XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8527

Silicone estrutural e resistência ao impacto em guarda-corpos de alumínio e vidro

Structural silicone and impact resistance in aluminum and glass guardrails

José Victor Pereira Santos Verissimo
Universidade de Pernambuco | Recife-PE | Brasil | victorpoliupe@gmail.com
Yêda Vieira Póvoas
Universidade de Pernambuco | Recife-PE | Brasil | yvp@poli.br
Willames de Albuquerque Soares
Universidade de Pernambuco | Recife-PE | Brasil | was@poli.br
Angelo Just da Costa e Silva
Universidade de Pernambuco | Recife-PE | Brasil | angelo@tecomat.com.br

Resumo

A segurança de guarda-corpos é vital para a prevenção de quedas. Altos índices de reprovação no ensaio de resistência a impactos indicam falhas sistêmicas. Este trabalho analisa a influência da interface entre vidro laminado e alumínio na resistência a impactos. Ensaiaram-se três protótipos sob duas condições: (1) aplicação incorreta ou parcial de silicone estrutural e (2) aplicação completa. Todos os sistemas foram aprovados nos esforços estáticos. No esforço dinâmico, a condição 1 resultou em reprovação por ejeção do vidro, enquanto a condição 2 garantiu a aprovação. Evidenciou-se que a guarnição de borracha não promoveu o engaste necessário, sendo o silicone o responsável pela dissipação de energia. A aplicação perimetral do silicone com ponte de aderência entre o vidro e o alumínio foi determinante para a segurança, recomendando-se detalhamentos em projetos de guarda-corpos e verificação deste item em canteiro de obras.

Palavras-chave: Guarda-corpos. Silicone estrutural. Resistência a impactos. Vidro laminado.

Abstract

Guardrail safety is vital for fall prevention. High failure rates in impact resistance tests indicate systemic flaws. This study analyzes the influence of the laminated glass-aluminum interface on impact resistance. Three prototypes were tested under two conditions: (1) incorrect or partial application of structural silicone, and (2) complete application. All systems successfully passed the static load tests. Under dynamic loading, condition 1 resulted in failure due to glass ejection, whereas condition 2 ensured approval. It was evidenced that the rubber gasket did not provide the necessary structural engagement, leaving the silicone responsible for energy dissipation. The perimeter application of silicone, acting as an adhesion bridge between the glass and aluminum, was a determining factor for safety. Therefore, it is recommended that these specifications be detailed in guardrail designs and strictly verified on construction sites.

Keywords: Guardrails. Structural silicone. Impact resistance. Laminated glass.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8527

INTRODUÇÃO

O crescimento da construção civil no Brasil reforça seu papel econômico, mas o setor ainda apresenta altos índices de acidentes por queda de altura [1,2].

Esse cenário reflete uma tendência global, uma vez que a indústria da construção é amplamente reconhecida como uma das mais perigosas, concentrando uma parcela significativa das fatalidades no trabalho em todo o mundo devido, primordialmente, às quedas de altura. A ausência ou a falha em sistemas de proteção contra quedas são frequentemente apontadas como algumas das vulnerabilidades mais críticas em edificações [3].

A ABNT NBR 14718 (2019) estabelece requisitos de desempenho para guarda-corpos visando mitigar esses riscos [4]. No entanto, a eficácia desses elementos de proteção depende intrinsecamente da qualidade dos materiais e da correta execução de suas conexões. A literatura aponta que a instalação incorreta de componentes e o uso de ligações deficientes estão entre os principais fatores de risco para falhas estruturais, comprometendo a estabilidade desses sistemas [5].

Estudo anterior [6] indicou que 35% dos guarda-corpos do Nordeste apresentaram resultado insatisfatório, sendo 55% destas reprovações relativas à resistência a impactos. Trabalho preliminar [7] apontou a influência do silicone estrutural na interface vidro-alumínio para o atendimento ao requisito de resistência a impactos.

O objetivo deste estudo é analisar a influência da interface de ligação entre o vidro laminado e o perfil de alumínio no desempenho estrutural de guarda-corpos de edificações residenciais submetidos ao ensaio de resistência a impactos.

Por meio de uma análise comparativa de três estudos de caso, busca-se validar a hipótese de que a ausência ou a aplicação incorreta de silicone estrutural é o principal fator contribuinte para a falha por destacamento completo do vidro, mesmo em guarda-corpos previamente aprovados em esforços estáticos horizontal e vertical.

METODOLOGIA

Este trabalho adota o método de estudo de caso múltiplo experimental. Os protótipos de guarda-corpos são constituídos por 2 módulos com perfis em alumínio e vidro laminado de 8 mm (4+4). O silicone utilizado foi o estrutural e os ensaios seguiram a sequência da ABNT NBR 14718 (2019): esforço estático horizontal, vertical e resistência a impactos, com cargas de ensaio correspondentes para guarda-corpos de área privativa.

Os protótipos de guarda-corpos foram ensaiados em três obras: obra A (Ipojuca-PE, 2023), obra B (Recife-PE, 2024) e obra C (Aracaju-SE, 2025/26). A obra A consistia no modelo de parapeito fixo inferior de esquadria e as obras B e C no modelo de guarda-corpos de varanda com pontaletes chumbados quimicamente com adesivo químico. A Figura 1 apresenta o protótipo de guarda-corpo que foi ensaiado na obra A, a Figura 2 apresenta o da obra B e a Figura 3 apresenta o da obra C.

Figura 1: Protótipo de guarda-corpo que foi ensaiado na obra A



Fonte: o autor.

Figura 2: Protótipo de guarda-corpo que foi ensaiado na obra B



Fonte: o autor.

Figura 3: Protótipo de guarda-corpo que foi ensaiado na obra C



Fonte: o autor.

Os ensaios de resistência a impactos foram realizados sob duas condições distintas de interface:

- **Condição 1 (Aplicação incorreta ou aplicação parcial do silicone estrutural):** o silicone estrutural foi aplicado incorretamente nos perfis de alumínio ou foi aplicado parcialmente correto em alguns trechos, não sendo em todo o perímetro do vidro.

- **Condição 2 (Aplicação completa do silicone estrutural em todo o perímetro do vidro):** A interface entre o perfil de alumínio e o vidro foi conectada com silicone estrutural garantindo contato simultâneo entre eles respeitando-se o tempo de cura conforme as especificações técnicas do fabricante (7 dias).

A Condição 1 representa o primeiro ensaio na amostra de controle e a Condição 2 representa o segundo ensaio na amostra de teste, ou seja, em protótipo idêntico ao do primeiro ensaio montado em condições semelhantes.

Na amostra de controle da obra A o silicone estrutural foi aplicado em todo o perímetro do vidro pela parte interna do guarda-corpo sem ter contato com os perfis de alumínio (aplicação incorreta). Já na amostra de teste o silicone estrutural foi aplicado em todo o perímetro do vidro pela parte externa havendo ponte de aderência entre o vidro e o perfil de alumínio.

Na amostra de controle da obra B o silicone estrutural foi parcialmente aplicado, estando presente apenas na travessa superior e no montante da extremidade direita, não havendo conexão no montante central e nem na travessa inferior. Já na amostra de teste o silicone estrutural foi aplicado em todo o perímetro do vidro havendo ponte de aderência entre o vidro e os perfis de alumínio tanto das travessas superior e inferior quanto entre os montantes.

Na amostra de controle da obra C o silicone estrutural foi aplicado apenas no trecho vertical entre o vidro e o montante extremo direito, não havendo ponte de aderência com o montante central e nem com as travessas superior e inferior. Já na amostra de teste o silicone estrutural foi aplicado em todo o perímetro do vidro havendo conexão (aderência) entre os montantes e as travessas.

A análise dos resultados foi realizada com base em dois níveis de evidências experimentais:

- **Registro fotográfico e inspeção visual:** procedeu-se com a documentação fotográfica de todos os ensaios realizados nas três obras. Isto possibilitou comparar o estado dos protótipos antes e após o ensaio de resistência a impactos, com foco na identificação do modo de falha. Nos casos de reprovação, as fotografias foram utilizadas para documentar o destacamento total ou parcial dos vidros em relação aos perfis de alumínio.
- **Análise complementar por vídeo:** para a obra C, utilizou-se o registro em vídeo para a análise do comportamento dinâmico. Isto permitiu uma análise qualitativa da movimentação do vidro logo após o ensaio de resistência a impactos. Esta técnica foi utilizada como modelo para explicar o mecanismo de destacamento do vidro para o estudo de caso da obra C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os protótipos de guarda-corpos ensaiados nas três obras e nas duas condições de interface apresentaram resultados satisfatórios nas fases de esforço estático horizontal e na fase de esforço estático vertical. O Quadro 1 apresenta o panorama

geral dos resultados obtidos para cada uma das três obras, para as duas condições de interface, para a fase de esforços estáticos e para a fase de resistência a impactos.

Quadro 1: Panorama geral dos resultados obtidos

Obra	Condição de Interface	Esforços Estáticos	Resistência a Impactos
A	I (aplicação incorreta ou parcial)	Aprovado	Reprovado
A	II (aplicação completa)	Aprovado	Aprovado
B	I (aplicação incorreta ou parcial)	Aprovado	Reprovado
B	II (aplicação completa)	Aprovado	Aprovado
C	I (aplicação incorreta ou parcial)	Aprovado	Reprovado
C	II (aplicação completa)	Aprovado	Aprovado

Fonte: o autor.

Segue-se, então, com a apresentação e discussão dos resultados na fase de resistência a impactos.

RESULTADOS DA OBRA A (IPOJUCA-PE)

Condição 1: após o impacto, houve o destacamento, e logo em seguida, a ruptura do vidro em conjunto com o desprendimento da guarnição de borracha, permitindo a passagem de gabarito prismático, condição esta que indica resultado insatisfatório de desempenho (condição de reprovação) de acordo com a ABNT NBR 14718 (2019) para a fase de resistência a impactos (Figura 4).

Figura 4: Destacamento e ruptura do vidro e desprendimento da guarnição de borracha (1º ensaio da obra A)



Fonte: o autor.

Condição 2: após o impacto, não houve o destacamento do vidro e nem da guarnição de borracha não sendo possível o traspassamento do gabarito prismático, condição esta que indica resultado satisfatório de desempenho (condição de aprovação) de acordo com a ABNT NBR 14718 (2019) para a fase de resistência a impactos (Figura 5).

Figura 5: Detalhamento do vidro logo após a fase de resistência a impactos (2º ensaio da obra A)



Fonte: o autor.

No primeiro ensaio no protótipo da obra A, através de inspeção visual realizada antes da realização do ensaio de resistência a impactos, constatou-se que o silicone estrutural foi aplicado sem estar em contato com os perfis de alumínio, sendo possível observar frestas ou aberturas em alguns trechos entre o silicone e o perfil de alumínio (Figura 6).

Figura 6: Detalhamento da aplicação do silicone estrutural sem estar em contato com os perfis de alumínio



Fonte: o autor.

Este fato pode explicar o comportamento dinâmico do vidro após o impacto tendo em vista que houve o destacamento completo do vidro, com sua posterior queda e ruptura. Além disso, foi possível observar que a guarnição de borracha se desprendeu por completo como possível consequência sequencial do movimento de ejeção do vidro (Figura 7).

Figura 7: Ejeção do vidro e desprendimento sequencial da guarnição de borracha



Fonte: o autor.

Fica evidenciado que a guarnição de borracha, embora essencial para a estanqueidade e para evitar o contato direto do vidro nos perfis, não promoveu o engaste estrutural necessário para o vidro sob cargas dinâmicas. O impacto gerou uma energia que pode ter causado o encurtamento instantâneo da largura do vidro devido à flecha sob deformação. Sem a ponte de aderência por meio do silicone estrutural, a guarnição de borracha não impediu que o vidro laminado escapasse do canal do perfil. A transição para a Condição 2 demonstra que o silicone estrutural converteu a borda do vidro em um vínculo rígido com os perfis de alumínio, mantendo o vidro no lugar mesmo sob deformação.

RESULTADOS DA OBRA B (RECIFE-PE)

Condição 1: após o ensaio de resistência a impactos, houve o destacamento parcial e ruptura do vidro, permitindo a passagem de gabarito prismático, condição esta que indica resultado insatisfatório de desempenho (condição de reprovação) de acordo com a ABNT NBR 14718 (2019) para a fase de resistência a impactos (Figura 8).

Figura 8: Destacamento parcial e ruptura do vidro (1º ensaio da obra B)



Fonte: o autor.

Condição 2: após o ensaio de resistência a impactos, não houve o destacamento e nem a ruptura do vidro não sendo possível o traspassamento do gabarito prismático, condição esta que indica resultado satisfatório de desempenho (condição de aprovação) de acordo com a ABNT NBR 14718 (2019) para a fase de resistência a impactos (Figura 9).

Figura 9: Detalhamento do vidro logo após o ensaio de resistência a impactos (2º ensaio da obra B)



Fonte: o autor.

No primeiro ensaio no protótipo da obra B, através de inspeção visual realizada antes da realização do impacto, constatou-se que o silicone estrutural foi aplicado apenas na travessa superior e no montante extremo direito, não havendo aderência na travessa inferior e no montante central. Logo após o impacto houve o destacamento parcial e ruptura do vidro, permitindo a passagem de gabarito prismático. Foi possível observar que, após o impacto, partes do vidro continuaram engastadas no perfil de alumínio e outras partes do vidro não ficaram engastadas (Figura 10).

Figura 10: Detalhamento do destacamento parcial e da ruptura do vidro (1º ensaio da obra B)



Fonte: o autor.

Este comportamento dinâmico após o impacto pode ser explicado pelo fato de não haver aderência na parte da travessa inferior e no montante central, ou seja, o vidro sob energia de impacto apresentou tendência de rotação sobre dois eixos que foram os únicos trechos de engaste do vidro (o eixo da travessa superior e o eixo do montante extremo direito). Esta tendência de rotação no sentido de dentro para fora com apenas dois pontos de engaste pode ter sido a causa de distribuições de tensões não uniformes sob o vidro causando o seu destacamento parcial e sua ruptura.

Este estudo de caso demonstrou que a aplicação parcial de silicone foi ineficaz, pois, embora o vidro esteja fixado na travessa superior e no montante direito, a liberdade de movimento no montante central e na travessa inferior refletiu um comportamento de torção do vidro, ou seja, este fato pode indicar que para o vidro laminado atuar de forma segura e com desempenho satisfatório, o perímetro de colagem deve ser contínuo para evitar concentrações de tensão em trechos isolados.

RESULTADOS DA OBRA C (ARACAJU-SE)

Condição 1: após o ensaio de resistência a impactos, houve o destacamento parcial sem ruptura do vidro, permitindo a passagem de gabarito prismático, condição esta que indica resultado insatisfatório de desempenho (condição de reprovação) de acordo com a ABNT NBR 14718 (2019) para a fase de resistência a impactos (Figura 11).

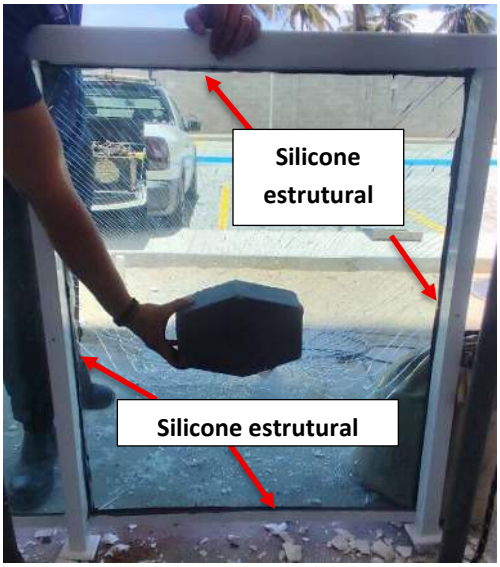
Figura 11: Destacamento parcial sem ruptura do vidro (1º ensaio da obra C)



Fonte: o autor.

Condição 2: após o ensaio de resistência a impactos, não houve o destacamento e nem a ruptura do vidro não sendo possível o traspassamento do gabarito prismático, condição esta que indica resultado satisfatório de desempenho (condição de aprovação) de acordo com a ABNT NBR 14718 (2019) para a fase de resistência a impactos. A Figura 12 ilustra a aplicação do silicone estrutural em todo o perímetro do vidro e o não destacamento do vidro.

Figura 12: Detalhamento do vidro logo após o ensaio de resistência a impactos (2º ensaio da obra C)



Fonte: o autor.

No primeiro ensaio no protótipo da obra C, através de inspeção visual realizada antes da realização do impacto, constatou-se que o silicone estrutural foi aplicado apenas no montante extremo direito não havendo aderência no montante central e nem na travessa superior e inferior. Foi verificado que, após o impacto, o vidro rotacionou sobre o eixo do montante extremo direito que atuou como único trecho de engaste. A

Figura 13 ilustra, sequencialmente, registros fotográficos obtidos por meio de recortes de milissegundos de um registro de vídeo obtido durante o impacto (análise complementar por vídeo).

Figura 13: Análise sequencial obtida por vídeo do comportamento dinâmico do vidro do 1º ensaio da obra C. Primeiro momento do impacto (à esquerda), segundo momento sequencial do impacto (ao centro) e último momento sequencial do impacto (à direita).



Fonte: o autor.

A análise do vídeo permitiu observar que a falta de aderência nas travessas e no montante central resultou na rotação do vidro sobre o eixo do montante direito após o impacto, ou seja, permitiu demonstrar que o trecho em que havia aplicação de silicone estrutural apresentou engaste estrutural suficiente para manter o vidro preso ao perfil de alumínio, diferentemente dos trechos em que não havia aplicação de silicone estrutural.

Além disso, este estudo de caso da obra C, destaca que o sistema de ancoragem por chumbamento de pontaletes com adesivo químico, o qual promove rigidez estrutural aos montantes, não tem influência direta na retenção do vidro. A proteção contra quedas, neste caso da obra C, dependeu exclusivamente da interface química de colagem entre o vidro e o perfil através da aplicação completa do silicone estrutural.

Portanto, o desempenho satisfatório de todos os guarda-corpos ensaiados nas três obras quanto aos esforços estáticos horizontal e vertical, demonstra que os perfis de alumínio e os sistemas de ancoragem à estrutura estavam corretamente calculados e dimensionados para cargas adotadas no ensaio. Porém, a falha sistemática no ensaio de resistência a impactos sob a condição 1 (aplicação incorreta ou aplicação parcial do silicone estrutural), revela que a segurança do sistema de guarda-corpos como um todo não depende apenas da rigidez dos materiais isolados, mas da integridade da conexão entre eles, principalmente da conexão entre o vidro e os perfis.

A causa provável das falhas observadas pode ser explicada pela incapacidade do encaixe mecânico (apenas com guarnições de borracha) de conter a energia cinética do impacto sem a ponte de aderência efetiva do silicone estrutural. Destacam-se três pontos de análise de falhas:

Movimentação relativa: o vidro e o perfil vibram em frequências distintas, o que pode explicar a flecha instantânea do vidro superando a profundidade do canal de encaixe do perfil.

Efeito de ejeção: na ausência da ponte de aderência, o vidro sofre um deslocamento que o projeta para fora do trilho de alumínio resultando em destacamento total ou parcial.

Transferência de cargas: o silicone estrutural, quando aplicado na condição 2, atua como um elemento de interface viscoelástica, distribuindo as tensões do impacto ao longo de todo o perímetro entre os montantes e as travessas superior e inferior, impedindo o destacamento do vidro após impacto.

Os resultados apresentados neste trabalho corroboram e ampliam as evidências apresentadas em publicações anteriores. Ao analisar os dados do Quadro 1 com o levantamento estatístico de 188 guarda-corpos ensaiados na região Nordeste [4], observa-se que a causa de reprovações de protótipos de guarda-corpos em ensaios da ABNT NBR 14718 (2019) ainda é o não atendimento ao requisito de resistência a impactos, reforçando que este fator tem se apresentado como o de maior atenção requerida quanto à segurança estrutural de guarda-corpos em edificações residenciais.

A reiteração do padrão de aprovação e reprovação nos três estudos de caso (obra A, obra B e obra C) nas duas condições reforça o estudo de caso preliminar [5], estabelecendo uma tendência clara de que a falha em guarda-corpos de alumínio e vidro laminado nem sempre tem como causa uma falha de resistência do material (vidro ou metal), mas sim uma falha de conectividade sistêmica entre o vidro e os perfis de alumínio. Estatisticamente, a presença de uma ponte de aderência contínua e funcional entre o vidro e o montante através da aplicação de silicone estrutural emerge como o fator de maior correlação para alcançar o atendimento aos requisitos da ABNT NBR 14718 (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo foi possível observar que a aplicação incorreta ou parcial do silicone estrutural não foi suficiente para promover desempenho satisfatório nos guarda-corpos que foram ensaiados pelo método da ABNT NBR 14718 (2019) nestes três estudos de caso.

Demonstrou-se que, apenas os guarda-corpos que tiveram aplicação completa do silicone estrutural, apresentaram desempenho satisfatório para o requisito de resistência a impactos.

Portanto, diante dos resultados apresentados, fica demonstrada a importância de especificações detalhadas nos projetos executivos de guarda-corpos sobre a correta aplicação do silicone estrutural, para que o risco de uma não aplicação do silicone ou aplicação inadequada seja realizada durante a fase de execução destes sistemas em obra.

Além disso, destaca-se a importância de se incluir nas fichas de verificação de serviço nos canteiros de obras os itens de verificação do acompanhamento da execução destes guarda-corpos, conferindo se o silicone estrutural foi aplicado corretamente.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação deste manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] BARRETO, Matheus de Faria e Oliveira; GONTIJO, Marcelo Robert Fonseca; TELES, Carolina Parreiras; ARAÚJO, Fabiana Faria de. Condições de trabalho, segurança e saúde ocupacional da construção civil. **Revista de Gestão e Secretariado (GeSec)**, São Paulo, v. 15, n. 7, 2024. DOI: http://doi.org/10.7769/gesec.v15i7.3998.

[2] BARUFFI, Diniane; COSTELLA, Marcelo Fabiano; PRAVIA, Zacarias Martin Chamberlain. Experimental Analysis of Guardrail Structures for Occupational Safety in Construction. **The Open Construction and Building Technology Journal**, v. 15, p. 141-151, 2021. DOI: http://doi.org/10.2174/1874836802115010141.

[3] AL-NASER, Norah Kanan; AL-TABTABAI, Hashim M. The impact of safety violations on construction project performance: A case study of the ADFA project. **Journal of Engineering Research**, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.12.017.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14718:** Esquadrias — Guarda-corpos para edificação — Requisitos, procedimentos e métodos de ensaio. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

[5] ALHASSAN, Majda; MOUSTAFA, Maher. Improving Safety Management in Pre-cast Construction Projects. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 19, n. 4, p. 563-575, 2025. DOI: https://doi.org/10.14525/JJCE.v19i4.04.

[6] VERISSIMO, José Victor Pereira Santos; PÓVOAS, Yeda Vieira; SOARES, Willames de Albuquerque; SILVA, Angelo Just da Costa e. Segurança de guarda-corpos de edificação: cenário de avaliação de desempenho no nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 5., 2025, Florianópolis. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

[7] SANTOS, Paula Letícia Barbosa de Souza; SOARES, Rebeca Vieira de Moura; MORAES, Pedro Daniel Martins de; VERÍSSIMO, José Victor Pereira Santos; VALÉRIO, Bianca Maria Vasconcelos. Segurança do trabalho na finalização de obra verticalizada: estudo de caso sobre a conformidade normativa na instalação de guarda-corpos. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2025. **Anais...** [S. l.]: SIMPEP, 2025.