

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO NO DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DE SELANTES APLICADOS EM SUBSTRATO DE ARGAMASSA

Mendes, Rita Russo ¹; Santos, Sílvia ²; Sagave, André Matte ³; Moresco, Caroline Venâncio ⁴.

¹ Eng. Civil, Universidade do Vale do Itajaí, rita.russolima@hotmail.com

² Dra. Eng. Civil, Universidade do Vale do Itajaí, ssantos@univali.br

³ Msc. Eng. Civil, Universidade do Vale do Itajaí, sagave@univali.br

⁴ Dra. Eng. Civil, Universidade do Vale do Itajaí, caroline.venancio@univali.br

Resumo: As edificações proporcionam segurança e estabilidade aos usuários. As fachadas, como envoltórias de uma edificação, devem ser bem projetadas de modo que as acomodações e exposições externas não influenciem na qualidade de vida dos moradores. Por isso, conhecer o desempenho das juntas seladas, usualmente aplicadas em fachadas, se torna indispensável, devido às elevadas variações de temperatura que geram dilatação térmica entre os materiais e, consequentemente, movimentação do sistema. Diante deste cenário, esta pesquisa objetivou a análise do desgaste mecânico e físico de selantes, utilizados na construção civil quando expostos a certas intempéries ao longo da sua vida útil, por meio de um processo de envelhecimento. Dois tipos de selante foram estudados, um híbrido (MS) e outro de poliuretano (PU). Um grupo foi submetido a ciclos de exposição de temperatura (70 °C) em estufa e imersão em água (23 °C), denominado E/A (estufa/água), conforme estabelecido pela NBR 10591(2021). Outro grupo foi submetido ao desgaste por meio do aquecimento em uma estufa de envelhecimento, com a utilização de lâmpadas halógenas (EC – estufa/calor) que atingiram picos de temperatura de 117 °C. Para avaliar o desgaste dos selantes realizou-se cálculos de alongamento na ruptura, módulo de elasticidade secante e índice de envelhecimento de adesão. Dentre os resultados obtidos percebeu-se que a maior degradação ocorreu na exposição de EC, em que os selantes PU apresentaram ruptura precoce, esfarelamento e fissuras. Neste mesmo ensaio as amostras do selante MS apresentaram sinais de fissuras e perda de adesão nas extremidades ocasionando diminuição em 50% no alongamento comparado a exposição E/A.

Palavras-chave: Selantes, Fachadas, Ensaio de envelhecimento acelerado.

Abstract: Buildings provide safety and stability for users. Facades, as the outer envelope of a building, must be properly designed so that external accommodations and exposures do not negatively impact residents' quality of life. Therefore, understanding the performance of sealed joints, commonly applied in facades, becomes essential due to the significant temperature variations that cause thermal expansion among materials and, consequently, movement within the system. In this context, the present study aimed to analyze the mechanical and physical degradation of sealants used in civil construction when exposed to certain weathering conditions over their service life, through an accelerated aging process. Two types of sealants were evaluated: a hybrid sealant (MS) and a polyurethane-based sealant (PU). One group was subjected to cyclic exposure to high temperature (70 °C) in an oven and water immersion (23 °C), referred to as O/W (oven/water), in accordance with NBR 10591 (2021). Another group was exposed to accelerated weathering through heating in an aging oven equipped with halogen lamps (OH – Oven/Heat), reaching peak temperatures of 117 °C. To assess sealant degradation, elongation at break, secant modulus of elasticity, and adhesion aging index were calculated. Among the results obtained, the greatest degradation occurred under HL exposure, where PU sealants showed early failure, crumbling, and cracking. In the same test, MS sealant samples exhibited signs of cracking and loss of adhesion at the edges, resulting in a 50% reduction in elongation compared to the O/W exposure.

Keywords: Sealants, Facades, Accelerated aging test.

1. Introdução

As edificações são entendidas como um conjunto de sistemas construtivos interligados, a fim de garantir ao usuário, segurança e estabilidade, de acordo com o ambiente no qual estão incorporadas. As fachadas, faces externas do edifício, são as que mais sofrem degradação devido à variação de temperatura, presença de umidade, choque térmico, entre outros fatores [1]. Estas intempéries causam uma série de anomalias na edificação que afetam diretamente a sua vida útil, tornando elevado o custo para a correção do sistema [2].

Um dos recursos utilizados na construção civil para proteger a estrutura dessas ações é o uso dos selantes, que tem como finalidade selar as juntas ou aberturas garantindo a dissipação das tensões em substratos de diferentes ou iguais materiais, pois previne a entrada de ar e água [3].

No entanto, os selantes também sofrem desgastes naturais, como todos os outros elementos presentes na construção civil. Os selantes estão sujeitos a diversas solicitações, entretanto, alguns autores [4] destacam que as mais evidentes, para as juntas com selantes aplicadas na construção civil, são as de expansão, contração e cisalhamento. Estas movimentações podem ocorrer de forma individual ou conjunta.

Para avaliar o tempo de desgaste de forma preventiva em laboratório, emprega-se o ensaio de envelhecimento acelerado, com simulações de exposição dos selantes às intempéries e por meio de ciclos de molhagem e secagem, ou alterações bruscas de temperatura, causando as devidas alterações físicas e químicas na estrutura do material, as quais afetam diretamente o seu desempenho e a sua durabilidade.

Diante deste cenário e problemas patológicos incidentes em fachadas que decorrem do desgaste dos selantes, objetivou-se analisar o desgaste mecânico e físico de selantes para construção civil quando expostos às intempéries ao longo da sua vida útil, por meio de processos de envelhecimento acelerado.

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

Os materiais utilizados na presente pesquisa foram fornecidos por algumas empresas, sem custos para os autores. A fim de analisar o desgaste dos selantes, utilizados em fachadas, quando submetidos a um processo de envelhecimento, produziu-se amostras formadas por dois corpos de prova de argamassa e uma camada de selante no meio, com exposição a estufa de calor por meio de lâmpadas halógenas e ciclos de aquecimento em estufa e imersão em água. A norma NBR ISO 10591 [5] determina que para cada material testado devem ser elaboradas três amostras. Nesta pesquisa, utilizou-se a quantidade de sete corpos de prova para cada material e condicionamento, para valores de média e desvio padrão mais confiáveis.

Para a produção dos substratos em argamassa, utilizou-se um cimento CII F 40, uma areia natural e a água utilizada foi fornecida pela rede pública municipal.

Dois tipos de selantes foram testados, um do tipo MS (polímero híbrido modificado com silano – *Modified Silane*) e outro de Poliuretano (PU). Esta pesquisa mantém de forma anônima a marca dos selantes e para tanto, a ficha técnica do selante MS, apresentada pelo fabricante, consta na Tabela 1.

Tabela 5: Especificações do selante do tipo MS fornecidas pelo fabricante

Propriedades	Referência	Dados técnicos
Base química	-	MS Polymer
Cor	-	Branco, cinza, marrom e preto
Densidade	ASTM D1475	1,50 – 1,65 g/cm ³
Consistência	ASTM D2202	Tixotrópico (não escorre)
Tempo de formação de pele	ASTM C679	10 – 30 min.
Velocidade de cura (23 °C/50% u.r.)	-	2,50 – 4 mm/24 horas
Dureza shore A	ASTM C661	25 - 35
Capacidade de movimentação da junta	ASTM C719	±50%
Módulo de elasticidade	ASTM D412	Baixo ($M_{100\%} \leq 0,4$)
Tensão de ruptura – Resistência à tração	ASTM D412	1,0 N/mm ²
Temperatura de aplicação (superfície)	-	5 °C a 40 °C
Resistência à temperatura	Temperatura de trabalho	- 40 °C à 100 °C
	4 horas	120 °C
	1 hora	140 °C
Resistência à Salt Spray	ASTM B117	1500 horas
Resistência à Kesternich	DIN 50018	30 ciclos
Resistência a raios U.V.	-	8000 horas
Estocagem	-	5 °C à 25 °C
Validade	-	12 meses

Fonte: Fabricante selante MS

A ficha técnica do selante do tipo PU é apresentada na Tabela 2.

Tabela 6: Especificações do selante do tipo PU fornecidas pelo fabricante

Base Química	Polímero Híbrido
Tack-Free (min)	30
Cura 24 horas (mm)	2,5
Escorrimento (mm)	0 a 2
Densidade (g/cm ³)	1,7
Dureza (Shore A)	30 a 40
Resistência à temperatura	-40 °C a 90 °C
Tensão na Ruptura (MPa)	1,0
Alongamento na ruptura (%)	110
Módulo a 100 % (MPa)	0,4
Capacidade de Movimentação (%)	20,0
Resistência ao UV (h)	1800

Fonte: Fabricante selante PU

Alguns fabricantes citam que de acordo com a superfície em que o selante será aplicado, pode ser necessário o uso de preparadores, para promover aderência entre o substrato e o selante. Para esta pesquisa não foi necessário, devido ao fato de os corpos de prova de argamassa apresentarem rugosidade e de que os selantes utilizados não necessitavam desta preparação, por recomendações dos fabricantes destes produtos específicos.

As lâmpadas utilizadas para o condicionamento das amostras em estufa com lâmpadas halógenas, foram da marca Lumanti de 70 W.

2.2 Métodos

O traço da argamassa adotado foi o da argamassa padrão, determinada pela NBR 16738 [6], onde o traço, em massa, é de 1:3. No entanto, não se utilizou a areia padrão do IPT. Apenas foram utilizadas as frações granulométricas determinadas pela norma e feita a composição granulométrica com uma areia natural. Assim, procedeu-se com o peneiramento de uma areia natural e a curva granulométrica da areia foi montada de acordo com a mesma adotada para a argamassa padrão.

As argamassas que receberam os selantes e ficaram apenas mantidas em sala climatizada, com temperatura e umidade relativa do ar controladas, são as amostras de referência. As demais amostras que foram submetidas ao ensaio de envelhecimento, primeiramente receberam o condicionamento A (normativo) e depois submetidas a dois processos distintos de envelhecimento. E por fim, todas as amostras foram submetidas ao ensaio mecânico de resistência à tração conforme determina a norma NBR ISO 10591 [5].

Os procedimentos experimentais iniciaram com a confecção do molde de madeira para a moldagem das argamassas e assim, prosseguiu-se com a aplicação dos selantes entre as amostras cimentícias. O aspecto final das amostras são apresentadas na Figura 1.

Figura 5: Amostras de argamassa com os selantes aplicados e a amostra submetida ao ensaio de tração



O método utilizado para a preparação da argamassa foi uma adaptação do procedimento M1 expresso nas normas NBR 16738 [6] e NBR 13640 [7], no qual o preenchimento do corpo de prova foi realizado em duas etapas, com 60 golpes a cada camada aplicada. Após 24h foi realizada a desforma e o lixamento manual com escova de aço de cada peça de argamassa para garantir a rugosidade da superfície. A cura dos corpos de prova foi de 28 dias.

Depois da cura das argamassas, fez a aplicação da camada de selante de acordo com os requisitos da norma NBR 13640 [7]. De todas as amostras produzidas, 14 foram condicionadas em uma câmara com temperatura e umidade relativa do ar, controladas. A temperatura ambiente foi 23 ± 2 °C e a umidade relativa do ar de $80 \pm 5\%$. Estas amostras permaneceram sem nenhum processo de envelhecimento, para que se obtivesse 7 amostras de referência do selante PU e 7 amostras do selante MS. Para as amostras submetidas ao processo de envelhecimento, todas, primeiramente, foram submetidas ao Condicionamento A, onde estas permaneciam sete dias em temperatura ambiente 25 ± 2 °C e umidade relativa do ar $80 \pm 5\%$, de acordo com a norma NBR ISO 10591 [5]. Após este condicionamento A, as amostras foram submetidas aos dois ensaios de envelhecimento.

2.2.1 Condicionamento estufa/água (E/A)

Neste processo de envelhecimento as amostras foram submetidas ao condicionamento A e depois no condicionamento B, este último, assim denominado na norma NBR ISO 10591 [5], e, nesta pesquisa, este condicionamento foi denominado condicionamento E/A. Devido às limitações dos horários de funcionamento do laboratório e disponibilidade, fez-se algumas adaptações nos prazos prescritos por norma.

Com as alterações dos prazos prescritos pela norma, as amostras permaneceram 4 dias em estufa, um dia imersas em água, quatro dias em estufa, um dia imersas em água, um dia em temperatura ambiente, 6 dias imersas em água e um dia em temperatura ambiente. A temperatura da estufa foi sempre de 70 ± 2 °C e a temperatura ambiente, controlada e igual a 23 ± 2 °C, mesma temperatura da água utilizada para a imersão das amostras.

2.2.2 Condicionamento estufa e calor por meio de lâmpadas halógenas (EC)

Primeiramente, as amostras foram submetidas ao condicionamento A e depois submetidas ao calor, na estufa com lâmpadas halógenas. A estufa de calor, construída com lâmpadas halógenas foi elaborada com base nas pesquisas de [8] e [9], os quais submeteram os corpos de prova a temperaturas de 70 °C e 80 °C por meio de lâmpadas. Nestas pesquisas, os autores utilizaram em média 3500 W/m² de exposição. Para simular condições reais da ação do calor nas amostras, a pesquisa de [10] analisou a incidência solar em fachadas e percebeu que em alturas superiores a 20 m, a exposição média é de 2000 W/m² enquanto alturas inferiores a 10 m a exposição encontrada é de 200 W/m². Para esta pesquisa adotou-se 1110 W/m² de exposição e para isso, na estufa, foram colocadas 4 lâmpadas halógenas de 70 W.

A Figura 2 ilustra as amostras posicionadas dentro da estufa para exposição às lâmpadas.

Figura 6: Amostras de argamassa com selantes dentro da estufa de calor, gerado por incidência de lâmpadas halógenas, durante o ensaio de envelhecimento no condicionamento EC



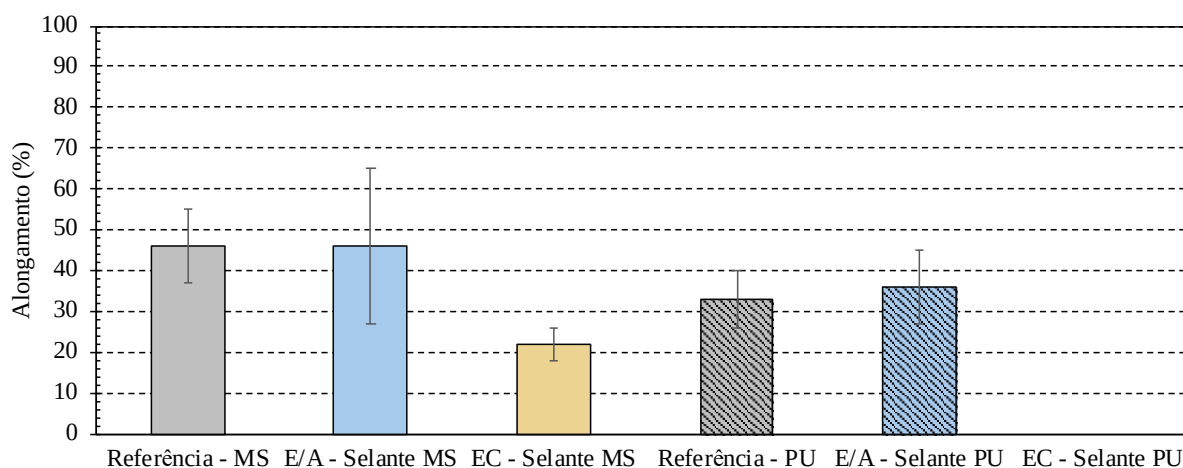
2.2.3 Ensaio de tração – Alongamento até ruptura

Para o ensaio de tração com alongamento até a ruptura, os corpos de prova depois do condicionamento E/A e EC, foram submetidos ao ensaio de tração, numa velocidade de $7,0 \pm 0,7$ mm/min com célula de carga de 20 kN, conforme determina a norma NBR ISO 10591 [5]. Para a realização do ensaio, um suporte foi confeccionado para exercer a força de tração na amostra. Como modelo do suporte, utilizou-se o trabalho de [3]. Com os resultados obtidos durante este ensaio, o equipamento utilizado forneceu gráficos de tensão x deformação, dos quais, determinou-se o módulo de elasticidade secante das amostras.

3. Resultados

O alongamento dos selantes após ruptura à tração, para uma análise comparativa dos dois tipos de selante, MS e PU, está apresentado na Figura 3.

Figura 7: Comportamento do alongamento do selante nas amostras de argamassa, para comparar a influência dos processos de envelhecimento



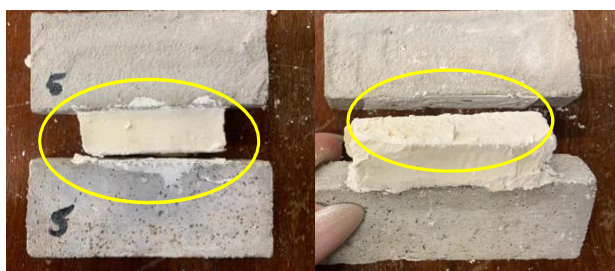
Percebeu-se que os valores médios calculados não apresentaram diferença significativa entre as amostras de referência e o condicionamento E/A. As amostras submetidas ao condicionamento EC com selante MS, apresentaram média de alongamento de 22% e desvio padrão 0,04 e sua degradação foi evidente. Antes de serem colocadas na prensa, as amostras já apresentavam sinais de falhas coesivas e adesivas (Figura 4).

Figura 8: Falhas coesivas e adesiva nas amostras com selante MS após o condicionamento EC, antes da sua submissão ao ensaio de tração



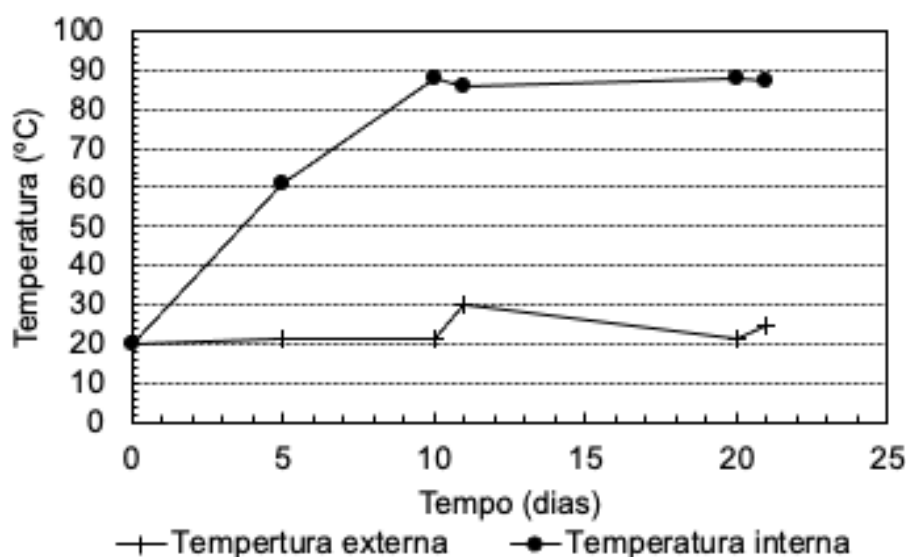
Para as amostras com selante PU, o fabricante estabelece o limite de alongamento na ruptura, de 110%. Nenhuma das amostras obteve este resultado (Figura 5), inclusive aquelas que não sofreram nenhum tipo de exposição. O alongamento na ruptura das amostras com selante PU apresentou um valor médio de 33%. Pela Figura 5 percebeu-se que não houve diferença significativa de alongamento do selante mesmo após o ensaio de envelhecimento E/A. As amostras de selante PU submetidas à exposição EC não foram ensaiadas à tração. Essas amostras apresentaram alto sinal de degradação a partir de falhas coesivas e adesivas. Entre eles, alteração de coloração, enrijecimento, esfarelamento, conforme representado na Figura 5.

Figura 9: Perda de aderência dos selantes do tipo PU após ensaio de envelhecimento em estufa de calor, por meio de lâmpadas halógenas



Estas falhas apresentadas podem ser explicadas devido a exposição a altas temperaturas. O fabricante informa que o material resiste a uma variação de temperaturas de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante o período de exposição ao calor na estufa com lâmpadas halógenas, verificou-se que a temperatura não foi superior a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na Figura 6 está o controle da temperatura da estufa com lâmpadas halógenas, durante o ensaio de Condicionamento EC.

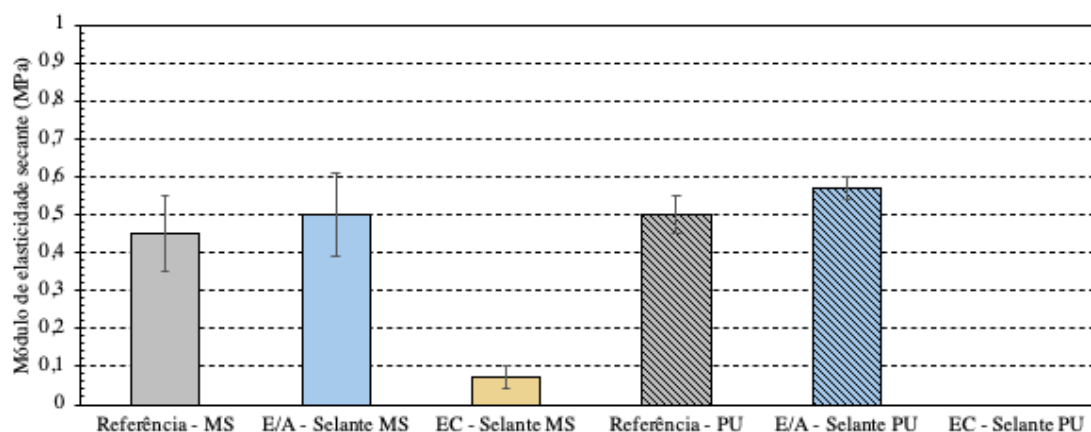
Figura 10: Temperatura, em °C, interna e externa à estufa de calor, por meio de lâmpadas halógenas



Nota-se que o aumento de temperatura atingido no interior da estufa não obteve influência significativa da temperatura externa, ou seja, não ocorreu perda de calor por incidência da radiação das lâmpadas nas amostras para o ambiente externo. Percebeu-se que estas amostras que foram submetidas ao calor, na estufa contendo lâmpadas, ocorreu a fotodegradação do selante. A fotodegradação consiste na quebra da cadeia molecular do material polimérico, gerando uma deterioração do selante a partir das elevadas temperaturas combinadas com a presença do oxigênio [11]. Neste caso, verificou-se uma ação conjunta de degradação por meio da radiação e calor.

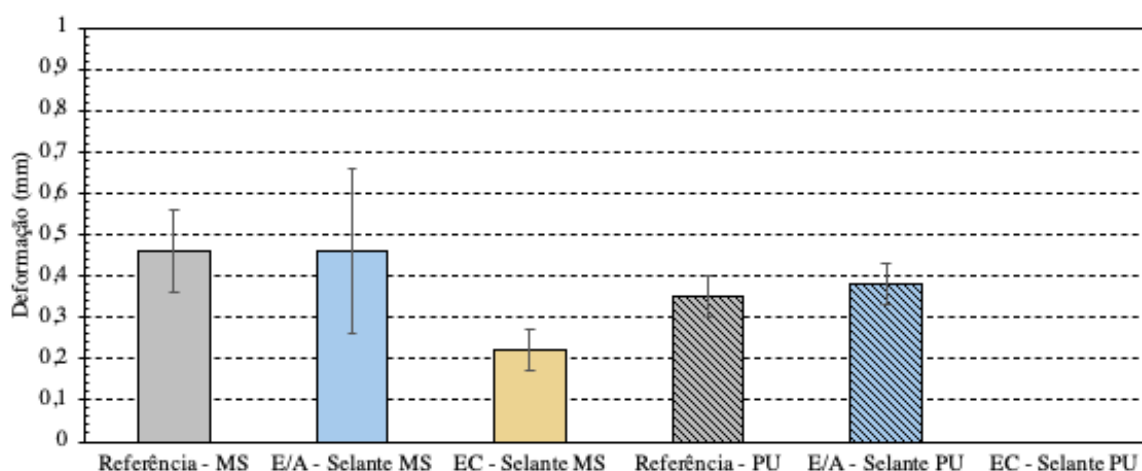
Por meio do ensaio de tração das amostras também se determinou o módulo de elasticidade secante, cuja análise consta na Figura 7.

Figura 11: Comportamento do módulo de elasticidade secante dos selantes em relação ao tipo de selante e ao tipo de processo de envelhecimento



Ao analisar de forma comparativa o selante MS e PU para a exposição E/A, percebeu-se que o selante PU apresentou valores superiores para o módulo de elasticidade secante, pois suportou mais carga aplicada e a tensão de ruptura foi maior, porém a deformação atingida foi inferior quando comparado aos resultados do selante MS, reforçando as suas características mais rígidas em função da sua Dureza Shore A (Tabela 1). Na Figura 8 é possível verificar a deformação dos selantes.

Figura 12: Comportamento da deformação dos selantes em relação ao tipo de selante e ao tipo de processo de envelhecimento



Os resultados obtidos para o selante MS comprovam suas propriedades elásticas, pois alcançou valores superiores para deformação mesmo com tensão de ruptura menor. O fabricante informa que a tensão de ruptura para os dois materiais testados é de 1,0 MPa, este valor não foi atingido por nenhum dos corpos de prova testados. Tais resultados comprovam a afirmação de [12] que, para materiais elásticos, o valor de deformação é semelhante à tensão, caracterizando a capacidade de retornar ao estado natural após força aplicada. Esta propriedade foi mais expressiva para o selante MS.

4. Considerações finais

As análises dos resultados obtidos, assim como as considerações finais realizadas, limitam-se apenas às características das amostras de substrato de argamassa e dos dois tipos de selante aqui considerados. Como conclusões principais deste estudo tem-se:

- O ensaio de envelhecimento na estufa com lâmpadas halógenas promoveu maior degradação dos selantes do que o ciclo de molhagem e secagem;
- O condicionamento E/A não provocou degradação tão evidente nos selantes estudados, possivelmente devido às alterações dos prazos normativos que foram realizadas nesta pesquisa;

- A temperatura atingida dentro da estufa com as lâmpadas halógenas não sofreu influência do ambiente externo à estufa;
- O selante do tipo PU foi mais suscetível ao ensaio de calor na estufa de lâmpadas halógenas do que o selante MS;
- O selante PU sofreu uma diminuição evidente no seu potencial de alongamento após os ensaios de envelhecimento acelerado de forma mais relevante do que o selante MS;
- Nenhuma das amostras apresentou o valor de tensão à tração mínima indicada pelo fabricante, de 1 MPa, nas condições de ensaio desta pesquisa.

5. Agradecimentos

Os pesquisadores agradecem às empresas parceiras por terem cedido os materiais, como a Polimix Concreto Ltda. e a PX3 Engenharia e Empreiteira.

6. Referências

- [1] Ramos, A. L.; Bauer, E. (2022). Study of the facade degradation agents associated with temperature and driving rain in different Brazilian bioclimatic zones. Revista ALCONPAT, 12(2): 248-262.
- [2] Ribeiro, F. A. (2006) Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas: levantamento do estado da arte. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [3] Klein, M. M. L; Beltrame, F. R; Masuero, A. B.; Silva, L. V. (2023) Debate sobre a situação atual de implementação das normas da ABNT NBR ISO 11600 sobre selantes da construção civil. In: Simpósio Brasileiro das Argamassas, 14, Anais [...] João Pessoa.
- [4] Beltrame, F. R; Loh, K. (2009) Aplicação de selantes em juntas de movimentação de fachadas: boas práticas. 5 Ed. Porto Alegre: Habitare.
- [5] NBR ISO 10591 (2021) Construção Civil – Determinação das propriedades de adesão/coesão de selantes após imersão em água. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [6] NBR 16738 (2019) Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova prismáticos. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [7] NBR 13640 (2021) Construção civil – selantes – Especificações para substrato de ensaio. Rio de Janeiro, Brasil.
- [8] Nečasová, B.; Liška, P.; Novotný, M. (2019) Ageing of Adhesive Joints for Façade Applications – Comparison of Artificial and Real Weathering Conditions.

- [9] Franco, R. N. (2019) Avaliação do desempenho quanto à estanqueidade de juntas sujeitas a envelhecimento acelerado, utilizadas em sistemas de vedação vertical externa em alvenaria para estruturas de aço. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- [10] Furlan, K. V.; Carvalho, C. R.; Cartana, R. P. (2016) Avaliação da insolação e distribuição da radiação solar no ambiente urbano de Balneário Camboriú. VIII Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Balneário Camboriú. Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [11] Santos, K. A. M. dos. (2005) Estudo da fotodegradação de poliisoprenos naturais (borrachas naturais) em radiações específicas do ultravioleta (UV). Universitas: Ciências da Saúde, v. 3, n. 2, p. 303-312.
- [12] Ribeiro, F. A. e Barros, M. M. S. B. (2010) Juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas. 1. Ed. São Paulo.