

Avaliação da Resistência à Força Cortante em Vigas de Concreto Pré-moldado Ligadas à Laje Mediante Nichos – Revisão Sistemática da Literatura

Daniel de Lima Araújo¹
Efraim Soares Bernardes²

Resumo

A utilização de estruturas pré-moldadas na construção civil influencia no crescimento econômico de um país, visto que se apresenta como um método mais eficiente de construção em termos de gerenciamento de tempo e custo global na edificação. O uso de peças compostas em concreto pré-moldado em idades diferentes aumenta ainda mais essa eficiência construtiva. Mesmo diante da relevância em relação a este tema, ainda se configura pequeno o número de trabalhos que estudem ligações discretas em vigas compostas pré-moldadas, principalmente quanto à análise da biela de compressão nestas estruturas. Neste trabalho, portanto, foi realizado um estudo investigativo acerca de vigas compostas de concreto pré-moldado formadas por lajes e vigas ligadas mediante nichos com vistas à investigação da influência de variáveis de análise como as características geométricas das vigas e dos nichos na resistência ao cisalhamento horizontal em ligações discretas. Nesse sentido e com esse fim, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre a resistência de ligações com nichos em vigas compostas, buscando levantar o número de trabalhos publicados que focaram o estudo de vigas compostas pré-moldadas ligadas por meio de nichos, principalmente os que objetivassem o estudo de ligações discretas quanto à análise das bielas de compressão que surge na viga pré-moldada quando da formação do mecanismo de resistência ao cisalhamento. O período de análise consistiu nos últimos 20 anos com a qual se obtiveram 25 trabalhos recuperados, dentre os quais 23 artigos e 2 *reports*. Verificou-se que a maior parte dos trabalhos estiveram contidos na segunda década do período analisado e que havia um pequeno número que abordassem o estudo da biela de compressão da alma da viga. Também foi observado um número pequeno de trabalhos que utilizassem cargas cíclicas na análise, bem como estudos em que trouxeram novas disposições construtivas de confecção do nicho.

Palavras-chave: Viga composta; Concreto pré-moldado; Laje pré-moldada; Cisalhamento; Nicho.

1 Introdução

É possível afirmar uma relação direta entre o desenvolvimento econômico de um país com o nível de aplicação do concreto pré-moldado em sua matriz da construção civil, comprovando-se por meio dos índices relativos a esta indústria em todo mundo. Segundo El Debs (2017), a construção civil no Brasil tem sido influenciada por essa relação e demanda por processos construtivos mais eficientes de fabricação, tendo grande visibilidade dentro do mercado. Ademais, a utilização de peças compostas em concreto pré-moldado em idades diferentes apresenta maior

eficiência no processo construtivo, reduzindo também o cimbramento.

Recentemente tem-se abordado sobre o processo de Construção Acelerada de Pontes ou *accelerated bridge construction (ABC)* relativo à criação de novos materiais, melhores técnicas e atualização do conhecimento acerca da utilização de elementos em concreto pré-moldados, principalmente quanto a aplicação em pavimentos em vigas compostas de infraestrutura viária (FANG *et al*, 2021; EL-KHIER e MORCOUS, 2021). Conforme Shim *et al* (2000), o intenso tráfego existente nas pontes das grandes cidades requer um maior plano de manutenção das estruturas que

¹ Professor Doutor em Estruturas, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, dlaraujo@ufg.br
² Mestrando em Estruturas, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, efraim.soaresbernardes@gmail.com

a compõem, sendo mais eficiente a utilização de peças compostas pré-moldadas. Consoante a isso, os elementos pré-moldados compostos devem garantir a correta transferência de solicitações entre seus componentes quando solicitados, necessitando de ligações específicas para manutenção da integridade estrutural da construção. Por isso, a utilização de conectores de cisalhamento por meio de nichos e/ou chaves de cisalhamento apresenta-se como uma forma eficiente de transferência de esforços e tensões entre a viga e a laje pré-moldada, por exemplo.

A busca por informações suficientes com a finalidade de resposta aos problemas que são propostos aos pesquisadores é uma realidade integrante à prática acadêmica de produção de conhecimento (GIL, 2002). Entretanto, à medida que se evolui uma determinada linha de pesquisa há a tendência em um aumento no número de trabalhos associados a esta área, dificultando muitas vezes o processo por busca de estudos correlacionados. Por outro lado, a depender do foco estabelecido na pesquisa, torna-se pequeno o número de estudos relacionados a determinado tema, necessitando um processo mais sistematizado de busca bibliográfica (BRERETON *et al*, 2007). Autores como Judice (2002), Kim e Trejo (2015) e El-Khier e Morcouc (2021) afirmam serem raros os trabalhos acerca de ligações discretas para vigas compostas com laje em concreto pré-moldado à época de seus estudos, e até mesmo atualmente, viabilizando-se, portanto, uma nova pesquisa por estudos relacionados ao tema.

Portanto, este trabalho consiste em relatar o estudo de revisão bibliográfica sistematizado com o objetivo de quantificar estudos primários da literatura que abordem ligações em vigas compostas de viga e laje de concreto pré-moldado ligadas mediante nichos. Os estudos primários são definidos como trabalhos em que os dados extraídos e manipulados são levantados a partir da própria pesquisa e constituem seu objetivo e resultado (MARQUES, 2015).

2 Procedimentos metodológicos

A pesquisa qualitativa, segundo Neves (1996), busca compreender o estado do conhecimento relativo a determinado assunto, necessitando de um levantamento dos principais estudos relacionados a este tema. Nesse sentido e com esse objetivo, é empregado neste trabalho o método de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com vistas à seleção de trabalhos que abordem o estudo de vigas compostas com laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nichos. A RSL ou *Systematic Literature Review* (SLR) é um método que visa identificar, avaliar e analisar um grande conjunto de dados de forma a responder a questões pré-estabelecidas a respeito de um determinado tema de pesquisa, verificando sua consistência e suas incertezas acerca do assunto pesquisado (KITCHENHAM, 2007). A RSL conduz ao rigor metodológico, permitindo um maior domínio do assunto por parte de quem a realiza, trazendo também maior reprodutividade da análise (TRANSFIELD; DENVER; SMART, 2003). A realização da RSL deste trabalho pode ser resumida nas seguintes etapas: planejamento, condução da revisão e documentação ou sumarização dos resultados. Este processo está resumido na Figura 1.

O planejamento da RSL configura-se na construção de um protocolo que consiste em um registro do planejamento da revisão, identificando a pesquisa e sua forma de realização, como também o registro dos principais parâmetros adotados. O protocolo aqui utilizado foi definido com base nas recomendações de Kitchenham (2007) e Marques (2015):

Toda a pesquisa esteve voltada a verificar, identificar e analisar estudos primários existentes na literatura que avaliem ligações discretas em vigas compostas de concreto pré-moldadas e ligadas à laje mediante nichos.

A partir do objetivo delimitado da pesquisa, formulou-se as questões seguintes:

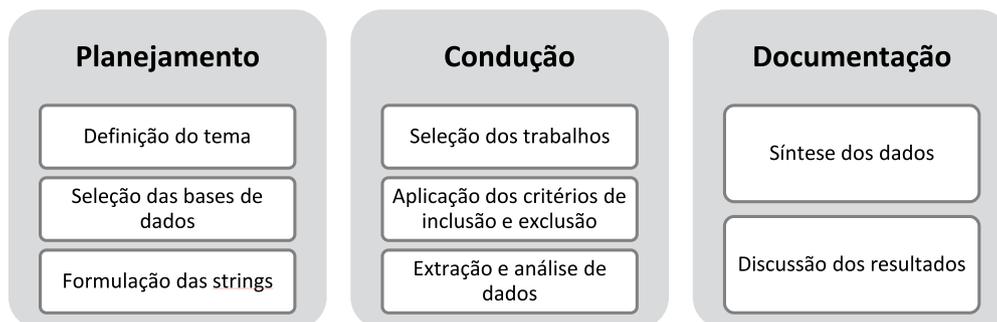


Figura 1 – Estágios da Revisão Sistemática da Literatura.

Fonte – Adaptado de Kitchenham (2007) e Transfield, Denver e Smart (2003).

- Quais as pesquisas avaliam a resistência à força cortante de vigas compostas de concreto pré-moldado ligadas à laje mediante nichos nos últimos 20 anos?
- Desses estudos, quantos avaliam especificamente a resistência das bielas de compressão na região das ligações por meio de nichos?
- Quantos abordam a influência da dimensão da viga, dos nichos e seu espaçamento na resistência das bielas comprimidas?
- Quantos estudos abordam a resistência de vigas compostas ligadas à laje mediante nichos com carregamento cíclico?

Relativo ao escopo da pesquisa, a intervenção estaria contida na determinação do estado da arte acerca dos modelos analíticos representativos de dimensionamento da ligação viga-laje, e para avaliação da força cortante resistente de vigas compostas de concreto pré-moldado ligadas à laje mediante nichos. O controle consistiu em materiais obtidos segundo pesquisa preliminar, incluindo-se artigos e *reports*. Espera-se por resultado obter uma visualização atual e detalhada dos estudos relacionados às vigas compostas de concreto pré-moldado ligadas à laje mediante nichos. Este estudo aplica-se a pesquisadores e profissionais interessados no tema de concreto pré-moldado, com ênfase no dimensionamento de ligações viga-laje para transferência de tensões de cisalhamento.

Teve-se preferência por estudos disponibilizados via web, especificamente em bases de dados científicas que envolvam materiais da área do estudo. Assim, optou-se pela pesquisa na SciELO, Compendex (*Engineering Village*), Web of Science (*Core collection* e *SciELO Citation Index*), Scopus, Science Direct, Banco de teses da CAPES, Portal Periódicos da CAPES, ACI (*all publications*), PCI (*Journal e Books*), RILEM (*all publications e Materials and Structures – Springer Link*), ROSAp (*Repository and Open Sciences Access Portal – National Transportation Library*).

As palavras-chaves utilizadas foram “*composite beam*”, “*full-depth*”, “*concrete*” e “*shear*” vinculadas aos termos “*shear pocket*”, “*shear key*”, “*computational modelling*”, “*Finite element model*”, “*cyclic load*”, “*deflection*”, “*steel-concrete*”, “*timber*”.

As *strings* utilizadas a partir das palavras chaves escolhidas são:

- ((“*composite beam*” OR “*full-depth*”) AND “*concrete*” AND “*shear*”) AND (“*shear pocket*” OR “*shear key*”) NOT (“*steel-concrete*” OR “*timber*”)
- ((“*composite beam*” OR “*full-depth*”) AND “*concrete*” AND “*shear*”) AND (“*shear pocket*” OR “*shear key*”) AND (“*computational modelling*” OR “*Finite*

element model”) NOT (“*steel-concrete*” OR “*timber*”)

- ((“*composite beam*” OR “*full-depth*”) AND “*concrete*” AND “*shear*”) AND (“*shear pocket*” OR “*shear key*”) AND (“*cyclic load*” OR “*deflection*”) NOT (“*steel-concrete*” OR “*timber*”)

As buscas foram realizadas utilizando cada *string* separadamente, realizando três pesquisas em cada base, relativas aos títulos, resumos, palavras-chaves e autores das publicações. Optou-se pela inclusão de apenas artigos de periódicos revisados por pares ou anais de eventos.

Como critérios de inclusão definiram-se que seriam aceitos trabalhos publicados e disponíveis integralmente nas bases; trabalhos publicados a partir de 2002; e trabalhos com estudos experimentais e numéricos.

Os critérios de exclusão foram os seguintes:

Serão excluídos os trabalhos que não apresentem resumo ou que sejam apenas um resumo publicado:

- serão excluídos os trabalhos que não são estudos primários;
- serão excluídos os trabalhos que estejam relacionados à área do conhecimento da engenharia civil;
- serão excluídos os trabalhos que não avaliem estruturas de vigas compostas formadas por laje e viga fabricadas em concreto pré-moldado ligadas por meio de nichos;
- serão excluídos trabalhos cuja a viga é feita em aço ou outro material que não concreto pré-moldado, ainda que a laje seja feita em concreto.

Excluiu-se automaticamente os artigos que enquadrarem-se em pelo menos um critério de exclusão.

Como apoio à manipulação e tratamento dos dados, foram utilizados os gerenciadores de referências *StArt* (*State of Art through Systematic Review*) versão 3.3 Beta 03, disponibilizado pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software* (LaPes) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), possibilitando o controle das etapas principais da RSL. Também, utilizou-se o gerenciador de referências *Zotero* versão 5.0.96.3 para criação de arquivos com extensões utilizáveis na plataforma *StArt* (START, 2022; ZOTERO, 2022).

Após a seleção, foi realizada uma análise bibliométrica, apresentando os seguintes dados: distribuição de artigos e *reports* por base, ano de publicação, localização geográfica das linhas de pesquisas, distribuição dos trabalhos segundo os periódicos e identificação das pesquisas. Foi conduzida também uma análise qualitativa, descrevendo uma síntese dos resultados principais de cada trabalho.

3 Resultados e discussão

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos da seleção e extração de dados da RSL, como também uma análise bibliométrica seguida da discussão dos resultados. A revisão foi conduzida entre os meses de fevereiro e abril de 2022. O período de busca compreendeu publicações entre os anos de 2002 e 2022.

3.1 Análise Bibliométrica

Recuperou-se um total de 896 trabalhos. A partir da leitura das publicações com base nos critérios de exclusão, chegou-se ao total de 25 estudos selecionadas, como ilustrado na Tabela 1.

O total de estudos recuperados é discriminado na Figura 2, segundo cada base utilizada, destacando-se o número de trabalhos duplicados em algumas

bases de dados pesquisadas. Observando a distribuição de artigos de periódicos e congressos científicos apresentados na Figura 2, ainda que fontes como *PCI Journal* apresentem pequeno número de artigos, houve trabalhos que foram recuperados em outras bases como na *Elsevier* e na *Scopus*, por exemplo, estando classificados como duplicados. A ausência de artigos selecionados do *ACI* e *RILEM* está relacionada a publicações oriundas de congressos científicos, que não estão indexados nas outras bases de dados, ou podendo ser relacionados ao fato desse assunto não ser foco das publicações dessas bases. Os artigos de periódicos recuperados da base de dados *Springer Link*, que indexa o Periódico *Materials and Structures*, também estavam em grande parte duplicados nas bases *Scopus* e *Engineering Village*, por exemplo. Nesse sentido, a partir do número de artigos selecionados, é possível apontar fontes mais destacáveis para buscas de publicações relacionadas ao tema abordado na

Tabela 1 – Trabalhos recuperados nas bases e resultantes do processo de seleção da RSL.

Etapa de seleção	Nº publicações
Publicações recuperadas	896
Trabalhos duplicados	-473
Leitura de títulos e resumos	-305
Leitura dos trabalhos	-93
Total de publicações selecionadas	25

Fonte – Própria.

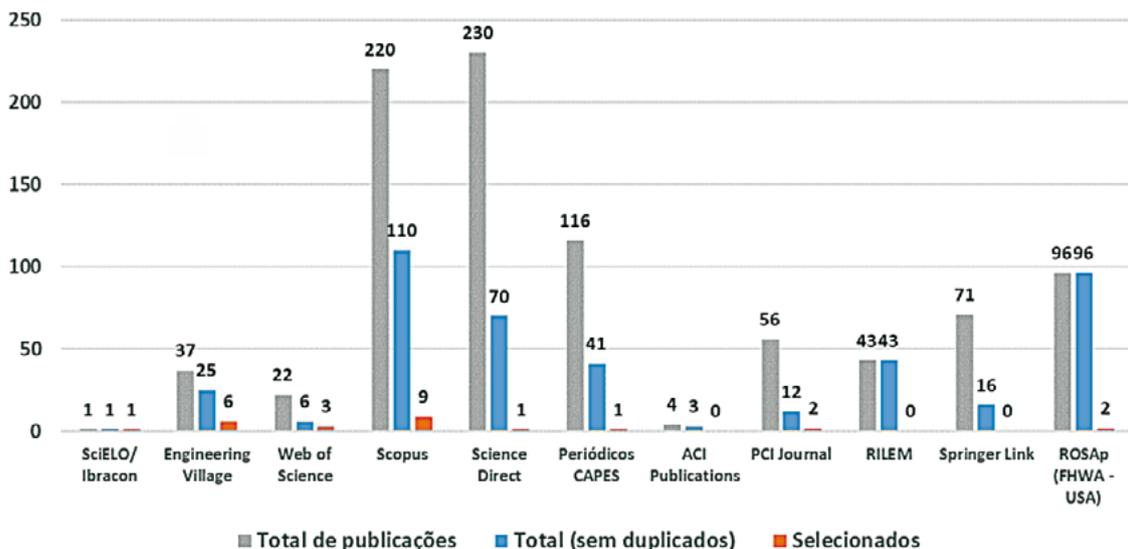


Figura 2 – Distribuição de artigos e reports segundo cada base pesquisada.

Fonte – Própria.

RSL. Entretanto, devido à indexação de artigos em mais de uma base ou o escopo de algumas bases não serem compatíveis ao tema dessa revisão, torna-se mais eficiente a análise da distribuição dos trabalhos segundo os periódicos que as publicaram (Tabela 1).

Os *reports* oriundos do portal *ROSAP* vinculado à *Federal Highway Administration (FHWA – USA)* retornou um grande número de trabalhos, porém com a maior quantidade de trabalhos rejeitados ao final do processo de busca. Isso não significa que este assunto seja pouco abordado no país em que se vinculam as pesquisas dessa base (maior parte nos EUA), mas sim que grande parte das publicações ali retornadas já estavam representadas por meio de artigos publicados nas bases de dados de artigos usadas na RSL, justificando as rejeições.

Na Tabela 1 estão referenciados os trabalhos recuperados segundo cada periódico ou fonte de publicação. A partir dessa distribuição, é possível indicar uma concentração de trabalhos relacionados ao tema nos periódicos *PCI Journal* e *ACI Structural Journal*, como também nas revistas *Engineering Structures* e *Materials and Structures*. Assim, as bases incluídas na plataforma *Elsevier* e *Springer Link* e as bases relacionadas aos portais do *PCI* e do *ACI* são interessantes para busca neste tema.

A distribuição de trabalhos por ano durante o período estudado pode ser visualizada na Figura 3. Verifica-se na primeira década do período analisado menor quantidade de publicações em comparação à década seguinte. Estes artigos são resultados de trabalhos acadêmicos como dissertações, teses e *reports* de órgãos governamentais, ou derivados de pesquisas acadêmicas e estudos independentes publicados em periódicos. Em suma, a partir da evolução do número de pesquisas no período, é fato o interesse da comunidade

científica nesse assunto, apesar do sistema construtivo em análise já ser conhecido e aplicado a algum tempo (ARAÚJO, 2021; PCI, 2011). Detalhes acerca dos trabalhos podem ser observados nas Tabelas 2 e 3.

A distribuição dos artigos recuperados pela pesquisa de acordo com o país e a instituição de origem é observada na Figura 4. Verifica-se que a maior parte dos estudos se concentram nos Estados Unidos da América, estando também localizados neste país os principais órgãos normativos e editoriais relacionados ao tema de pesquisa, como o *PCI*, a *ACI* e a *ASCE*. Nota-se uma forte linha de pesquisa existente na Universidade de Nebraska-Lincoln, tendo pesquisas interessantes como de Tawadrous e Morcou (2018, 2019) e Morcou e Tawadrous (2020). Também na Universidade da Virgínia foram observadas publicações relacionadas à *FHWA* como os *reports* de Sullivan e Wollmann (2008) e Scholz *et al* (2007) e ao *PCI* como os artigos de Menkalusi e Wollmann (2005) e Sullivan, Wollman e Swenty (2011).

Originários de trabalhos de pós-graduação em meados da primeira década do período analisado, as publicações dadas por Araújo e El Debs (2005a, 2005b), Judice, Shehata e Shehata (2006) e Shehata, Shehata e Mendonça (2010) constituem parte das pesquisas pioneiras quanto ao estudo de ligações em vigas compostas formadas por laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nichos, consolidando as linhas de pesquisas existentes nas Universidades de São Paulo, Federal de Goiás e Federal do Rio de Janeiro. Os trabalhos oriundos das demais universidades são publicações realizadas a partir de 2010, consequentes da expansão do tema na segunda década do período analisado, representando pesquisas mais recentes relacionadas ao objeto dessa revisão.

Na Tabela 2 estão discriminados os trabalhos

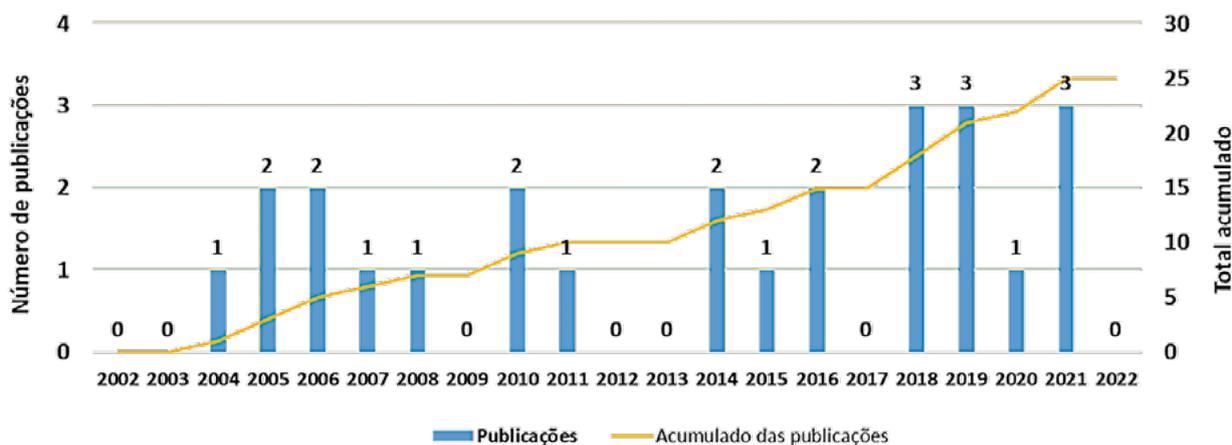


Figura 3 – Distribuição de publicações por ano.

Fonte – Própria.

Tabela 1 – Distribuição das publicações por periódico ou fonte de publicação.

ACI Structural Journal	3
Kim e Trejo (2014), Kim e Trejo (2015), Tawadrous, Morcouc e Maguire (2019)	
ASCE Journal of Bridge Engineering	1
Morcouc e Tawadrous (2021)	
Elsevier	6
<i>Engineering Structures</i>	5
Tawadrous e Morcouc (2018), Tawadrous e Morcouc (2019), El- Khier, Morcouc (2021), Noel, Noran e Khaled (2016) e Leblouba et al (2019)	
<i>Structures</i>	1
Fang <i>et al</i> (2021)	
Institute of transportation - Iowa University (Report)	1
Sritharan et al (2014)	
Ibracon	1
Araújo e El Debs (2005b)	
KSCE Journal	1
Afeyf, Kassen e Taher (2017)	
PCI journal	4
Menkalusi e Wollmann (2005), Sullivan, Wollmann e Swenty (2011), Issa <i>et al</i> (2006), Morcouc e Tawadrous (2020)	
Springer Link	5
<i>1° GeoMEast International Congress and Exhibition</i>	1
Morcouc, Jaber e Volz (2018)	
<i>Journal of Modern Transportation</i>	1
John Ma <i>et al</i> (2016)	
<i>Material and Structures</i>	3
Araújo e El Debs (2005a), Judice, Shehata e Shehata (2006); Shehata, Shehata e Mendonça (2010)	
Structures and Buildings (Institution of Civil Engineers)	1
Chug <i>et al</i> (2010)	
Virginia Transportation - Research Council (Report)	2
Sullivan e Wollmann (2008), Scholz <i>et al</i> (2007)	

Fonte – Própria

que estudaram o comportamento das vigas compostas em protótipos submetidos à flexão para avaliação da resistência ao cisalhamento da ligação viga-laje. Observando os estudos apresentados nessa tabela, verifica-se que apenas um trabalho aborda o estudo das tensões na biela comprimida que se forma na viga pré-moldada que é um dos objetivos dessa revisão, ressaltando a carência e a possibilidade de uma melhor investigação deste tema. Dentre os trabalhos em geral, observa-se também que apenas quatro estudos realizaram carregamento cíclico, sendo esse parâmetro também de importância na análise da ligação viga-laje. Nas Figuras 5 e 6 estão mostradas as tipologias geométricas dos nichos e dos conectores utilizados nas ligações apresentadas nos trabalhos citados nas Tabelas 2 e 3.

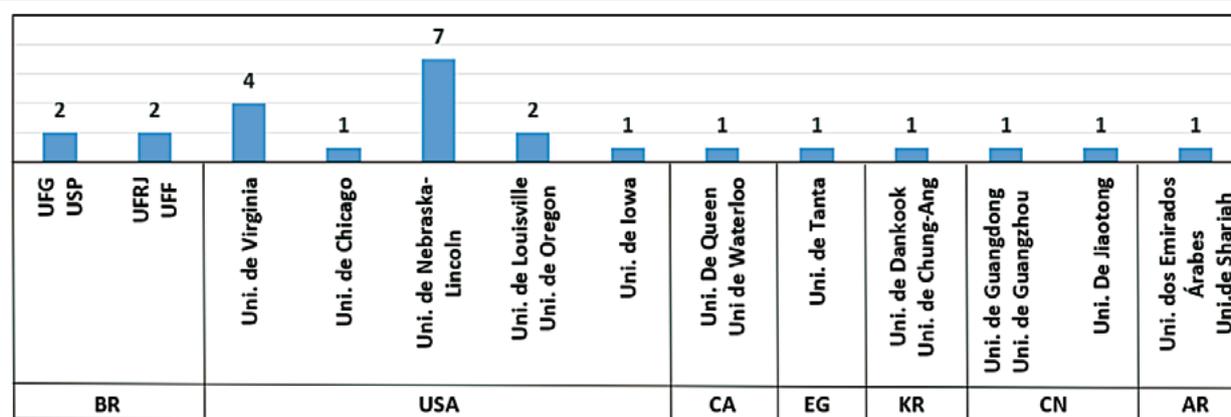
Conforme a última coluna das Tabelas 2 e 3, são apresentados nichos convencionais que podem ter a forma geométrica em tronco de pirâmide, em paralelepípedo reto ou formatos cilíndricos e variações (Figura 5a). Destaca-se a pesquisa de Sritharan *et al* (2014) em que foi ensaiado um conjunto em escala real do sistema viga-laje utilizando painéis do tipo nervurados ou *waffle*. Em outras pesquisas foram destacadas a utilização de chaves de cisalhamento que podem ser observadas na Figura 5b.

Outro aspecto importante observado nas pesquisas foram as tipologias de conectores utilizados nos estudos abordados. Estudos como de Araújo e El-Debs (2005b), Judice, Shehata e Shehata (2006), Noel, Wahab e Soudki (2016) e Leblouba *et al* (2019) utilizaram barras dobradas em laços no formato de U, por exemplo. No estudo de Afefy, Kassen e Taher

(2017) foram utilizadas algumas variações como estribo estendido, barras dobradas em laços e parafusos fixados na laje pré-moldada. No trabalho de Menkulasi e Wollmann (2005) foram apresentadas as ligações por meio de gachos instalados posteriormente e âncoras inseridas para fixação do pino. O conector do tipo em arco fechado (Figura 6a) é destaque como ligação nova apresentada por El-Khier e Morcouc (2021). Os pinos soldados em uma chapa de aço foram destaque no trabalho de Sullivan, Wollmann e Swenty (2011) (Figura 6b) e a utilização de armadura de confinamento é parte do escopo das pesquisas de Kim e Trejo (2014, 2015) (Figura 6c).

O estudo da *Hollow Structural Section* (HSS) esteve presente nos estudos como de Tawadrous, Morcouc e Maguire (2019) e Morcouc e Tawadrous (2021), constituindo uma tipologia de nicho e conector já bastante estudada por esses autores. Na Figura 7 está detalhado este tipo de ligação, ressaltando a possibilidade da confecção de HSS em formatos cilíndricos e paralelepípedicos. A própria HSS é formada por uma chapa de aço em que se soldam pinos para ancoragem dos nichos na laje pré-moldada e servem concomitantemente de forma para confecção do nicho.

Nas ligações avaliadas nos estudos selecionados, a consideração da influência da base de regularização (almofada ou *haunch*) na resistência da ligação esteve presente em 18 trabalhos, sendo uma variável dessas pesquisas. Assim, houve trabalhos com a utilização de uma base com 25, 51 e 76 mm de espessura como em Menkulasi e Wollmann (2005) e Leblouba *et al* (2011), assim como valores maiores de até de 89 mm no trabalho de Kim e Trejo (2015) e 102 mm em El-



BR – Brasil
 USA – Estados Unidos da América
 CA – Canadá
 EG – Egito
 KR – Coreia do Sul
 CN – China
 AR – Emirados Árabes

Figura 4 – Distribuição de publicações por país e instituição.

Fonte – Própria.

Khier e Morcouc (2021). Destaca-se o trabalho de Chung *et al* (2010) que traz um equacionamento da resistência da ligação discreta entre laje e viga pré-moldada levando em consideração a espessura dessa base (Tabela 4).

A resistência do graute utilizado para o preenchimento dos nichos nas pesquisas variou a depender dos materiais e dos traços realizados em cada estudo, assim como da adição de fibras de reforço. Em geral, a resistência do concreto de alto desempenho nas publicações analisadas esteve entre 25 MPa e 150 MPa.

As pesquisas que fizeram o estudo de vigas em escala real com um conjunto de ligações discretas trouxeram variações do espaçamento entre os nichos. Assim, destacam-se os trabalhos de Morcouc, Jaber e Volz (2018) que ensaiou vigas com nichos espaçados de 120 cm e John Ma *et al* (2016) com 122 cm.

3.2 Categorização e síntese dos trabalhos

Os estudos abordados nesta revisão demonstram diferentes análises relativas às vigas compostas formadas por laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nicho, cada um com seus parâmetros de análise, tais como propriedades dos materiais, diferentes geometrias e considerações de carregamento. Entretanto, alguns objetivos são comuns nos estudos e podem ser agrupados em uma breve discussão e sumarização.

Variáveis na ligação viga-laje

A obtenção da relação entre os parâmetros utilizados nas pesquisas com a resistência ao cisalhamento da ligação viga-laje é objetivo de grande parte dos trabalhos apresentados.

As variáveis mais utilizadas nos ensaios de

Tabela 2 – Trabalhos que ensaiaram vigas compostas ou analisaram *in loco* a ligação viga-laje.

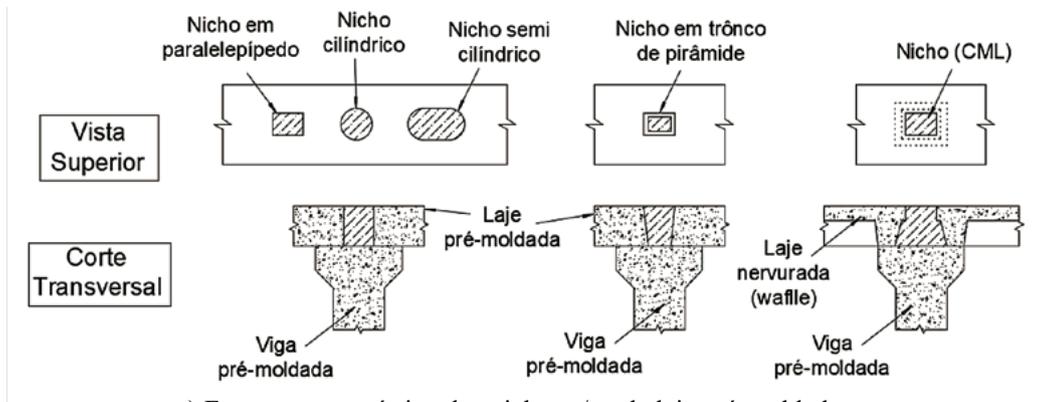
Trabalho	Análise da biela comprimida ¹	Carregamento	Tipo de ensaio ²	Particularidade da ligação ³
Judice, Shehata e Shehata, 2006	sim	estática	apoiada em dois pontos	nicho convencional (tronco de pirâmide)
Sullivan e Wollmann, 2008	não	cíclica	conjunto laje-vigas	convencional (paralelepípedo)
Chung <i>et al</i> , 2010	não	estática	apoiada em dois pontos	chave de cisalhamento
Sullivan, Wollmann e Swenty, 2011	não	estática e cíclica	conjunto laje-vigas	Pinos soldados em chapa de aço
Sritharan <i>et al</i> , 2014	não	cíclica	conjunto laje-vigas	nicho convencional (lajes nervuradas)
John Ma <i>et al</i> , 2016	não	estática	conjunto laje-vigas	nicho convencional (paralelepípedo)
Afefy, Kassen e Taher, 2017	não	cíclica	apoiada em dois pontos	chave de cisalhamento
Morcouc, Jaber e Volz, 2018	não	estática	medição <i>in loco</i>	HSS
Tawadrous, Morcouc e Maguire, 2019	não	estática	medição <i>in loco</i>	HSS (adaptado)

¹ Refere-se aos trabalhos que avaliam a tensão de compressão nas bielas na altura do nicho. Em caso afirmativo, o valor atribuído ao campo é sim;

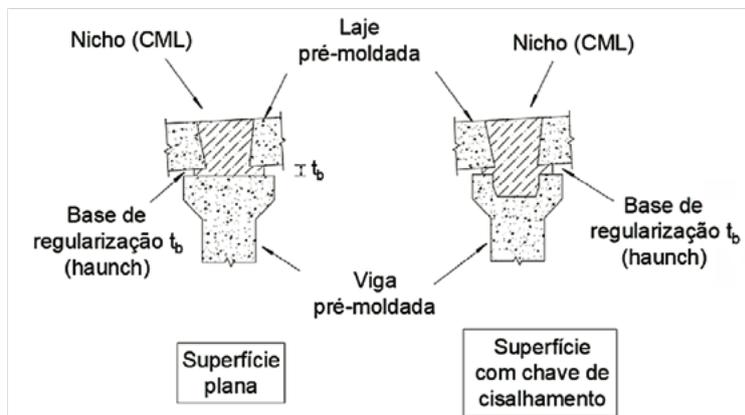
² Em alguns trabalhos foram feitas análises apenas do projeto da ligação, não havendo ensaio. As medições *in loco* foram realizadas nas estruturas de pontes já instaladas;

³ O modelo de ligação com HSS refere-se a Holow Structural Sections que serve de fôrma para moldagem do nicho e como confinamento do concreto da ligação.

Fonte – Própria.



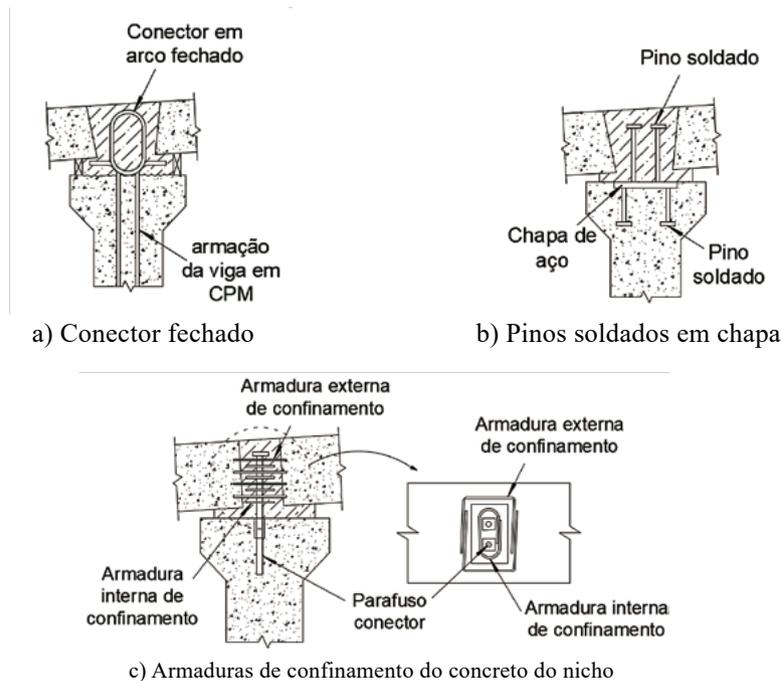
a) Formatos geométrico dos nichos e/ou da laje pré-moldada



b) Nicho em viga composta pré-moldada com superfície plana e com chave de cisalhamento.

Figura 5 – Tipologia geométricas dos nichos utilizados nas pesquisas recuperadas na RSL.

Fonte – Adaptado de Araújo e El-Debs (2005b), PCI (2011) e Sritharanet al (2014).



a) Conector fechado

b) Pinos soldados em chapa

c) Armaduras de confinamento do concreto do nicho

Figura 6 – Tipologias de alguns conectores utilizados nas pesquisas recuperadas na RSL

Fonte – Adaptado de Sullivan, Wollmann e Swenty (2011), El-Khier e Morcous (2021) e Kim e Trejo (2014, 2015).

Tabela 3 – Estudos da ligação por meio de ensaios de cisalhamento direto.

Trabalho	Ensaio	Carga	Modelo de cálculo	Particularidade da ligação ¹
Araújo e El Debs, 2005a	push-out	estática	empírico	chave de cisalhamento
Araújo e El Debs, 2005b	push-out	estática	empírico	chave de cisalhamento
Menkalusi e Wollmann, 2005	push-off	estática	empírico	nicho convencional (tronco de pirâmide)
Issa <i>et al</i> , 2006	push-out	estática	–	nicho convencional (semi-cilíndrico)
Judice, Shehata e Shehata, 2006	push-off	estática	analítico e empírico	nicho convencional (tronco de pirâmide)
Scholz <i>et al</i> , 2007	push-off	estática	–	nicho convencional (cilíndrico)
Chung <i>et al</i> , 2010	push-off	estática	empírico	chave de cisalhamento
Shehata, Shehata e Mendonça, 2010	push-off	estática	empírico	nicho convencional (tronco de pirâmide)
Kim e Trejo, 2014	push-off	estática	empírico	armadura de confinamento
Kim e Trejo, 2015	push-off	estática	semi empírico	armadura de confinamento
Noel, Wahab e Soudki, 2016	push-off e pull-out	estática	–	nicho convencional (paralelepípedo)
Afefy, Kassen e Taher, 2017	push-off	cíclica	–	nicho convencional (paralelepípedo)
Tawadrous e Morcous, 2018	push-off	estática	–	HSS
Leblouba <i>et al</i> , 2019	push-off	cíclica	–	nicho convencional (paralelepípedo)
Tawadrous e Morcous, 2019	push-off	estática	analítico	HSS (adaptado)
Morcous e Tawadrous, 2020	push-off	estática	–	HSS
Fang <i>et al</i> , 2021	push-out	estática	empírico	nicho convencional (paralelepípedo)
El-Khier e Morcous, 2021	push-off	estática	empírico	armadura em arco fechado
Morcous e Tawadrous, 2021	push-off	estática	–	HSS

¹ Os modelos de ligação com HSS referem-se a *Hollow Structural Sections* que serve de forma para moldagem do nicho e como confinamento do concreto da ligação.

Fonte – Própria.

cisalhamento direto foram a taxa e a resistência da armadura transversal, a resistência do concreto moldado no nicho, os tipos de conectores, a forma geométrica e tipológica dos nichos, e o tipo de superfície entre concretos de diferente idade. Nos estudos cujo escopo foi a análise do comportamento das vigas compostas à flexão, outras variáveis foram parametrizadas como o espaçamento dos nichos, a altura das vigas e a influência da protensão.

A forma geométrica e tipológica dos nichos foi pauta nos trabalhos de Tawadrous e Morcouc e Maguire (2019) e Morcouc e Tawadrous (2020) que utilizaram as *Hollow Structural Sections* (HSS) para forma e definição dos nichos (Figura 7). As HSS são formas metálicas embutidas na laje pré-moldada, constituindo nichos parcialmente abertos na superfície superior da laje pré-moldada, suficiente para passagem do conector e posterior preenchimento com graute. Essas formas metálicas também são ancoradas no concreto pré-moldado das lajes por meio de pinos ou parafusos que foram soldados na chapa metálica da HSS. A espessura do HSS é variável em cada análise.

Relação força-deslizamento da interface

A existência de um deslizamento relativo entre

as superfícies na interface entre a viga e laje pré-moldadas indica que a conexão nas vigas compostas por meio de nichos não é total, assim como ocorre nas vigas compostas formadas por laje moldada no local e viga pré-moldadas. Trabalhos como de Afefy, Kassen e Taher (2017) e de Issa *et al* (2006) caracterizam o deslizamento relativo na interface por meio de ensaios de cisalhamento direto.

Os trabalhos de Kim e Trejo (2014, 2015), por exemplo, trazem a divisão de trechos na curva força-deslizamento, representando pontos de ruptura na base de regularização e perda da aderência da interface até estágios de manutenção de uma força residual até a ruptura. Chung *et al* (2010) dispõem que nesta fase inicial os espécimes ensaiados apresentam comportamento semelhante da relação força-deslizamento até a perda da aderência, e, posteriormente, apresentaram comportamento com rigidez diferente.

Resistência ao cisalhamento da ligação viga-laje

A resistência ao cisalhamento da ligação viga-laje é a principal característica avaliada na maior parte dos trabalhos selecionados. Na Tabela 4 estão resumidos os trabalhos que apresentaram expressões empíricas

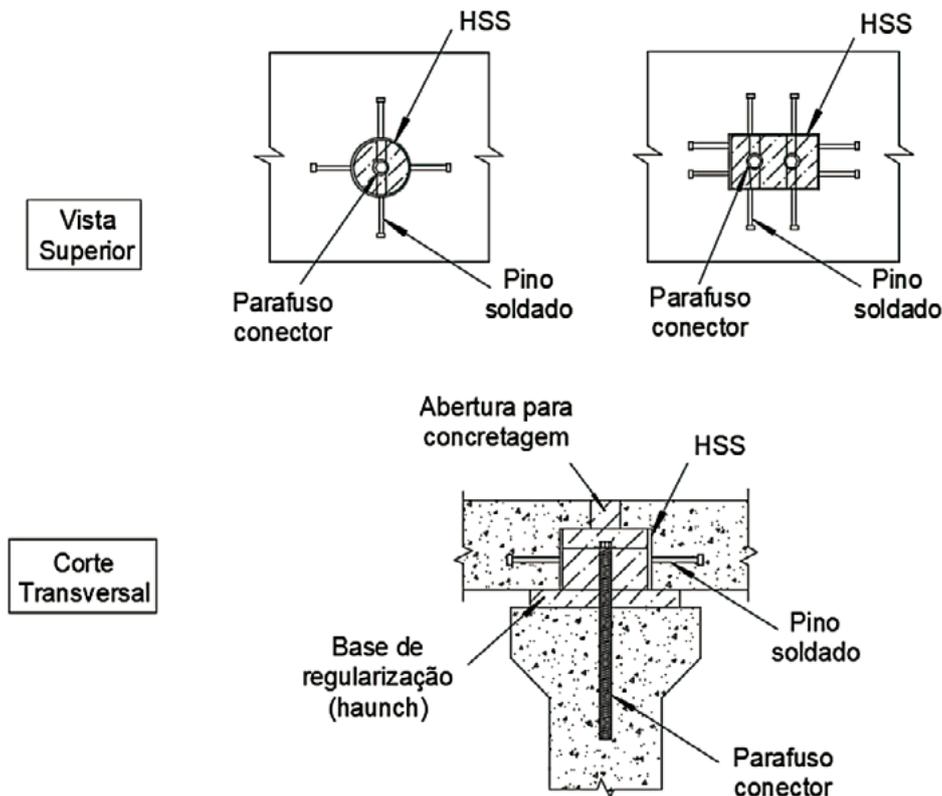


Figura 7 – Descrição das ligações por meio das Hollow Structural Sections (HSS).

Fonte – Adaptado de Tawadrous, Morcouc e Maguire (2019).

para a representação da resistência ao cisalhamento da interface das ligações em vigas compostas em concreto pré-moldado.

Nas expressões apresentadas na Tabela 4, τ_u é a tensão de cisalhamento última na interface entre concretos; f_a é a resistência à compressão do concreto moldado no nicho; ρ é a taxa de armadura normal à interface; f_y é a resistência ao escoamento do aço dos conectores; σ_n é a tensão normal atuando na interface devido às cargas externas; C_p é o coeficiente de coesão da superfície rugosa; t_b é a espessura da camada de regularização (haunch); k_0 é um coeficiente de

redução relacionado ao modelo de Fang *et al* (2021); $\alpha_{sp} \alpha_{cp} \mu_{sp}$ é um coeficiente que representa a influência do conector no modelo de Kim e Trejo (2015). Nas expressões apresentadas na Tabela 4, há expressões que consideram a adição de fibras de aço na resistência da ligação, como os trabalhos de Araújo (2005a) e El-Khier e Morcouc (2021) que são influenciadas pelo volume de fibras V_f .

Na Figura 8 estão plotadas as curvas fornecidas pelos modelos empíricos descritos na Tabela 4. Nos modelos de Araújo e El Debs (2005a), Judice, Shehata e Shehata (2006), Fang *et al* (2021) e El-Khier e Morcouc

Tabela 4 – Equações empíricas obtidas dos estudos experimentais dos trabalhos selecionados na RSL.

Pesquisa	Tensão de cisalhamento última (MPa)
Araújo e El Debs, 2005a (chave de cisalhamento)	$\tau_u = 1,270\sqrt{f_c} + 0,798\rho f_y \leq 1,8\sqrt{f_c}$, $V_f = 0\%$ $\tau_u = 1,730f_c^{0,708}(\rho\sqrt{f_y})^{0,415} \leq 2,6\sqrt{f_c}$, $0,75\% \leq V_f \leq 1,5\%$
Menkulasi e Wollmann ¹ , 2005	$\tau_u = c + 0,51(\rho f_y + \sigma_n)$
Judice, Shehata e Shehata, 2006	$\tau_u = 0,2 f_c^{2/3} + 0,8\rho f_y \leq \begin{cases} 0,25 f_c \\ 9,0 MPa \end{cases}$
Chung <i>et al</i> ² , 2010 (chave de cisalhamento)	$\tau_u = [c_p + 0,62(\rho f_y + \sigma_n)]R_t$, $R_t = (1,14 - 0,01t_b)$
Shehata, Shehata e Mendonça, 2010	$\tau_u = 0,2 f_c^{2/3} + 0,75\rho f_y \leq 0,25 f_c$
Kim e Trejo, 2014	$\tau_u = 0,893 + 1,25(\rho f_y + \sigma_n)$
Kim e Trejo ³ , 2015	$\tau_u = 0,843 + \alpha_{sp} \alpha_{cp} \mu_c (\rho f_y + \sigma_n)$
Fang <i>et al</i> ⁴ , 2021	$\tau_u = (0,1f_c + 0,6\rho f_y)k_0$
El-Khier e Morcouc ⁵ , 2021	$\tau_u = 1,29\sqrt{f_c} + 0,32 \rho f_y \sqrt{f_c} \leq 0,39f_c \leq 46,68 MPa$, $V_f = 2\%$ $\tau_u = 6,05 + 0,92(\rho f_y + \sigma_n) \leq 0,30f_c \leq 12,41 MPa$

¹ No estudo de Menkulasi e Wollmann (2005), a constante c pode assumir os valores de 1,12 MPa e 0,56 MPa para a avaliação da resistência máxima e mínima da ligação, respectivamente.

² No modelo de Chung *et al* (2010), o coeficiente de coesão c_p pode assumir os seguintes valores: 0,53 MPa, 0,47 MPa e 0,42 MPa para chaves de cisalhamento, superfície rugosa e superfície lisa, respectivamente.

³ O coeficiente $\alpha_{sp} \alpha_{cp} \mu_c$ do modelo de Kim e Trejo (2015) representa a contribuição do conector no pico da resistência da ligação, variando entre 0,18 e 0,30 segundo o estudo.

⁴ O coeficiente de redução k_0 do modelo de Fang *et al* (2021) relaciona a redução das propriedades dos materiais e tem o valor de 0,85 para concretos pré-moldados leves e 1,0 para UHPC e concretos convencionais.

⁵ No modelo de El-Khier e Morcouc (2021), foram feitas adaptações na expressão dada pela AASHTO LRFD (2020), considerando o cisalhamento do UHPC monolítico na primeira expressão e o cisalhamento da interface entre concreto convencional e o UHPC na segunda.

Fonte – Própria.

(2021) que necessitaram indicar a resistência do concreto, essa foi adotada igual a $f_c = 25$ MPa. A tensão normal σ_n foi considerada nula nesta avaliação. Foi utilizada a espessura $t_b = 20$ mm para a base (haunch) no modelo de Chung *et al* (2010) e adotado $k_\theta = 1,0$ do modelo de Fang *et al* (2021).

El-Khier e Morcous (2021) propõe uma modificação nos valores de coesão e do coeficiente de atrito para as expressões da AASHTO LRFD a partir dos ensaios em seu trabalho que estudou o cisalhamento da interface entre concreto de alta resistência (*Ultra High Performance Concrete* – UHPC) e concreto convencional (Tabela 4). Na Figura 8 está desenhada a curva desse modelo, considerando a interface entre concreto UHPC e o concreto convencional, o que explica o valor maior da resistência inicial. O modelo proposto por Araújo e El Debs (2005a) prevê uma maior resistência inicial em comparação aos demais, visto que faz a utilização de chaves de cisalhamento. Em geral, devido a não padronização de variáveis avaliadas nos ensaios realizados nas pesquisas retornadas, a comparação realizada na Figura 8, a grosso modo, é para efeito comparativo do comportamento das equações.

Modos de falha e ductilidade das ligações

Com o objetivo de melhor entender o comportamento das ligações viga-laje nas vigas compostas, deve-se atentar às formas de falha dos protótipos submetidos aos ensaios de cisalhamento direto e de flexão. As rupturas podem se configurar como frágeis

ou dúcteis e este comportamento auxiliará na tomada de decisões quanto à prevenção de falhas.

Kim e Trejo (2014) e Tawadrous e Morcous (2019) trazem os estágios mais comuns identificados nos resultados dos ensaios de cisalhamento direto. Na curva força-deslocamento podem ser identificados os seguintes estágios: perda inicial da adesão da interface após o trecho linear com pequenos deslocamentos; posterior falha por perda da resistência devida ao atrito ou às chaves de cisalhamento quando se tem o pico da força cisalhante resistente; comportamento residual por ação de pino do conector com grandes deformações; e, por fim, a rutura da ligação. Kim e Trejo (2014) ressaltam quatro possíveis falhas finais para a ligação: falha da ancoragem dos conectores; falha por corte dos conectores; falha por escoamento devido às tensões de tração no conector; e falha na interface entre o nicho e a laje. Logo, cada estudo identificou um determinado tipo de falha, porém, muito relacionado a esse processo descrito anteriormente.

Considerações finais e conclusão

Neste trabalho foi realizada a revisão sistemática da literatura com objetivo de levantar as principais pesquisas relacionadas aos estudos de vigas compostas formadas por viga e laje pré-moldadas ligadas mediante nichos. A partir de um planejamento foi estabelecido um protocolo de pesquisa e foram definidos os objetivos da pesquisa, assim como as questões de análise.

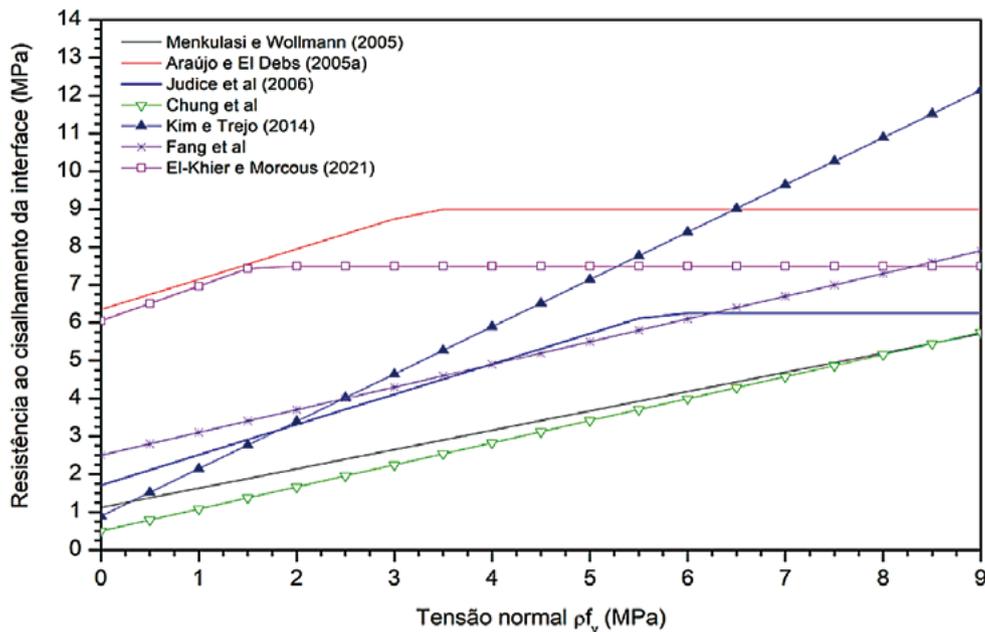


Figura 8 – Descrição das ligações por meio das *Hollow Structural Sections* (HSS).

Fonte – Adaptado de Tawadrous, Morcous e Maguire (2019).

Da busca nas bases de dados, execução das etapas de seleção e extração das informações, chegou-se a um total de apenas 25 publicações selecionadas para esta revisão. Foi realizada uma análise bibliométrica dos estudos e uma síntese dos principais pontos avaliados nas pesquisas, destacando-se as seguintes conclusões:

- a melhor representatividade nos periódicos: *ACI Structural Journal*, na revista *Engineering Structures* e na revista *Material and Structures*. Assim, as bases relacionadas à Elsevier, à Springer Link e aos portais do *PCI* e *ACI* apresentam, por indexar esses periódicos, maior relevância;
- foi evidenciada uma concentração de estudos nos EUA, visto que também neste país estão presentes os principais órgãos normativos e editoriais relacionados ao tema abordado, tais como o *PCI*, a *ACI* e a *ASCE*;
- houve um aumento de trabalhos publicados na última década de análise em comparação à primeira metade do período analisado, evidenciando uma retomada pelo interesse do tema atualmente;
- há poucos trabalhos que abordem a influência dos nichos na tensão da biela comprimida da viga pré-moldada, o que pode afetar a resistência à força cortante da viga composta. Apenas o trabalho de Judice, Shehata e Shehata (2006) realizou essa análise;
- apenas quatro pesquisas avaliaram o comportamento das ligações com nichos submetidas a cargas cíclicas,
- as principais variáveis analisadas nos trabalhos e que influem na resistência da ligação viga-laje são a taxa de armadura do conector; a resistência do concreto moldado no nicho; o tipo de conector empregado; e a utilização da HSS no nicho, de chaves de cisalhamento ou de superfícies planas na interface entre viga e laje;
- há três principais estágios na relação força-deslizamento nas ligações viga-laje na maior parte dos trabalhos recuperados, sendo observadas quatro falhas mais comuns apresentadas pelos autores: falha da ancoragem dos conectores; falha por corte dos conectores; falha por escoamento devido às tensões de tração no conector; e falha na interface entre o nicho e a laje.

Agradecimentos

Agradecimento especial à Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio e financiamento ao estudo que engloba esta pesquisa. Agradecimento também à Universidade Federal de Goiás que torna possível a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- AFEFY, H. M.; KASSEM, N. M.; TAHER, S. E. F. Capacity Magnification by Imposing Composite Action of Precast Concrete Flanged Girders. **KSCCE Journal of Civil Engineers**, v. 22, p. 2390-2405, 2017.
- ARAÚJO, D. L.; EL DEBS, M. K. Strength of shear connection in composite bridges with precast decks using high performance concrete and shear-keys. **Materials and Structures**, v. 38, n. 1, p. 173-181, 2005a.
- ARAÚJO, D. L.; EL DEBS, M. K. Beam slab connection in precast bridge decks with pockets filled out with high-performance concrete and shear key. **IBRACON Structural Journal**, v. 1, n. 1, p. 1-28, 2005b.
- ARAÚJO, D. L. **Tabuleiros com viga e laje pré-moldadas ligadas mediante nichos**. In: EL DEBS, M.K. **Pontes de concreto armado: ênfase na aplicação de elementos pré-moldados**. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. 480 p.
- BRERETON, P.; KITCHENHAM, B. A.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; KHALIL, M. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of Systems and Software**, 2007.
- CHUNG, C. H.; SHIM, C. S.; HYUN, B. H.; KIM, Y. J. Shear connections in prestressed beams with precast slabs. **Proceedings of the ICE – Structures and Buildings**, London, v. 163, n. SB5, p. 317-330, October 2010.
- ELDEBS, M.K. **Concretopré-moldado: Fundamentos e aplicações**. Projeto REENGE. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2017.
- EL-KHIER, M. A.; MORCOUS, G. Precast concrete deck-to-girder connections using Ultra-High Performance Concrete (UHPC) shear pockets. **Engineering Structures**, v. 248, Setembro. 2021.
- FANG, Z.; HAIBO, J.; DONG, X.; SHAO, T. Shear performance of UHPC-filled pocket connection between precast UHPC girders and full-depth precast concrete slabs.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

- ISSA, M. A.; SALAS, J. S.; SHABILA, H. I.; ALROUSAN, R. Z. Composite behavior of precast concrete full-depth panels and prestressed girders, **PCI JOURNAL**, v. 51, n. 5 p. 132-145. 2006.
- JUDICE, F. M. S. **Comportamento da ligação entre lajes e vigas pré-fabricadas feitas com nichos preenchidos no local**. 2002. 383 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- JUDICE, F. M. S.; SHEHATA, I. A. E. M.; SHEHATA, C. D. Shear strength of precast prestressed composite beams with discontinuous connections made of cast-in-place shear keys. **Materials and Structures**, v. 39, p. 353-364, 2006.
- JOHN MA, Z.; ZHAN, Y.; XIAO, L.; LI, L.; LU, W. Simply full-depth precast concrete deck panel systems for accelerated bridge construction. **J. Mod. Transport**, v. 24, p. 251-260, 2016.
- KIM, Y. H; TREJO, D. Shear-Transfer Mechanism and Design of Shear Connectors of Full-Depth Precast Deck Panel System. **ACI structural Journal**, v. 111, n. 4, July-August, 2014.
- KIM, Y. H; TREJO, D.. Large-Diameter Shear Connector Systems for Full-Depth Precast Overhang Panels: Evaluation and Design. **ACI structural Journal**, v. 112, n. 4, July-August, 2015.
- KITCHENHAM, B. 2007. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. Technical Report. Keele University, Keele, UK.
- LEBLOUBA, M.; BARAKAT, S.; AHMED, M. S. A.; AL-TOUBAT, S. Shear strength at the interface of precast bridge concrete decks and girders subjected to cyclic loading with varying speeds. **Engineering Structures**, v. 196, 2019.
- MARQUES, F. L. S. N. **Como fazer Revisão Sistemática** - Prof.ª Dr.ª Fátima Nunes (USP). Palestra (youtube), 2015. Disponível em < <https://youtu.be/Wgaw97mTKWM>>. Acesso em 10 fev. 2022.
- MENKALUSI, F.; ROBERTS-WOLLMANN, C. L. Behavior of Horizontal Shear Connections for Full-Depth Precast Concrete Bridge Decks on Prestressed I-Girders. **PCI Journal**, v. 50, n. 3, p. 60-73, 2005.
- MORCOUS, G.; JABER, F.; VOLZ, J. A new Precast Concrete Deck System for Accelerated Bridge Construction. In: RODRIGUES, H., ELNASHAI, A., CALVI, G. (eds). **Facing the Challenges in Structural Engineering**. Sustainable Civil Infrastructures. Springer, Cham. 2018.
- MORCOUS, G.; TAWADROUS, R. Precast concrete deck-to-girder mechanical connection for accelerated bridge construction. **PCI Journal**, v. 65, n. 3, p.37-52, 2020.
- MORCOUS, G.; TAWADROUS, R. Circular Shear Pocket Connection for Full-Depth Precast Concrete Deck Construction. **ASCE, Journal of Bridge Engineering**, v. 26, n. 5, 2021.
- NEVES, Jose Luis. **Pesquisa qualitativa – características, usos e possibilidades**. Caderno de Pesquisas em Administração. São Paulo, v. 1, nº 3, 2º sem. 1996.
- NOEL, M.; NORAN, W.; KHALED, S. Experimental investigation of connection details for precast deck panels on concrete girders in composite deck construction. **Engineering Structures**, v. 106, p. 15-24, 2016.
- PRESTRESSED/PRECAST CONCRETE INSTITUTE. Committee on Bridges and PCI Bridges Producers Committee. **State-of-the-Art Report on Full-Depth Precast Concrete Bridge Deck Panels**. 1. ed. Chicago, 2011.
- SCHOLZ, D. P.; WALLENFELSZ, J. A.; LIJERON, C.; ROBERT-WOLLMANN, C.L. **Recommendations for the connection between full-depth precast bridge deck panel systems and precast I-beams**. 2007. 75 f. Report (Pesquisa em contrato com a Virginia Transportation Research Council) – University of Virginia, 2007.
- SHEHATA, I. W. M. S.; SHEHATA, L. C. D.; MENDONÇA, E. C. G. Strength of shear keys used in precast prestressed composite beams. **Materials and Structures**, v. 43, p. 675-685, 2010.
- SHIM C. S., KIM J. H., CHANG S. P. and CHUNG C. H. The behaviour of shear connections in a composite beam with a full-depth precast slab, **Structures and Buildings**, 2000, 140, 101–110. 2000.
- SRITHARAN, S.; WIPF, T. J.; ROUSE, J. M.; AALETI, S.; HONARVAR, E. Structural Characterization of UHPC Waffle Bridge Deck and Connections. **Bridge Engineering Center, Iowa Highway Research Board**, 2014.
- START: State of Art Through Systematic Review. Versão 3.3 *Beta 03: LaPes* (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software*), 2022. Disponível em: < http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool> . Acesso em: 15 fev. 2022.
- SULLIVAN, S. R.; ROBERTS-WOLLMANN, C. L.; SWENTY, M. K. Composite behavior of precast concrete bridge deck-panel systems. **PCI Journal**, v. 56, n. 3, p. 43-59, 2011.
- SULLIVAN, S.; WOLLMANN, C. L. R. **Experimental an Analytical Investigation of Full-Depth Precast Deck Panels on Prestressed I-Girders**. 2008. 81

f. Report (Pesquisa em contrato com a Virginia Transportation Research Council) – University of Virginia, 2008.

TAWADROUS, R.; MORCOUS, G. Interface shear resistance of clustered shear connectors for precast concrete bridge deck systems. **Engineering Structures**, v. 160, p. 195-211, 2018.

TAWADROUS, R.; MORCOUS, G. Design of shear pocket connection in full-depth precast concrete deck systems. **Engineering Structures**, v. 179, p. 367-386, 2019.

TAWADROUS, R.; MORCOUS, G.; MAGUIRE, M. Performance Evaluation of a New Precast Concrete Bridge Deck System. **ASCE: Journal of Bridge Engineering**, v. 24, n. 6, 2019.

TRANSFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management** 14, 207–222, 2003.

ZOTERO. Versão 5.0.96.3. **Corporation for Digital Scholarship**, 2022. Disponível em: < <https://www.zotero.org/>>. Acesso em: 25) fev. 2022.