

PISO MISTO DE PEQUENA ALTURA: UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE AS TIPOLOGIAS

Data de aceite: 26/08/2024

Tainá Mascarenhas Borghi

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos
São Carlos – São Paulo
<https://orcid.org/0000-0002-7139-8541>

Ana Lúcia Homce de Cresce El Debs

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos
São Carlos – São Paulo
<https://orcid.org/0000-0001-6359-7674>

RESUMO: Os componentes mistos convencionais já estão consolidados na construção, abrindo espaço para outros elementos estruturais, como é o caso do piso misto de pequena altura, também conhecido como *slim floor*. Esse sistema é composto por vigas de aço e lajes de concreto ou mistas, com a finalidade de reduzir a altura total do piso, através da introdução da laje na altura da viga. Existem muitas combinações possíveis para compor o *slim floor*, podendo variar tanto o tipo de laje empregado, quanto o perfil de aço ou o tipo de conectores de cisalhamento. Nesse sentido, muitas são as tipologias encontradas na literatura, principalmente em relação à variedade das seções da viga. Dessa forma, o presente capítulo, que é um

recorte da dissertação da primeira autora (Borghi, 2020), busca mapear as produções sobre as tipologias do piso misto de pequena altura, de modo a divulgar as tipologias existentes e verificar em quais situações se aplicam melhor. Assim, as informações obtidas nesse estudo colaboram para a ampliação do conhecimento e sua disseminação na comunidade científica e técnica, cooperando com a maior utilização desse sistema estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Piso misto de pequena altura. Tipologias. Revisão da literatura.

SLIM FLOOR: A LITERATURE REVIEW ABOUT THE TYPOLOGIES

ABSTRACT: Conventional composite structures are already well-established in construction, paving the way for other structural elements, such as the slim floor. This system consists of steel beams and concrete or composite slabs, aiming to reduce the total floor height by integrating the slab into the beam height. There are many possible combinations to compose the slim floor, with variations in the type of slab used, the steel profile, or the type of shear connectors. In this context, numerous

typologies are found in the literature, especially concerning the variety of beam sections. Therefore, this chapter, which is an excerpt from the first author's master's thesis (Borghi, 2020), aims to map the research on the typologies of slim floor, to publicize the existing typologies, and to identify the situations in which they are best applied. Thus, the information obtained in this study contributes to the expansion of knowledge and its dissemination to the scientific and technical community, promoting greater use of this structural system.

KEYWORDS: Slim floor. Typologies. Literature review.

INTRODUÇÃO

As estruturas mistas de aço e concreto se caracterizam pela união entre perfis de aço e o concreto, beneficiando-se das qualidades desses materiais, tanto relativos a capacidade resistente, quanto à aspectos construtivos, funcionais e estéticos. Assim, além de aproveitar de maneira eficiente a resistência do aço à tração e do concreto à compressão, outras vantagens dessa junção podem ser citadas, como redução do peso próprio do sistema, capacidade de vencer grandes vãos sem a necessidade de escoramento, atenuação de instabilidades e maior proteção contra o fogo e a corrosão, quando comparado à estruturas de concreto armado ou de aço.

Os estudos sobre estruturas mistas já estão bastante difundidos no Brasil e no mundo. A norma brasileira ABNT NBR 8800 “Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios” (2008), aborda esse tipo estrutural em seus anexos O, P, Q e R, trazendo o dimensionamento e execução de elementos mistos sujeitos à flexão. Atualmente, os componentes abordados nessa norma são as vigas, lajes e pilares mistos, além das ligações.

Assim, estruturas inovadoras surgem, como o piso misto de pequena altura, também conhecido como *slim floor*, o qual tem o intuito de reduzir a altura total do sistema, através do acoplamento da laje de concreto ou mista na altura da viga de aço, sendo apoiada na mesa inferior da viga.

Algumas características desse sistema atribuem a ele vantagens únicas. O sistema apresenta um aumento da rigidez, da resistência ao fogo e às instabilidades locais da seção de aço, devido à viga de aço estar revestida pelo concreto (De Nardin; El Debs, 2008). Além disso, Bailey (1999) destaca que o *slim floor* permite um ótimo nivelamento do piso, ajudando na fixação das instalações de serviços e economizando no revestimento.

Outras vantagens também podem ser citadas, como aumento da capacidade resistente; economia de material contribuindo com a ideia de construção sustentável; redução da mão de obra e do número de vigas secundárias; velocidade na construção; segurança e atendimento das demandas arquitetônicas modernas (Mullet, 1992). Porém, apesar das vantagens descritas, o piso misto de pequena altura exige um maior volume de concreto e reduz o momento de inércia, sendo necessário perfis mais pesados e maior peso próprio total, quando comparado ao piso misto convencional (Rocha, 2012).

Apesar de ser composto basicamente por vigas de aço e lajes de concreto, o *slim floor* consegue ter uma grande versatilidade, combinando diferentes características. Além de ser possível variar o tipo de laje empregada e o tipo de conector de cisalhamento, o sistema *slim floor* permite também a variação da viga. A partir dessa variação, muitas tipologias são estudadas mundialmente, sendo apresentadas no tópico a seguir.

Como ficou evidente, o *slim floor* se mostra bastante atrativo, devido às suas vantagens construtivas e econômicas, e pesquisadores ao redor do mundo investem no estudo desse sistema estrutural. Assim, o presente capítulo, que é um recorte da dissertação da primeira autora (Borghì, 2020), busca mapear as produções sobre as tipologias do piso misto de pequena altura, de modo a divulgar as tipologias existentes e verificar em quais situações se aplicam melhor. Assim, as informações obtidas nesse estudo colaboram para a ampliação do conhecimento e sua disseminação na comunidade científica e técnica, cooperando com a maior utilização desse sistema estrutural.

TIPOLOGIAS DO PISO MISTO DE PEQUENA ALTURA

Por volta de 1790, a primeira forma de *slim floor* foi utilizada em um sistema que se denominava *jack-arch floor*. Era composto por arcos de blocos cerâmicos, apoiados nas mesas das vigas de ferro fundido e recobertos com concreto (Bailey, 1999). Logo depois, no século XIX, registra-se a utilização do *filler joist* (ou *joist concrete*), um sistema *slim floor* que utilizava vigas de aço espaçadas de 0,6 a 1,2 m, sendo posteriormente revestidas com concreto, que deveria ficar abaixo da mesa inferior da viga (Bailey, 1999). Porém, essas ações foram pontuais, sem estudos registrados e considerados somente para fins históricos.

O estudo do piso misto de pequena altura teve início em meados da década de 70, com os pesquisadores do *Swedish Institute of Steel Construction*. A partir da década de 80, os países nórdicos (Noruega, Finlândia, Dinamarca, Suécia e Islândia) foram responsáveis pela difusão desse sistema, causando um grande crescimento na indústria metálica, principalmente devido ao uso da viga *Hat beam* (Lawson; Mullet; Rackham, 1997). Segundo Mullet (1992), a viga *Hat beam* era originalmente formada pela soldadura de quatro chapas de aço, duas verticais e duas horizontais, como é possível identificar na Figura 1(a).

As formas mais usuais das derivações da *Hat beam* eram constituídas por perfis T. O primeiro tipo é composto por duas seções T soldadas pela mesa, com uma chapa de aço soldada horizontalmente às almas dos perfis, como mostrado na Figura 1(b). A segunda variação da viga *Hat beam* é constituída por 3 seções T, soldadas entre si (Figura 1(c)). O modelo da seção da viga da Figura 1(d) difere das demais por utilizar um perfil tipo I (*universal column*), soldado à duas chapas, uma no topo e outra por baixo.

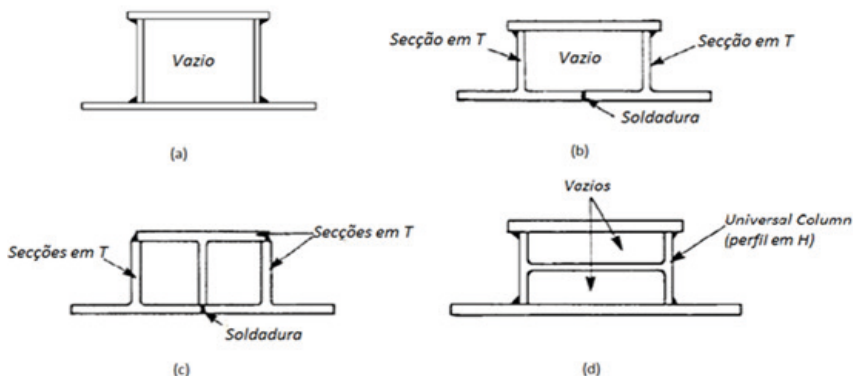


Figura 1: Variações *Hat beam*

Fonte: Adaptado de Mullet, 1992

Outro modelo de seção de viga que foi bastante usado no final do século XX, foi a *Thor-beam*, comercializada pela empresa *ConstrucThor*, a qual consiste na utilização de duas seções U soldadas à uma chapa nas mesas inferiores. Nas mesas superiores são soldadas chapas menores e uma cantoneira, que funcionam como conectores de cisalhamento. Na Figura 2(a) podemos entender melhor a disposição das peças. Além desses modelos, Mullet (1992) também aborda uma seção de viga composta apenas por um perfil tipo I, como visto na Figura 2(b), no qual a laje é apoiada na mesa inferior. Porém esse tipo de seção apresenta dificuldade ao encaixar a laje pré-moldada, sendo necessário efetuar recortes na laje ou na viga.

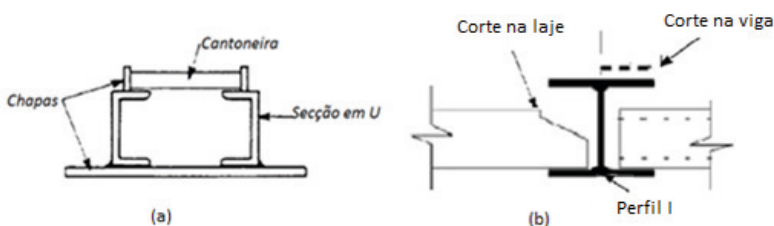


Figura 2: *Thor-beam* e *Universal column*

Fonte: Adaptado de Mullet, 1992

Devido à grande utilização do piso misto de pequena altura nos países nórdicos, a *British Steel* (atual *Tata Steel*) e o *Steel Construction Institute* (SCI) desenvolveram conjuntamente um estudo para avaliar a capacidade resistente deste sistema e suas características. A partir desse estudo, um novo tipo de viga de aço para ser utilizada no sistema *slim floor* foi criado, denominado *Slimflor Fabricated Beam* (SFB). Essa viga consiste em um perfil laminado tipo I soldado à uma chapa de aço maior pela mesa inferior (Mullet, 1992), conforme mostrado na Figura 3(a). Alguns anos depois, em 1997, essas instituições

apresentaram um novo perfil laminado, denominado *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB). Um perfil assimétrico, com a mesa inferior maior que a superior e que contém ranhuras na face externa da mesa superior - Figura 3(b).

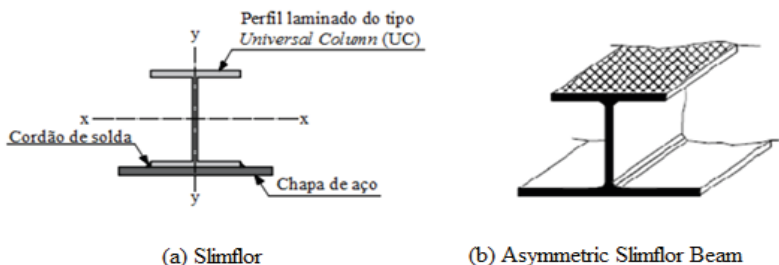


Figura 3: *Slimflor*

Fonte: Adaptado de Paes, 2003

Contemporaneamente ao sistema ASB, a *British Steel* apresenta uma solução complementar a esses perfis de aço, o *Slimdek*®. É um sistema composto por um perfil de aço assimétrico, podendo ser o ASB ou o SFB, em conjunto com uma laje com forma de aço incorporada, do tipo trapezoidal (Barros, 2011), como visto na Figura 4. Como vantagens, está a redução do peso próprio, a melhoria do isolamento térmico e acústico e a possibilidade de se utilizar o espaço entre nervuras da laje para a passagem de instalações de serviço.

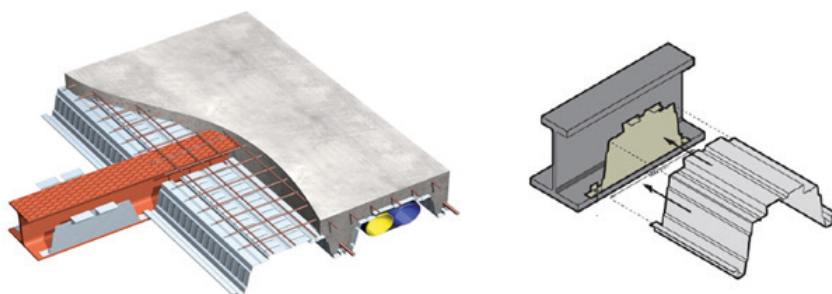


Figura 4: *Slimdek*® e vedação da laje-viga

Fonte: Limazie e Chen, 2015; Barros, 2011

A partir da *Thor-beam* começa-se a utilizar o preenchimento do interior da viga com concreto para garantir maior rigidez, sendo essa técnica aprimorada em meados dos anos 90 com o surgimento da *Deltabeam*®. Essa tipologia foi desenvolvida na Finlândia pela empresa *Peikko* (Nádaský, 2012), e consiste em uma viga com 4 chapas de aço soldadas entre si e com aberturas na alma, como mostrado na Figura 5.

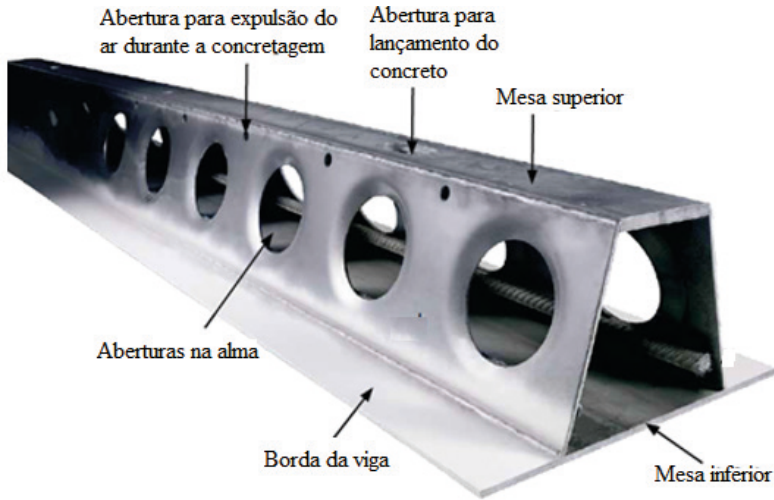


Figura 5: *Deltabeam®*

Fonte: Adaptado de Peikko, 2014

Também no início dos anos 90, a companhia siderúrgica ARBED (atual grupo *ArcelorMittal*) começou a desenvolver um novo perfil para o *slim floor*: o *Integrated Floor Beam* (IFB). Esse perfil é produzido através de um corte ao meio no perfil I, formando uma seção T e, de acordo com seu processo de fabricação, pode ser dividido em tipo A ou B. No tipo A, a seção T formada é soldada a uma chapa com largura maior que a mesa do perfil original (Figura 6(a)) e, no perfil tipo B, solda-se à alma uma chapa com largura inferior à da mesa do perfil, como visto na Figura 6(b) (Barros, 2011).

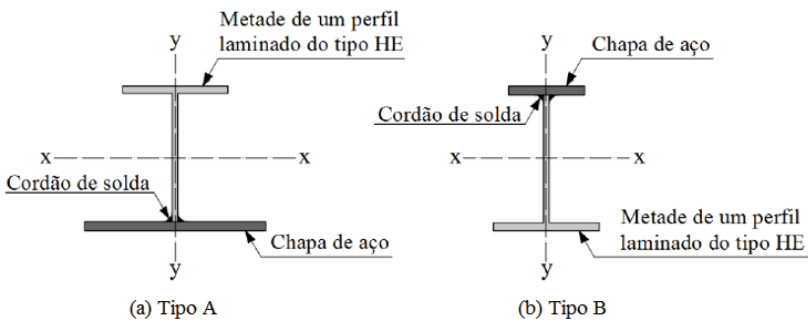


Figura 6: *Integrated Floor Beam*

Fonte: Adaptado de Paes, 2003

A introdução de vigas I com aberturas na alma foi estudada pela *Universität Stuttgart* (Alemanha) em parceria com a *ArcelorMittal*, desde 2009, desenvolvendo o *Composite Slim-Floor Beam (CoSFB)*. É um sistema que pode ser formado por vigas tipo IFB ou SFB, com o diferencial de possuir pequenas aberturas circulares no topo da alma, como visto na Figura 7. Essas aberturas possibilitam a passagem de barras de aço, que funcionam como conectores de cisalhamento, desenvolvendo a ação mista da estrutura (Kuhlmann, 2012). Na Figura 7(b), é possível ver uma aplicação da CoSFB, no edifício *Dillingen a.d. Donau*, na Alemanha.

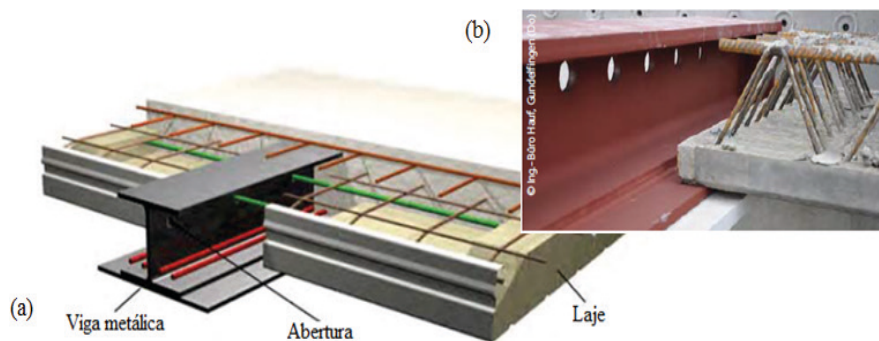


Figura 7: *Composite Slim-Floor Beam (CoSFB)*

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal, 2017

Outra tipologia de viga utilizada no sistema *slim floor*, foi desenvolvida nos Estados Unidos pela empresa *Girder-Slab Technologies*, que consiste em um perfil de aço castelado (aberturas hexagonais), cortado ao meio e soldado à uma chapa de aço, que funciona como a mesa superior. Esse perfil se denomina *D-beam* e é visto na Figura 8, assim como o sistema em fase de construção, com a aplicação da laje.



Figura 8: *D-beam*

Fonte: Girder-Slab Technologies, 2015

Ju et. al (2005) apresentam outro tipo de sistema *slim floor*, utilizado na Coréia do Sul: o *iTECH system*. O perfil de aço utilizado é igual ao *Girder-Slab System*, porém é adicionado um perfil U, também de aço, apoiado nas mesas inferiores do perfil I (Figura 9) para sustentar as lajes durante a fase de construção, não tendo função estrutural no sistema. O concreto passa através das aberturas, assim como armaduras, garantindo a ação mista, sem utilizar conectores de cisalhamento.

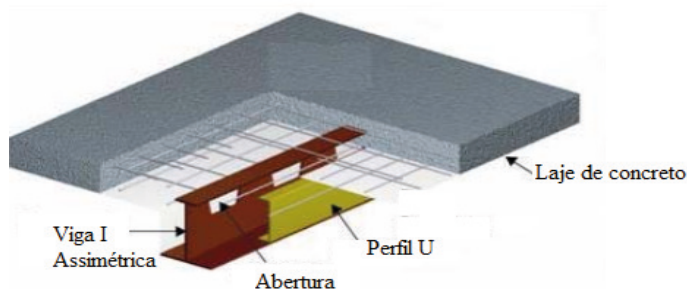


Figura 9: *iTECH system*

Fonte: Ju et. al, 2005

Seguindo a ideia de inovadoras formas de garantir o comportamento conjunto, a *Shallow Cellular Composite Floor Beam (SCCFB)* é um sistema fabricado pela soldagem de duas seções T assimétricas, com a mesa inferior maior que a superior, aberturas circulares ao longo da alma e a utilização de barras de aço que passam entre as aberturas, exercendo a função de conectores de cisalhamento (Figura 10).

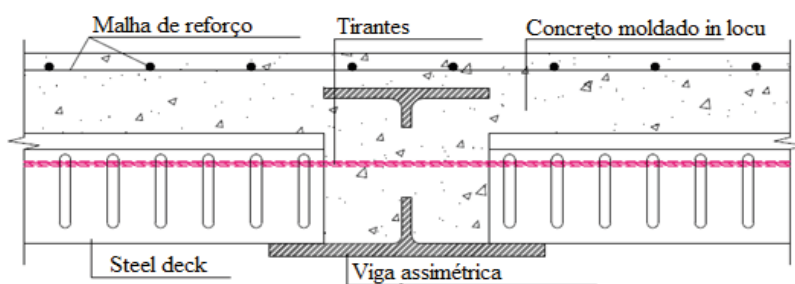


Figura 10: *Shallow Cellular Composite Floor Beam (SCCFB)*

Fonte: Limazie e Chen, 2015

Outro trabalho foi proposto por Derysz, Lewinski e Wiech (2017): se trata de uma seção de aço formada pela soldagem de dois perfis “T” invertidos, com pequenas aberturas superiores, preenchida internamente com concreto moldado in loco e com uma laje pré-fabricada apoiada nas mesas dos T. Para garantir o comportamento misto, foram usados pinos soldados às almas dos perfis, armadura longitudinal na parte interna da viga e barras de reforço que passam pelas aberturas do perfil de aço, como mostrado na Figura 11.

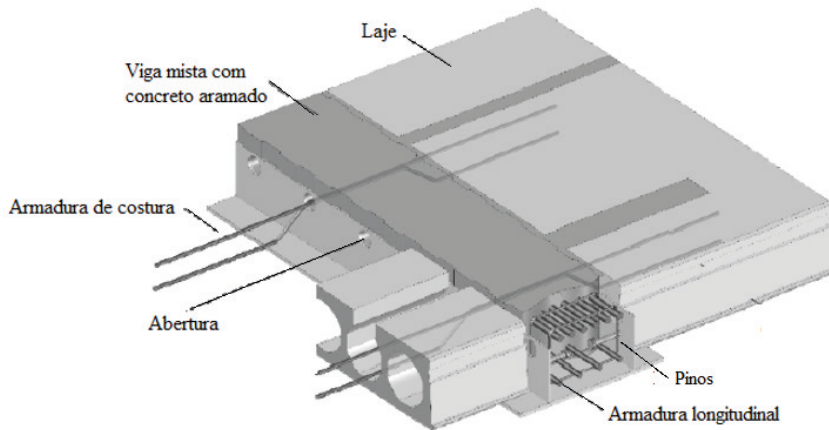


Figura 11: Tipologia estudada por Derysz, Lewinski e Wiech (2017)

Fonte: Adaptado de Derysz, Lewinski e Wiech, 2017

A seguir é apresentada a revisão da literatura sobre as tipologias apresentadas anteriormente.

REVISÃO DA LITERATURA

Os principais estudos sobre pisos mistos de pequena altura iniciaram-se com as pesquisas de Mullet (1992), que objetivaram apresentar um método de projeto, de acordo com a BS 5950 (1982), para o *slim floor*. Em seguida, Mullet e Lawson (1993), publicaram critérios de dimensionamento para a nova tipologia que estava sendo lançada, a *Slimflor*, em conjunto com o perfil de aço perfilado com fôrma de aço incorporada (*steel deck*). Esse trabalho, publicado pelo *Steel Construction Institute* (SCI), apresentou uma avaliação experimental para basear o método de projeto proposto, trazendo exemplos de aplicação.

A pesquisa de Mullet foi estendida com o estudo experimental da *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB), usando laje com fôrma de aço incorporada (*Slimdek*®). Esse estudo, de Lawson, Mullett e Rackham (1997), permitiu elaborar um procedimento analítico para essa estrutura baseado na norma britânica BS 5950 (1982).

Contemporaneamente a esses trabalhos, Lu e Makelainen (1995) realizaram investigações de vigas preenchidas, com seções *Hatbeam* e *Deltabeam*®. Através de ensaios experimentais e análises paramétricas, avaliaram a posição dos conectores de cisalhamento e a contribuição da armadura transversal no comportamento misto de vigas *Hatbeam*, preenchidas com concreto, e a eficácia das bordas das aberturas serem curvas em vigas *Deltabeam*®. A partir desse estudo, foram obtidos resultados que indicaram que, para o perfil *Hatbeam*, é melhor posicionar os conectores na parte inferior, sendo a armadura capaz de reduzir o deslizamento da interface aço-concreto. Na seção *Deltabeam*®, foi possível observar que, para as bordas das aberturas curvas, a rigidez não apresentou grande alteração, se mantendo próxima da original.

O estudo de Bailey (1999) trouxe um grande aparato histórico dos pisos mistos de pequena altura e analisou o comportamento da tipologia *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB) em situação de incêndio. Para isso, desenvolveu um *software* que previa o comportamento estrutural nessas condições, obtendo bons resultados de desempenho, comparativamente aos ensaios experimentais. Makelainen e Ma (2000) publicaram dois artigos sobre o mesmo tema e avaliaram o comportamento do ASB em situação de incêndio, através de uma análise numérica, mostrando que esse perfil apresenta boas condições sob essas circunstâncias.

Um grupo de pesquisadores da Coreia do Sul começou, por volta de 2003, uma pesquisa sobre a tipologia iTECH. A primeira publicação realizada por esse grupo diz respeito ao desempenho estrutural, em que foi analisado o comportamento de cisalhamento e flexão através de ensaio experimental, provando ser aceitável pelo Código de Projeto Estrutural Coreano (Ju et al., 2003). Ju et al. (2004) avaliaram o desempenho dinâmico desse elemento estrutural nas etapas de construção, também em um ensaio experimental, chegando à conclusão que ele satisfaz os critérios definidos em três códigos normativos diferentes. Outros artigos foram publicados em anos posteriores, que focaram no comportamento do iTECH quanto à resistência ao cisalhamento (Ju; Kim; Kim, 2005), à flexão (Ju; Chun; Kim, 2009) e ao comportamento dinâmico (Ju et al., 2008).

Rackham, Hicks e Newman (2006) desenvolveram uma publicação com orientações sobre a concepção do piso misto de pequena altura composto pelo perfil *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB) e laje alveolar de concreto pré-fabricadas. Por meio de duas configurações distintas (Tipo 1 formado por seção sem capa de concreto e Tipo 2 por seção com capa de concreto), foi estabelecido um procedimento de cálculo, considerando todos os casos de carregamento durante as fases de construção e as verificações de projeto nos estados limites últimos e de serviço. Baseando-se na BS 5950 (2001) e em publicações existentes da SCI, foram feitas também verificações de instabilidades do perfil, cisalhamento, capacidade resistente à torção e à flexão.

Hegger et al. (2009) estudou o *slim floor* composto pelo perfil *Integrated Fabricated Beam* (IFB), avaliando a resistência ao cisalhamento desse sistema com lajes alveolares e os efeitos de condições de apoio, rígidas e flexíveis, nessa resistência. O estudo foi experimental, indicando que perfis esbeltos podem causar um decréscimo na resistência ao cisalhamento de 30 a 40%. Outros fatores, como a rigidez à flexão do perfil, o grau de conexão do piso misto e a seção transversal das lajes alveolares, também influenciaram nesse resultado. Verificou-se que o enchimento dos alvéolos com concreto moldado in loco não fez aumentar a resistência ao cisalhamento no sistema avaliado.

Uma nova conformação para a viga de aço, perfil assimétrico com aberturas na alma, foi apresentada inicialmente nas publicações da SCI (1997, 1999), e focada com mais detalhes por Lawson et al. (2006). Nesse trabalho, os autores propuseram um método de projeto levando em conta a assimetria e a existência de aberturas circulares, alongadas ou retangulares. Além disso, foram sugeridas equações simplificadas com base em estudos de campo e análise de elementos finitos. A partir desse trabalho o perfil assimétrico com aberturas na alma, denominado na época de "*Ultra Shallow Floor Beams* (USFB)", começou a ser estudado com mais intensidade.

Tsavidaridis, D'Mello e Hawes (2009) publicaram um estudo experimental sobre o mesmo perfil estudado por Lawson et al. (2006), para investigar a contribuição do concreto que passa entre as aberturas da viga nas forças de cisalhamento verticais. Concluiu-se que o concreto entre as aberturas aumenta a resistência, fornecendo um caminho de carga para transferir a força de cisalhamento. Huo, D'Mello e Tsavidaridis (2010) continuaram a pesquisa sobre o cisalhamento longitudinal do USFB e o efeito de conectores adicionais, realizando 16 testes *push-out* e uma análise teórica para investigar o mecanismo de falha.

Huo e D'Mello (2013) apresentaram outros trabalhos sobre o tema, com foco nos mecanismos de transferência de cisalhamento nesse tipo de perfil. Através de investigações experimentais, foram realizados 24 testes *push-out* para estudar a conexão sob a força de cisalhamento direto e foi proposto um método de cálculo de resistência ao cisalhamento para a conexão de cisalhamento (Huo; D'Mello, 2013). Huo e D'Mello (2017) realizaram um ensaio de flexão em escala real, o qual permitiu concluir que a ação mista foi significativa e a falha inicial ocorreu com esmagamento do concreto.

Um estudo realizado por Barros (2011) propôs um método de dimensionamento para o sistema *slim floor* em quatro tipos de seções: a primeira com viga SFB e laje mista (I-a), a segunda com viga SFB e laje maciça (I-b), a terceira e a quarta com viga IFB, sendo uma com laje mista (II-a) e outra com laje maciça (II-b). Além disso, foi desenvolvido um *software* para verificação de segurança, com posterior estudo paramétrico.

O perfil *Deltabeam®*, tipologia que vem sendo investigada desde meados dos anos 90, foi estudada por Nádaský (2012) mais detalhadamente. Neste trabalho, foram apresentados requisitos específicos de projeto para esses perfis em estados limites últimos e de serviço, para a concepção adequada deste sistema. Além disso, foram fornecidas condições de aceitação para vibrações e princípios sobre como garantir tempo de resistência ao fogo. Um trabalho para avaliar a resistência ao cisalhamento de perfis *Deltabeams®*, foi realizado por Leskela et al. (2014), comparando testes de cisalhamento realizados no *Technical Research Center of Finland* com um modelo numérico 3D, desenvolvido em elementos finitos. As conclusões tiradas nesse trabalho mostraram que o modelo numérico está calibrado com base no experimental e prediz a resistência ao cisalhamento com bastante precisão (Leskela et al., 2014).

Em continuação ao trabalho anterior, o grupo *Peikko*, em parceria com a *National Technical University of Athens*, realizou em 2016, um estudo experimental e numérico sobre o comportamento à flexão do sistema estrutural composto pela *Deltabeam*. A partir desse estudo, foi possível obter as curvas de deslocamento, valores de deslizamento e padrões de danos das amostras ensaiadas. Percebeu-se que os deslizamentos entre o aço e o concreto foram muito pequenos e a resposta estrutural foi bastante benéfica, indicando que tais vigas podem ser implementadas pelos projetistas (Peltonen et al., 2016).

Um estudo mais recente sobre a *Deltabeam*[®] foi realizado por Derkowski e Skalski (2017). Através de uma análise computacional, discutiu-se requisitos de projeto, mostrando que todas as condições básicas avaliadas foram atendidas. Além disso, foram apontadas vantagens, como aumentar significativamente o vão alcançado e limitar a deformação do elemento durante a montagem, e desvantagens, como redistribuição do momento fletor ao longo do comprimento da viga e a necessidade de grande precisão na montagem (Derkowski; Skalski, 2017).

Por volta de 2015, o perfil assimétrico com aberturas na alma voltou a ser estudado com maior assiduidade por um grupo de pesquisa da China. Chen, Limazie e Tan (2015) apresentaram inicialmente um estudo experimental do perfil, renomeado por eles de “*Shallow Cellular Composite Floor Beam (SCCFB)*”. Foi analisado o comportamento à flexão e os mecanismos de transferência de cisalhamento, considerando que o concreto que passa através das aberturas na alma do perfil é combinado com barras de aço para promover o comportamento misto. Com os experimentos, demonstrou-se que essa combinação aumenta significativamente a resistência ao cisalhamento, a capacidade de deslizamento e a ductilidade das ligações aço-concreto. Um estudo analítico foi desenvolvido contemporaneamente para determinar a capacidade resistente dessas vigas, permitindo estimar com maior precisão o momento resistente (Limazie; Chen, 2015).

Com os resultados experimentais encontrados por Chen, Limazie e Tan (2015), foi validado um modelo numérico que mostrou como a variação de alguns parâmetros influencia no comportamento misto da viga (Limazie; Chen, 2016). Foi concluído que a variação da largura efetiva da laje de concreto não exerce grande influência no comportamento misto, porém a altura de concreto acima do perfil exerce influência em parâmetros como rigidez à flexão, capacidade de carga do conjunto laje-viga, ação conjunta aço-concreto e resistência ao cisalhamento longitudinal. Além disso, aumentando a espessura da mesa inferior, há aumento significativo na capacidade resistente a flexão e na rigidez da viga, porém, com o aumento do tamanho das aberturas, essa resistência diminui (Limazie; Chen, 2016).

Limazie e Chen (2017) deram continuidade à pesquisa da SCCFB com o estudo de conexões inovadoras de cisalhamento, composta por barras de aço e concreto passando pelas aberturas do perfil. Através de uma análise numérica por elementos finitos, investigaram parâmetros como mecanismo de transferência de força, capacidade de carga e comportamento de falha dessas conexões. Simulando testes *push-out* em duas configurações diferentes de perfil (I assimétrico e T invertido), foi revelado que o tipo de conexão proposta é efetivamente capaz de fornecer a resistência ao cisalhamento e o comportamento dúctil desejado. A partir dos resultados experimentais e numéricos obtidos nos seus estudos anteriores, Chen e Limazie (2018) apresentaram e validaram uma proposta analítica de projeto para a verificação dessas conexões de cisalhamento e orientações para o dimensionamento do SCCFB.

Hechler et al. (2016) analisaram estruturalmente o *Composite Slim-Floor Beam* (CoSFB). Para isso, foram realizados testes *push-out* avaliando cisalhamento, vibração e deformação e foi proposto um método para ativar a largura total efetiva do concreto. Ensaio de flexão também foram realizados, obtendo-se as curvas força x deslocamento das amostras. As avaliações mostram um aumento da capacidade de carga em 100% e da rigidez em 150%, comparando ao piso misto de pequena altura tradicional.

Em 2018, alguns pesquisadores continuaram o estudo de perfis CoSFB, como Sheehan et al. (2019), que realizaram testes de cisalhamento e ensaios de flexão, a fim de avaliar o grau de conexão de cisalhamento e a capacidade do conector utilizado. Foi mostrado que a quantidade de barras de aço que passam pelas aberturas da viga influenciam diretamente na resistência à flexão. Baldassino et al. (2018) também fizeram um estudo experimental, com o objetivo de avaliar o comportamento em serviço de vigas CoSFB, influenciado pelo tempo de cura do concreto e efeitos da fluência. Baseado nos estudos experimentais anteriores, Dai et al. (2020) realizaram um estudo numérico e avaliaram parâmetros como o diâmetro das aberturas, que influenciam no tamanho do pino de concreto, e a resistência do concreto. Concluiu-se que, quanto maior a abertura, maior a resistência ao cisalhamento, porém, menor a capacidade de força da viga de aço.

O estudo mais recente de novas seções de aço foi desenvolvido por Derysz, Lewinski, Wiech (2017), onde foi estudada uma seção composta por dois perfis T invertidos, sendo a laje pré-fabricada apoiada nas abas do perfil e, em seu interior, colocado um reforço e preenchido com concreto auto adensável. Resultados de testes experimentais indicaram que a queda da resistência está ligada à perda das ligações entre a viga e a laje. Assim, elementos de conexão especiais foram projetados em forma de pinos RC, para evitar esse comportamento, sendo realizados testes em escala real. Concluiu-se que esses pinos têm resistência e rigidez suficientes para permitir a ação mista do elemento, capaz de atingir os estados limites últimos.

Yu et al. (2019) investigaram experimentalmente o desempenho à flexão de uma tipologia de *slim floor* composta pelo perfil I tradicional ou castelado. Buscando melhorar a rigidez desse sistema, para ser utilizado em mecanismos de transferência do piso misto convencional para o de pequena altura, os autores avaliaram a influência da altura das vigas e do tamanho das formas de aço na capacidade resistente à flexão. Os resultados dos ensaios indicaram que esses dois parâmetros afetaram diretamente a rigidez e capacidade resistente do sistema, aumentando esses fatores com o aumento de dimensões. Além disso, o trabalho propôs métodos de cálculo da rigidez e capacidade resistente à flexão, que foram validados e considerados aplicáveis para essa tipologia.

Um estudo recente, de caráter teórico e abrangente, foi desenvolvido por Ahmed e Tsavdaridis (2019), trazendo o resumo de tipologias de piso misto de pequena altura, antigas, recentes e novas tendências, juntamente com características e formulações de projeto, baseadas no Eurocode 4 (2004). A partir desse trabalho, conclui-se que há necessidade de mais pesquisas nessa área, para a melhoria dos códigos normativos.

Dois trabalhos publicados por Hosseinpour et al. (2018a, b) avaliaram, experimental e numericamente, diferentes formas de abertura da viga slim floor, dentre elas circulares, retangulares e quadradas. Além disso, foi investigado um conector de cisalhamento tubular, que se mostrou mais resistente, porém menos dúctil, que o conector tipo pino com cabeça, soldado na alma do perfil. Baharom et al. (2018) compararam as conexões aço-concreto resultantes do concreto que passa entre as aberturas (convencional) e o conector tubular proposto nos trabalhos anteriores. O conector tubular aumenta, aproximadamente, quatro vezes a resistência ao cisalhamento, em comparação com a conexão convencional.

Ryu et al. (2017) analisaram, experimental e numericamente, a capacidade resistente ao cisalhamento de um piso composto por viga celular, chapa de aço utilizada como forma, esferas de poliestireno (EPS), tela soldada e concreto moldado in loco. Xia et al. (2021) desenvolveram um estudo experimental, numérico e analítico, sobre a resistência à flexão de vigas do *slim floor*. Para isso, foram utilizados três tipos de conectores de cisalhamento: pinos com cabeça, barra de aço transversal e concreto passando pelas aberturas. Além disso, foi desenvolvido um método de cálculo para estimar a resistência à flexão última, sendo que os resultados experimentais mostraram boa concordância com os resultados teóricos.

Em estudo mais recente, Lin, Monti e Wu (2023) analisaram resultados experimentais de outros autores, para avaliar a eficácia das conexões de cisalhamento adotadas. Para isso, realizaram simulações numéricas com interação total entre os componentes e compararam com os resultados experimentais. Assim, quanto mais próximo do valor encontrado na simulação, mais eficaz é a conexão adotada. Em relação ao sistema composto pelo perfil celular, os autores concluíram que a influência das aberturas na alma não pode ser ignorada, pois, apesar de reduzirem a capacidade resistente em comparação com o perfil de alma cheia, elas ajudam a melhorar o comportamento misto do sistema.

Muitos pesquisadores realizaram trabalhos sobre a eficiência das tipologias de piso misto de pequena altura em situações de incêndio. Além das pesquisas de Bailey (1999) e Makelainen e Ma (2000), já apresentadas anteriormente, cabe citar Ellobody (2011) e Ellobody (2012), estudando o perfil CoSFB, Maraveas, Swailes e Wang (2012) e Alam et al. (2018), avaliando numericamente o perfil *Asymmetric Slimflor Beam*, Maraveas, Tsavdaridis e Nadja (2016), Alam et al. (2021), Panev et al. (2021), em pesquisa sobre o *Shallow Cellular Composite Floor Beam* e Albero et al. (2018), Albero et al. (2019) e Albero et al. (2020), trabalhando, experimental e numericamente, com perfis *Slimflor* e *Integrated Floor Beam*.

No Brasil, apesar do tema não ser ainda muito explorado, alguns pesquisadores já realizaram estudos, focando principalmente no dimensionamento dessas estruturas. O trabalho de De Nardin e El Debs (2008) foi o precursor nesse tema. A pesquisa trata de vigas parcialmente revestidas, em que foram iniciadas análises sobre a posição dos conectores de cisalhamento. Para esse estudo, foram ensaiadas três vigas parcialmente

revestidas, com conectores do tipo pino com cabeça soldados à mesa inferior, à alma e um modelo sem conectores. Os resultados experimentais mostraram que a capacidade resistente à flexão é levemente aumentada quando são utilizados conectores soldados à mesa inferior do perfil. Em relação ao escorregamento relativo entre o aço e o concreto, essa posição proporciona uma redução em torno de 37%, quando comparada à amostra sem conectores. Além disso, concluiu-se que a posição dos conectores não modifica o modo de falha.

Em continuidade a esse trabalho, Cavalcanti (2010) analisou, experimental e numericamente, a contribuição da armadura na capacidade resistente de vigas mistas parcialmente revestidas e sua eficiência na garantia do comportamento conjunto do aço e concreto. Ramos (2010) fez um estudo numérico, validado com os resultados experimentais de Lawson, Mullett e Rackham (1997), em que foi analisada a influência de parâmetros no comportamento da estrutura, como a resistência do concreto, a variação da altura da capa de concreto e a taxa de armadura. A análise paramétrica revelou que a variação da resistência do concreto tem pouca influência no momento resistente, sendo este mais sensível à variação da altura da capa de concreto.

Em 2012, De Nardin e El Debs realizaram um estudo experimental, com o objetivo de avaliar as conexões entre pilar e viga no sistema *slim floor*. A ligação pilar-viga analisada se dá por uma chapa que atravessa o pilar misto e é conectada à alma da viga por uma única linha de três parafusos, sendo o comportamento misto do piso garantido por conectores de cisalhamento soldados à mesa superior. Concluiu-se que a ligação mista apresentou comportamento não-linear e a presença da laje mista modificou o comportamento da ligação e contribuiu para a transferência de momentos entre a viga e o pilar. Além disso, foi confirmada a interação total aço-concreto, pois não houve deslizamento entre a laje e a viga.

Rocha (2012) fez um estudo numérico para avaliar o desempenho térmico e estrutural do piso misto de pequena altura com e sem armadura. Constatou-se que o uso de armadura influenciou o comportamento estrutural apenas após os 90 minutos de exposição ao incêndio padrão, mantendo o comportamento mais suave, com menores deslocamentos. No mesmo ano, Friedrich (2012) fez um estudo experimental testando uma nova geometria de fôrma de aço trapezoidal com mossas nas laterais, para pisos mistos de pequena altura. A estrutura apresentou razoável resistência ao cisalhamento longitudinal e o modo de ruptura foi semelhante aos de outros sistemas estudados na literatura.

Santos, Lima e Sakiyama (2016) apresentaram uma metodologia de dimensionamento para o *slim floor*, em conjunto com a laje *steel deck*, utilizando o *software* VigaMix, com orientações para esse dimensionamento, visto que nenhuma norma brasileira aborda o tema. Mesquita (2016) avaliou o comportamento estrutural à flexão de vigas mistas de *slim floor* com aberturas na alma, através da modelagem numérica, utilizando o ABAQUS®. Verificou que, em função dos meios de conexão utilizados, as vigas *slim floor* com aberturas na alma conseguem atingir diversos graus de interação, podendo alcançar inclusive a condição de interação completa.

Souza (2016) fez um estudo sobre o piso misto de pequena altura composto por lajes alveolares protendidas. O trabalho foi desenvolvido em duas partes: a parte experimental, em que foram feitos ensaios de cisalhamento direto (*push-out*) e de flexão, e a parte numérica, realizando uma análise paramétrica. Os resultados experimentais mostraram que os conectores tipo pino com cabeça, aliados ao preenchimento dos alvéolos, aumentaram a capacidade resistente da ligação entre o aço e o concreto. A análise paramétrica mostrou que a variação da mesa inferior do perfil teve maior influência no momento fletor resistente que a variação da espessura da capa de concreto. Andrade (2017) realizou um estudo comparativo da espessura da laje de um pavimento do edifício do IFMG, que foi concebido no sistema misto *steel deck*, com uma laje calculada no sistema *Slim Floor*, utilizando o *software* CoSFB, da *ArcelorMittal*. Concluiu que o pavimento teria uma redução de 45% na altura total, se fosse utilizado o sistema *Slim floor*.

Kochem (2018) desenvolveu um estudo numérico de uma ligação mista vigapilar, utilizando o perfil *Asymmetric Slimflor Beam (ASB)* e laje com fôrma incorporada, no *ABAQUS®*. Foram apresentados os procedimentos para o desenvolvimento do modelo numérico, a avaliação do efeito dos modelos constitutivos dos materiais e um estudo paramétrico, analisando a influência da taxa de armadura da laje. Borghi e El Debs (2019) realizaram um estudo numérico comparativo entre a *SCCFB*, tipologia com aberturas na alma da viga, e a *Asymmetric Slimflor Beam (ASB)*, sem aberturas, analisando o comportamento à flexão e Borghi (2020), comparando a *SCCFB* com outras três tipologias: *ASB*, *Deltabeam®* e *Composite Slim Floor Beam*. Os estudos mostraram que as características particulares da *SCCFB* contribuem para uma maior rigidez e resistência à flexão do sistema, comparativamente às outras tipologias.

Coldebella, Ferreira e De Nardin (2022) avaliaram experimentalmente o piso misto de pequena altura com laje alveolar e apenas uma abertura no perfil, com o objetivo de estudar os mecanismos responsáveis pela transferência de forças de cisalhamento na interface aço-concreto. Para isso, avaliou-se a influência da presença de barras de armadura atravessando os alvéolos do perfil e da laje, o diâmetro dessas barras e a resistência à compressão do concreto, mostrando que os três parâmetros influenciam na capacidade resistente do sistema, principalmente no comportamento pós-pico.

Um estudo numérico foi desenvolvido por Pereira Júnior (2022), que propôs um modelo analítico para determinação do momento resistente em pisos mistos de pequena altura com perfil celular e laje alveolar. Além disso, realizou um estudo paramétrico, analisando o diâmetro da barra transversal, espessuras das mesas e alma, diâmetro e quantidade de aberturas na alma do perfil celular, resistência ao escoamento do aço, capa estrutural, taxa de armadura da laje, largura da laje e coeficiente de atrito na superfície de contato entre os materiais. Concluiu-se que o aumento da espessura das mesas, da alma, da capa estrutural e da largura da laje conferiram maior rigidez e capacidade resistente ao sistema, enquanto o aumento do diâmetro das aberturas do perfil celular reduziu.

CONCLUSÕES

Em geral, os trabalhos que compõem a revisão bibliográfica apresentam uma avaliação do comportamento estrutural do sistema *slim floor*, principalmente com análises de resistência ao cisalhamento e à flexão. Os resultados encontrados pelos autores dependem da tipologia estudada, mas mostram bom desempenho das estruturas, confirmando que a aplicação desse sistema é viável. A maioria dos trabalhos foi realizada a partir de ensaios experimentais, sendo complementados com simulação numérica. Trabalhos analíticos ainda são iniciais, visto que, por falta de normatização, trazem métodos de dimensionamento baseados em normas para outras estruturas e que não se aplicam a todas as tipologias existentes.

Ficou evidente, durante a pesquisa, que o estudo do comportamento do *slim floor* em situações de elevadas temperaturas é bastante frequente, assim como o estudo de conexões de cisalhamento. Muitos autores investigam conexões alternativas ao uso tradicional do pino com cabeça soldado à mesa superior do perfil.

Pode ser observado que as tipologias com uma maior gama de pesquisas são a *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB) e a *Shallow Cellular Composite Floor Beam* (SCCFB), apresentando estudos mais completos, com análises experimentais, numéricas e teóricas/analíticas. A *Deltabeam*® e o *Composite Slim-Floor Beam* (CoSFB) são tipologias mais recentes e a maioria dos estudos é para confirmar sua capacidade estrutural, consolidando-as como grandes possibilidades para o desenvolvimento e ampliação do uso dos pisos mistos de pequena altura.

Os demais perfis citados na revisão bibliográfica, como o UPE *slimfloor system*, *D-beam*, iTECH e a seção composta por dois perfis T invertidos, apresentam estudos bem iniciais e ainda não são empregados notavelmente na construção. Outros, como o *Slimflor* e o *Integrated Floor Beam*, já estão em desuso e não oferecem boas bases experimentais.

Dessa forma, conclui-se que a presente revisão bibliográfica, que é um recorte da dissertação da primeira autora (Borghi, 2020), cumpriu o objetivo de mapear os estudos existentes sobre as tipologias do piso misto de pequena altura, colaborando para a ampliação do conhecimento e sua disseminação na comunidade científica e técnica, cooperando com a maior utilização desse sistema estrutural.

REFERÊNCIAS

AHMED, I. M.; TSAVDARIDIS, K. D. The evolution of composite flooring systems: applications, testing, modelling and Eurocode design approaches. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 155, p.286-300, abr. 2019. Elsevier BV.

ALAM, N.; NADJAI, A.; ALI, F.; NADJAI, W. Structural response of unprotected and protected slim floors in fire. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 142, p.44-54, mar. 2018. Elsevier BV.

ALBERO, V.; ESPINÓS, A.; SERRA, E.; ROMERO, M.L.; HOSPITALER, A. Experimental study on the thermal behaviour of fire exposed slim-floor beams. **Proceedings 12th International Conference On Advances In Steel-concrete Composite Structures - ASCCS 2018**, [s.l.], 27 jun. 2018. Universitat Politècnica València.

ALBERO, V.; ESPINÓS, A.; SERRA, E.; ROMERO, M.L.; HOSPITALER, A. Numerical study on the flexural behaviour of slim-floor beams with hollow core slabs at elevated temperature. **Engineering Structures**, [s.l.], v. 180, p.561-573, fev. 2019. Elsevier BV.

ALBERO, V.; ESPINÓS, A.; SERRA, E.; ROMERO, M.L.; HOSPITALER, A. Innovative solutions for enhancing the fire resistance of slim-floor beams: Thermal experiments. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 165, p.105897-105908, fev. 2020. Elsevier BV.

ANDRADE, D. M. **Comparativo de dimensionamento de pavimento misto de steel deck com o sistema slim floor utilizando o software CoSFB**. 2017. 69p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

ASCE, 135(4), pp. 448-458. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ARCELORMITTAL. **Slim floor – an innovative concept for floors**. 2017.

Asymmetric Steel Section with Web Openings”, Journal of Structural Engineering, BAILEY, C. G. The behaviour of asymmetric slim floor steel beams in fire. **Journal of Constructional Steel Research**. v. 50, p. 235-257, 1999.

BALDASSINO, N.; ROVERSO, G.; RANZI, G.; ZANDONINI, R. Service and Ultimate Behaviour of Slim Floor Beams: An Experimental Study. **Structures**, [s.l.], out. 2018. Elsevier BV.

BARROS, M. O. **Análise e dimensionamento de pavimentos mistos slim floor**. 2011. 132p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2011.

CAVALCANTI, L. A. (2010). 151p. **Estudo teórico-experimental da contribuição da armadura para a capacidade resistente de vigas parcialmente revestidas**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CHEN, S.; LIMAZIE, T.; TAN, J. Flexural behavior of shallow cellular composite floor beams with innovative shear connections. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 106, p.329-346, mar. 2015. Elsevier BV.

CHEN, S.; LIMAZIE, T. Composite slim floor beams with innovative shear connections. **Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Structures And Buildings**, [s.l.], v. 171, n. 1, p.29-37, jan. 2018. Thomas Telford Ltd.

DAI, X.; LAM, D.; SHEEHAN, T.; YANG, J.; ZHOU, K. Effect of dowel shear connector on performance of slim-floor composite shear beams. **Journal of Constructional Steel Research**. v. 173, 2020.

DE NARDIN, S.; EL DEBS, A. L. H. C. Composite connections in slim-floor system: An experimental study. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 68, n. 1, p. 78–88, 2012.

DE NARDIN, S.; EL DEBS, A. L. H. C. Avaliação da influência da posição dos conectores de cisalhamento no comportamento de vigas mistas parcialmente revestidas. **Revista Escola de Minas**. Ouro Preto, v.61, n.2, p.239-247, 2008.

DERKOWSKI, W.; SKALSKI, P. New concept of slimfloor with prestressed composite beams International. **Procedia Engineering**. v. 193, p. 176–183, 2017.

DERYSZ, J.; LEWINSKY, P.; WIECH, P. New concept of composite steel-reinforced concrete floor slab in the light of computational model and experimental research. **Procedia Engineering**. v. 193, p. 168–175, 2017.

ELLOBODY, E. Composite slim floor stainless steel beam construction exposed to different fires. **Engineering Structures**, [s.l.], v. 36, p.1-13, mar. 2012. Elsevier BV.

ELLOBODY, E. Nonlinear behaviour of unprotected composite slim floor steel beams exposed to different fire conditions. **Thin-walled Structures**, [s.l.], v. 49, n. 6, p.762-771, jun. 2011. Elsevier BV.

FRIEDRICH, J. T. **Análise teórico-experimental de pisos mistos de pequena altura**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GIRDER-SLAB TECHNOLOGIES. **The Girder-Slab System LRFD Version: Design Guide**. 3. ed. USA: Girder-Slab Technologies, 2015. 32 p.

HECHLER, O.; BRAUN, M.; OBIALA, R.; KUHLMANN, U.; EGGERT, F.; HAUF, G. CoSFB - Composite Slim-Floor Beam: Experimental Test Campaign and Evaluation. **Composite Construction in Steel and Concrete VII**, [s.l.], p.158-172. 2016.

HEGGER, J; ROGGENDORF, T; KERKENI, N. Shear capacity of prestressed hollow core slabs in slim floor constructions. **Engineering Structures**. Elsevier Ltd, v.31, n., p. 551-559, 2009.

HOSSEINPOUR, E.; BAHAROM, S.; BADARUZZAMAN, W. H. W.; SHARIATI, M.; JALALI, A. Direct shear behavior of concrete filled hollow steel tube shear connector for slim-floor steel beams. **Steel and Composite Structures**, v. 26, n. 4, p. 485-499,

HOSSEINPOUR, E; BAHAROM, S.; BADARUZZAMAN, W. H. W.; A. W. AL ZAND. Push-out test on the web opening shear connector for a slim-floor steel beam: Experimental and analytical study. **Engineering Structures**, v. 163, p. 137-152,

HUO, B. Y.; D'MELLO, C.; TSAVDARIDIS, K. D. Experimental and Analytical Study of Push-out Shear Tests in Ultra Shallow Floor Beams. **labse Symposium Report**, [s.l.], v. 97, n. 34, p.31-38, 2010. International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE).

HUO, B. Y.; D'MELLO, C. A. Push-out tests and analytical study of shear transfer mechanisms in composite shallow cellular floor beams. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 88, p.191-205, set. 2013. Elsevier BV.

HUO, B. Y.; D'MELLO, C. A. Shear Transferring Mechanisms in a Composite Shallow Cellular Floor Beam with Web Openings. **Structures**, [s.l.], v. 9, p.134-146. 2017. Elsevier BV. Journal of Civil Engineering, 32(2), pp. 314-328

Ju, Y.K., Kim, D.H. and Kim, S.D. 2005. Experimental Assessment of the Shear

JU, Y. K., KIM, D.; KIM, S.; YOON, S.; LEE, Y.; KIM, D. Dynamic Characteristics of the New Composite Floor System. **Steel structures**. V. 8, p. 347-356. 2008.

JU, Y. K.; KANG, Y.; CHUN, S.; LEE, Y.; KIM, S.; KIM, D.; CHUNG, K.; YOON, S. Experimental assessment of floor vibration using I-TECH composite beam. **CTBUH – Council on Tall Buildings and Urban Habitat**. p. 488-495. 2004.

JU, Y. K.; CHUN, S.; KIM, D.; KIM, D.; KIM, S.; CHUNG, K. Structural performance of I-TECH composite beam steel with web openings. **CIB-CTBUH International Conference on Tall Buildings**. p. 411-418. 2003.

JU, Y. K.; CHUN, S.; KIM, S. Flexural Test of a Composite Beam Using Asymmetric Steel Section with Web Openings. **Journal of Structural Engineering**, [s.l.], v. 135, n. 4, p.448-458, 2009. American Society of Civil Engineers (ASCE).

JU, Y. K.; KIM, D.; KIM, S. Experimental assessment of the shear strength of an asymmetric steel composite beam with web openings. **Canadian Journal of Civil Engineering**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.314-328. Canadian Science Publishing. 2005.

Ju, Y.K., Chun, S.C. and Kim, S.E., 2009. "Flexural Test of a Composite Beam using

Ju, Y.K., Chun, S.C., Kim, D.Y., Kim, D.H., Kim, S.D. and Chung, K.R., 2003, June.

Ju, Y.K., Chun, S.C., Kim, D.Y., Kim, D.H., Kim, S.D. and Chung, K.R., 2003, June.

KOCHEM, R. F. F. **Modelagem numérica de piso misto de aço e concreto de pequena altura: ênfase à ligação viga-pilar**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2018.

KUHLMANN, U. **Training Course "Composite Construction - Slim-floor systems"**. Oslo, Noruega: Institute of Structural Design, 2012. 273 slides, color.

LAWSON, R. M.; LIM, J.; HICKS, S. J.; SIMMS, W.I. Design of composite asymmetric cellular beams and beams with large web openings. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 62, n. 6, p.614-629, 2006. Elsevier BV.

LAWSON, R. M.; MULLET, D. L.; RACKHAM, J. W. Design of Asymmetric Slimflor Beams using Deep Composite Decking. **Relatório Técnico P175**. The Steel Construction Institute, 1997.

LESKELA, M. V.; PELTONEN, S.; ILIOPOULOS, A.; KIRIAKOPOULOS, P. Numerical and experimental investigations on the vertical shear resistance of boxed steel cross-sections with concrete infill (Deltabeams). **EUROSTEEL 2014**. Naples, Italy. 2014.

LIMAZIE, T.; CHEN, S. Numerical procedure for nonlinear behavior analysis of composite slim floor beams. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 106, p.209-219, mar. 2015. Elsevier BV.

LIMAZIE, T.; CHEN, S. FE modeling and numerical investigation of shallow cellular composite floor beams. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 119, p.190-201, 2016. Elsevier BV.

LIMAZIE, T.; CHEN, S. Effective shear connection for shallow cellular composite floor beams. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 128, p.772-788, jan. 2017. Elsevier BV.

LU, X.H., MAKELAINEN, P. "Parametric studies on steel-concrete composite beams in slim floors", **Proceedings of the 1st European Conference on Steel Structures**, EUROSTEEL'95, Athens, Greece. 1995.

MAKELAINEN, P.; MA, Z. Fire resistance of composite slim floor beams. *Journal of Constructional Steel Research*, [s.l.], v. 54, p.345-363. 2000. Elsevier BV.

MARAVEAS, C.; SWAILES, T.; WANG, Y. A detailed methodology for the finite element analysis of asymmetric slim floor beams in fire. **Steel Construction**, [s.l.], v. 5, n. 3, p.191-198, ago. 2012. Wiley.

MARAVEAS, C.; TSAVDARIDIS, K. D.; NADJAI, A. Fire Resistance of Unprotected Ultra Shallow Floor Beams (USFB): A Numerical Investigation. **Fire Technology**, [s.l.], v. 53, n. 2, p.609-627, 23 mar. 2016. Springer Nature.

MESQUITA, L. C. **Avaliação do comportamento estrutural de vigas mistas de *slim floor* com aberturas na alma**. 2016. 203p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

MULLET, D. L. Slim Floor Design and Construction. **Relatório Técnico P110**. The Steel Construction Institute, 1992.

MULLET, D.L.; LAWSON, R.M. Slim floor Construction using Deep Decking. **Relatório Técnico P127**. The Steel Construction Institute, 1993.

MULLET, D.L.; LAWSON, R.M. Design of Slimflor Fabricated Beams using Deep Composite Decking. **Relatório Técnico P248**. The Steel Construction Institute, 1999.

NÁDASKÝ, P. Steel-Concrete Composite Beams for Slim Floors—Specific Design Features in Scope of Steel Frames Design. **Procedia Engineering**, v. 40, p.274-279, 2012. Elsevier BV.

PAES, J. L. R. **Aportaciones al análisis del comportamiento estructural de sistemas de forjados mixtos tipo "Slim floor"**. Departamento de Engenharia da Construção, Universidade Politécnica da Catalunha, Barcelona, 2003.

PEIKKO. DeltaBeam. **Slim Floor Structures**. Technical Manual, 2014. Disponível em: <<https://media.peikko.com/file/dl/i/qS6c7g/rRibebICUQJvj7DtCwoE4w/DELTABEAMPeikkoGroup8-2014>>. Acesso em: 29 set. 2018.

PELTONEN, S.; LESKELA, M. V.; KIRIAKOPOULOS, P.; ILIOPOULOS, A.; VAYAS, I.; SPYRAKOS, K. Experimental and numerical investigations on the flexural behaviour of boxed steel beams encased in concrete. **The International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures**. Timisoara, Romania. 2016.

RACKHAM, J. W; HICKS, S. J; NEWMAN, G. M. Design of asymmetric slimflor beams with precast concrete slabs. **The Steel Construction Institute**, 2006.

RAMOS, A. L. **Análise numérica de pisos mistos aço-concreto de pequena altura**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.

ROCHA, F. M. **Modelos numéricos de vigas mistas de aço e concreto pertencentes a sistemas de pisos mistos de pequena altura em situação de incêndio**. 2012. 267p. Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SANTOS, V. J. M.; LIMA, D. M.; SAKIYAMA, F. I. H. Slim floor: método de dimensionamento e estudo paramétrico. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.106-117, 17 nov. 2016. Universidade Federal de Goiás.

SHEEHAN, T.; DAI, X.; YANG, J.; ZHOU, K.; LAM, D. Flexural behaviour of composite slim floor beams. **Structures**. 2019. Elsevier BV.

SOUZA, P. T. **Análise teórica e experimental de pisos mistos de pequena altura compostos por vigas metálicas e lajes alveolares de concreto**. 2016. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

TSAVDARIDIS, K. D.; D'MELLO, C.; HAWES, M. Experimental Study of Ultra Shallow Floor Beams (USFB) with Perforated Steel Sections. NSCC2009 - **Nordic Steel Construction Conference**. 2009. Malmö, Sweden.

YU, Y.; WEI, B.; YANG, Y.; XUE, Y.; XUE, H.. Experimental study on flexural performance of steel-reinforced concrete slim floor beams. **Advances In Structural Engineering**, [s.l.], v. 22, n. 11, p.2406-2417, 29 abr. 2019. SAGE Publications.

XIA, Y.; HAN, C.; ZHOU, D.; WANG, Y.; WANG, P. Ultimate flexural strength analysis of composite slim floor beam. **Advances in Structural Engineering**, 2021.

BAHAROM, S.; HOSSEINPOUR, E.; BADARUZZAMAN, W. H. W.; Hollow steel tube versus web opening as shear connectors in slim-floor steel beam. **13th International Conference on Steel, Space and Composite Structures**. Perth, Australia, 2018.

RYU, J. et al. Shear Resistance of a Biaxial Hollow Composite Floor System with GFRP Plates. **Journal of Structural Engineering**, v. 143, n. 2, 2017.

LIN, Z.; MONTI, G.; WU, Z. Composite action in Shallow Steel-beam-Concrete Composite decks. **Engineering Structures**, [S.L.], v. 286, p. 116114, jul. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116114>.

ALAM, N.; MARAVEAS, C.; TSAVDARIDIS, K. D.; NADJAI, A. Performance of Ultra Shallow Floor Beams (USFB) exposed to standard and natural fires. **Journal of Building Engineering**. [s.l.], v. 38, 2021.

PANEV, Y.; KOTSOVINOS, P.; DEENY, S.; FLINT, G. The Use of Machine Learning for the Prediction of fire Resistance of Composite Shallow Floor Systems. **Fire Technology**, [S.L.], v. 57, n. 6, p. 3079-3100, 8 mar. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-021-01108-y>.

PEREIRA JÚNIOR, S. E. **Capacidade resistente de vigas mistas parcialmente revestidas formadas por perfil celular e laje alveolar em piso de pequena altura**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

COLDEBELLA, G.; PEREIRA JÚNIOR, S. E.; DE NARDIN, S. Experimental study of shear transfer in slim floor systems using precast concrete hollow core slabs and steel beam with web circular opening. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, vol. 15, no. 3, 2022.