



GILSON FRANCISCO DA SILVA

ESTRUTURAS MISTAS EM AÇO E CONCRETO

Santo André
2020

GILSON FRANCISCO DA SILVA

ESTRUTURAS MISTAS EM AÇO E CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Anhanguera como requisito parcial para a
obtenção do título de graduado em Engenharia
Civil

Orientador: Angelo Silva

Santo André
2020

GILSON FRANCISCO DA SILVA

ESTRUTURAS MISTAS EM AÇO E CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Anhanguera como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Civil

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Cidade, dia de mês de ano

SILVA, Gilson Francisco. **Estruturas Mistas em Concreto e Aço**. 2020. 25. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil– Anhanguera, Santo André, 2020.

RESUMO

O surgimento das estruturas mistas relaciona-se diretamente às primeiras tentativas de proteger os perfis metálicos utilizados na construção civil frente aos efeitos decorrentes de incêndio e corrosão. Com o intuito de melhorar o desempenho dos elementos de aço nestas situações e na falta de materiais mais apropriados à época, começou-se a utilizar concreto não armado como revestimento de proteção, entretanto sem se considerar o incremento de resistência que o concreto poderia dar às seções. Em meio aos sistemas estruturais existentes destaca-se o composto por elementos mistos de aço e concreto, uma vez que se apresenta como uma solução econômica e racional para o sistema estrutural de edifícios de múltiplos pavimentos. Os elementos mistos de aço e concreto são formados pela combinação de perfis de aço e concreto, sendo que esta combinação visa aproveitar as vantagens de cada material. As estruturas metálicas possuem algumas vantagens sobre os sistemas construtivos convencionais, tais como, precisão devido ao fato dos elementos serem produzidos em fábrica, possibilidade de seções menores, construções com maiores vãos além de rapidez na execução da obra. Com isso, a fim de ampliar o conhecimento sobre o assunto, apresenta-se um referencial teórico sobre estruturas mistas do sistema construtivo.

Palavras-chave: Aço; Concreto; Estruturas Mistas.

SILVA, Gilson Francisco. **Concrete Structures In Steel**. 2020. 25. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil– Anhanguera, Santo André, 2020.

ABSTRACT

The emergence of mixed structures is directly related to the first attempts to protect the metal profiles used in the construction industry against the effects of fire and corrosion. In order to improve the performance of the steel elements in these situations and in the lack of more appropriate materials at the time, it was started to use non-reinforced concrete as a protective coating, however without considering the increment of resistance that the concrete could give the sections. Among the existing structural systems is the one formed by mixed elements of steel and concrete, since it presents itself as an economical and rational solution for the structural system of multi-storey buildings. The mixed elements of steel and concrete are formed by the combination of steel and concrete profiles, and this combination aims to take advantage of each material. Metallic structures have some advantages over conventional construction systems, such as precision due to the fact that the elements are produced in the factory, possibility of smaller sections, constructions with higher spans besides fast execution of the work. Thus, in order to broaden the knowledge on the subject, a theoretical reference is presented on mixed structures of the construction system

Key-words: Steel; Concrete; Mixed Structures.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	HISTÓRICO E UTILIZAÇÃO DO CONCRETO E AÇO	20
2.1	HISTORIA DO CONCRETO	20
2.2	HISTORIA DO AÇO	21
3	ESTRUTURAS MISTAS	26
3.1	VANTAGENS E DESVANTAGENS	26
3.1.1	Pilar Misto	28
3.1.2	Vigas Mistas	29
3.1.3	Lajes Mistas	29
4	COMPONENTES DAS ESTRUTURAS MISTAS.....	30
4.1	PILARES MISTOS	30
4.2	VIGAS MISTAS	31
4.3	LAJES MISTAS	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O aço é utilizado desde o século XIX na construção civil e, desde esta época, já eram conhecidos os problemas de perda de resistência deste material decorrentes de efeitos de incêndio e corrosão. Mais tarde, porém, começou-se a utilizar concreto estrutural e se deu início a estudos para verificar sob que condições estes dois materiais atuariam em conjunto, oferecendo maior resistência aos esforços solicitantes.

O concreto e o aço são os materiais estruturais mais utilizados em todo o mundo, sendo a chave para o desenvolvimento da construção civil, por meio de estruturas de concreto ou estruturas de aço. Um tipo de associação desses dois materiais já produziu o concreto armado, de uso eficiente e consagrado em grande parte das aplicações estruturais.

Com o crescimento da fabricação de aço estrutural no Brasil e com a procura de novas soluções arquitetônicas e estruturais, foram construídos diversos edifícios utilizando-se do sistema misto nos últimos anos. Quais as vantagens e desvantagens da utilização dessas estruturas mistas, este método é viável ao fim da obra?

Um novo passo para o uso ainda mais eficiente destes materiais é a utilização de concreto estrutural e perfis de aço. Suas características são a rápida execução, certificação ambiental, diminuição das cargas sobre as fundações, praticidade em espaços restritos, apenas mão de obra especializada, possibilidade de concretar mais de uma laje simultaneamente, maior controle tecnológico, entre tantas outras vantagens ainda estudadas faz das estruturas mistas um tema de pesquisa necessário e interessante.

O objetivo principal será estudar em quais tipos de obra é viável a utilização da estrutura mista, para atingi-los segue os objetivos específicos: demonstrar toda parte teórico do concreto e do aço; estudar as vantagens e desvantagens da utilização das estruturas mistas; demonstrar os conectores para interação total das estruturas mistas.

O trabalho será baseado em uma revisão bibliográfica sobre as estruturas mistas em aço e concreto, abordando de forma sucinta as normas e leis e suas incidências e dando ênfase às formas de interpretação e normalização.

2 HISTÓRICO E UTILIZAÇÃO DO CONCRETO E AÇO

2.1 HISTÓRIA DO CONCRETO

O concreto possui como principal característica a alta resistência à compressão e baixa resistência à tração, que causa nos elementos estruturais surgimento de fissuras e rompimento frágil na zona tracionada, onde é pouco utilizada a resistência a compressão. O concreto é um material da construção civil composto por uma mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, pode-se ainda, se necessário, usar aditivos e outras adições (NEVILLE, 1997).

A NBR 6118:2003 no seu item 14.4 define que “as estruturas podem ser idealizadas como a composição de elementos estruturais básicos, classificados e definidos de acordo com a sua forma geométrica e sua função estrutural”. Portanto, a estrutura ao ser idealizada passa a apresentar diversos elementos que podem ser caracterizados a partir de sua geometria e carregamentos preponderantes ao qual estão submetidos.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), “concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água.”. É importante destacar os aditivos e adições, atualmente muito empregados na produção de concretos, que visam proporcionar ao material algumas propriedades especiais.

Barata (1998) O concreto é um compósito que consiste essencialmente de um meio aglomerante, dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados. O meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento e água. Após o endurecimento do concreto sua estrutura fica dividida em três fases: agregado, pasta de cimento e zona de transição.

Aïtcin (2000), destaca dois motivos importantes para que se tenha controle das propriedades do concreto no estado fresco para que ele apresente bom desempenho. A primeira razão é que ele deve ser lançado com facilidade, e a segunda razão é que, se as propriedades do concreto no estado são rigorosamente controladas, muito

provavelmente suas propriedades no estado endurecido estarão, também, controladas.

A resistência de um material é dada como a capacidade de resistir à tensão sem se romper. No concreto, a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, definida como tensão máxima que a amostra do concreto pode suportar (METHA e MONTEIRO, 1994).

EL DEBS (2000), descreve o concreto pré-moldado em 8 tipos, de acordo com descrito a seguir:

De fabricação: Pré-moldado de fábrica: Empregado em instalações definitivas distantes da obra. Precisa ser analisado o transporte do elemento da indústria ao local de preparação. Pré-moldado de canteiro: Usado em instalações temporárias nas imediações da construção. Há a facilidade de ter baixa eficácia de fabricação. Não tem grandes complicações associados transporte e impostos relativos à fabricação industrial. Então está sujeito a ter menor qualidade.

A seção: Pré-moldado de seção completa: formada longe do local de realização, é o caso de vigas e pilares pré-fabricados. Pré-moldado de seção parcial: Apenas parte de sua seção sem riscos é moldada fora do local. O restante da seção resistente é moldado no local. É o caso das lajes alveolares com a capa de concreto moldada no local.

A carga: Pré-moldado pesado: Requer equipamentos específicos para preparação e transporte. Pré-moldado leve: Não requer equipamentos especiais para preparação e transporte, podendo esta atuação ser manual como no caso das lajes treliçadas.

O tipo: Pré-moldado comum: Não há atenção com a aparência do componente. Pré-moldado arquitetônico: Elemento com arremate, coloração, maneira ou textura estabelecidos pela construção. Estes componentes são capazes de ou não ter função estrutural.

2.2 HISTÓRIA DO AÇO

Desde o século XVIII, quando se deu início a utilização de armações metálicas na construção civil, o aço tem proporcionado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, hábeis e de boa qualidade. Das obras iniciais, como

a ponte Ironbridge na Inglaterra, de 1779 aos modernos edifícios que se ponderaram pelas amplas cidades, a arquitetura em aço sempre esteve associada ao conceito de modernidade e inovação demonstrada em obras de vasta expressão arquitetural e que constantemente apresentavam o aço aparente (BENÉVOLO, 1989; BRUNA, 1976).

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar-lhes propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo o aço passou a representar cerca de 90 % de todos os metais consumidos pela civilização industrial. No atual estágio de desenvolvimento da sociedade, é impossível imaginar o mundo sem o uso do aço. A produção de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país. Seu consumo cresce proporcionalmente à construção de edifícios, execução de obras públicas, instalação de meios de comunicação e produção de equipamentos. Esses materiais já se tornaram corriqueiros no cotidiano, mas fabricá-los exige técnica que deve ser renovada de forma cíclica, por isso o investimento constante das siderúrgicas em pesquisa. O início e o processo de aperfeiçoamento do uso do ferro representaram grandes desafios e conquistas para a humanidade (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011).

No princípio, como a prática da construção estrutural em aço não era muito sustentável, a aglomeração das construções feitas em aço copiava o sistema estrutural aplicado em madeiramento, e as peças eram cobertas com alvenaria de pedras e tijolos como eram feitas as construções na época. No desenrolar-se da história verificou-se a utilização do aço na arquitetura do mundo e na arquitetura brasileira, isto é, as capacidades permitidas na produção deste instrumento, focando a importância do pensamento técnico das questões relativa ao projeto e à estrutura de aço, além da engenhosidade e apreciações artísticas para o crescimento desse tipo de arquitetura (DIAS, 1998)

Segundo CBCA (2005), ainda que não haja uma exclusividade no uso de perfis de aço na superestrutura de edificações comerciais, é certo que os elementos metálicos de aço estão presentes, por exemplo, em quase a totalidade dos shoppings brasileiros. Em função dos grandes vãos, é cada vez mais comum seu uso nas

coberturas leves e parcialmente transparentes. Além disso, a presença do aço em escadas, marquises e na estrutura interna das lojas é marcante.

As estruturas metálicas, apresentam alguns pontos que são definidos como desvantagens da utilização do aço para edificações. Em muitas etapas da construção em aço há uma ação de mão-de-obra especializada diferencialmente alta, o que eleva os custos, além do vigor de aquisição da própria estrutura metálica e os afazeres que as mesmas deverão acolher, antes, ao longo e após o andamento da obra aprimorada (COSIPA, 2010).

Ao usar o termo estrutura metálica, diferentes vezes, o ferro e o aço são desacertadamente citados como sendo um inclusive material. É essencial a agraciamento de os dois, uma vez que contem características distintas e são usados na construção de componentes estruturais com qualidades distintas. Os componentes estruturais usados na construção civil são produzidos em aço, com arranjos químicos modificados para cada definição apurada quantidade (DIAS, 1998).

Os metais ferro e aço contem em comum duas matérias-primas básicas: o minério de ferro e o carvão, que pode ser orgânico ou mineral. O minério de ferro é composto pelo elemento químico ferro (fe), que é achado na classe especialmente sob a maneira de óxidos (fe + o). O primordial objetivo na construção dos metais ferro e aço é dispensar-se o ar do seu composto.

O elemento químico ferro (fe) é cavado do minério a começar por elevadas temperaturas, obtidas dentro de fornos especiais, que retiram o ar na figura do carvão orgânico ou mineral, este último denominado como coque. O coque, um material cheio de carbono, é alicerçado pelo carvão mineral purificado por meio de altas temperaturas (FERREIRA, 1998).

Dentre as vantagens dos aços estruturais na construção civil pode ser citado o fato de serem pré-fabricados, possuírem reversibilidade, dimensões reduzidas com maior sensação de leveza, isotropia mecânica. Os elementos pré-fabricados são executados em fábricas onde a produtividade é otimizada, sendo padronizados e executados em grande quantidade (DIAS, 1998).

Um fator importante que deve ser ressaltado e estudado quanto a utilizar estruturas de aço é a corrosão. Uma maneira de contrafazer esse desgaste é o uso de pinturas específicas, mas isso remove uma grande parte do projeto arquitetônico, fazendo com que muitos arquitetos não usem essas tintas. Sem o uso de pinturas,

devem ser feitas algumas considerações das condições locais e que o aço fique exposto a uma atmosfera de grande quantidade de dióxido de enxofre (SO₂), para formar uma camada de pátina, que dificulta a corrosão (MANDOLESI, 1981; PARREIRAS, 2001).

Suas características são de essencial valia, especialmente no campo de estruturas metálicas, cujo projeto e andamento nelas se baseiam. Não são exclusivas dos aços, porém, de maneira similar, servem a cada um dos metais. Em um teste de defesa, ao apresentar uma barra metálica a uma força de tração cheia, ela irá entregar uma alteração progressiva de extensão, isto é, um crescimento de comprimento (FERRAZ, 2003).

Por intermédio da avaliação deste alongamento, pode-se alcançar a alguns conceitos e características dos aços:

- Elasticidade: especialidade do material a voltar à maneira natural, uma vez removida a força externa ativa;
- Lasticidade: propriedade inversa à da elasticidade, do material não voltar à sua maneira natural;
- Ductilidade: personalidade do material de deformar antes que ocorra a ruptura do mesmo;
- Fragilidade: adverso a ductilidade, qualidade do material de abrir bruscamente;
- Resiliência: personalidade do material de concentrar a força mecânica em regime elástico;
- Tenacidade: é a força completo, plástica ou elástica, que o material pode concentrar até a ruptura;
- Fluência: ajustes plásticos que são capazes de acontecer em pontos de preocupação, no decorrer dos contornos dos grãos do material;
- Fadiga: a ruptura do material sob esforços repetitivos ou cíclicos; Aspreza: defesa ao perigo de abrasão (FERRAZ, 2003).

De acordo com o Fórum da Construção (2010), nas construções com estrutura metálica a escolha da forma de aço é ensejo em razão de aspectos relacionados a:

- a) meio ambiente no qual as estruturas se localizam;
- b) previsão do comportamento estrutural de suas exigências, por causa de à geometria e aos esforços solicitantes;

- c) meio industrial com ambiente agressivo à estrutura;
- d) proximidade de orla marítima;
- e) manutenção necessária e disponível no decorrer do tempo.

O elemento acima tem influência a escolha de muito comportamento. Tendo como exemplo, condições ambientais adversas exigem aços de alta defesa à corrosão. Por outro lado, peças comprimidas com viaduto índice de esbeltez ou peças fletidas no qual a alteração (flecha) é fator preponderante são casos típicos de uso de aços de média defesa mecânica. No caso de peças com baixa esbeltez e no qual a alteração não é fundamental, encontra-se mais econômica a uso dos aços de alta resistência (FÓRUM DA CONSTRUÇÃO, 2010).

Os aços estruturais usados no Brasil são fabricados de acordo com cerimônia estrangeiras (especificamente a ASTM – American Society for Testing and Materials e DIN – Deutsche Industrie Normen) ou fornecidos de acordo com denominação dos próprios fabricantes (CBCA, 2003).

3 ESTRUTURAS MISTAS

Griffis (1994) assegura que as evidências que as primeiras construções mistas nos Estados Unidos se deram a partir de 1894. Neste caso, uma ponte e um edifício construídos se utilizaram vigas de aço cobertas com concreto, cujo desígnio era de proteger os subsídios de aço do fogo e da corrosão. Figueiredo (1998) adiciona, com embasamento nestes fatos, que as estruturas mistas aço-concreto surgiram casualmente.

Até a década de 30 o concreto era utilizado habitualmente nas estruturas não somente como material mais como revestimento. Mesmo assim, Griffis (1994) foi assunto se destaca por um grande número de edifícios de múltiplos pavimentos foi arquitetado entre as décadas de 20 e 30, utilizando-se deste tipo de sistema construtivo. Ainda do uso do concreto e sua contribuição na resistência, esta era, na época, desprezada nos cálculos (MALITE, 2005).

As estruturas mistas, para Bianchi (2002, p. 7), podem ser definidas como sistemas: “[...] que envolvem o comportamento interativo de componentes de aço estrutural com elementos de concreto para resistir às ações externas.”. Neste capítulo são descritos alguns conceitos e também são mostradas algumas aplicações para esse tipo de estrutura. É dado destaque aos diferentes tipos de pilares, que, segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 197)

3.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Para Figueiredo (1998) o concreto oferece a vantagem de compor seções mais rígidas e de ser mais resistente ao fogo e à corrosão, quando se trata das seções equivalentes em o aço. Já os perfis de aço apresentam a habilidade de vencer grandes vãos, além da precisão dimensional e a possibilidade de aplicar seções de menores dimensões. É de suma importância lembrar que o sistema misto rege por se empregar das vantagens essenciais de cada material contribuinte em sua constituição, a saber: o aço e o concreto

Segundo Bellei (2003), as principais vantagens da utilização da estrutura em aço são as seguintes: a) alta resistência do material nos diversos estados de tensão (tração, compressão, flexão e etc); b) os elementos em aço oferecem uma grande

margem de segurança no trabalho; c) São fabricados em oficina; d) tem-se a possibilidade de desmontar as estruturas e posteriormente montá-las em outro local; e) também podem ser reaproveitados os materiais que ficarem em estoque, ou mesmo as sobras de obra (LIMA, 2009).

Alva e Malite (2005), mencionam que se comparando com estrutura de concreto armado, quando falamos de vãos médios a grandes, o sistema misto aço-concreto é bem competitivo. Conciliando a rigidez do concreto com o menor peso do aço e sua capacidade de vencer vãos maiores, as estruturas mistas proporcionam mais praticidade de execução, melhor precisão em cálculos (devido ao controle das propriedades do aço), redução ou até dispensa de fôrmas e escoramentos, e redução de peso total da estrutura, aliviando as cargas na fundação

Segundo Bellei (2003), a principal desvantagem que se pode destacar é que os elementos de aço carbono são suscetíveis a corrosão, o que requer que eles sejam cobertos com uma camada de tinta, ou seja, deve-se empregar um outro método para proteção. Também deve ser lembrado que a estrutura em aço, quando exposta ao fogo, perde suas propriedades de resistência, o que se torna uma das maiores desvantagens da mesma.

Para que sejam cultivadas as vantagens de cada sistema estrutural aço-concreto os profissionais da área devem conhecer profundamente os dois materiais, tanto na fase de projeto quanto na execução (LIMA, 2009).

Em relação à praticidade de execução, as estruturas mistas possibilitam montagem em loco, que se assemelha ao de estruturas metálicas. Em resumo, apesar de exigir maior qualificação de mão-de-obra, tem-se um canteiro de obra mais limpo. A industrialização na produção de edifícios, possível com os elementos mistos, é um objetivo almejado baseado nas ideias de gestão da qualidade e racionalização, onde o controle da produção leva a melhores produtos finais e maior economia (OLIVEIRA, 2004).

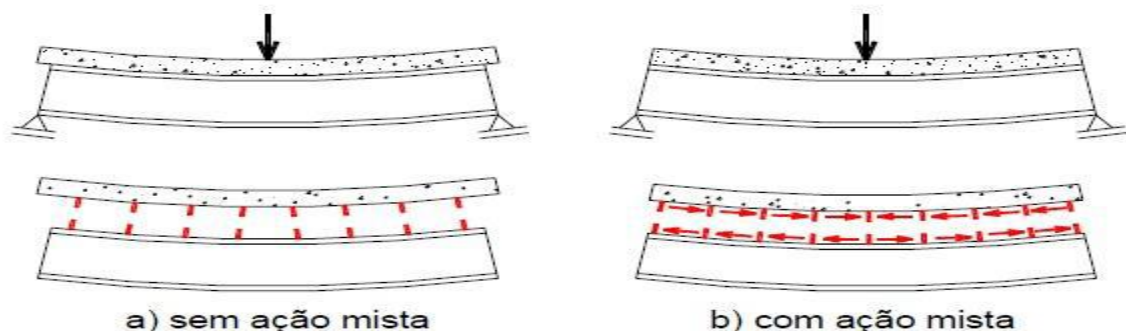
Nardin et al. (2005) salientou que para garantir que o elemento misto, aço e concreto, trabalhe conjuntamente é necessário que esses dois deformem solidariamente. Por sua vez, deve haver uma interação entre os materiais. Essa interação muitas vezes é garantida por meio mecânico isto é observável nas vigas mistas nas quais o comportamento conjunto dos materiais é por meio da presença de conectores de cisalhamento flexíveis, pino com cabeça ou stud bolts, e rígidos, perfis

tipo U. Na figura (b) mostrada a seguir, é exemplificado o comportamento de uma seção com materiais deformando conjuntamente, já na figura (a) não há nenhuma interação entre os materiais.

Apesar das vantagens apresentadas na utilização de estruturas mistas, seu uso no Brasil cresce em ritmo controlado, devido a fatores como, desconhecimento da técnica (falta de profissionais capacitados e de mão-de-obra especializada), desconhecimento das vantagens de adoção do método, tradicionalismo no uso do concreto armado e desconhecimento do custo x benefício.

Oliveira (2004), diz que as escolas de formação profissional de engenharia e arquitetura, em sua maioria, adotam grade curricular com prioridade na produção de edifícios com estrutura de concreto armado, não disseminando os outros sistemas. Formam-se profissionais inseguros quanto à atuação em outros modelos estruturais

Figura 1 – Comportamento misto aço e concreto em vigas



Fonte: NARDIN et al., (2005)

3.1.1 Pilar Misto

A principal desvantagem do pilar misto revestido é que necessita o uso de formas para a concretagem, sendo entre os três tipos de pilares citados, o mais trabalhoso concernente à execução. No entanto, este mesmo pilar pode adquirir a forma que se desejar, pelo fato do concreto possuir adequabilidade de formas.

Já os pilares mistos parcialmente revestidos podem ou não dispensar o uso de formas para a concretagem. Outrossim, é que este sistema aceita a pré-fabricação do pilar misto, uma vez que o perfil metálico pode ser concretado horizontalmente.

Como vantagens no uso de pilares mistos Fabrizio (2007) preenche que estes proporcionam como principais vantagens a esbeltez em relação aos pilares de

concreto, maior rigidez em relação aos pilares metálicos e proteção contra a corrosão e contra incêndio.

3.1.2 Vigas Mistas

Uma das vantagens apresentadas no uso de vigas mistas é o aumento de resistência e de rigidez da viga em comparação com os perfis equivalentes em aço, o que possibilita, por consequência, a redução da altura da seção dos elementos estruturais (DAVID et al., 2005).

Portanto, a evidente vantagem deste tipo de elemento frente ao sistema que se utiliza apenas de perfis de aço está no menor consumo de aço. Outra vantagem apresentada pelo sistema de viga mista é que, no caso em que a forma de aço é incorporada pode-se optar pelo não escoramento da laje, elevando assim a velocidade de construção.

3.1.3 Lajes Mistas

Lima (2009) destacou algumas vantagens que as lajes mistas apresentam. Dentre elas citar-se-ão: a dispensa do escoramento para vãos de 3m; redução de desperdício de material; facilidade de instalação e rapidez na construção; facilidade na passagem de dutos e de fixação de forros; redução ou eliminação da armadura de tração na região de momentos positivos, entre outras.

No entanto, algumas desvantagens podem ser verificadas, a saber: necessidade de utilização de forros por razões estéticas de maneira que a forma incorporada não fique à mostra. Igualmente, há a necessidade de maior quantidade de vigas secundárias, caso não se utilizem o sistema escorado e/ou formas de grande altura, devido a limitações dos vãos antes da cura do concreto (LIMA, 2009).

4 COMPONENTES DAS ESTRUTURAS MISTAS

4.1 PILARES MISTOS

Os pilares mistos, de maneira geral, são compostos por um ou mais perfis de aço, completados ou revestidos de concreto. A combinação dos dois materiais em pilares mistos proporciona além da proteção ao fogo e à corrosão, o aumento da resistência do pilar. Essa combinação contribui para o aumento na rigidez da estrutura aos carregamentos horizontais.

Porém esta utilidade foi sendo abandonada com a evolução das técnicas de produção de materiais para este fim, com custos menores do que o do concreto. Em pilares mistos, o concreto continuou a ser utilizado para revestimento, mas considerando em cálculo as suas propriedades estruturais. Posteriormente, pensando no aumento de resistência, iniciou-se a prática de preencher com concreto os perfis tubulares. A combinação de aço concreto em pilares mistos, além da proteção ao fogo (quando revestidos) e aumento da resistência, aumenta a rigidez da estrutura aos carregamentos horizontais. Outro ponto que diferencia os pilares mistos dos de concreto armado, é a ductibilidade que eles apresentam. (NARDIN, TOLEDO e SOUZA, 2010)

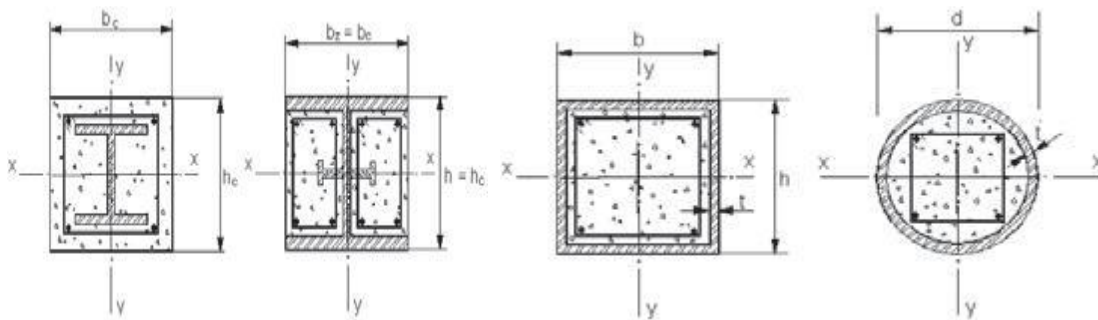
Como os primeiros pilares mistos se utilizavam de concreto de baixa resistência, os ganhos de resistência oriundos desta associação não eram considerados nos cálculos. Com os posteriores avanços do concreto armado destinados aos edifícios de múltiplos pavimentos este material passou a aumentar significativamente a resistência dos elementos, seja em relação à compressão ou quanto às forças de vento, aumentando a resistência lateral da estrutura quando comparadas às estruturas de aço equivalente. (FIGUEIREDO, 1998).

Com isso a necessidade de pesquisas que esclarecessem o comportamento dos elementos mistos veio à tona.

Os pilares de aço preenchidos ou revestidos com concreto têm aplicações vantajosas tanto em estruturas de pequeno porte quanto em edifícios altos. Segundo Griffis (1994), os pilares mistos podem ser empregados em galpões de armazenagem, quadras esportivas cobertas, terminais rodoviários, pavilhões etc., onde a proteção do

perfil de aço com o concreto seria uma solução desejável por motivos estéticos ou de proteção contra corrosão, incêndio ou impactos de veículos.

Figura 2 – Perfis soldados de aço embutidos em pilar de concreto armado.



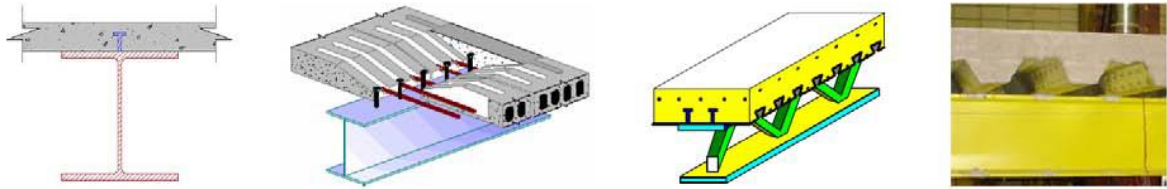
Fonte: Griffis (1994)

4.2 VIGAS MISTAS

As vigas mistas aço-concreto surgiram como consequência da utilização de vigas de aço sob lajes de concreto. Inicialmente a viga era projetada de forma a suportar o peso da laje de concreto sobre ela apoiada. Posteriormente a contribuição da laje passou a ser considerada, caracterizando um sistema misto. No referente à ação de cargas gravitacionais, esse sistema constitui um melhor aproveitamento das características dos materiais, resultando em redução no peso do perfil metálico.

A NBR 8800/2008 trata das vigas mistas de aço e concreto que são constituídas de um componente de aço simétrico em relação ao plano de flexão, que pode ser um perfil I, um perfil caixão, um perfil tubular retangular ou uma treliça, com uma laje de concreto acima de sua face superior. Deve haver ligação mecânica por meio de conectores de cisalhamento entre o componente de aço e a laje de tal forma que ambos funcionem como um conjunto para resistir à flexão.

Figura 3 - ilustra alguns exemplos de vigas mistas.



Fonte: DE NARDIN, (2008)

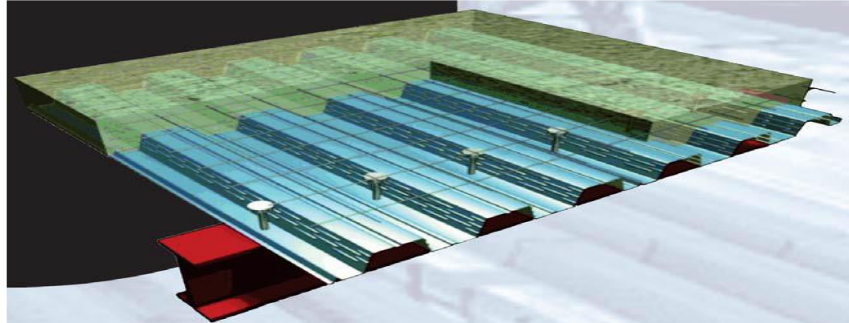
Segundo David et al. (2005) o comportamento das vigas mistas deve ser baseado na ação conjunta entre o perfil metálico e a laje. Assim sendo, é necessário que se desenvolvam forças longitudinais de cisalhamento. Como normalmente a aderência natural entre a laje e a viga, bem como as forças de atrito são desconsideradas no cálculo, torna-se necessário o uso de elementos adicionais capazes de transmitir o cisalhamento na interface laje-viga. Estes elementos adicionais são denominados conectores de cisalhamento.

Cabe salientar neste ponto que David et al. (2005) investigaram teórica e experimentalmente o uso de conectores de cisalhamento em vigas mistas constituídas de perfis de aço formados à frio associado às tradicionais lajes de vigotas pré-moldadas, laje esta muito conhecida e utilizada no país.

4.3 LAJES MISTAS

Laje mista é um elemento que se utiliza de formas permanentes nervuradas de aço. A forma é utilizada inicialmente como suporte para o concreto antes da cura, bem como para as cargas de utilização. Após a cura do concreto os dois materiais (aço e concreto) trabalham em conjunto, solidarizando-se estruturalmente, formando assim o sistema de laje mista. A Figura 4 evidencia a laje mista com forma de aço incorporada (steel deck).

Figura 4: Exemplo de laje com forma de aço incorporada (*steel deck*).



Fonte: (METFORM S/A, 2009)

Por esta solidarização entre o aço e o concreto pode ser mecânica, a partir da utilização de conectores de cisalhamento, saliências, mossas, etc. ou por atrito, sendo este gerado pelo confinamento do concreto em formas reentrantes (GOMES, 2001). Assim sendo, é notável verificar que o desenvolvimento dos conectores de cisalhamento contribuiu significativamente para acelerar os avanços associados às vigas mistas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas estruturais em concreto armado apresentam geralmente maior número de operários e baixa produtividade, quando comparado aos sistemas estruturais mistos aço/concreto. As estruturas metálicas apresentam menor peso próprio em relação ao concreto armado, o que implica em fundações mais econômicas e a possibilidade de vencerem vãos maiores. Os pilares metálicos mais esbeltos possibilitam o acréscimo de área útil da edificação, o que é extremamente importante na comercialização de um empreendimento

As estruturas mistas aço-concreto, compostas pela união de perfis de aço com o concreto, compõem uma solução competitiva em sistemas estruturais de edifícios e pontes, sendo bastante empregadas em diversos países. O emprego do sistema misto no Brasil é relativamente recente e tem evoluído de forma modesta. Nos sistemas horizontais, constituídos principalmente de lajes e vigas, a utilização de elementos mistos conduz a algumas vantagens, entre elas a rapidez de execução e o significativo aumento da capacidade estrutural das vigas, resultando em economia de material. Nesses sistemas, as vigas mistas e as lajes com fôrma de aço incorporada, caracterizando as lajes mistas, são bem utilizadas. Nos sistemas verticais, os pilares mistos têm tido sua utilização ampliada, principalmente em edifícios altos. Nesses elementos mistos, a combinação aço concreto propicia maior rigidez à estrutura e maior resistência ao fogo.

Os elementos estruturais mistos oferecem uma série de vantagens. A seção de aço, por exemplo, pode ser reduzida em relação a uma peça equivalente de aço apenas, já que o concreto resiste a uma parcela do carregamento atuante. Geralmente esse artifício implica na redução das dimensões da seção. No caso específico das vigas mistas, por exemplo, ocorre redução da altura total da viga e diminuição do peso de aço demandado.

REFERÊNCIAS

ASTM- **Standard Specification for Portland Cement – C150**

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.

_____. **ABNT NBR 8800:2008**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 237 p

BARATA, M. S. Concreto de alto desempenho no Estado do Pará: **Estudo de viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém e através do emprego de adições de microssílica e metacaulim**. Porto Alegre, 1998.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Arquitetura Moderna**. São Paulo: Perspectiva; 1989.

BELLEI, I. H. **Manual de Construção em aço: interfaces aço-concreto**. 2.ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009. 93 p.

BIANCHI, F. R. **Análise do Comportamento dos Pilares Mistos Considerando a Utilização de Conectores de Cisalhamento**. 2002. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

BRUNA, Paulo J. V. **Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1976.

DAVID, D. L.; ARAÚJO, D. L.; MALITE, M. **Vigas Mistas constituídas por perfis de aço formados a frio e lajes de vigotas pré-moldadas**. In: ENCONTRO NACIONAL

DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO. 1., 2005, São Carlos, Brasil. **Anais...** São Carlos, 2005.

FIGUEIREDO, L. M. B. **Projeto e Construção de Pilares Mistos Aço-Concreto**. 1998. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

FABRIZZI, M.A. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço-concreto**. 2007. 233 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GRIFFIS, L.G. The 1994 T.R. High Lecture: **Composite Frame Construction**. In: **National Steel Construction Conference, Pittsburgh, Pennsylvania**, 18 – 20 maio, 1994. Proceedings. New York, AISC. v.1, 1994.

LIMA, I. D. C. **Alternativas de sistemas de lajes para edifício em aço**: Estudo comparativo. São Carlos. 122p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2009.

MALITE, M. **Análise do comportamento estrutural de vigas mistas aço concreto constituídas por perfis de chapa dobrada**. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos -Universidade de São Paulo, 2005.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: **Microestrutura Propriedades e Materiais**. 3ª ed. São Paulo: Pini, 2008. 674 p.

NARDIN, S.; TOLEDO, G. N.; SOUZA, A. S. C. **Viabilidade da utilização de pilares mistos parcialmente revestidos em edifícios de múltiplos pavimentos: estudo de caso**. In: CONSTRUMETAL 2010 – CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2010, São Paulo, Anais... São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, 2010, N°

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo. PINI, 1997.

OLIVEIRA, D.R. **Desenvolvimento do projeto arquitetônico em estruturas de aço.**
2004 Dissertação (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de
Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. 51 p