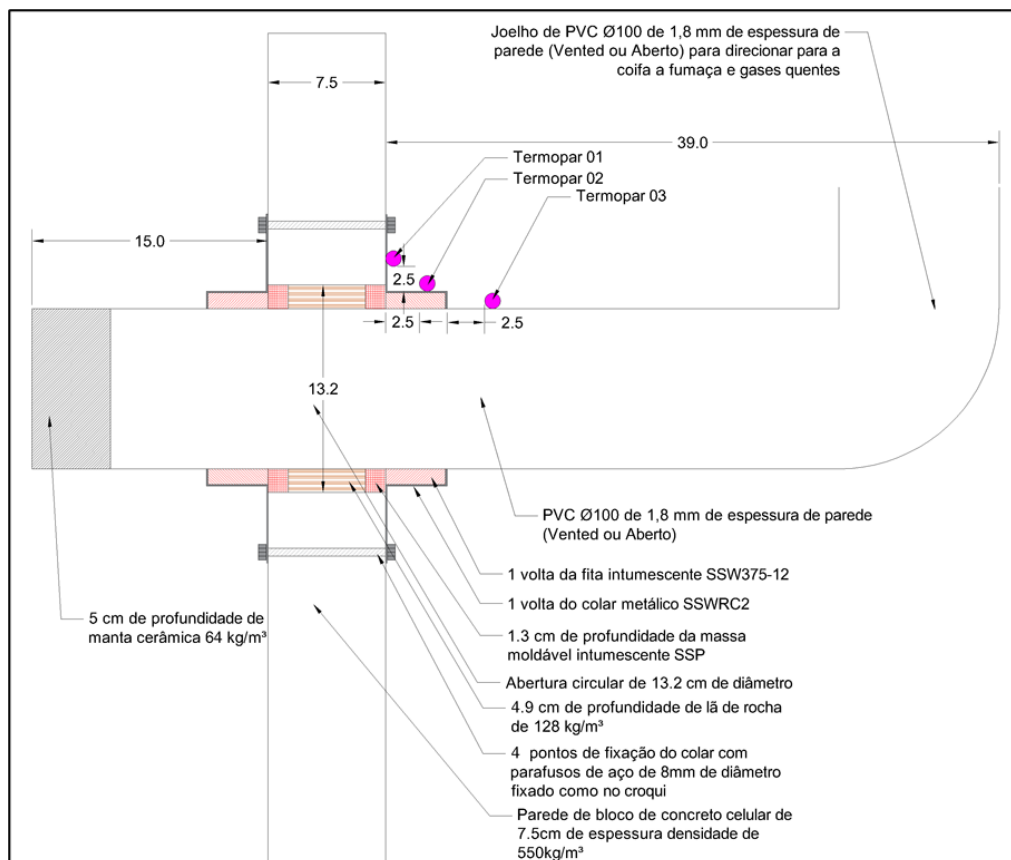


Fonte: Autor (2020)

Na Figura 11, está o croqui de selagem utilizado como corpo de prova para os ensaios. Os materiais de selagem, como a fita intumescente, colar metálico e massa moldável intumescente, foram fornecidos pela STI Firestop. Os demais materiais, por serem convencionais, foram adquiridos no mercado local.



Figura 11 – Sistema de selagem criado com base no sistema C-AJ-2297



Fonte: Autor (2020)

3.5. Construção do Corpo de Prova

As Figura 12, Figura 13 e Figura 14 ilustram a construção dos corpos de prova, de acordo com o sistema de selagem da Figura 11.

Figura 12 – À esquerda: fita intumescente SSW375-12 sobreposta com o colar metálico SSWRC2. À direita: massa moldável intumescente e lâ de rocha



Fonte: Autor (2020)



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 13 – À esquerda: manta cerâmica de 96 kg/m³ utilizada para revestir o ponto de contato dos termopares. À direita: colocação do termopar 02.



Fonte: Autor (2020)

Figura 14 – À esquerda: face não exposta ao fogo do sistema de selagem. Foi colocado três pontos de fixação da tubulação para que não tenha movimentação durante o ensaio. À direita: face exposta ao fogo.



Fonte: Autor (2020)

3.6. Critérios de Classificação de Resistência ao Fogo

Os critérios para classificação de resistência ao fogo utilizados são os mesmos descritos para as Normas Brasileiras, EN e ASTM¹²:

- Integridade: a passagem de chamas ou abertura no sistema de selagem que permita ignizar um chumaço de algodão;
- Isolamento: Qualquer ponto de medição de temperatura não pode ultrapassar 180 °C na face fria.

3.7. Ensaio com a Curva ISO 834

Na Tabela 2 estão as imagens dos resultados do ensaio realizado do corpo de prova com base na curva ISO 834. É possível perceber que na face fria, praticamente, não houve nenhum dano do corpo de prova. Ocorreu somente uma pequena depressão da tubulação no ponto do

¹² Não foi considerado o teste com o jato da mangueira, *Hose Stream Test*.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

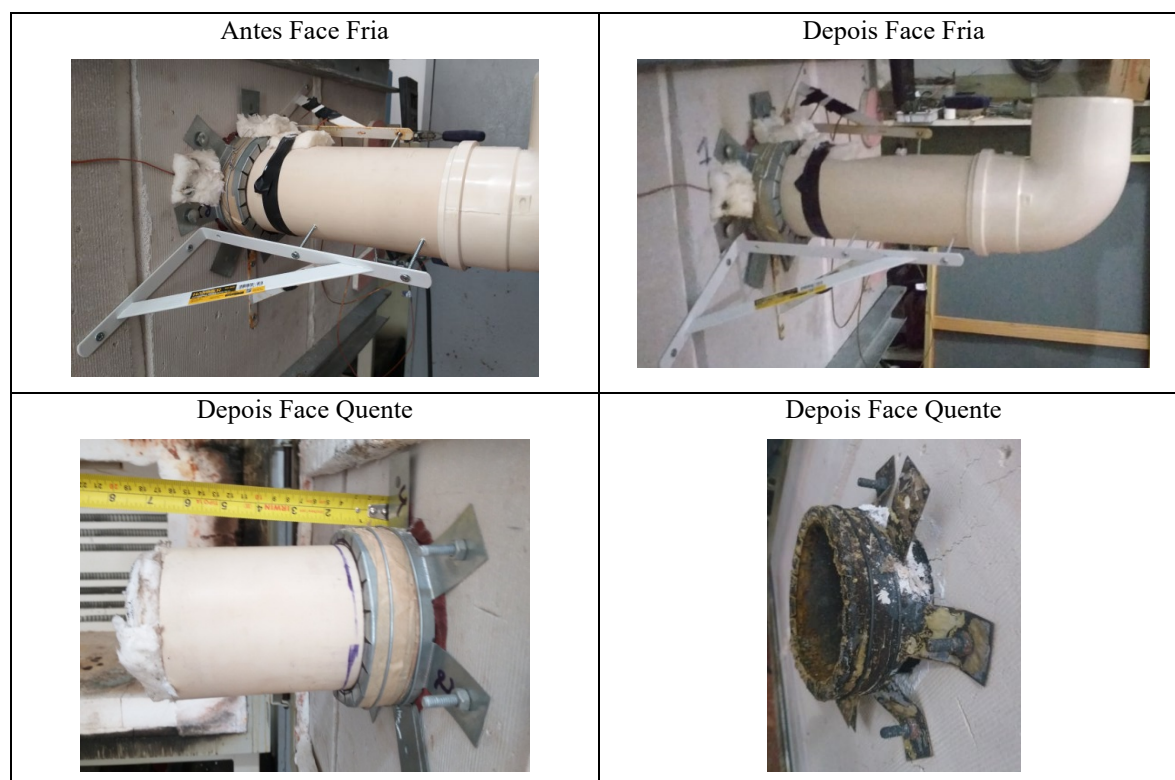
www.ufrgs.br/esci
(2020)

termopar 03, provavelmente causada pela compressão da fita isolante que segurava o termopar.

Em nenhum momento do ensaio de 120 minutos foi identificado a passagem de chamas ou visualizar internamente dentro do forno. Desta maneira o sistema foi aprovado para o critério de 2 Horas de Integridade. No Gráfico 4 é possível ver que nenhuma temperatura ultrapassou o limite de 180°C acima da temperatura ambiente (200°C). Logo o sistema foi aprovado para o critério de 2 Horas de Isolamento.

Foi observado durante o ensaio que o momento crítico foi nos minutos iniciais, entre 3 e 5 minutos, pois ocorreu bastante passagem de fumaça de coloração amarela escura internamente pela tubulação, porém após o minuto 5 não foi visto o fluxo de fumaça. Essa fumaça tem origem na decomposição do PVC da tubulação dentro do forno. Este fluxo de fumaça coincide com o aumento de temperatura no termopar 03 ao início da passagem de fumaça e a queda de temperatura após o término da passagem de fumaça. A causa de a passagem de fumaça parar é a fita intumescente reagir fechando totalmente a abertura.

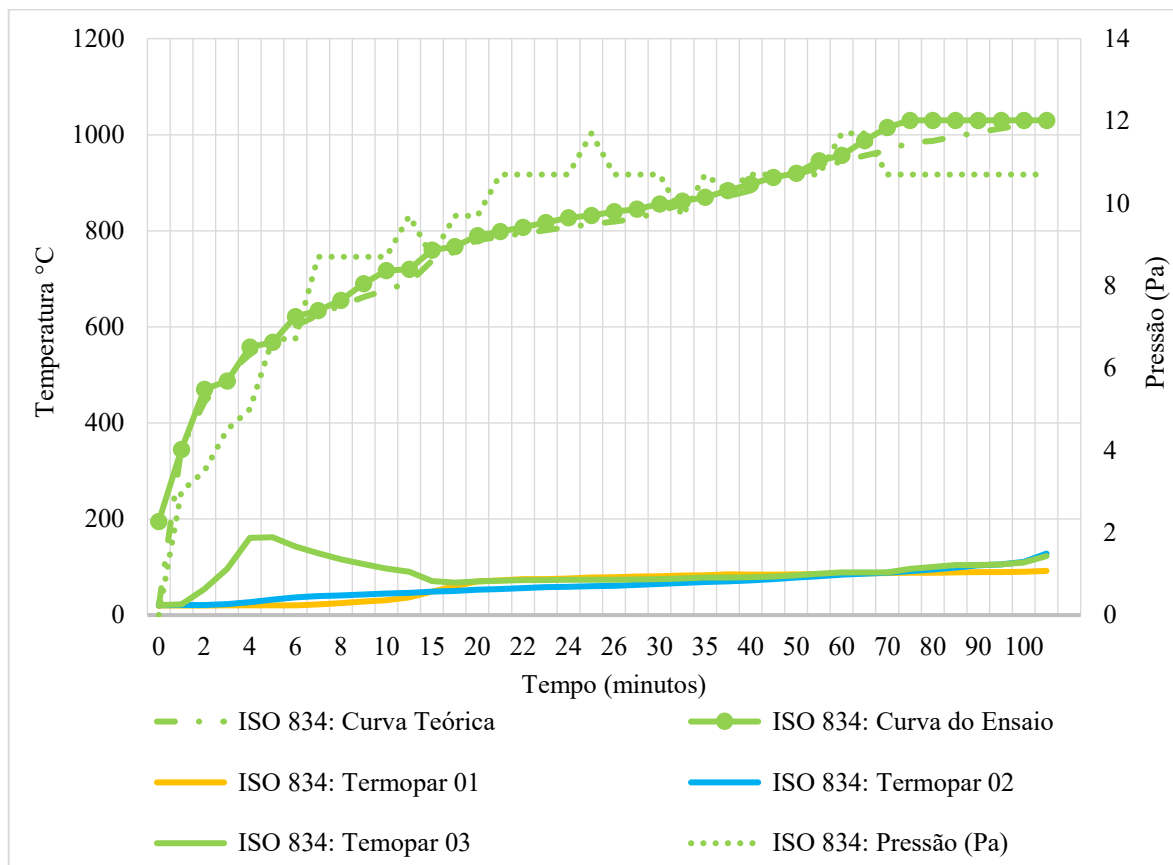
Tabela 2 – Comparação antes e depois do Ensaio com a Curva ISO 834



Fonte: Autor (2020)



Gráfico 4 – Resultados do Ensaio com a Curva ISO-834



Fonte: Autor (2020)

3.8. Ensaio com a Curva de Crescimento Lento

Na Tabela 3 estão as imagens dos resultados do ensaio realizado do corpo de prova com base na Curva de Crescimento Lento. É possível perceber que na face fria, praticamente, não houve nenhuma danificação do corpo de prova. Ocorreu somente uma pequena depressão da tubulação no ponto do termopar 03, provavelmente causada pela compressão da fita isolante que segurava o termopar.

Em nenhum momento do ensaio de 120 minutos foi identificado a passagem de chamas ou visualizar internamente dentro do forno. Desta maneira o sistema foi aprovado para o critério de 2 Horas de Integridade. No Gráfico 5 é possível ver que nenhuma temperatura ultrapassou o limite de 180°C acima da temperatura ambiente (200°C). Logo o sistema foi aprovado para o critério de 2 Horas de Isolamento.

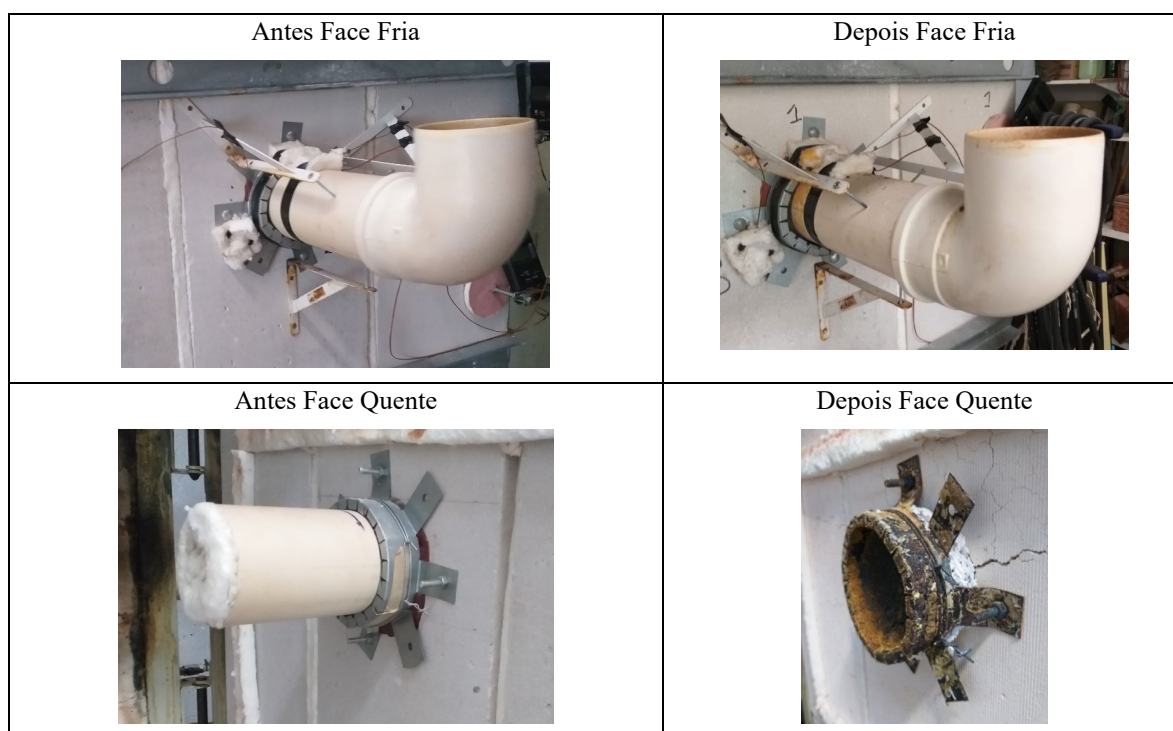


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Foi observado durante o ensaio que o momento crítico foi nos minutos entre 15 e 20 minutos, pois ocorreu bastante passagem de fumaça de coloração amarela escura internamente pela tubulação, porém após o minuto 20 não foi visto o fluxo de fumaça. Essa fumaça tem origem na decomposição do PVC da tubulação dentro do forno. Este fluxo de fumaça coincide com o aumento de temperatura no termopar 03 ao início da passagem de fumaça e a queda de temperatura após o término da passagem de fumaça. A causa de a passagem de fumaça parar é a fita intumescente reagir fechando totalmente a abertura. Neste período, também houve oscilação da pressão entre 7 e 14 Pa numa frequência 7 Pa por segundo. Como a pressão é medida a cada minuto, no Gráfico 5 não é possível observar essa oscilação da pressão. Provavelmente a causa dessa variação da pressão foi a combustão mais lenta dos gases gerados pela pirólise do PVC dentro do forno. Porém ainda existe a hipótese da causa desta variação de pressão ter origem na taxa de entrada de ar pelo pressurizador. Este ponto específico de variação de pressão neste curto espaço de tempo deve ser melhor avaliado em trabalhos futuros, embora isso não cause alterações significativas na classificação de resistência ao fogo.

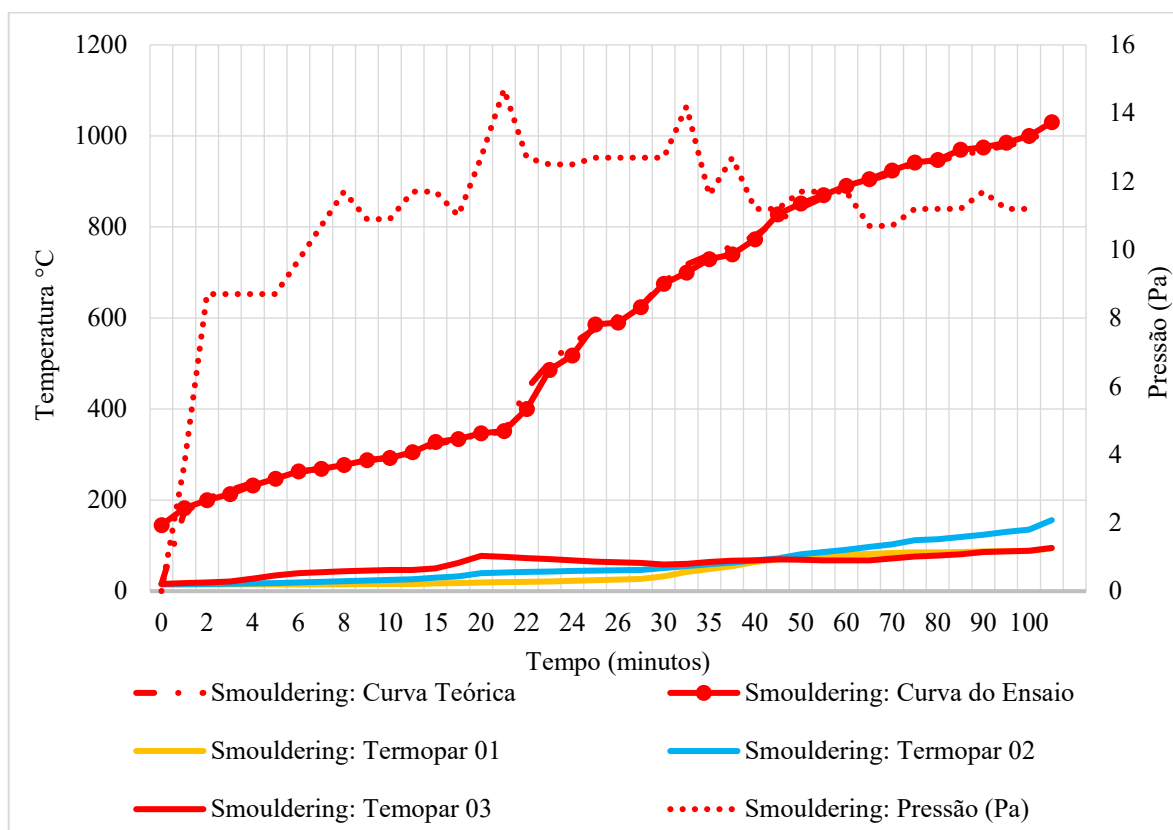
Tabela 3 - Comparação antes e depois do Ensaio com a Curva de Crescimento Lento



Fonte: Autor (2020)



Gráfico 5 – Resultados do Ensaio com a Curva de Crescimento Lento



Fonte: Autor (2020)

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O sistema de selagem escolhido como corpo de prova, C-AJ-2297, nas configurações descritas na Figura 11, foi aprovado para 120 minutos com os critérios de Integridade e Isolamento para ambas as curvas: ISO-834 e Crescimento Lento. Os resultados de Integridade do sistema para as duas curvas são idênticos, pois na face fria, visualmente, o sistema teve a mesma aparência, sem nenhuma deterioração significativa, sem passagem de chamas ou abertura que permitisse visualizar internamente o forno.

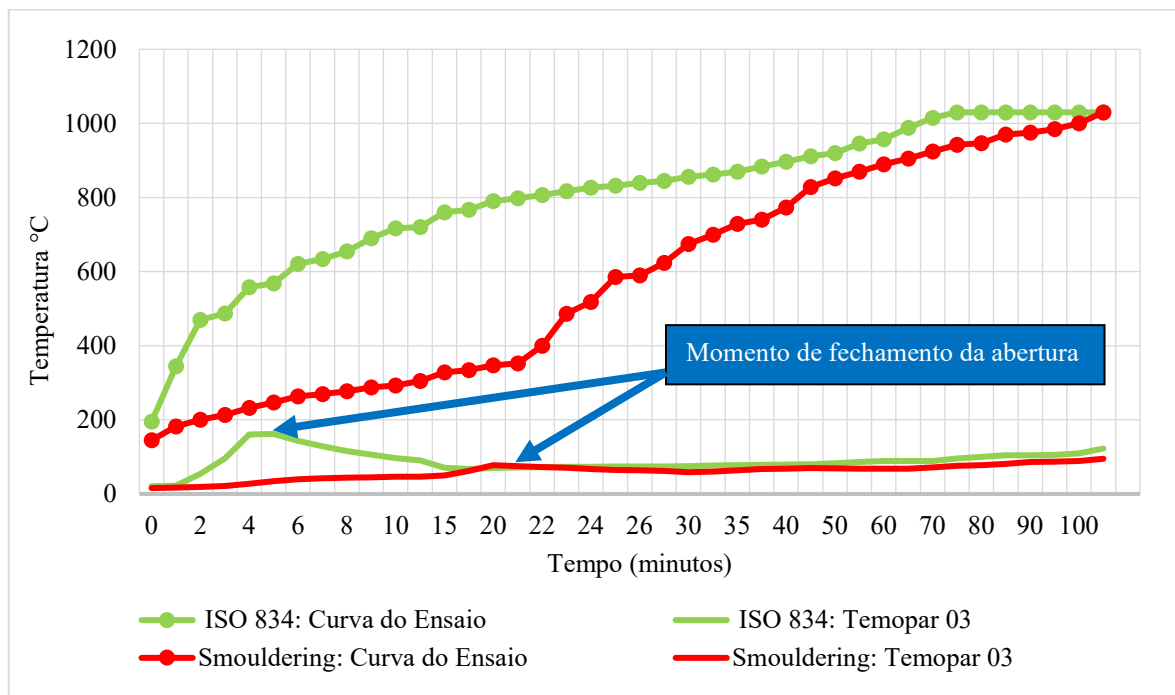
É importante observar que o termopar 03 do sistema, para ambos os ensaios, é o termopar com maior aumento de temperatura, em comparação com os termopares 01 e 02. Assim, para melhor visualização dos resultados e comparar o sistema com as curvas foi desenvolvido o Gráfico 6.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Gráfico 6 – Comparação de Resultados entre a Curva ISO-834 e a Curva de Crescimento Lento (*Smouldering*)



Fonte: Autor (2020)

Figura 15 – Fotografias das faces quentes após ensaio. À esquerda: ensaio com a ISO-834. À direita: ensaio com a Curva de Crescimento Lento.



Fonte: Autor (2020)

Os resultados de Isolamento são diferentes. O ensaio com a Curva ISO-834 chegou muito próximo de reprovar numa temperatura de 162 °C, já com a Curva de Crescimento Lento o sistema teve mais desempenho, não ultrapassando 78 °C.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

O momento de fechamento da abertura é também o ponto em que a temperatura na face fria é maior. Após a abertura fechar a temperatura na face fria é reduzida e depois aumenta gradualmente ao longo do ensaio. O sistema na Curva de Crescimento Lento teve menor temperatura até o final do ensaio.

- Na Curva ISO-834: no minuto 5 teve o pico de 162 °C e após iniciou a redução até 67 °C no minuto 18. A partir deste momento houve o aumento gradual da temperatura chegando a 123 °C no minuto 120.
- Na Curva de Crescimento Lento: no minuto 20 teve o pico de 78 °C e após iniciou a redução até 58 °C no minuto 30. A partir deste momento houve o aumento gradual da temperatura chegando a 95 °C no minuto 120.

De maneira muito similar, houve passagem de fumaça no sistema até o fechamento da abertura com a fita intumescente em ambas as curvas. Porém, o tempo e a temperatura de fechamento da abertura foram muito distintos em ambos ensaios. Para a Curva ISO-834 a abertura fechou em 5 minutos com 568 °C; para a Curva de Crescimento Lento em 20 minutos com 347 °C.

Na face quente, como é possível ver na Figura 15, a massa de material intumescente teve o mesmo volume e aspecto físico para os dois ensaios. Assim como a degradação do colar metálico foi a mesma.

5. CONCLUSÃO

Os sistemas de selagem resistentes ao fogo são classificados por ensaios normatizados com o objetivo de medir de forma empírica o desempenho destes sistemas em eventuais incêndios. As curvas padronizadas temperatura-tempo destas normas dificilmente são idênticas aos incêndios reais, uma vez que, além de não considerarem a fase de resfriamento, as variações de cargas incêndios, de taxas de ventilação e a própria localização dos sistemas de selagem alteram a curva de incêndio real.

No ensaio realizado nesta pesquisa foi possível perceber claramente que a taxa de aquecimento influenciou diretamente o tempo de expansão da fita intumescente. Essa variação já era esperada, pois outras pesquisas com tintas intumescentes mostraram esses efeitos da temperatura sobre a intumescência.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

O sistema de selagem avaliado foi o C-AJ-2297 com uma parede de concreto celular autoclavado de 7,5 cm de espessura, tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro aberta (*vented*), fita intumescente e colar metálico ao redor da fita intumescente. Nestas configurações, este sistema foi aprovado tanto para a curva padronizada ISO-834 como para a curva de crescimento lento (*smouldering*) com as classificações de integridade e isolamento para 2 horas de resistência ao fogo. Possivelmente este sistema de selagem será eficiente se aplicado nas edificações do Brasil, mesmo que os sistemas fiquem dentro das cavidades de paredes e forros.

Embora tenha sido aprovado, foi visto que houve variação no critério de isolamento deste sistema de selagem. Em exposição na curva ISO-834 o termopar na face fria teve maior temperatura em comparação com a curva de crescimento lento. Ou seja, quanto mais veloz for o aumento da temperatura, menor será o desempenho de Isolamento.

Visto essa diferença de desempenho do critério de isolamento e já estar sendo utilizado para classificação de tintas intumescentes, fazer a avaliação dos sistemas de selagem para a curva de crescimento lento, se faz muito importante. Porém, o custo de desenvolvimento dos sistemas e soluções terá aumento, pois será necessário fazer o ensaio adicional, além com base na curva ISO-834, com base na curva de crescimento lento.

Uma alternativa possível, ao invés de cada sistema passar pelas duas curvas para ser aprovado e ter aumento de custo, é classificar os sistemas de maneira distinta de acordo com a situação de projeto ou edificação. Por exemplo:

- Desenvolver sistemas de selagem que tenham apenas ensaios com base na curva de crescimento lento. Estes sistemas só podem ser aplicados se estiverem nas edificações dentro das cavidades (paredes ou forros);
- Desenvolver sistemas de selagem que tenham apenas ensaios com base na curva ISO-834. Estes sistemas só podem ser aplicados se estiverem nas edificações totalmente expostos numa situação de incêndio.

Sugestões de pesquisas futuras:

- Avaliar sistemas de selagem que tenham os materiais de intumescentes não expostos diretamente à temperatura, como é o caso do sistema C-AJ-2297, em curva de crescimento



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

lento, como por exemplo sistemas que tenham as fitas intumescentes embutidas nas paredes ou pisos.

- Avaliar o sistema de selagem desta pesquisa para curvas mais agressivas, como hidrocarbonetos por exemplo. Possivelmente, numa curva de hidrocarboneto, por exemplo, o sistema não seja aprovado, pois para a curva ISO-834 o isolamento chegou perto do limite de 180 °C acima da temperatura ambiente.
- Avaliar o aumento de custo para edificações com o incremento do ensaio com a curva de crescimento lento para o sistemas de selagem.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAINCO. **Informe de dezembro de 2018**. [S.I.]. 2018.

ABUSAMHA, N. Effectiveness of Activation for Thin Intumescent Coatings, 2017.

ANDRADE, T.. Compartimentação de edifícios para a segurança contra incêndio, São Paulo, 2018.

ASTM E814. **ASTM E814: Standard Test Method for Fire Tests of Penetration Firestop Systems**. USA. 2017.

AYISWORTH, J. W. **Expanded graphite and composition thereof**, 27 Abril 1915.

BUCHANAN, A. H. Fire performance of timber construction. **Progress in Structural Engineering and Materials**, v. 2, n. 3, p. 278-289, 2000. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1528-2716%28200007/09%292%3A3%3C278%3A%3AAID-PSE33%3E3.0.CO%3B2-P>>.

CARVALHO, V. C. D. A.; FERREIRA, C. A. Efeito da combinação melamina/grafite expansível na proteção antichama em revestimentos intumescentes a base de benzoxazina, Porto Alegre, v. Salão de Iniciação Científica - XXX SIC, 2018.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução técnica nº 08, 09 e 10**. São Paulo: Secretaria de segurança pública, 2019.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

EN 1366-3. **Fire resistance tests for service installations - part 3: penetration seals.** [S.I.]. 2009.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Decreto n.º 51.803, de 10 de Setembro de 2014.** Porto Alegre. 2014.

EVANS, ; GROSS, D.; WRIGHT, R. Test of the Severity of Building Fires. In: LILLE, D. R. **A Century of Excellence in Measurements, Standards and Technology.** [S.I.]: National Institute of Standards and Technology, 2002. p. 28-32.

GALES, J.; MALUK, C.; BISBY, L. **Large-scale structural fire testing – how did we get here, where are we, and where are we going?** 15th International conference on experimental mechanics: Fire symposium. Porto, Portugal: [s.n.]. 2012. p. 22.

GUIMARÃES, P. P. D. O. Sobre o dimensionamento do revestimento contra fogo de estruturas de aço. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2007.

HUMPHREY, R. L. **The fire-resistive properties of various building materials.** Washigton, USA: United states geological survey, 1909.

JIMENEZ, ; DUQUESNE, ; BOURBIGOT,. Intumescent fire protective coating: Toward a better understanding of, Villeneuve-d'Ascq, França, v. 449, n. 1-2, p. 16-26, 2006. Disponivel em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040603106003972>>.

LUCHERINI, A. et al. **Experimental Study of the Behavior of Steel Structures Protected by Different Intumescent Coatings and Exposed to Various Fire Scenarios.** Structures in Fire 2016. Proceedings of the 9th international conference on structures in fire. [S.I.]: DEStech Publications, Inc. 2016. p. 1065-1072.

MELILLO, J. M. A. et al. **Filamentos antichama poli(ácido láctico) / grafite expansível (pla / eg) para impressão 3d.** 15º Congresso Brasileiro de Polímeros (15 CBPOL). Bento Gonçalves, RS: [s.n.]. 2019.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

MESQUITA, L. M. R.; PILOTO, P. A. G.; VAZ, M. A. P. **An experimental study of intumescent fire protection coatings**. Fire Retardant Coating II. Berlin, Alemanha: European Coatings Conference. 2007.

MITTAL, K. L.; PIZZI, A. (Eds.). **Handbook of sealant technology**. [S.l.]: CRC Press, 2009.

NBR 15575-3. **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. [S.l.]. 2013.

OLIVEIRA, R. B. R. S.; MORENO JUNIOR, A. L.; VIEIRA, L. C. M. Tinta intumescente como revestimento de proteção ao fogo. **Revista Ibracon de estruturas e materiais**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 220-243, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952017000100010>>.

PASTL, E. D. A. Proteção passiva. **Revista Emergência**, Novo Hamburgo, v. 126, p. 28-37, Setembro 2019.

RODRIGUES, E. E. C. Análise da Eficiência dos Sistemas de Compartimentação Vertical Externa por Afastamento entre Janelas e por Projeções Horizontais Segundo as Exigências Normativas Brasileiras. **UFRGS**, 2009.

SILVA, D.; BILOTTA, A.; NIGRO, E. Experimental investigation on steel elements protected with intumescent coating. **Construction and Building Materials**, v. 205, p. 232-244, 2019.

SILVA, V. P.; COSTA, C. N.; MELÃO, A. R. Procedimento para redução do tempo requerido de resistência ao fogo de edifícios de múltiplos andares. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 10, n. 5, p. 1141-1162, 2017.

SPECIFIED TECHNOLOGIES INC. **21/2 Minutes To Stop A Fire**. Somerville, USA. 1999.

SPECIFIED TECHNOLOGIES INC. System Search & Submittal Builder. **STI Firestop**, 2020. Disponível em: <<https://systems.stifirestop.com/>>. Acesso em: Setembro 2020.

STAHL,. **Composition of matter for a fire retardant intumescent material having two stages of expansion and a process for making thereof**, 21 Julho 1992.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

THOMAS, G. C. **Fire resistance of light timber framed walls and floors.** Christchurch, Nova Zelândia. 1996.

UL 1479. **UL 1479: Standard for Fire Tests of Penetration Firestops.** USA. 2015.

UNLU, S. M. et al. Effect of boron compounds on fire protection properties of epoxy based intumescent coating, Kayseri, Turquia, p. 1-12, 2016.

WANG, L.; DONG, Y.; ZHANG, D. Experimental Study of Heat Transfer in Intumescent Coatings Exposed to Non-Standard Furnace Curves. **Fire Technology**, v. 51, p. 627-643, 2015.