

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A associação de elementos pré-moldados com concreto moldado no local é uma das aplicações mais comuns da pré-moldagem, recebendo a denominação de peças compostas. Essa associação tem sido utilizada com sucesso na construção de pontes, onde as vigas longitudinais do tabuleiro são pré-moldadas e a laje é moldada no local. Associação semelhante com viga metálica e laje de concreto também tem sido utilizada com sucesso há vários anos. Algumas das principais vantagens do emprego das peças compostas sobre os sistemas unicamente em concreto moldado no local são a maior rapidez na execução da obra e a redução de fôrmas e cimbramentos. Essas vantagens podem ser maximizadas se a laje também for pré-moldada (ARAÚJO e EL DEBS, 2004).

Na Figura 1.1 é mostrada uma associação típica de viga e laje pré-moldadas ligadas mediante nichos preenchidos com concreto moldado no local. As vantagens desse sistema, em relação ao constituído de viga pré-moldada e laje em concreto moldado no local, estão relacionadas à maior industrialização e, conseqüentemente, a maior rapidez na execução, visto que a laje também é pré-moldada.

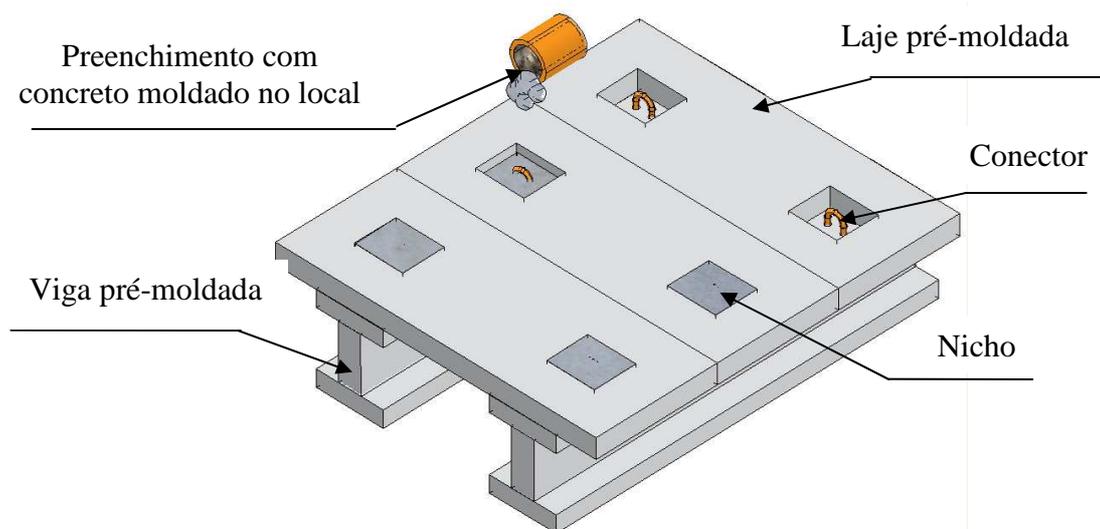


Figura 1.1 – Associação entre viga e laje pré-moldadas. Baseado em Araújo (2002)

Nas regiões onde há deterioração do concreto por mecanismos externos de difícil controle, como, por exemplo, a ação de gelo e degelo, essa associação é uma solução rápida e simples para substituição do pavimento deteriorado. Outro fator observado por Shim *et. al* (2000) é que com a expansão do perímetro urbano o tráfego na maioria das pontes tem aumentado de forma que a recuperação do pavimento de uma ponte tende a se tornar mais freqüentemente necessária.

Segundo Menkulasi e Roberts-Wolmann (2005), Gordon e May (2007), Carter III *et. al.*(2007), as empresas que administram auto-estradas nos Estados Unidos utilizam essa composição para construir e substituir pavimentos de pontes, uma vez que elas dispõem de um tempo reduzido para execução do serviço de modo a minimizar a interferência no tráfego da via. Também, segundo Carter III *et. al.*(2007), as obras de substituição, em muitas condições, só podem ser executadas à noite ou nos fins de semana ou por fases (alguns corredores permanecem abertos ao tráfego, enquanto outros estão em construção) para manter o fluxo de tráfego nos dois sentidos. No Brasil, entretanto, obras de construção e recuperação de pontes de concreto são quase sinônimos de interferência no tráfego a longo prazo. Em Goiânia, Goiás, exemplos recentes dessas interferências foram a construção do Viaduto da T-63, em que o tráfego de veículos foi desviado, e do Viaduto na BR-153 no km 501,8, em que a construção foi realizada em fases. Essas obras demoraram, em média, 4 meses para serem concluídas. O período de interferência no tráfego certamente teria sido menor se todas as peças estruturais dessas obras fossem pré-moldadas.

Segundo Issa *et al.* (2007), as superestruturas de pontes utilizando vigas compostas com laje totalmente pré-moldada podem ser construídas em dias ou horas, minimizando, assim, a interferência no tráfego e reduzindo a área do canteiro de obras.

A composição entre viga e laje pré-moldadas também se mostra mais vantajosa que a composição convencional de laje moldada no local pelo fato da laje totalmente pré-moldada permitir uma alta qualidade do concreto, uma vez que essa pode ser moldada fora do local da obra em condições controladas. Os elementos pré-moldados proporcionam o uso sistemático de materiais de alto desempenho, alto controle da qualidade, bons acabamentos e possibilidade de planejamento aliado à redução do tempo de construção no local (MARÍ e MONTANER, 2000). Assim, em vigas compostas com laje e viga pré-moldadas, os fatores

como economia de concreto e redução dos serviços de armação no local da obra são viabilizados pela otimização e pelo controle das seções das peças pré-moldadas.

Entretanto, no sistema estrutural de vigas compostas formadas por laje e viga pré-moldadas, para que os elementos estruturais trabalhem efetivamente como uma composição, é necessário que as tensões na interface sejam transferidas de um elemento para o outro. Essa transferência de tensões de um elemento para o outro é garantida por meio de mecanismos resistentes presentes na ligação.

Nesse sentido, conforme citado por Yamane *et. al.* (1998) e Lan (1998), os conectores de cisalhamento proporcionam um método para transferir o cisalhamento horizontal entre a viga e a laje. Entretanto, conforme relatos de Araújo (1997), El Debs (2000) e Araújo (2002), diversos fatores como, por exemplo, resistência do concreto, rugosidade da interface de contato, taxa de armadura que cruza a interface e tensão normal à interface podem afetar a resistência ao cisalhamento da interface. Logo, esses fatores estão diretamente relacionados ao tipo de ligação empregada.

Estudos recentes demonstraram a eficiência da ligação entre a viga e a laje pré-moldada quando realizada por meio de nichos com conectores de cisalhamento, a qual é capaz de garantir um comportamento monolítico a essa composição (ARAÚJO, 2002; JUDICE, 2002; ARAÚJO; EL DEBS, 2005a, 2005b).

1.1 JUSTIFICATIVA

Apesar da utilização e das vantagens oferecidas pelo modelo de vigas compostas com viga e laje pré-moldadas ligadas mediante nichos, não existem, ainda, indicações seguras para o dimensionamento dessa composição. As especificações para projetos de elementos compostos, prescritas nas normas técnicas de diversos países, contemplam apenas o sistema de vigas compostas com laje de concreto moldado no local (ligação contínua) e apresentam consideráveis variações de métodos e limites de um país para o outro, indicando uma necessidade de modelos mais consistentes.

Uma das formas de dimensionar este tipo de ligação, segundo Araujo (2002), seria fazer uma analogia com as vigas compostas formadas por viga metálica e laje totalmente pré-moldada de concreto, uma vez que neste tipo de viga a transferência de esforços pela interface também é

feita de forma discreta por conectores de cisalhamento. Existem alguns estudos e relatos na literatura de obras construídas com viga metálica e laje totalmente pré-moldada de concreto ligada mediante nichos preenchidos com concreto moldado no local. Ainda segundo este autor, outra forma de dimensionar esse tipo de ligação seria por meio de avaliações experimentais.

Há poucos trabalhos sobre vigas compostas com laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nichos, dentre os quais destacam-se as contribuições dos estudos de Araújo (2002), Araújo e El Debs (2005a, 2005b), Judice (2002, 2005), Mendonça (2002), Menkulasi e Roberts-Wolmann (2005), e Issa *et. al.* (2006). Entretanto, apesar das contribuições desses trabalhos, há dúvidas sobre a transferência de esforços de cisalhamento na interface de vigas compostas.

A comparação dos relatos, disponíveis na literatura, sobre vigas compostas com laje moldada no local (ligação contínua) e vigas compostas ligadas por meio de nichos (ligação discreta) indica que há diferenças entre as tensões nas bielas de compressão dessas vigas, mesmo quando a ruína da viga não ocorre por ruptura da ligação. Os trabalhos de Araújo (2002) e Judice (2002) indicaram que quando a ligação é feita de forma discreta, há a formação de bielas de compressão direcionadas a partir dos nichos, enquanto na ligação contínua não há uma tendência de orientação das bielas de compressão. Nos estudos sobre vigas compostas com viga de aço e laje pré-moldada ligadas por meio de nichos esse fato não foi relatado.

Essas comparações colaboram para o entendimento dos mecanismos de transferência de tensões de cisalhamento pela ligação e da sua influência no mecanismo resistente da viga composta ao esforço cortante. Entretanto, um estudo detalhado da influência das tensões de cisalhamento transferidas pela interface sobre as bielas de compressão na viga pré-moldada, formadas segundo a analogia de treliça para resistir ao esforço cortante, é necessário para definir os parâmetros de projeto para essa associação.

Ensaio de cisalhamento direto possibilitam a caracterização da ligação realizada por meio de nichos, porém somente a análise da ligação em vigas é capaz de fornecer indicações seguras sobre a formação das bielas de compressão e suas possíveis interferências na viga composta. Por essa razão, o presente trabalho consiste em avaliar, por meio de modelagem computacional, o comportamento de vigas compostas formadas por viga e laje pré-moldadas de concreto ligadas mediante nichos de concretagem. Essas modelagens permitem análises da

concentração de tensões em regiões específicas que não podem ser medidas diretamente em uma análise experimental.

1.2 METODOLOGIA

Para esse estudo, é utilizado o programa comercial DIANA[®] Release 9.3 (TNO, 2008), com o qual é possível analisar a interação entre as tensões de cisalhamento transferidas da interface para a alma das vigas compostas com as tensões que surgem nas bielas comprimidas oriundas do mecanismo resistente ao esforço cortante provocado pelo carregamento vertical. Nesse sentido, são estudados modelos computacionais de vigas compostas com ligação discreta baseados nas vigas ensaiadas por Araújo (2002) e nas vigas ensaiadas por Judice (2002). Também são realizadas simulações computacionais de vigas monolíticas e vigas compostas com interface contínua para abordagens comparativas desses modelos.

De modo geral, este trabalho contempla o estudo de sete modelos computacionais de vigas e um total de vinte variações nas propriedades desses modelos, além dos estudos dos parâmetros de modelagem, os quais envolveram modelos computacionais que simulam o ensaio de compressão axial do concreto e o ensaio de cisalhamento direto.

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é comparar o comportamento de vigas compostas formadas por viga e laje pré-moldadas (ligação discreta) com vigas compostas formadas por viga pré-moldada e laje moldada no local (ligação contínua), e, principalmente, analisar as tensões nas bielas comprimidas das vigas pré-moldadas nesses dois tipos de associação.

Nesse sentido, constituem objetivos necessários para este estudo:

- Definir parâmetros de modelagem por meio de análises computacionais do ensaio de cisalhamento direto em ligações com nicho e conector de cisalhamento.
- Verificar a influência da flexibilidade da ligação (interface entre viga e laje) na resposta da viga composta com ligação discreta.

- Avaliar a influência das tensões de cisalhamento transferidas pela interface sobre as bielas de compressão na viga pré-moldada, formadas para resistir ao esforço cortante, quando a ligação na interface é realizada continuamente ou de forma discreta por meio de nichos. Procura-se, ainda, avaliar a influência sobre as bielas de compressão da confecção de chaves de cisalhamento na interface com ligação discreta.
- Comparar os resultados das tensões nas bielas comprimidas, obtidos por meio da modelagem computacional das vigas com ligação discreta, com resultados obtidos de modelos analíticos presentes na literatura. Procura-se, assim, verificar se os modelos analíticos existentes são satisfatórios.

1.4 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 2 deste trabalho é descrito um breve histórico e o processo construtivo das vigas compostas com laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nichos de concretagem. Também são descritos alguns conceitos fundamentais de transferência de esforços pela ligação que forma a peça composta.

No capítulo 3 é abordado um resumo da revisão bibliográfica sobre esse modelo de viga composta. Entretanto, como existem poucos estudos sobre esse assunto, são descritos os estudos de ligação com laje pré-moldada e viga de aço ligadas mediante nichos.

As modelagens computacionais do ensaio de cisalhamento direto estão mostradas no capítulo 4. Essas modelagens foram desenvolvidas para avaliar o modelo constitutivo mais adequado para o concreto e para avaliar a influência do coeficiente de retenção ao cisalhamento do concreto. Além disso, são analisados o efeito do confinamento lateral e a influência das propriedades da interface na resposta do modelo.

As simulações e as análises das modelagens das vigas compostas estão descritas no capítulo 5. Nesse capítulo, também é avaliado o modelo analítico proposto para o cálculo da tensão nas bielas comprimidas em vigas compostas ligadas mediante nichos.

No capítulo 6 são descritas as considerações finais e as conclusões alcançadas por meio desse estudo. Também, são descritos sugestões para estudos futuros sobre esse assunto.

No apêndice é proposta uma modificação no modelo de cálculo para a tensão na biela de compressão de vigas compostas com laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nichos e chave de cisalhamento.