

# 1 Introdução

## 1.1. Motivação

Na construção civil, os méritos de um determinado sistema construtivo são avaliados com base em fatores tais como: eficácia, resistência, durabilidade e funcionalidade. Nenhum material conhecido possui todos esses requisitos a níveis desejados. O trabalho do engenheiro, por conseguinte, consiste em uma avaliação envolvendo diferentes materiais e métodos construtivos, com a finalidade de se elaborar uma estrutura com o mínimo custo global, visando atender os objetivos para qual esta foi idealizada. O processo para se melhorar a utilização do material pode ser classificado em duas categorias. A primeira consiste em combinar materiais apropriados de forma a se criar um terceiro material misto. Alternativamente, diferentes materiais podem ser arranjados em uma configuração geométrica ótima, com o objetivo de somente as propriedades desejadas em cada material serem utilizadas em virtude da sua posição designada. Este último caso é denominado construção mista.

Pode-se denominar sistema estrutural misto, como sendo formado de estruturas reticuladas constituídas por uma combinação de elementos de concreto armado e elementos em aço, os quais agindo conjuntamente, são arranjados de forma a garantir a estabilidade e a resistência aos carregamentos solicitantes da estrutura.

Em uma visão real do mercado da construção civil no Brasil, as interfaces com sistemas construtivos de aço e concreto ocorrem de forma acentuada como em outros países. Objetiva-se o uso dos elementos metálicos numa escala mais ampla, explorando todo o potencial que o mesmo oferece. A utilização do aço foge de seu tradicional uso em obras de galpões industriais, para marcar presença em residências, edifícios comerciais, públicos, institucionais e privados.

Desde o século XVIII, quando iniciou-se a utilização de estruturas de aço na construção civil, até os dias atuais, o aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade.

Das primeiras obras, como a Ponte Ironbridge na Inglaterra (1779), aos ultramodernos edifícios que se multiplicaram pelas grandes cidades, a arquitetura em aço sempre esteve associada à idéia de modernidade, inovação e vanguarda, traduzida em obras de grande expressão arquitetônica e que invariavelmente traziam o aço aparente.

No entanto, as vantagens da utilização de sistemas construtivos em aço vão muito além da linguagem estética de expressão marcante, A redução do tempo de construção, a racionalização no uso de materiais e mão de obra e o aumento da produtividade, passaram a ser fatores chave para o sucesso de qualquer empreendimento.

Estas características que transformaram a construção civil no maior mercado para os produtores de aço no exterior começam, agora, a serem percebidas no Brasil.

A competitividade da construção metálica tem possibilitado a utilização do aço em obras tais como: edifícios de escritórios e apartamentos, residências, habitações populares, pontes, passarelas, viadutos, galpões, supermercados, shopping centers, lojas, postos de gasolina, aeroportos e terminais rodoviários, ginásios esportivos, torres de transmissão, etc.

O sistema construtivo em aço apresenta vantagens significativas sobre o sistema construtivo convencional [3]:

#### 1. Maior área útil

As seções dos pilares e vigas de aço são substancialmente mais esbeltas do que as equivalentes em concreto, resultando em melhor aproveitamento do espaço interno e aumento da área útil, fator muito importante principalmente em garagens.

#### 2. Flexibilidade

A estrutura metálica mostra-se especialmente indicada nos casos onde há necessidade de adaptações, ampliações, reformas e mudança de ocupação de edifícios. Além disso, torna mais fácil a passagem de utilidades como água, ar condicionado, eletricidade, esgoto, telefonia, informática, etc.

### 3. Compatibilidade com outros materiais

O sistema construtivo em aço é perfeitamente compatível com qualquer tipo de material de fechamento, tanto vertical como horizontal, admitindo desde os mais convencionais (tijolos e blocos, lajes moldadas in loco) até componentes pré-fabricados (lajes e painéis de concreto, painéis "dry-wall", etc).

### 4. Menor prazo de execução

A fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações, a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços simultaneamente, a diminuição de formas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, podem levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais.

### 5. Racionalização de materiais e mão-de-obra

Numa obra, através de processos convencionais, o desperdício de materiais pode chegar a 25% em peso. A estrutura metálica possibilita a adoção de sistemas industrializados, fazendo com que o desperdício seja sensivelmente reduzido.

### 6. Alívio de carga nas fundações

Por serem mais leves, as estruturas metálicas podem reduzir em até 30% o custo das fundações.

### 7. Garantia de qualidade

A fabricação de uma estrutura metálica ocorre dentro de uma indústria e conta com mão-de-obra altamente qualificada, o que dá ao cliente a garantia de uma obra com qualidade superior devido ao rígido controle existente durante todo o processo industrial.

### 8. Antecipação do ganho

Em função da maior velocidade de execução da obra, haverá um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e pela rapidez no retorno do capital investido.

### 9. Organização do canteiro de obras

Como a estrutura metálica é totalmente pré-fabricada, há uma melhor organização do canteiro devido à ausência de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens, reduzindo também o inevitável desperdício desses materiais. O ambiente limpo, com menor geração de entulho, oferece ainda melhores condições de segurança ao trabalhador contribuindo para a redução dos acidentes na obra.

#### 10. Precisão construtiva

Enquanto nas estruturas de concreto a precisão é medida em centímetros, numa estrutura metálica a unidade empregada é o milímetro. Isso garante uma estrutura perfeitamente aprumada e nivelada, facilitando atividades como o assentamento de esquadrias, instalação de elevadores, bem como redução no custo dos materiais de revestimento.

#### 11. Reciclabilidade

O aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas.

#### 12. Preservação do meio ambiente

A estrutura metálica é menos agressiva ao meio ambiente pois além de reduzir o consumo de madeira na obra, diminui a emissão de material particulado e poluição sonora geradas pelas serras e outros equipamentos destinados a trabalhar a madeira.

A necessidade de oferecer residências para população de baixa renda, dentro de padrões aceitáveis de habitabilidade e custo razoável de construção, tem sido objetivo de estudo por várias entidades. Os resultados obtidos nem sempre primam pela originalidade das soluções, mas procura-se de uma maneira geral oferecer condições de uso em função do custo mínimo da construção.

O emprego da laje mista com deck-metálico é geralmente um sistema estrutural econômico em edificações no exterior. Entretanto no Brasil, devido principalmente, a várias razões históricas, o setor da construção tem feito pouco uso desta solução estrutural.

Este estudo pretende mostrar a viabilidade deste sistema de laje. A possibilidade do perfil de chapa dobrada a frio trabalhar à flexão substituindo as cordoalhas de vergalhões, substituindo a forma da laje, e trabalhando como escora durante a cura do concreto. Além disso é possível o trabalho contínuo da construção, pois o canteiro de obra não é tomado pelas escoras que ocupam grande parte das obras durante o período de cura da laje.

## **1.2. Considerações Gerais**

### **1.2.1. Tipos de Lajes Estruturais**

Inicialmente alguns tipos mais comuns de sistemas de lajes utilizados na construção civil serão apresentados, e além deles o sistema inicialmente desenvolvido na pesquisa de Takey [1].

#### **1.2.1.1. Laje Maciça**

A laje maciça é constituída por uma placa de concreto armado ou de concreto protendido. É a laje mais utilizada nas edificações e pontes. Tendo como principal vantagem ser menos suscetível a fissuras e trincas. Depois de curado, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme. Sua principal desvantagem consiste na utilização de fôrmas e escoras de madeira para sustentação da estrutura enquanto ocorre a cura do concreto, ou seja, para que este adquira resistência própria para suportar seu peso e o carregamento projetado. A estrutura final é mais pesada que os outros métodos construtivos e apresenta um longo tempo de espera para utilização final, além de apresentar um custo financeiro elevado quando comparado aos outros sistemas construtivos.

#### **1.2.1.2. Laje Pré Moldada com Nervuras e Blocos**

Os pavimentos feitos de lajes com nervuras pré-moldadas têm sido largamente empregados em edificações usuais pois permitem grande economia em fôrmas e escoramento, não necessitam mão de obra especializada, são de fácil manuseio e montagem e, se bem dimensionado e executado, comportam-se adequadamente e com segurança.

As vigotas pré-moldadas são elementos de produção especializada de uso intensivo na construção civil, encontradas facilmente no mercado chegando a ser encontradas para pronta entrega. Para a confecção das lajes são empregados os elementos pré-moldados lineares (as vigotas), os elementos de enchimento normalmente utilizados são os blocos cerâmicos vazados ou blocos de poliestireno

expandido (isopor), colocados sobre os elementos pré-moldados, e por cima destes é colocada uma capa de concreto moldada no local.

As vigotas podem apresentar seções transversais com ou sem armadura aparente, em forma de T invertido ou I. Sendo que no Brasil as vigotas do tipo T invertido (tipo trilho) e as vigotas com a armadura aparente (tipo treliça) são as mais empregadas.

A figura 1.1 apresenta a disposição final dos elementos para a concretagem da laje pré - moldada.

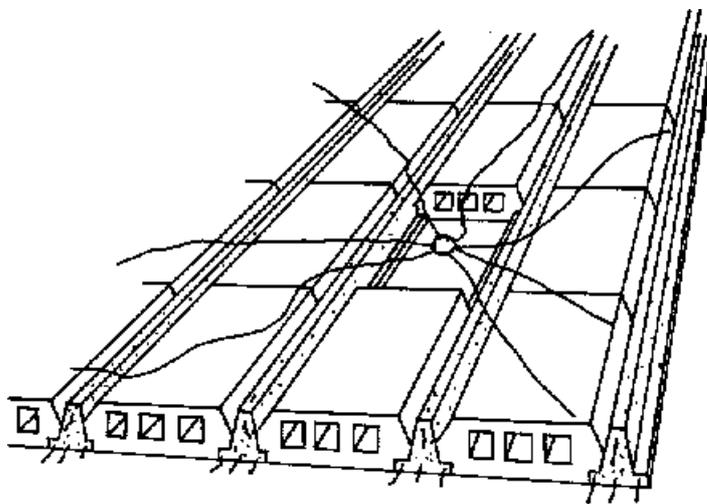


Figura 1.1 – Disposição dos elementos estruturas de lajes pré - moldadas [6].

### 1.2.1.3. Laje Mista

Lajes mistas ou lajes com fôrma de aço incorporada são aquelas em que a fôrma de aço é mantida no sistema de sustentação das cargas, funcionando antes da cura do concreto, como suporte das ações permanentes e sobrecargas de construção e, depois da cura, como parte ou toda a armadura de tração da laje.

Segundo a NBR 14323 (1999), o comportamento misto aço-concreto é aquele que passa a ocorrer após a fôrma de aço e o concreto terem sido combinados para formar um único elemento estrutural. A fôrma de aço deve ser capaz de transmitir o cisalhamento longitudinal na interface aço-concreto por meio de ligação mecânica por mossas nas fôrmas de aço trapezoidais, e ligações por atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço com cantos reentrantes, conforme mostram as figuras 1.2 e 1.3.

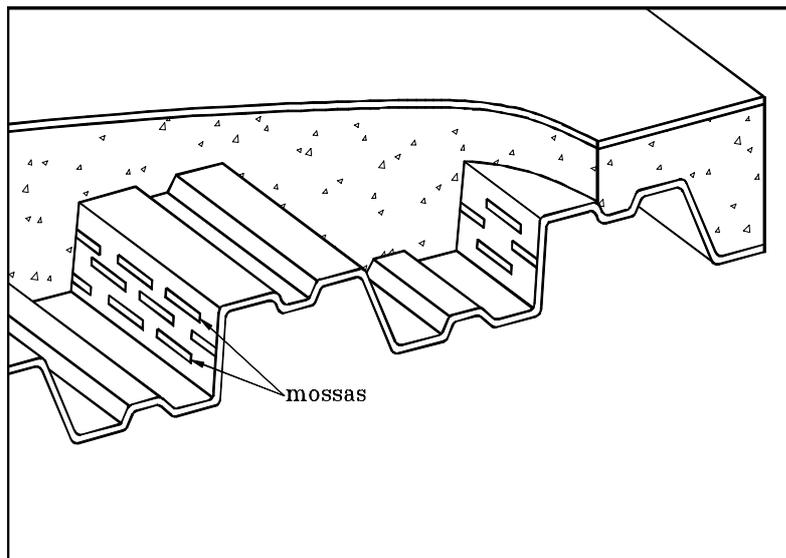


Figura 1.2 – Fôrma trapezoidal [6].

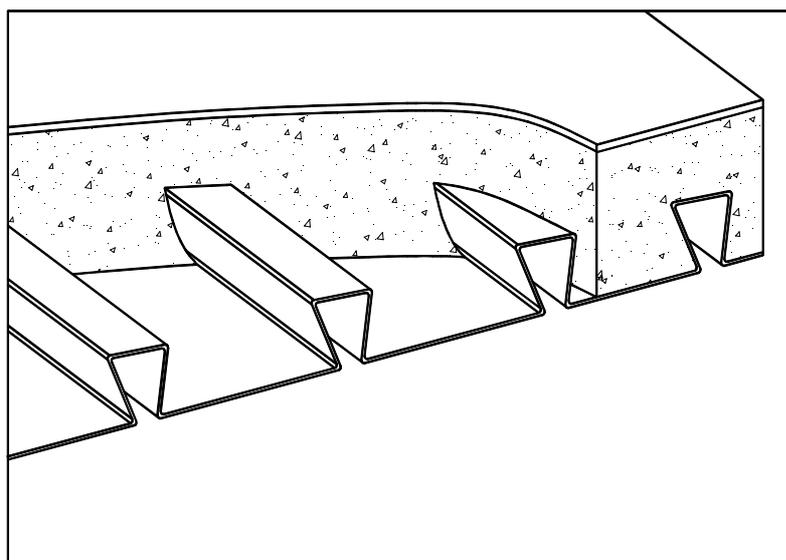


Figura 1.3 – Fôrma reentrante [6].

As lajes com fôrma de aço incorporada, juntamente com as vigas mistas, constituem o sistema de piso mais utilizado nos países mais desenvolvidos e vêm ganhando popularidade crescente em nosso país.

Entre as vantagens do sistema com lajes mistas, destacam-se as seguintes [4];

- dispensa de escoramento;
- redução de desperdício de material;
- facilidade de instalação e maior rapidez construtiva;

- facilidade de passagem de dutos e de fixação de forros;
- redução ou mesmo eliminação da armadura de tração na região de momentos positivos;
- maior segurança de trabalho, por funcionar como plataforma de serviço e de proteção aos operários que trabalham nos andares inferiores;
- praticidade de execução, uma vez que a fôrma fica incorporada ao sistema, não havendo a etapa de desforma.

#### 1.2.1.4. Laje Nervurada

São as lajes em que a zona de tração é constituída por nervuras, onde são concentradas as armaduras de tração. Entre estas nervuras pode ser colocado material inerte, sem função estrutural, de forma que a superfície externa superior se mantenha plana.

Estas lajes possuem, obrigatoriamente, uma mesa de concreto na região comprimida, sendo o espaçamento entre as nervuras regulamentado pela NBR 6118.

As lajes nervuradas, podem com vantagens, ser executadas em edifícios residenciais ou comerciais. Atualmente é comum a utilização de lajes nervuradas, sem o uso de material inerte, em prédios onde se necessite grandes vãos, como, por exemplo, os edifícios-garagem. Neste caso é comum usar-se lajes de 8 a 10m de vão. Para execução das nervuras, usam-se fôrmas industrializadas de fibra de vidro ou plásticas.

A figura 1.4 apresenta a disposição final da laje nervurada.



Figura 1.4 – Representação da laje nervurada [9].

Entre as vantagens das lajes nervuradas, pode-se relacionar:

- obtenção de estruturas mais leves para lajes que vencem grandes vãos;
- a estrutura, para grandes vãos, é normalmente mais econômica que as lajes maciças;
- isolamento acústico oferecido pelo material de enchimento, quando existente, é superior ao do concreto;
- a laje trabalhe em duas direções.

### **1.3. Sistema de Laje Proposto**

#### **1.3.1. Lajes com Fôrma de Aço Incorporado**

Para a confecção das lajes pré - moldadas são empregados os elementos pré-moldados lineares (as vigotas) e os elementos de enchimento normalmente utilizados são os blocos cerâmicos vazados ou blocos de poliestireno expandido (isopor) tornando-as mais leves. Por cima deste conjunto é colocado uma capa de concreto moldada no local.

A partir desta idéia foi criado um novo sistema de laje mista com o uso de perfis metálicos de chapa dobrada e isopor sequencialmente dispostos lado a lado e preenchidos com concreto armado, conforme figura 1.5. A qualidade do sistema se mostrava deficiente devido o uso de isopor (sistema EPS) e conectores de cisalhamento, aumentando o custo operacional da obra e podendo causar vários acidentes. Estas desvantagens motivaram o estudo de outros sistemas estruturais.



Figura 1.5 – Sistema com perfil metálico e isopor [1].

A presente investigação tem como objetivo propor uma solução alternativa para este sistema de lajes mistas. As chapas dobradas permaneceram as mesmas, porém com mossas para evitar o uso de conectores de cisalhamento, além disso os blocos de isopor foram substituídos por chapas metálicas galvanizadas com mossas. Pretende-se com esta solução aumentar a produtividade e evitar possíveis acidentes de trabalho.

Também será investigada a sua aplicabilidade em setores diversos como: residências, ambiente onde o escoramento é inviável, locais onde a rapidez de execução é indispensável, entre outros.

#### **1.4. Objetivos**

O objetivo deste trabalho é investigar e avaliar sistemas de lajes com aço incorporado com o uso de perfis metálicos de chapa dobrada para utilização em habitações populares. Pretende-se que o sistema proposto seja eficiente, fácil e rápido de ser construído, e que seja econômico. O sistema deve maximizar o

espaço livre útil da construção, desprezando a utilização de fôrmas, isopor, conectores e escoras, tendo assim como consequência a minimização das perdas construtivas e o aumento de produtividade.

De forma a viabilizar a utilização do sistema de laje com aço incorporado objetivou-se:

- estudar e investigar os perfis de chapa dobrada analisando a influência de variáveis como: peso, altura, espessura, tensão de escoamento, vão máximo, carga suportada por vão e por espessura da chapa metálica, momento máximo, capacidade de carga, e custos de fabricação;
- verificar a viabilidade e dificuldade associada aos processos de fabricação deste perfis e sua facilidade de montagem;
- avaliar a utilização das mossas no perfil metálico e na chapa metálica galvanizada.

### **1.5. Escopo**

Esta dissertação foi dividida em seis capítulos. No presente capítulo, encontram-se informações sobre alguns tipos de lajes (como lajes mistas e os tradicionais), bem como os objetivos pretendidos desta dissertação e sua motivação.

No segundo capítulo, é desenvolvido uma descrição mais aprofundada do sistema de laje com aço incorporado empregado neste trabalho. O sistema de lajes com seu perfil metálico com corrugações na alma e chapa galvanizada com mossas serão apresentados. Mostra-se a partir de um exemplo da laje proposta as principais vantagens deste sistema e os modos de ruínas da estrutura. Discuti-se as condições iniciais do projeto com estudo do perfil metálico com corrugações na alma e da chapa galvanizada com mossas. Por fim, apresentar-se-á a principal aplicação a que este estudo se destina.

O terceiro capítulo apresenta o estudo para obtenção do perfil metálico e da chapa galvanizada com mossas ideal para o sistema. A partir do dimensionamento do perfil de aço determinam-se os estados limites último e de utilização. Com estes resultados obtém-se as dimensões necessárias para o perfil de aço. Por fim é apresentado o cálculo da laje levando em conta o sistema misto para uma

edificação residencial. Este capítulo apresenta uma detalhada descrição dos procedimentos adotados para a escolha do perfil ótimo adotado no sistema de laje.

O quarto capítulo apresenta uma descrição dos ensaios experimentais, os tipos de laje ensaiadas, as características geométricas da estrutura, os pontos de aplicação de cargas, a descrição detalhada do sistema de instrumentação adotado e por fim os ensaios do tipo “push out” utilizando o mesmo perfil com alma corrugada.

No quinto capítulo apresenta-se os resultados experimentais de cada ensaio realizado iniciando com uma apresentação dos resultados dos ensaios para as estruturas de laje mista e os resultados dos ensaios com “push out”. Por fim, apresentar-se-á a comparação com o sistema estrutural desenvolvido por Takey [1].

O sexto capítulo contém as considerações finais do presente trabalho em termos das principais conclusões obtidas e as sugestões para a continuidade do presente trabalho.