De 24/06/2026 a 27/06/2026
São Paulo
https://doi.org/10.67775/p6mfg340

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DA FIXAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO ARMADO COM INSERTOS METÁLICOS SOB AÇÃO DE COMPRESSÃO

Luciani Somensi Lorenzi[1]*, Alexandre Lorenzi[1]; Dario Lauro Klein[1]
*Autor de contato: luciani.lorenzi@ufrgs.br

1 Instituto de Desempenho da UFRGS, Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

## RESUMO

Este trabalho apresenta resultados de ensaios de compressão excêntrica (e = 10 mm) em corpos de prova representativos da ligação painel-laje de um sistema de vedação vertical externa composto por painéis pré-fabricados de concreto armado com insertos metálicos soldados. Três corpos de prova (500 × 1000 × 100 mm) foram ensaiados em pórtico de carga com aplicação incremental de força (≈ 50 kN por etapa) até a perda de capacidade resistente. O Estado Limite de Serviço foi definido pela primeira fissura visível, que ocorreu entre 208 kN e 274 kN. O Estado Limite Último ocorreu entre 222 kN e 283 kN, com colapso associado à ruptura da solda na ligação entre o painel e o inserto metálico. Considerando-se, de forma conservadora, a transferência do peso próprio exclusivamente pelos insertos inferiores, as resistências medidas mostraram-se significativamente superiores às ações permanentes estimadas por inserto, indicando ampla margem de segurança frente à solicitação gravitacional. Os resultados destacam o papel do detalhamento e da execução da solda como aspectos determinantes do desempenho da conexão e fornecem subsídios experimentais para verificações de projeto e estratégias de inspeção de SVVE em painéis de concreto.
Palavras-chave: sistema de vedação vertical externa; conexão painel-laje; inserto metálico; compressão excêntrica; painel pré-fabricado.

## ABSTRACT

This paper presents results of eccentric compression tests (e = 10 mm) on specimens representative of the panel-to-slab connection of an external vertical enclosure system composed of precast reinforced concrete panels with welded metallic inserts. Three specimens (500 × 1000 × 100 mm) were tested in a loading frame under stepwise compressive loading (≈ 50 kN per step) until loss of load-carrying capacity. The Serviceability Limit State was defined as the first visible crack, which occurred between 208 kN and 274 kN. The Ultimate Limit State occurred between 222 kN and 283 kN, with failure governed by weld rupture at the panel-to-insert connection. Under a conservative assumption of self-weight transfer through the lower inserts only, the measured capacities were significantly higher than the estimated permanent actions per insert, indicating a substantial safety margin against gravitational demand. The results highlight weld detailing and execution as key factors controlling connection performance and provide experimental evidence to support design checks and inspection strategies for precast concrete cladding systems.
Keywords: external vertical enclosure system; panel-to-slab connection; metallic insert; eccentric compression; precast panel.

## 1. INTRODUÇÃO

A industrialização da construção civil tem ampliado o uso de sistemas de vedação vertical externa (SVVE) com painéis pré-fabricados de concreto armado, sobretudo em fachadas, devido à rapidez de execução, à padronização e ao maior controle de qualidade. Contudo, a adoção desses sistemas desloca a criticidade do desempenho para as interfaces, em especial para a ligação painel-estrutura, onde se concentram os esforços e as deformações decorrentes do comportamento global do edifício.

A concepção de edificações como produtos aptos a atender integralmente aos requisitos funcionais constitui um princípio fundamental na engenharia civil contemporânea. Em resposta às crescentes exigências de qualidade, produtividade e desempenho, observa-se a adoção progressiva de sistemas industrializados na construção civil, como os painéis pré-fabricados de concreto armado empregados em fachadas.

De acordo com McMullin e Ortiz (2011), ao longo dos últimos 15 anos, os sistemas de revestimento têm mudado continuamente, à medida que novos materiais e processos de fabricação têm gerado avanços tecnológicos.

A busca por sistemas construtivos que atendam integralmente aos requisitos funcionais, estruturais e de desempenho tem impulsionado a industrialização da construção civil, com destaque para o uso de painéis de concreto armado pré-fabricados em sistemas de vedação vertical externa (SVVE). Tais sistemas apresentam vantagens, como rapidez de execução, padronização e controle de qualidade, porém, impõem desafios específicos de desempenho no uso, especialmente nas interfaces entre os painéis e a estrutura principal da edificação. Nesse contexto, os insertos metálicos configuram-se como elementos críticos, pois são responsáveis pela transferência de cargas, pela acomodação de deslocamentos e pela manutenção da integridade da conexão estrutural ao longo da vida útil da edificação.

A interação entre os painéis de fechamento e a estrutura principal é um ponto crucial para avaliar o comportamento global e, sobretudo, a segurança estrutural de edifícios industriais pré-moldados de concreto armado (MENICHINI, DEL MONTE e ORLANDO, 2020). A publicação da norma ABNT NBR 15575, em 2013, marcou uma mudança de paradigma no setor ao adotar uma abordagem baseada no desempenho em serviço, em oposição ao modelo tradicional prescritivo. Essa transição revelou que componentes como os insertos metálicos, muitas vezes negligenciados em avaliações globais de projeto, são determinantes para a segurança estrutural e funcionalidade dos SVVE. Falhas em tais dispositivos — seja por detalhamento inadequado, embutimento insuficiente ou incompatibilidade com o comportamento do painel — podem gerar manifestações patológicas graves, como trincas, deslocamentos excessivos, perda de fixação e até risco de colapso local.

Dada a elevada rigidez dos painéis de concreto maciço, os insertos metálicos tornam-se o elo sensível do sistema, devendo ser capazes de absorver esforços dinâmicos e redistribuir as tensões sem comprometer a integridade das ligações. Observações em campo e em laboratório indicam que os mecanismos de ancoragem metálica nem sempre acompanham a robustez do painel, resultando em falhas localizadas, sobretudo em regiões de concentração de tensões, como bordas, cantos e aberturas.

Nesse cenário, ensaios experimentais em escala real representam uma ferramenta indispensável para avaliar o desempenho dos insertos metálicos sob diferentes condições de carregamento, incluindo impactos, vibrações e cargas pontuais. Este estudo propõe a investigação do comportamento estrutural de painéis de 100 mm de espessura, ancorados por insertos metálicos soldados, com foco na análise de sua capacidade de resistir a solicitações representativas do uso real, como impactos de corpo mole e corpo duro, bem como a cargas geradas por portas e por elementos suspensos.

A crescente utilização de sistemas pré-fabricados na construção civil requer verificações experimentais do desempenho mecânico dos elementos de fixação. Ao priorizar a avaliação dos insertos metálicos como componentes-chave nos SVVE, esta pesquisa contribui para o entendimento das vulnerabilidades estruturais desses sistemas e para a consolidação de diretrizes projetuais que visem à maior segurança, durabilidade e confiabilidade em uso. Busca-se, assim, validar a conformidade do sistema com os critérios normativos de segurança estrutural e fornecer subsídios técnicos para o aprimoramento dos detalhes de fixação.

## 2. Revisão da Literatura

A norma ABNT NBR 15575 estabelece os critérios de desempenho das edificações brasileiras com foco no comportamento em uso, priorizando aspectos como segurança, durabilidade e integridade sistêmica dos sistemas construtivos. Dentro deste contexto, os sistemas de vedação vertical externa (SVVE) com painéis de concreto pré-fabricados requerem avaliação específica de seus elementos de conexão estrutural, com destaque para os insertos metálicos. Estes componentes representam os pontos críticos de transferência de esforços entre os painéis e a estrutura principal, sendo, portanto, essenciais para garantir a estabilidade e a segurança globais do sistema.

Souza e Mitidieri Filho (2016) ressaltam que a avaliação dos SVVE deve considerar as condições reais de uso, especialmente nas interfaces entre materiais distintos. Os insertos metálicos, soldados ou parafusados a elementos de concreto e de aço, atuam como pontos de concentração de tensões, exigindo um dimensionamento preciso e um detalhamento técnico adequado. Lorenzi (2013) destaca que, mesmo em sistemas com elevado desempenho estrutural, falhas recorrentes têm sido observadas nas regiões de fixação, o que indica a necessidade de reexame do comportamento destes elementos sob diferentes solicitações.

Ensaios de impacto – tanto de corpo mole quanto de corpo duro – simulam ações dinâmicas acidentais que incidem diretamente sobre os painéis e seus pontos de fixação. Bartolomeu (2015) afirma que a capacidade de dissipação de energia nesses sistemas depende não apenas do painel, mas também da deformabilidade controlada dos insertos metálicos, cuja rigidez excessiva pode induzir rupturas frágeis. Em painéis delgados de baixa ductilidade, a rigidez dos insertos pode limitar a absorção de impactos, comprometendo a integridade das ligações.

Santos (2019) explora a relação entre a espessura do painel e a distribuição de tensões ao redor dos insertos metálicos, demonstrando que, em painéis de 100 mm, há risco elevado de falhas por punção ou arrancamento, sobretudo quando os insertos são mal embutidos ou mal ancorados. Silva et al. (2018) reforçam que falhas nas conexões metálicas ocorrem, em muitos casos, por ausência de comprimento de embutimento suficiente, o que impede o travamento mecânico necessário entre o concreto e o inserto. Tais incompatibilidades entre o comportamento estrutural do painel e as propriedades dos insertos resultam em falhas localizadas, com potencial para comprometer o desempenho global da vedação.

Outro aspecto crítico é a transferência de vibrações dinâmicas, como avaliada em ensaios de impacto no fechamento de portas. Santos et al. (2017) identificam que os insertos metálicos localizados próximos às aberturas funcionam como caminhos rígidos de transmissão de energia, agravando a concentração de tensões nos cantos das esquadrias. Na ausência de juntas de alívio ou de interfaces resilientes, a rigidez das conexões metálicas pode amplificar os efeitos dinâmicos, gerando trincas e degradação precoce dos sistemas.

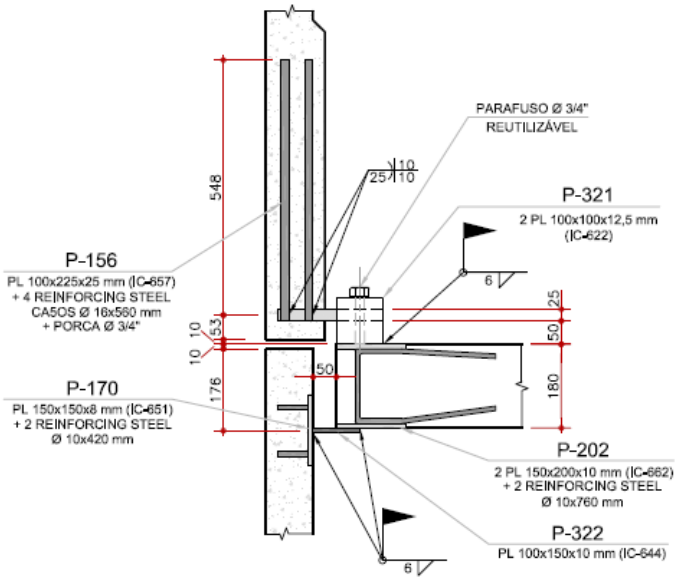
Desta forma, o desempenho dos SVVE depende significativamente da especificação correta, do detalhamento e da execução dos insertos metálicos, que atuam como elementos-chave nas ligações painel–estrutura. Sua falha compromete não apenas a segurança estrutural, mas também aspectos funcionais, estéticos e de durabilidade da edificação. O estudo aprofundado dessas conexões, especialmente sob solicitações dinâmicas, constitui uma etapa essencial para o avanço de soluções industriais mais seguras e eficientes.

## 3. Descrição do Sistema Construtivo

Os ensaios foram realizados no LEME/UFRGS. Três corpos de prova foram montados, representando o encontro entre painel e laje, com insertos metálicos soldados. Os CPs (500 × 1000 × 100 mm) foram submetidos à compressão excêntrica, com excentricidade de 1 cm em relação ao centroide. A carga foi aplicada em incrementos de aproximadamente 50 kN até o colapso, e as fissuras e rupturas foram registradas a cada etapa.

O Sistema Construtivo analisado é composto por painéis de vedação de concreto armado, com dimensões variáveis (2790 x 1000 x 100) mm, respectivamente, de comprimento, altura e espessura. A Figura 1 apresenta a forma de fixação na parte inferior dos painéis. Os painéis são constituídos por dois tipos de concreto: cinza e branco (arquitetônico), ambos com tensão característica (fck) ≥ 30 MPa.

Figura 1 – Desenho esquemático do Sistema Construtivo, com detalhe da fixação do painel à laje inferior.

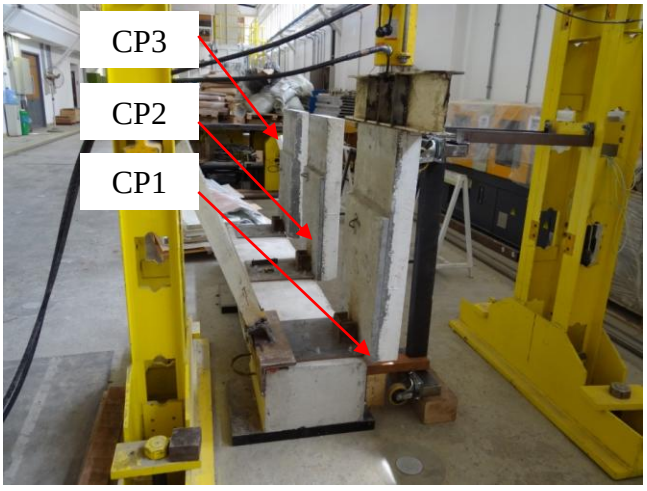


### 3.1. Descrição dos Corpos de Prova

Foram montados três corpos de prova representativos de como se realiza a fixação dos painéis na laje para o ensaio de compressão excêntrica com inserto metálico, com as seguintes características. O corpo de prova (CP) é composto pelo encontro entre o painel e uma secção de laje, que representam o SVVE em obra.

Os CPs são compostos por painéis de concreto armado (500 x 1000 x 100) mm, com comprimento, altura e espessura, respectivamente, e por inserções metálicas de aço patinado (Figura 2).

Figura 2 – Detalhe dos CP1, CP2 e CP3, com os dois tipos de concreto no painel e na fixação, com solda no inserto metálico.



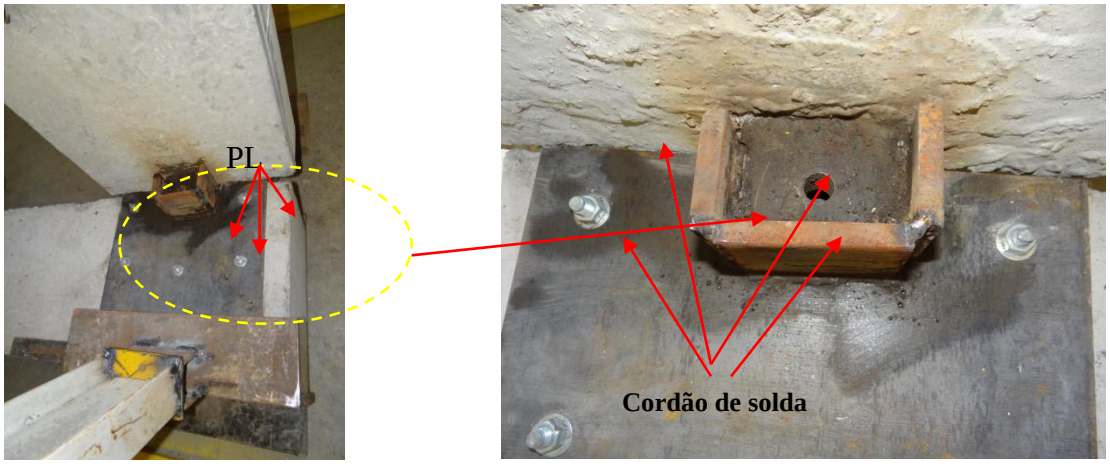

Para a realização dos ensaios de compressão excêntrica com inserto metálico dos três CPs foram consideradas as seguintes premissas:

a) Altura do painel h = 1000 mm
b) Condições de fixação (laje): Viga de concreto armado, representativa da laje; chapa de aço patinado (400 x 400 x 8) mm; e 06 parabolts de aço inox 1/2” x 4”, com diâmetro e comprimento, respectivamente, utilizados para fixar a chapa metálica à viga de concreto armado, conforme a Figura 3(a).
c) Condições de fixação (solda): Solda em cordão para fixar o painel de concreto armado à chapa de aço patinado (Figura 3(b)).

## 4. ENSAIOS

O procedimento de ensaio adotado para caracterizar o comportamento dos corpos de prova (CPs) sob carregamento compressivo excêntrico consistiu na instalação do painel em pórtico de carga, com ajuste dos apoios para impor uma excentricidade de 1 cm em relação ao centro geométrico do painel. Utilizou-se pórtico com capacidade nominal de 65 toneladas, instrumentado com célula de carga de 50 toneladas, cujas leituras foram registradas por um sistema de aquisição de dados do tipo SYSTEM 8000. O carregamento foi aplicado por incrementos sucessivos de compressão de aproximadamente 50 kN por etapa, mantendo-se o acompanhamento do comportamento do painel a cada incremento, com observação de sinais de degradação e de perda de funcionalidade. O ensaio foi encerrado devido ao colapso do conjunto de fixação, caracterizado pela falha na ligação entre o painel e o inserto metálico.

Figura 3 – Detalhe da fixação do painel à viga de concreto armado.




(a) (b)

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam, respectivamente, os resultados dos ensaios realizados com os corpos de prova CP1, CP2 e CP3. Nessas tabelas são indicadas as cargas aplicadas a cada corpo de prova, bem como os principais eventos observados durante o carregamento, incluindo o surgimento da primeira fissura aparente e o colapso do sistema de fixação, caracterizado pela falha na ligação entre o painel de concreto armado e o inserto metálico.

Tabela 1 – Comportamento do CP1 em relação à carga excêntrica

| Carga (kN) | Observações |
|---|---|
| 0 | Nenhuma Ocorrência |
| 50 | Nenhuma Ocorrência |
| 100 | Nenhuma Ocorrência |
| 150 | Nenhuma Ocorrência |
| 200 | Nenhuma Ocorrência |
| 250 | Nenhuma Ocorrência |
| 274 | 1ª Fissura, conforme Figura 4(a). |
| 283 | Colapso da fixação painel e inserto metálico, com ruptura da solda, conforme Figura 4 |

Fonte: os autores.

No CP1, a primeira fissura foi registrada em 274 kN e o colapso do conjunto ocorreu em 283 kN, com ruptura da solda (Tabela 1 e Figura 4). No CP2, a primeira fissura ocorreu em 243 kN e o colapso em 256 kN, ambos associados à ruptura da solda (Tabela 2 e Figura 5).

Para o CP3, a primeira fissura foi observada em 208 kN e o colapso em 222 kN, com o mesmo modo de falha por ruptura da solda (Tabela 3 e Figura 6). A síntese dos valores de ELS e ELU, bem como a normalização da força pelo comprimento do painel (L = 0,50 m), é apresentada na Tabela 4.

Figura 4 – Ensaio de carga excêntrica CP1: (a) detalhe da 1ª fissura, com carga de 274 kN; e (b) detalhe do colapso da fixação do painel e do inserto metálico, com carga de 283 kN.



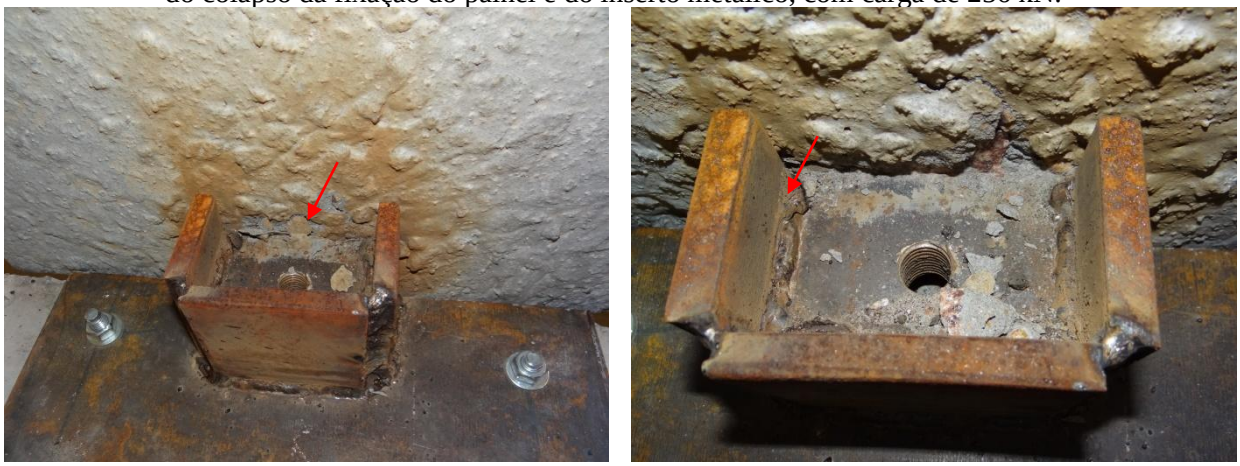
(a) (b)

Tabela 2 – Comportamento do CP2 em relação à carga excêntrica

| Carga (kN) | Observações |
|---|---|
| 0 | Nenhuma Ocorrência |
| 50 | Nenhuma Ocorrência |
| 100 | Nenhuma Ocorrência |
| 150 | Nenhuma Ocorrência |
| 200 | Nenhuma Ocorrência |
| 243 | 1ª Fissura, conforme Figura 4.2(a) |
| 256 | Colapso da fixação painel e inserto metálico, com ruptura da solda, conforme Figura 5 |

Fonte: os autores.

Figura 5 – Ensaio de carga excêntrica CP2: (a) detalhe da 1ª fissura, com carga de 243 kN; e (b) detalhe do colapso da fixação do painel e do inserto metálico, com carga de 256 kN.



(a) (b)

Tabela 3 – Comportamento do CP3 em relação à carga excêntrica

| Carga (kN) | Observações |
|---|---|
| 0 | Nenhuma Ocorrência |
| 50 | Nenhuma Ocorrência |
| 100 | Nenhuma Ocorrência |
| 150 | Nenhuma Ocorrência |
| 177 | Nenhuma Ocorrência |
| 200 | Nenhuma Ocorrência. |
| 208 | 1ª Fissura, conforme Figura 4.3(a). |
| 222 | Colapso da fixação do painel e do inserto metálico, com ruptura da solda, conforme a Figura 4.3(b). |

Fonte: os autores.

Figura 6 – Ensaio de carga excêntrica CP3: (a) detalhe da 1ª fissura, com carga de 208 kN; e (b) detalhe do colapso da fixação do painel e do inserto metálico, com carga de 222 kN.



(a)



(b)

Tabela 4 – Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU) dos CP1, CP2 e CP3 quando submetidos à carga excêntrica (kN) com inserto metálico.

| Corpo de Prova | Comprimento painel (m) | Carga (kN) | Carga / metro | Estado Limite |
|---|---|---|---|---|
| CP1 | 0,50 | 274 | 548 | Serviço |
| | | 283 | 566 | Último |
| CP2 | 0,50 | 243 | 486 | Serviço |
| | | 256 | 512 | Último |
| CP3 | 0,50 | 208 | 416 | Serviço |
| | | 222 | 444 | Último |

Fonte: os autores.

Considerando-se a definição adotada, o ELS variou de 208 kN a 274 kN, e o ELU, de 222 kN a 283 kN. Em termos de carga linear, os valores variaram entre 416 kN/m e 548 kN/m (ELS) e entre 444 kN/m e 566 kN/m (ELU), conforme a Tabela 4. Observa-se uma variação de aproximadamente 22% nos valores de ELU dos corpos de prova, indicando a sensibilidade do sistema às condições de fabricação e de execução da ligação. Em todos os ensaios, o colapso foi determinado pela ruptura da solda, o que evidencia a soldagem como elemento determinante do desempenho do arranjo ensaiado.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sob ação de compressão excêntrica (e = 10 mm) e para o arranjo ensaiado, os resultados indicam que o sistema de fixação por inserto metálico soldado apresenta elevada capacidade resistente, com colapso governado pela ruptura da solda. Recomenda-se que os limites experimentais sejam utilizados como referência para verificações de projeto em condições compatíveis de geometria e de execução, bem como para a definição de critérios de inspeção voltados à integridade da ligação e à qualidade da soldagem.

Os painéis de concreto armado empregados em uma edificação em Porto Alegre/RS apresentam pesos próprios distintos. Entre as tipologias consideradas, o painel de maior massa possui 4,5 t e é utilizado apenas no pavimento térreo, com sistema de fixação composto por três insertos metálicos inferiores e quatro superiores. O painel de maior massa, utilizado em todos os pavimentos, possui 3,25 t, fixado por dois insertos metálicos inferiores e dois superiores.

Para a avaliação da segurança da fixação, adotou-se uma hipótese conservadora, correspondente à condição mais desfavorável: transferência do peso próprio exclusivamente pelos insertos inferiores. Nessa condição, para o painel de 4,5 t, a solicitação por inserto inferior resulta da divisão do peso próprio por três, obtendo-se aproximadamente 1,5 t (≈ 15 kN) por inserto. Para o painel de 3,25 t, a solicitação por inserto inferior resulta da divisão por dois, correspondendo a cerca de 1,625 t (≈ 16,25 kN) por inserto.

A comparação entre essas solicitações e os resultados experimentais indica que os menores valores de resistência foram observados no CP3, com carga de serviço de 208 kN e carga última de 222 kN (L = 0,50 m). Assim, mesmo para a hipótese conservadora adotada, as resistências medidas foram, em ordem de grandeza, superiores a mais de 12 vezes às ações permanentes estimadas por inserto (≈ 15 kN a 16,25 kN). Conclui-se, portanto, que o sistema de fixação avaliado, para SVVE sem função estrutural, dispõe de margem de segurança substancial frente às solicitações gravitacionais dos painéis analisados, sendo a qualidade e o detalhamento da solda aspectos críticos para o desempenho.

Entre as limitações, destacam-se o número reduzido de corpos de prova e a avaliação em uma única condição de excentricidade e de solicitação predominantemente compressiva. Recomenda-se ampliar o programa experimental para outras geometrias, diferentes procedimentos de soldagem e solicitações fora do plano e dinâmicas, de modo a consolidar faixas de desempenho e critérios de aceitação para projeto e manutenção.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575-4: Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 4: Sistemas de Vedações verticais internas e externas – SVVIE. São Paulo, 2013.

BARTOLOMEU, A. C. Avaliação do desempenho de sistemas de vedação vertical: impactos de corpos moles e de corpos duros. 2015. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, SP, Brazil.

LORENZI, L. S. Análise crítica do desempenho estrutural de edificações sob a ótica da NBR 15575. 2013. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil, 2013.

MCMULLIN, K. M.; ORTIZ, M. Experimental testing of precast concrete cladding for building facade systems. (2011) Disponível em: https://www.pci.org/PCI_Docs/Papers/2011/Experimental-Testing-of-Precast-Concrete-Cladding-for-Building-Façade-Systems.pdf. Acesso em: 19 fev. 2026.

MENICHINI, G., DEL MONTE, E., & ORLANDO, M. Out-of-plane capacity of cladding panel-to-structure connections in one-story R/C precast structures. Bulletin of Earthquake Engineering, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-020-00962-5. Acesso em: 19 fev. 2026.

SANTOS, R. M. et al. Interação entre componentes de vedação e esquadrias sob ações dinâmicas. Revista Ambiente Construído, 2017.

SANTOS, R. G. Resistência de vedações verticais a cargas de peças suspensas: influência do tipo de substrato. 2019. Dissertação de Mestrado – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS, Brasil, 2019.

SILVA, G. A. et al. Comportamento de fixações mecânicas em painéis de concreto de baixa espessura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2018. Anais do ENTAC. Bento Gonçalves: Instituto Brasileiro do Concreto, 2018.

SOUZA, M. F., MITIDIERI FILHO, C. V. Análise do desempenho estrutural de sistemas de vedações verticais. Revista Ambiente Construído, v. 16, n. 3., 2016.