

LIGAÇÃO VIGA-PILAR EM ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS COM CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO REFORÇADO COM FIBRAS: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Erlucivânia Bueno da Silva¹
Daniel Lima de Araújo²
Marcus André Siqueira Campos³

RESUMO

O emprego do concreto pré-moldado aumenta à medida que as ligações entre os elementos sejam melhoradas, tanto em relação à exequibilidade como em relação ao comportamento estrutural e a manutenção. Considerando o comportamento da estrutura, a presença da ligação é o que diferencia uma estrutura de concreto pré-moldado de uma estrutura com concreto convencional. A utilização do concreto de ultra alto desempenho reforçado com fibras de aço (CUADRF) na região da ligação pode melhorar o seu comportamento bem como promover um descongestionamento das armaduras. Este artigo tem por objetivo mapear as ligações viga-pilar em estruturas de concreto pré-moldado que empregam o CUADRF visando principalmente identificar possíveis ligações com consolo moldado com CUADRF que sejam embutidos no pilar em etapa posterior a concretagem do mesmo. Diante disso, neste trabalho é apresentado uma Revisão Sistemática da Literatura e o Mapeamento Sistemático da Literatura de ligações viga-pilar pré-moldados que utilizam o CUADRF realizando um levantamento dos anos e países nos quais foram realizadas as pesquisas, identificando os tipos de ligações viga-pilar estudadas, quais os tipos de ensaios realizados para analisar o comportamento da ligação nos modelos físico experimental e quais os modelos constitutivos empregados para modelagem computacional da ligação. Também foi verificado se nos ensaios físicos experimentais foram ensaiados apenas os elementos da ligação ou se foi moldado o modelo completo (vigas, pilares, consolo). Após a extração dos dados observou-se este é um tema com poucas publicações, sendo que as pesquisas sobre o tema são relativamente recentes sendo publicadas após o ano de 2013. A maior parte dos artigos (75%) apresentaram apenas o modelo físico da ligação não sendo realizadas modelagens computacionais que simulem o comportamento. Verificou-se também que 75% dos ensaios foram realizados com carregamento cíclico reversível.

Palavras-Chave: Concreto Pré-Moldado, Ligação viga-pilar, CUADRF, Revisão Sistemática da Literatura.

BEAM-COLUMN CONNECTION IN PRECAST WITH ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE REINFORCED WITH FIBRES: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

The precast's concrete employ increases as the connections between elements are improved, both in terms of feasibility and in relation to structural behavior and maintenance. Considering the structure's behavior, the presence of connection is what differentiates a precast concrete structure from a structure with conventional concrete. The use of UHPCRF in the region of the connection can improve its behavior as well as promote a decongestion of the reinforcement. This article aims to map the beam-column connections in precast concrete structures that employ UHPCRF, aiming mainly to identify possible connections with a molded corbel with UHPCRF that are embedded in the column in a step after the concreting of the column. Therefore, this work presents a Systematic Literature Review and Systematic Mapping of the Literature of precast beam-column connections using UHPCRF, carrying out a survey of the years and countries in which the research was carried out, identifying the types of beam-collum connections were studied, what types of tests are performed to analyze the behavior of the connection in the experimental physical models and which are the constitutive models used for computational modeling of the connection. It was also verified whether in the experimental physical tests only the connection elements were tested or if the complete model (beams, columns, corbel) was molded. After extracting the informations, it was observed that this is a topic with few publications, and research about the topic is relatively recent, being published after the year 2013. Most of the articles (75%) presented only the physical model of the connection, with no computational modeling to simulate the behavior. It was also found that 75% of the tests were carried out with reversible cyclic loading.

Keywords: Concrete, precast, beam-column connection, UHPCRF, systematic literature review.

Recebido em 24 de março de 2021. Aprovado em 18 de abril de 2021.

¹ Engenheira Civil, Mestrado em Estruturas pela UFG - Doutorando em Estruturas pela UFG

² Engenharia Civil, Doutor pela Universidade de São Paulo

³ Engenharia Civil, Doutor pela Universidade Estadual de Campinas

INTRODUÇÃO

Estruturas em concreto pré-moldado tem sido amplamente empregadas nas construções em todo o mundo devido às vantagens relacionadas à redução do tempo de obra e do trabalho in loco, menor impacto ambiental bem como maior controle e qualidade dos elementos estruturais (Radzi *et al.*, 2020). Considerando o comportamento da estrutura, a presença da ligação é o que diferencia uma estrutura de concreto pré-moldado de uma estrutura com concreto convencional. Fornecer para o mercado peças pré-moldadas com ligações que possibilita facilidade, agilidade de execução, durabilidade e segurança é um dos pontos críticos desse sistema construtivo (Park, 1995). O Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) e Revisão Sistemática da Literatura (RSL) podem auxiliar na identificação de quais tipos de ligação viga-pilar semirrígidas em estrutura de concreto pré-moldadas utilizando concreto de alta performance com fibras de aço tem sido estudadas.

Em geral, as ligações são regiões cruciais para garantir a integridade estrutural, resistência adequada, energia de dissipação, rigidez e ductilidade nas estruturas pré-moldadas (Kurama *et al.*, 2018). O tipo de ligação utilizada entre os elementos pré-moldados influencia significativamente o comportamento das estruturas de concreto pré-moldado sendo fundamental garantir que o desempenho da ligação seja igual ou superior aos dos elementos pré-moldados conectados por ela (Yan, Chen e Xie, 2017).

Nas últimas décadas, o colapso das estruturas pré-moldadas está relacionado principalmente com a fragilidade de suas ligações (Baghdadi, 2019). Vários estudos realizados sobre ligações viga-pilar demonstram que na região da ligação pode ocorrer concentração de tensões ou haver uma descontinuidade apresentando ou não deslocamento e esforços de flexão e cisalhamento. A aplicação do concreto de ultra alto desempenho reforçado com fibras de aço (CUADRF) nos elementos da ligação visando aproveitar as excelentes propriedades desse material pode ser uma alternativa para melhorar o seu desempenho. Entretanto, o emprego racional destes materiais deve ser destinado aos locais de grandes solicitações onde o custo associado ao benefício tornam-no viável economicamente (Maya *et al.*, 2013).

O termo CUADRF é normalmente é usado para descrever um compósito cimentício caracterizado por uma quantidade significativa de cimento, tamanho de agregado pequeno, presença de ligante (pozolana, cinzas volantes, sílica ativa, pó reativo), um baixo teor de água/cimento e presença de fibras. O CUADRF pode fornecer um comportamento estrutural satisfatório e uma possível diminuição do peso próprio em situações de projeto em que são necessários grandes vãos (Krahl, 2018).

As fibras são produzidas a partir de uma variedade de materiais incluindo aço, vidro e substâncias sintéticas e naturais podendo ser adicionadas ao concreto visando controlar a fragilidade do material e criar um comportamento dúctil quando tracionado, aumentando sua capacidade de resistência à tração, exibindo uma resistência residual mesmo após a sua fissuração. Devido à ausência de agregados graúdos espera-se que o comportamento seja significativamente diferente em relação ao concreto convencional, o qual resulta em uma redução da superfície de rugosidade e a presença de fibras provoca uma tensão normal ao longo do plano de cisalhamento e ação de pino quando as fibras torcem e dobram (Sturm *et al.*, 2018). Uma combinação de macro fibras de aço pode produzir o comportamento de endurecimento por deformação durante a tração. No entanto, o aumento da quantidade de fibras pode causar embolamento e diminuir a trabalhabilidade da mistura (Shi *et al.*, 2015). De acordo com Tam, Vivian e NG (2011) a incorporação das fibras de aço pode aumentar em até trezentas vezes a ductilidade e absorção de energia em relação ao CAD.

O desenvolvimento de novas possibilidades e aprimoramentos das ligações viga-pilar são muito importantes para impulsionar o emprego do concreto pré-moldado em edifícios de múltiplos pavimentos com sistema estrutural de esqueleto (vigas e pilares). Esta Revisão Sistemática da

Literatura juntamente com o Mapeamento Sistemático da Literatura tem por objetivo realizar o levantamento dos tipos de ligações viga-pilar estudadas empregando o CUADRF nos elementos da ligação, visando identificar os estudos no qual as ligações possuem consolo moldado com CUADRF e embutido no pilar em uma etapa posterior a concretagem do mesmo. Também serão analisadas as palavras-chave utilizadas, os países onde ocorreram as pesquisas, os anos das pesquisas, se os pesquisadores realizaram apenas o ensaio físico experimental da ligação com carregamento monotônico ou carregamento cíclico reversível além de averiguar se foram realizadas modelagens computacional, quais os programas utilizados e quais os modelos constitutivos adotados para o concreto.

MATERIAL E MÉTODOS

A revisão sistemática da literatura foi realizada em três fases: (i) planejamento na qual as diretrizes da pesquisa foram baseadas em um protocolo; (ii) condução a qual consiste na execução da pesquisa e na seleção dos trabalhos baseados no critério de seleção e exclusão e por último (iii) a extração de informações e dados dos trabalhos, os quais permitiram verificar o estado da arte do tema pesquisado.

Para a elaboração da revisão sistemática, foi adotada a ferramenta StArt (State of the Art through Systematic Review), que é um software disponibilizado gratuitamente pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). No protocolo determinado para pesquisa foram realizadas as seguintes perguntas: “Quais os tipos de ligações viga- pilar semirrígidas em estruturas pré-moldadas que empregam o CUADRF tem sido estudadas?”, “As ligações viga-pilar em estruturas pré-moldadas apresentam consolo embutido no pilar em etapa posterior a concretagem?” e “Quais os modelos constitutivos para modelar elementos de concreto de alta performance reforçados com fibras de aço?”

Para responder as perguntas realizadas, a string (uhpfrc or "ultra-high performance concrete") AND (precast OR prefabricated) AND (beam or column) foi inserida em duas bases de dados consolidadas: Scopus e Science Direct. Foram considerados os documentos publicados apenas em inglês, não impondo restrição do período de seleção anterior à data de realização da busca, pois os assuntos pesquisados são relativamente recentes.

Após a execução da string nas bases de buscas, exportação dos artigos em formato .bibitex e importação dos mesmo para a ferramenta Start, os artigos foram selecionados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão, sendo rejeitados os artigos não pertinentes e em duplicidade. No Quadro 1 são expostos os critérios de (I) Inclusão e (e) Exclusão:

Quadro 1 – Critérios de (I) Inclusão e (e) Exclusão

Critérios de Inclusão	(I) Artigos que possuem ligação viga-pilar com concreto reforçado com fibras
	(I) Artigo aborda ligação viga-pilar com concreto de alto desempenho com consolo embutido em etapa posterior ao do pilar.
	(I) Artigo que apresenta modelo constitutivo para modelagem do concreto de alta performance reforçado com fibras de aço.
Critérios de Exclusão	(E) Artigos publicados há mais de 20 anos.
	(E) Artigos que não sejam publicados em inglês ou português.
	(E) Artigos que não são do campo da engenharia.
	(E) Não aborda ligação viga-pilar em concreto.
	(E) Aborda colapso progressivo.

Fonte: Autores.

A seleção inicial foi realizada fazendo a leitura do título. Considerando os artigos selecionados, foram lidos os resumos sendo escolhidos os artigos que abordavam ligação viga-pilar com CUADRF em estruturas pré-moldadas. A última seleção foi realizada por meio da leitura completa do texto.

RESULTADO DO MAPEAMENTO

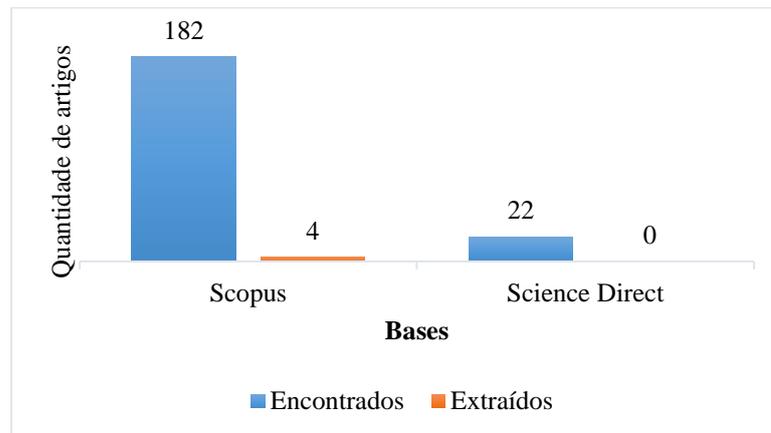
Durante as buscas nas bases de dados foram selecionadas 204 publicações. Considerando estas publicações, 167 foram rejeitados ao serem realizadas as leituras do título, 27 eram duplicados e ao final da filtragem apenas 04 foram classificados como aderentes ao tema pesquisado. A Tabela 1 contém o resumo dos resultados em cada etapa. Ao analisar quantidade de artigos excluídos apenas com a leitura do título e resumo (93,62%) verifica-se que a busca nas bases de dados é ampla e não restringe de forma eficaz a seleção de publicações apenas do tema desejado. Vários dos artigos selecionados correspondiam a ligações com CUADRF em pontes. Na Figura 2 observa-se foram encontrados 22 e 182 artigos respectivamente nas bases de dados Science Direct e Scopus, respectivamente e que todos os arquivos aderentes pertenciam a esta última base de dados.

Tabela 1 - Quantidades de artigos em cada etapa

Artigos selecionados	204
Artigos duplicado	27
Excluído na leitura do título	167
Aceitos na leitura do resumo	35
Aceitos para leitura do texto	11
Aderentes a pesquisa	4

Fonte: Autores.

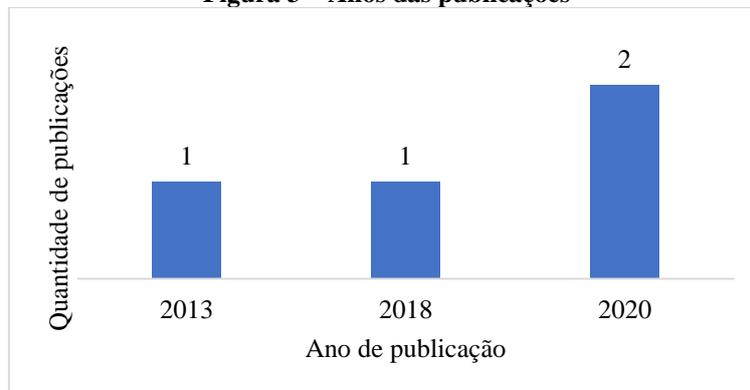
Figura 2 – Quantidade de artigos encontrados versus quantidade de arquivos extraído em cada base



Fonte: Autores.

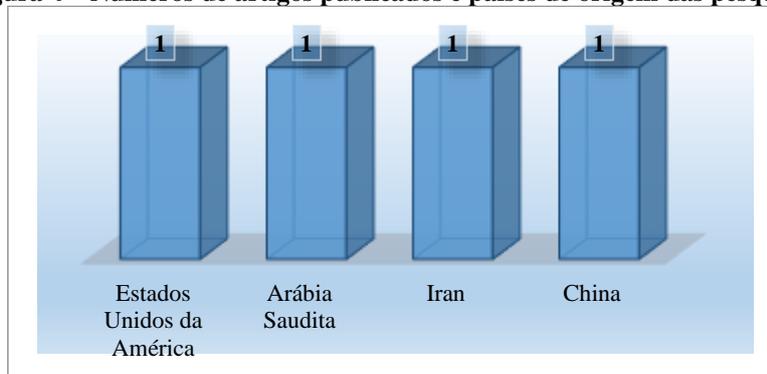
Outros dados coletados foram os anos de publicação dos artigos e o país onde as pesquisas foram realizadas, sendo apresentada na Figura 3. Verifica-se que o tema “Ligações viga-pilar com utilizando concreto de alto desempenho reforçado com fibras de aço” é um assunto cujas pesquisas são recentes e pouco exploradas. Também foram coletados os dados referente aos países onde estas pesquisas foram realizadas sendo apresentados na Figura 4. Percebe-se que o Brasil não possui nenhuma pesquisa publicada sobre o tema de interesse.

Figura 3 – Anos das publicações



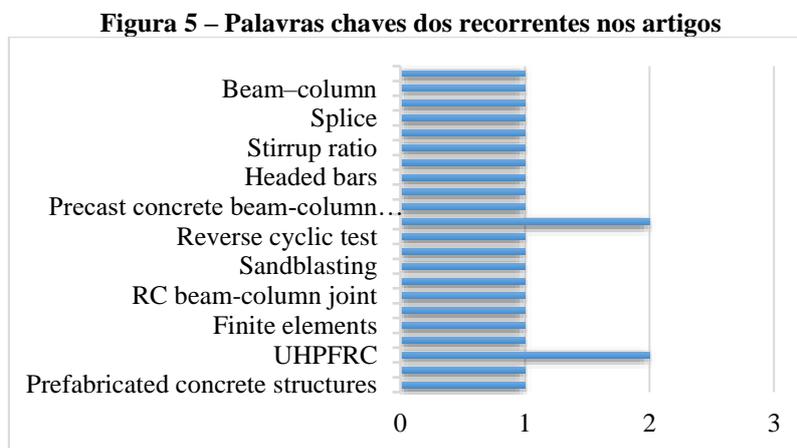
Fonte: Autores.

Figura 4 – Números de artigos publicados e países de origem das pesquisas.



Fonte: Autores.

Na Figura 5 é apresentada a relação das palavras chaves presentes nos artigos aderentes. Observa-se que há uma variação considerável das palavras chaves utilizada, o que aponta que as futuras pesquisas possam ser realizadas com novas palavras chaves compondo uma string mais ampla aumentando a possibilidade de selecionar pesquisas não contempladas neste trabalho. Com o objetivo de verificar se existem outros trabalhos abordando ligações com consolos pré-moldado moldado em etapa posterior a concretagem do pilar, sugere-se incluir na string a palavra chave “UHPC”.



Fonte: Autora.

RESULTADO DA REVISÃO

Com a extração sistemática de informações foi possível elaborar o Quadro 2 sintetizando as informações que respondem aos questionamentos proposto. Como o requisito inicial para que o artigo fosse considerado aderente era a utilização do CUADRF na ligação, as análises subsequentes consistiram em verificar se: a ligação analisada possuía consolo embutido no pilar em etapa posterior a concretagem do mesmo; o ensaio foi realizado com todos os elementos da ligação (pilar, consolo e viga) ou apenas com alguns elementos da ligação; qual o tipo de ensaio executado e se ainda foram realizadas modelagens computacionais e em caso positivo, qual o programa computacional foi empregado assim como qual o modelo constitutivo foi aplicado para simular o CUADRF.

O trabalho de Maya *et. al* (2013) apresenta uma pesquisa experimental constituída de duas fases. Na primeira fase quatro vigas pré-moldadas foram ensaiadas visando avaliar o comprimento de traspasse das armaduras em reforços curtos em ligações com continuidade empregando CUADRF. Para realização dos ensaios, as duas vigas de seções transversais iguais (VT-1 e VT-2) foram unidas e a região central da ligação foi preenchida com CUADRF. Na segunda fase da pesquisa, Maya *et. al* (2013) ensaiaram quatro ligações viga-pilar de concreto pré-moldado com o objetivo de avaliar a viabilidade de desenvolver ligações com continuidade entre elementos de concreto pré-moldado utilizando armadura com comprimento de traspasse curto e CUADRF. As ligações consistiam em um pilar central e duas vigas que se conectavam ao pilar por meio da emenda das armaduras longitudinais. Os autores concluíram que o uso de CUADRF na região de emenda permite a redução de o comprimento de emenda necessário. Como resultado, conexões de continuidade são avaliados como alternativa viável e eficiente para a construção de pré-moldados.

Khan *et al.* (2018) realizaram um estudo para analisar a influência da utilização do CUADRF como reforço da ligação viga-pilar moldada com concreto convencional. Foram executados quatro modelos, sendo um de referência. Cada modelo consistiu de um pilar superior e inferior juntamente com uma viga ortogonal formando a ligação viga-pilar moldados com concreto convencional. Dois modelos foram reforçados com CUADRF moldado no local sendo aplicado jatos de areia na

superfície do concreto convencional visando melhorar aderência. Um terceiro modelo foi reforçado colando as placas do CUADRF com epox na região da ligação viga-pilar. Os autores concluíram que no modelo reforçado com concreto de ultra alto desempenho houve um retardo do início da trinca e alteração da tensão diagonal típica de rachaduras na região da ligação para as rachaduras por flexão vertical na interface viga-pilar. No caso do reforço do modelo com as placas, o maior dano ocorreu devido ao desprendimento das placas do concreto de ultra alto desempenho reforçado com fibras da região da ligação apresentando uma falha frágil, no entanto, as presenças das placas forneceram um aumento significativo na força em relação ao modelo de referência.

No estudo realizado por Baghdadi *et al.* (2020) foram avaliadas as resistências à flexão de seis ligações viga-viga e três ligações viga-pilar pré-moldadas utilizando CUALDRF empregando o método construtivo a seco e protensão nas vigas. As análises estruturais foram realizadas no Abaqus, SAP2000 e Mathcad. As formas das ligações foram modeladas no Rhino e as fôrmas foram impressas em plástico sendo completadas com madeira. Os autores observaram que os resultados não foram altamente sensíveis a variação da resistência do concreto, o que pode ter ocorrido devido ao mecanismo de falha e a forma de separação entre as partes da ligação por não mobilizar totalmente a alta resistência do CUADRF.

Em Zhang *et al.* (2020) quatro ligações viga-pilar foram ensaiadas experimentalmente visando avaliar quantitativamente o efeito da substituição do concreto armado convencional por concreto de ultra alto desempenho na região da ligação. As principais variáveis analisadas foram o método e comprimento de ancoragem (sendo com barras retas ou encabeçadas) e a taxa de estribos na região da ligação. Os autores concluíram que o CUADRF pode ser usado com segurança na região da junta sem quaisquer estribos sob o nível de tensão de cisalhamento de 7 MPa, devido à alta resistência ao cisalhamento resistência. Mesmo não sendo realizada a cura a vapor, o concreto com ultra alto desempenho pode alcançar resistência à compressão e tração necessárias.

Quadro 2 – Síntese das informações extraídas dos artigos aderentes

Referências	Apresenta consolo embutido no pilar em etapa posterior a concretagem	Realizou o ensaio físico experimental da ligação?	Tipo de ensaio	Foi realizada modelagem computacional?	Programa - Modelagem computacional	Modelos constitutivos utilizados para modelar elementos do CUADRF?
Baghdadi, <i>et al.</i> (2020)	Sim	Não- Apenas do consolo	Estático com aplicação de deslocamento	Sim	Abaqus	Plasticidade e dano do concreto
Khan <i>et al.</i> (2018)	Não	sim	Ensaio com carregamento cíclico	Não	-	-
Maya <i>et al.</i> (2013)	Não	sim	Ensaio com carregamento cíclico	Não	-	-
Zhang, <i>et al.</i> (2020)	Não	sim	Ensaio com carregamento cíclico	Não	-	-

Fonte: Autores.

Nos resultados aderentes verifica-se que apenas uma das pesquisas; Baghdadi, *et al.* (2020), realizou o estudo de consolos moldados com CUADRF e embutidos no pilar em etapa posterior a concretagem do mesmo, ainda sim, observa-se no artigo do pesquisador que apenas o pilar e o consolo foram ensaiados, não apresentando ensaio da ligação viga-pilar. Os demais autores; Maya *et al.*

(2013), Khan *et al.* (2018) e Zhang, *et al.* (2020) realizaram os ensaios da ligações viga-pilar com CUADRF no entanto, as pesquisas não apresentavam consolos.

Em 75% das pesquisas, os ensaios foram realizados com carregamento cíclico reversível e a modelagem computacional da ligação foi realizada em apenas uma das pesquisas. Para a modelagem computacional foi utilizado o programa Abaqus e aplicou-se o modelo constitutivo de plasticidade do dano para simular o comportamento do concreto fibroso.

CONCLUSÃO

Ao final da seleção constatou-se que apenas quatro artigos abordaram pesquisas semelhante a ligação viga-pilar objeto de estudo desta pesquisa sendo possível concluir o tipo de ligação viga-pilar de interesse dessa pesquisa, empregando o CUADRF, foi pouco explorado. De posse dos artigos, foram extraídos os dados considerados relevantes para a RSL e MPL: ano de publicação das pesquisas, países onde ocorreram as pesquisas, palavras-chave utilizadas, verificação se na ligação estudada existe o consolo moldado com CUADRF e se este foi embutido no pilar em etapa posterior a concretagem do mesmo. Além destes dados também foram verificados se os pesquisadores ensaios físicos experimentais com carregamento monotônicos ou cíclico reversível e se a modelagem computacional das ligações foi realizada e quais os programas e modelos constitutivos adotados.

Após a extração dos dados observou-se que as pesquisas sobre o tema são relativamente recentes sendo publicadas após o ano de 2013. A maior parte dos artigos (75%) apresentaram análises resultantes apenas de ensaios físicos experimentais não sendo realizadas modelagens computacionais que simulem o comportamento da ligação viga-pilar ou de seus elementos. Verificou-se também que 75% dos ensaios foram realizados com carregamento cíclico reversível.

O CUADRF demonstra ser um material promissor que proporciona benefícios com aumento da resistência à tração, diminuição da fissuração, aumento da energia de fratura e redução das armaduras de cisalhamento. Embora haja estudos no qual o CUADRF é aplicado em ligações de estruturas pré-moldadas, encontrou-se um único trabalho que estudou consolos pré-moldados com CUADRF embutido no pilar em uma etapa posterior a concretagem do mesmo. Nota-se que há uma lacuna do conhecimento quanto ao comportamento de ligações viga-pilar com concreto pré-moldado sendo o consolo pré-moldado embutido no pilar em etapa posterior a sua concretagem, tornando ainda mais relevantes pesquisas nesta área.

REFERÊNCIAS

- BAGHDADI, A. **New approaches for structural design of precast concrete structures operating optimization algorithms**, Tese (pós-Doutorado). TU Braunschweig; 2019.
- KHAN, M. I., AL-OSTA, M. A., AHMAD, S., & RAHMAN, M. K. **Seismic behavior of beam-column joints strengthened with ultra-high performance fiber reinforced concrete**. *Composite Structures*, v. 200, p. 103-119, 2018. doi:10.1016/j.compstruct
- KRHAL, P. A.; MARTINS, D. O.; CARRAZEDO, R.; SILVA, I.; EL DEBS, M. K. **Experimental and analytical studies on the lateral instability of UHPFRC beams lifted by cables**. doi:10.1016/j.compstruct.2018.11.002
- KURAMA, Y. C.; SRITHARAN, S.; FLEISCHMAN, R.B.; RESTREPO, J. I.; HENRY, R. S.; CLEAND, N. M. **Seismic-Resistant Precast Concrete Structures: State of the Art**, *Journal of Structural Engineering*, v. 144, n. 4, p. 18, 2018. doi:10.1061/(asce)st.1943-541x.0001972
- MAYA, L. F.; ZANUY, C.; ALBAJAR, L.; LOPEZ, C.; PORTABELLA, J. **Experimental assessment of connections for precast concrete frames using ultra high performance fibre**

reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, v. 48, p. 173-186, 2013. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.07.002.

PARK, R. **Design of Precast Concrete Structures in New Zealand**, *PCI JOURNAL*, v. 40, n. 3, p. 40-60, 1995. <https://doi.org/10.15554/pcij.05011995.40.60>

RADZI, N. A. M.; HAMID, R.; MUTALIB, A., A.; AMRUL KAISH. A. B. M. A. **Review of Precast Concrete Beam-to-Column Connections Subjected to Severe Fire Conditions**. *Hindawi*, Londres, Reino Unido, v. 2020, 2020. ID 8831120, 23 pag. <https://doi.org/10.1155/2020/8831120>

SHI, C., WU, Z.; XIAO, J.; WANG, D.; HUANG, Z.; FANG, Z. **A review on ultra high performance concrete: Part I. Raw materials and mixture design**. *Construction and Building Materials*, v. 101, p. 741–751, 2015. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.10.088

STURM, A. B.; VISITIN, P.; FARRIES, K.; OEHLERS, D. J. **New Testing Approach for Extracting the Shear Friction Material Properties of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete**. *Journal of Materials in Civil Engineering*. v. 30; n. 10, 2018. doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002427

TAM, C. M.; VIVIAN, Y. W.; NG, K. M.; **Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong**. *Construction and Building Materials*, v. 26; p. 79–89, 2011. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.05.006

TORREGROSA. E. C. Dosage optimization and bolted connections for UHPFRC ties. Tese (pós-Doutorado). Universidade Politécnica de Valência, Valência. Espanha. 2013.

YAN, Q.; CHEN, T.; XIE, Z. **Seismic experimental study on a precast concrete beam-column connection with grout sleeves**, *Engineering Structures*, v. 155, p. 330-344, 2018. doi:10.1016/j.engstruct.2017.09.027

ZHANG, Z.-Y., DING, R., NIE, X., & FAN, J.-S. **Seismic performance of a novel interior precast concrete beam-column joint using ultra-high performance concrete**. *Engineering Structures*, v. 222, 2020, doi:10.1016/j.engstruct