XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Resistência ao fogo de sistema de vedação vertical estrutural com núcleo de poliestireno expandido

Fire resistance of a vertical structural sealing system with expanded polystyrene core

Amanda de Menezes Mariano
Itt Performance Unisinos| São Leopoldo | Brasil | amandaeng@unisinos.br
Nicolas Gomes Laurentino
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | nicolasgl@edu.unisinos.br
Henrique dos Santos Kramer
Itt Perfromance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | henriquekramer@unisinos.br
Matheus Donadello
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | mdonadello@unisinos.br
Maria Fernanda de Oliveira
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | mariaon@unisinos.br

Resumo

Este trabalho analisou o comportamento de um sistema de vedação vertical com núcleo de poliestireno expandido, quanto aos critérios de resistência ao fogo e o comportamento do núcleo do sistema em relação a reação ao fogo. A análise foi feita por ensaios laboratoriais pelas normas NBR 5628:2001 e NBR 16965:2021. O sistema apresentou perda de capacidade portante, aos 17 minutos, devido a ação conjunta do fenômeno de "thermal bow" e do carregamento aplicado. Por isso, segundo critérios de norma, houve a perda de integridade e de isolamento térmico. Em relação aos ensaios de reação ao fogo, observou-se que o material degradou ao ser atingida a temperatura de 210 °C, mas não apresentou chamas contínuas nem a liberação excessiva de fumaça.

Palavras-chave: Resistência ao fogo. Reação ao fogo. EPS. Sustentabilidade. Segurança contra incêndio.

Abstract

This work analyzed the behavior of a sealing system with expanded polystyrene (EPS) core, in terms of fire resistance criteria and the behavior of the EPS core in relation off ire reaction. The analysis was made by laboratory tests following the Brazilian standards NBR 5628:2001 e NBR 16965:2021. system presented failure of its bearing capacity, at 17 minutes, due to the conjunct action of thermal bow phenomenon and the loading. For this, by standard criteria, its integrity and thermal insulation loss was declared. Regarding the fire reaction tests, it was observed that the EPS degraded when the temperature of 210 °C was reached, but it did not present continuous flames or excessive smoke.

Keywords: Fire resistance. Reaction to fire. EPS. Sustainability. Fire safety.

Como citar:
MARIANO, A. M.; LAURENTINO, N. G.; KRAMER, H. S.; DONADELLO, M.; OLIVEIRA, M. F. Resistência ao fogo de sistema de vedação vertical estrutural com núcleo de poliestireno expandido. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-10.

INTRODUÇÃO

Na escolha de um sistema construtivo, torna-se cada vez mais comum materiais que possibilitem uma maior eficiência no canteiro de obras (diminuição de resíduos, rapidez na execução e durabilidade), priorizando matérias primas reutilizáveis [1]. Dessa forma, incentiva-se o uso das inovações construtivas e o investimento em novas tecnologias que propiciem agilidade, qualidade e eficiência.

Novos métodos e técnicas construtivas que possibilitam o emprego de novos materiais, ganham espaço no mercado [2][3], sendo necessárias as avaliações no âmbito do SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais), originado do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-h), visando a segurança e desempenho de sistemas construtivos ainda não normatizados no Brasil, sendo um destes materiais o EPS (Poliestireno expandido).

Caracterizado como um material leve e de fácil operação, o EPS apresenta participação crescente no setor, podendo ser utilizado em várias aplicações, com a redução de insumos no canteiro de obras e a reutilização da matéria prima [1][4].

Ao incorporar EPS a um sistema construtivo, o isolamento térmico aumenta. Além disso, por conta de seus componentes termoplásticos, entre os quais se pode destacar Óxido de Silício (SiO_2) e Óxido de Ferro (Fe_2O_3), esse material contém de 3 a 6 milhões de células fechadas independentes por metro cúbico de volume e mais de 98% de ar, sendo que seu núcleo possui propriedades mecânicas, resistência à umidade e a produtos químicos [3][4].

No entanto, devido as suas propriedades mecânicas, a aplicação do EPS é restrita sem que haja a incorporação de outro material como, por exemplo, placas de estruturais de concreto. Essa combinação com outros elementos construtivos pode ser utilizada em sistemas de vedações verticais com e sem função estrutural [1]. Além disso, sua estrutura reticulada é ideal para a redução de cargas em componentes estruturais, sendo utilizados em painéis do tipo sanduíche, formados por núcleo em EPS, armadura, emboço e revestimento argamassado [3].

Outro requisito necessário ao sistema é a segurança contra incêndio, avaliada com o ensaio prescrito na norma NBR 5628 - Componentes construtivos estruturais - Ensaio de resistência ao fogo [6]. Além disso, apesar de o EPS ter um comportamento conhecido, diferentes fabricantes possuem variações na formulação que impactam no comportamento final do produto, faz-se necessária a realização dos ensaios de reação ao fogo [2]. Podem ser utilizados os ensaios conforme as normas: ISO 11925-2 "*Ignitability of products subjected to direct impingement of flame — Part 2: Single-flame source test"* [7], ISO 1182 *"Buildings materials – non – combustibility test"* [8] e ASTM E662 *"Specific Optical Density of Smoke Generated By Solid Materials"* [9].

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar o comportamento do EPS frente a altas temperaturas de situação de incêndio. O material foi estudado isoladamente, em testes de reação ao fogo, e como preenchimento de sistema de vedação vertical com

função estrutural. Destaca-se que a classificação do material e/ou do sistema construtivo não é um objetivo deste trabalho.

METODOLOGIA

Para analisar o comportamento do EPS foram realizados ensaios de reação ao fogo do material isoladamente e de resistência ao fogo do material compondo o preenchimento de um sistema de vedação vertical.

REAÇÃO AO FOGO

Foram realizados ensaios de reação ao fogo com o EPS utilizado como núcleo do sistema. Sendo os ensaios realizados: incombustibilidade, conforme a norma ISO 1182 [8], ignitabilidade, conforme a norma ISO 11925-2 [7] e densidade óptica de fumaça, com procedimentos da ASTM E662 [9]. Salienta-se que, embora esses ensaios sejam utilizados para a caracterização de materiais de revestimento, os resultados obtidos permitem entender o comportamento do material em relação as diferentes fases de um incêndio.

INGNITABILIDADE

O ensaio de ignitabilidade foi realizado para a compreensão do comportamento do material quando exposto ao fogo direto como, por exemplo, no caso da ocorrência de fissuras no revestimento. Sua execução ocorreu de acordo com a metodologia normativa, utilizando quatro exemplares, dois em situação de borda e dois em situação de superfície. Na Figura 3 estão apresentadas as amostras anteriormente a realização do ensaio.

Figura 3: Exemplares utilizados no ensaio de ignitabilidade, sendo: aplicação de chama na borda (duas imagens à esquerda) e aplicação de chama na superfície (duas imagens à direita)



Fonte: Os autores.

INCOMBUSTIBILIDADE

Para a realização do ensaio de incombustibilidade, foram ensaiados dois exemplares, com dimensões 50 x 40 mm, com intuito de determinar a temperatura de degradação térmica do material. O primeiro ensaio foi realizado uma taxa de aquecimento de 20 °C/min, elevando a temperatura de 50 °C até 750 °C (ou até a degradação completa do

material), e o segundo exemplar foi submetido diretamente a temperatura de degradação constatada na primeira amostra, para verificar se haveria a ignição do material ou somente degradação e perda de massa. A mudança de procedimento foi necessária pois o EPS degrada instantaneamente ao ser aproximado do forno na temperatura de ensaio convencional (750°C). Os exemplares utilizados nesse ensaio estão apresentados na Figura 4.

Figura 4: Exemplares utilizados no ensaio de incombustibilidade



Fonte: Os autores.

DENSIDADE ÓPTICA DE FUMAÇA

Apesar da amostra não se tratar de um material de acabamento, identificou-se a necessidade de verificar-se a quantidade de fumaça que seria emitida caso o material entrasse em contato com uma fonte de calor. Sendo necessária a realização do ensaio de densidade óptica de fumaça. Atualmente, as normativas de resistência ao fogo não avaliam sistemas em relação a quantidade de fumaça gerada, porém normas referentes a reação ao fogo dos materiais de acabamento exigem esse controle. O procedimento seguiu a ASTM E662 [9] sem alterações em sua metodologia. Na Figura 5 estão apresentados os exemplares utilizados para a realização do ensaio.

Figura 5: Exemplares utilizados no ensaio de Densidade óptica de Fumaça - ASTM E662



Fonte: Os autores.

SISTEMA AVALIADO

O sistema avaliado possui núcleo composto por painéis de EPS tipo F3, com densidade de 15 kg/m³, dividido em módulos de 100 cm de largura e 9 cm de espessura. Para o reforço estrutural foi utilizado tela de aço CA 60 eletro soldada com espaçamento de 15 x 15 cm e Ø 4,2 mm, em ambas as faces. Já para o revestimento utilizou-se chapisco e reboco, em ambas as faces, totalizando 30 mm de espessura. O traço da argamassa utilizada foi 1:2,5:2,5 (cimento, areia fina e pó de pedra) com relação a/c 0,3.

O sistema não possuía juntas ou abertura, tendo dimensões totais de 280 x 314 cm (altura x largura). Sua execução ocorreu sobre estrutura metálica móvel, onde permaneceu por 35 dias a temperatura ambiente, protegido de intempéries. A Figura 1 apresenta etapas da execução do sistema.

Figura 1: Montagem do sistema, sendo: o núcleo e tela de aço (à esquerda), núcleo com chapisco (ao centro) e o sistema rebocado (à direita)

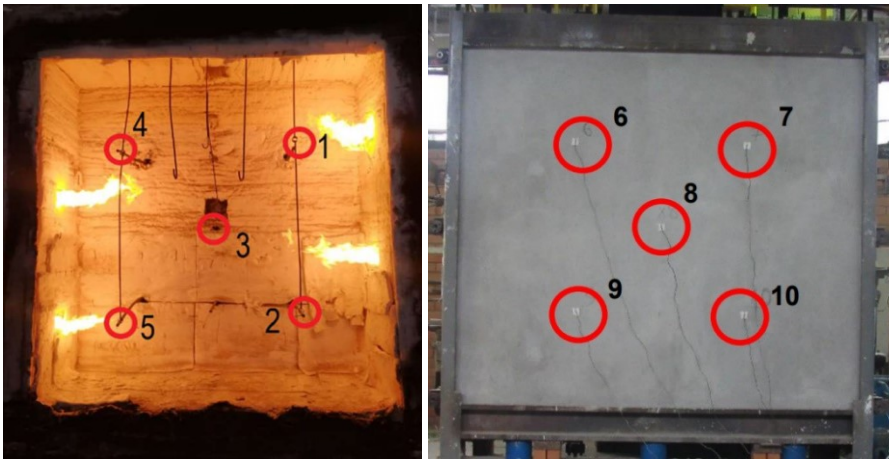


Fonte: Os autores.

RESISTÊNCIA AO FOGO

Para a avaliação do sistema quanto a resistência ao fogo, foi realizado o ensaio seguindo as recomendações das normas NBR 5628 [6] e NBR 16965 “Ensaio de resistência ao fogo de elementos construtivos – Diretrizes gerais” [10]. Para o ensaio utilizou-se um forno vertical, capaz de aquecer a amostra conforme a curva padrão de incêndio prescrita nas normas supracitadas, sendo a superfície exposta às elevadas temperaturas de 250x250 cm, com 4 queimadores alimentados por gás liquefeito de petróleo (GLP). Para a instrumentação do ensaio, foram utilizados 10 termopares tipo K para a medição de temperatura, sendo cinco para medições internas e cinco para medições externas. A localização dos termopares está apresentada na Figura 2.

Figura 2: Localização dos termopares internos (à esquerda) e externos (à direita)



Fonte: Os autores.

Foram avaliados três aspectos conforme a norma: capacidade portante, integridade e isolamento térmico. Para o primeiro quesito, o sistema foi submetido a um carregamento de 12 tf/m durante todo o período de aquecimento, produzindo esforços de natureza próxima a sofrida pela estrutura em situações reais. Ao longo do ensaio verificou-se deformações ou sinais de instabilidade que possam caracterizar sua perda de resistência mecânica do sistema. A norma ainda exige que, se possível, o carregamento deve ser reaplicado 24 horas após o fim do aquecimento.

Na avaliação do quesito de estanqueidade é verificado se, durante a exposição ao fogo, o sistema permite a transmissão das chamas ou de gases quentes para o lado não exposto. Para a verificação aproxima-se um chumaço de algodão, seco em estufa com dimensões 100 x 100 x 20 mm, de pontos críticos do sistema. Sendo constatada a reprovação do quesito se houver a ignição do algodão ou se for verificada a perda de capacidade portante do sistema.

Quanto a análise do isolamento térmico, foram medidas as temperaturas na face não exposta ao fogo com os termopares apresentados na Figura 2. Considera-se que o sistema teve desempenho satisfatório neste quesito se não for constatado aumento de temperatura, na face não exposta, acima da temperatura inicial, superior em média a 140 °C e em qualquer ponto a 180 °C. Assim como o critério de integridade, há a reprovação quanto ao isolamento térmico se o sistema perder sua capacidade portante.

Por fim, foram realizadas observações durante e após o ensaio com o intuito de entender o comportamento do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

REAÇÃO AO FOGO

IGNITABILIDADE

Ao ser realizado o ensaio de ignitabilidade com o EPS, utilizado no núcleo do sistema, verificou-se que todos os exemplares apresentaram ignição no momento do contato

da chama com o material, mas não houve sustentação desta. Isso pode ser atribuído, possivelmente a ativação do hexabromociclododecano (HBCD), composto retardante de chamas utilizado na produção do EPS [17]. Além do fato, que o material possui baixa densidade, tendo rápida ignição, contribuindo para o crescimento inicial do incêndio, porém, sua massa não se mantém para auxiliar na propagação das chamas [2]. Esse comportamento, foi verificado durante o ensaio, pois, não houve a sustentação e propagação da chama pelo material além do permitido pela norma, mesmo com a ocorrência da degradação deste. Na Figura 9 está apresentado o aspecto final dos exemplares.

Figura 9: Exemplares pós-ensaio de ignitabilidade - ISO 11925-2:2020



Fonte: Os autores

INCOMBUSTIBILIDADE

Na realização do ensaio de incombustibilidade, foi observado que ambos os exemplares de EPS ensaiados não apresentaram combustão, mas sim degradação térmica. Isso se deve, possivelmente, a inclusão de HCBD ou à falta de O_2, impossibilitando a sua combustão [17]. Ainda, estudos indicam que para a ocorrência de Flashover, o material deve estar exposto a uma temperatura de aproximadamente 490°C, possibilitando assim, sua autoignição [2]. A temperatura em que ocorreram as degradações das amostras foi de aproximadamente 210 °C, ocorrendo apenas seu derretimento.

DENSIDADE ÓPTICA DE FUMAÇA

A partir do ensaio de densidade óptica de fumaça, constatou-se que, assim como os outros ensaios de reação ao fogo, o EPS degradou e houve transmitância de 99%, ou seja, não houve produção excessiva de fumaça.

Salienta-se que mesmo com baixa produção de fumaça, a liberação de voláteis pelo EPS pode ser tóxica e danosa à saúde do ser humano [18]. Contudo, tal critério não é avaliado em ensaio de resistência ao fogo, mas requer estudos futuros, para que se possa analisar a toxicidade do material e seu malefício.

RESISTÊNCIA AO FOGO

CAPACIDADE PORTANTE

Durante a aplicação de carga a amostra apresentou fissuras verticais na região superior, que após 14 minutos de aquecimento se intensificaram, como podem ser observadas na Figura 6. Essas fissuras indicam deformação da amostra e logo após nos 16 min de ensaio surgiu uma fissura horizontal em seu centro; seguida do alívio da carga aplicada, devido ao alívio das tensões pela por suas deformações. Segundo a metodologia de ensaio, a carga nominal deve ser mantida aplicada durante todo o período de aquecimento, logo, o sistema de aplicação de carga foi avançado na tentativa de chegar à carga determinada. Mas, constatou-se que a amostra não possuía mais capacidade portante, pois não havia mais aumento das tensões geradas, dessa forma o ensaio de resistência ao fogo foi encerrado.

As deformações se deram, possivelmente, devido a ocorrência do fenômeno "*thermal bow"* que é o arqueamento da parede devido a expansão oriunda das tensões térmicas, como é possível de ser visto na Figura 6. Pela amostra ter sido exposta em apenas uma de suas faces, as expansões sofridas na face exposta ocorreram mais rapidamente do que na outra face. Por isso, houve o arqueamento da amostra em direção ao interior do forno, diminuindo a sua resistência [11]. Além disso, é possível que o carregamento possa ter intensificado a severidade do fenômeno. A ação conjunta do *"thermal bow"* e do carregamento resultou em uma deformação transversal de 67 mm.

O sistema avaliado apresentou capacidade portante durante 17 minutos de ensaio, sendo um resultado inferior ao requisito mínimo para qualquer tipo de uso indicado na NBR 14432 [12].

Figura 6: Amostra pós-ensaio, face exposta às altas temperaturas (imagem à esquerda) e não exposta às altas temperaturas (imagem à direita)



Fonte: Os autores.

Detalhes do núcleo da amostra após o ensaio estão expostos na Figura 7, onde é possível de observar que em alguns locais ocorreram apenas a degradação do EPS e em outros o seu consumo, tais critérios podem ser analisados a partir dos testes de reação ao fogo.

Figura 7: Degradação do EPS e desplacamento do revestimento



Fonte: Os autores.

INTEGRIDADE

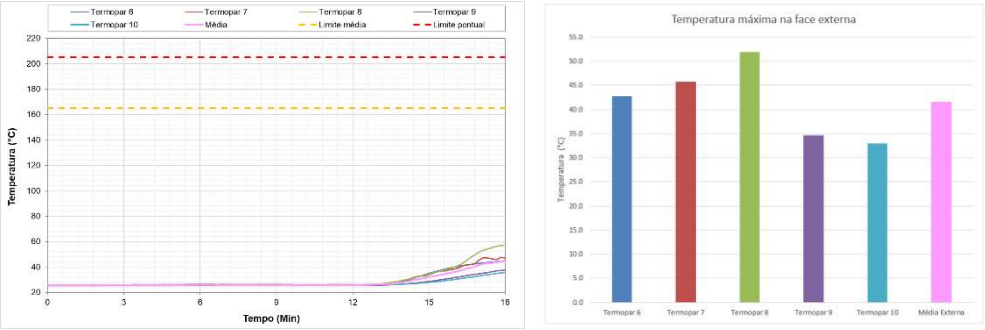
Como discutido no item anterior, ao longo do ensaio houve aumento considerável de fissuras na face não exposta do sistema. Esse fato pode acarretar a transmissão de chamas do lado exposto para o não exposto e, ainda, permitir a passagem de fumaça ou gases tóxicos [13]. Entretanto, foi realizado um teste de estanqueidade aos 14 minutos, sem ignição do chumaço de algodão. Esse comportamento é comumente evidenciado em sistemas compostos por mais de uma camada, onde as camadas externas sofrem fissuração e o interior se mantem com maior integridade como, por exemplo, paredes executadas em alvenaria [14].

Embora tenha mantido sua integridade devido a não ignição do algodão, a amostra reprova nesse quesito devido a perda de capacidade portante.

ISOLAMENTO TÉRMICO

Ao longo do ensaio, a temperatura da face não exposta foi monitorada para verificar o aumento de temperatura devido a condução térmica da face exposta em direção a não exposta. A temperatura ambiente no início do ensaio era de 25,1 °C, limitando os aumentos de temperatura médio e em qualquer ponto em 165,1 °C e 205,1 °C, respectivamente. Os valores de temperatura na face não exposta e os limites estão expostos na Figura 8.

Figura 8: Análise gráfica dos resultados dos termopares na face não exposta ao fogo, imagem à esquerda temperaturas ao longo do ensaio e à direita temperaturas máximas.



Fonte: Os autores.

Observa-se que o sistema apresentou isolamento térmico na maior parte do ensaio, mantendo a temperatura da face não exposta em torno de 24 °C, provavelmente devido ao EPS e a argamassa serem bons isolantes térmicos [15][16]. Mas quando iniciado o aumento excessivo das deformações e exposição do núcleo, coincidindo com o aumento das fissuras aos 14 minutos, houve o aumento de temperatura. Porém, os aumentos de temperatura não foram suficientes para ultrapassar os limites normativos.

Bem como o quesito de integridade, a reprovação no quesito de capacidade portante acarreta a falha do quesito de isolação térmica.

CONCLUSÃO

De uma maneira geral, foi possível verificar que o sistema avaliado possuí desempenho inferior a outros sistemas, comumente utilizados na construção civil, quanto sua resistência ao fogo. Algumas conclusões podem ser tomadas a partir dos resultados de sua resistência ao fogo e da reação ao fogo de seu núcleo:

- O sistema apresentou desempenho inferior ao atingido por sistemas convencionais quanto a resistência ao fogo, devido a falha no quesito de capacidade portante, o que pode ter decorrido de uma ação conjunta do fenômeno *"thermal bow"* e do carregamento;
- A perda de capacidade portante do sistema acarretou a reprovação dos quesitos de integridade e isolamento, segundo a NBR 16965 (2021).
- Com os ensaios de reação ao fogo, obteve-se um melhor entendimento do comportamento do núcleo frente ao fogo. Observou-se que o material apresenta uma degradação de temperatura à 210 °C, sem sustentação.
- Verificou-se que ao ser exposto a fonte de calor, o material do núcleo não gerou fumaça de maneira excessiva. Mas, os compostos liberados podem ser nocivos à saúde.

REFERÊNCIAS

[1] SULONG, N. H. R; MUSTAPA, S. A. S; RASHID, M. K. A. Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and construction: A review. **Journal of Applied Polymer Science**, p – 47529 – 47548, 2019, DOI: 10.1002/APP.47529

[2] DOROUDIANI, S.; OMIDIAN H. Environmental health and safety concerts of decorative mouldings made of expaned polystyrene in buildings. **Building and Environment**, v. 45, p-647-654, 2010. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.08.004

[3] A. Michel Murillo, G. Valery Abisambra, P. Aura Acosta, Q. Claudia Quesada, Bernardo F. Tutikian, Hinoel Z. Ehrenbring. Comparison of the fire resistance behaviour of structural insulated panels with expanded polystyrene core treated with intumescent coating. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 12, p 1958-1969, 2021. DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.03.079.

[4] Luyao Wang, Cheng Wang, Pingwei Liu, Zhijiao Jing, Xuesong Ge, Yijun Jiang. The flame resistance properties of expandable polystyrene foams coated with a cheap and effective barrier layer. **Construction and Building Materials**, v. 176, p. 403-414, 2018. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.023.

[5] MAHDI, S; MOHAMED ALI, M.S.; SHEIKH, A.H; ELCHALAKANI, M.; XIE, T. An investigation into the feasibility of normal and fibre-reinforced ultra-high performance concrete multi-cell and composite sandwich panels. **Journal of Building Enginnering**, v. 41. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102728

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628** - Componentes construtivos estruturais - determinação de resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

[7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11925-2** - Reaction to fire tests. Ignitability of products subjected to direct impingement of flame Single-flame source test. 2022

[8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1182** - Reaction to fire tests for products - non-combustibility test. 2013

[9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E662** - Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials. 2021

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16965** - Ensaio de resistência ao fogo de elementos construtivos – Diretrizes gerais. Rio de Janeiro, 2021.

[11] NADJAI, A.; O'GARRA, M.; ALI, F. Finite element modelling of compartment masonry walls in fire. **Computers & Structures**, v. 81, p. 1923 – 1930, 2003. DOI: 10.1016/S0045-7949(03)00212-8

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432** - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

[13] SOUZA, R. P. **Avaliação da influência da espessura do revestimento argamassado e do carregamento no comportamento da alvenaria frente a altas temperaturas**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Vale do Rio dos Sinos. 2017.

[14] DUPIM, R. H. **Resistência residual de compressão de blocos, prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto submetidos à situação de incêndio**. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, 2019.

[15] KHAN, M. I. Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models. **Buildings and Enviroment**, v. 37, p. 607 – 614, 2002. DOI: 10.1016/S0360-1323(01)00061-0

[16] KHOUKHI, M. *et al.* Impact of dynamic thermal conductivity change of EPS insulation on temperature variation through a wall assembly. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 25, 2021. DOI: 10.1016/j.csite.2021.100917

[17] ABARCA, S. A. C. **Obtenção de poliestireno expansível com retardância à chama via produção in situ**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

[18] ZHOU, K.; GUI, Z.; HU, Y. The influence of graphene based smoke suppression agents on reducedfire hazards of polystyrene composites. **Composites: Part A**, v. 80, p. 217 – 227, 2016. DOI: 10.1016/j.compositesa.2015.10.029