

**Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**

**Fernando de Azevedo Nascimento**

**CARACTERÍSTICAS GERAIS E APLICAÇÃO DAS ESTRUTURAS  
MISTAS DE AÇO E CONCRETO**

**São Paulo  
2011**

Fernando de Azevedo Nascimento

## CARACTERÍSTICAS GERAIS E APLICAÇÃO DAS ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia

Data da aprovação \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

Prof. Dr. Ercio Thomaz (Orientador)  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
do Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ercio Thomaz (Orientador)  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Profa. Dra. Luciana Alves de Oliveira (Membro)  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Jefferson Benedicto Libardi Libório (Membro)  
Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Prof. Dr. Cláudio Vicente Mitidieri Filho (Suplente)  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Fernando de Azevedo Nascimento

CARACTERÍSTICAS GERAIS E APLICAÇÃO DAS ESTRUTURAS  
MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

Área de Concentração: Tecnologia em Construção de Edifícios

Prof. Dr. Ercio Thomaz (Orientador)

São Paulo  
Março/2011

*Dedico este trabalho à minha noiva Silvinha como forma do meu amor e carinho.*

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao nosso Pai e Mestre Jesus, pois sem suas bênçãos não seria possível a conclusão deste trabalho. Durante o andamento do trabalho, Ele me deu sabedoria e iluminou meus caminhos. Por isso, só posso dizer: Agradeço Pai (Deus) por fazer parte da minha vida e agradeço por mais esta bênção.

Agradeço também a virgem Santa Maria, Nossa senhora Aparecida, o meu anjo da guarda e todos os meus santos devotos, que fazem parte de minhas orações diárias, de pedidos e agradecimentos.

Ao Pai, também agradeço de coração por me oferecer na Terra uma família excelente e que eu amo tanto, além de me presentear com uma noiva maravilhosa que futuramente formará comigo uma família abençoada juntamente com um(a) filho(a).

Com muito amor e carinho, saibam que amo todos vocês. Obrigado por fazerem parte de minha vida. Diante disso faço questão de citar um a um:

Pai, sem você não seria nada, obrigado pela educação que me deu, sinto muito orgulho de ser seu filho e agradeço todo o ensinamento de vida, a honestidade e bondade. Agradeço por tudo o que o senhor fez em minha vida, desde os cuidados com minhas doenças até a minha aprendizagem como homem e engenheiro. Saiba que nos momentos difíceis você é meu alicerce, te amarei para sempre. Obrigado pela ajuda financeira e espiritual, sinto orgulho de você pai e sinto orgulho de ser seu filho. Você é um pai de ouro.

Mãezinha, a melhor mãe de todas, que me bajula até hoje, obrigado por tudo o que a senhora fez em minha vida. Se hoje eu sou a pessoa que sou, devo à educação, ao carinho e amor que a senhora me deu. Eu te amo muito, minha mãezinha querida, sinto orgulho de ser seu filho.

Agradeço a minha segunda mãe (avó Eva), ao meu segundo pai (avô Joaquim) e a minha tia Célia que eu amo tanto e a minha irmã Milena maravilhosa que eu amo muito e sempre me ajudou. Vocês moram no meu coração, jamais os esquecerei.

Em especial, a minha futura esposa, a minha cara metade e a mulher que Deus me deu. Só tenho a agradecer a Ele por colocá-la em minha vida e ser a futura mãe de meus filhos. Agradeço, amor, todo o seu apoio e compreensão nos momentos difíceis. Muito obrigado amor de la minha vita, te amo amorzinho, sem você não teria conseguido. A família da minha noiva, que hoje faço parte, uma família muito especial e abençoada, que eu amo tanto. A minha sobrinha Yasmim que será a nossa caçulinha e será amada por todos, ou seja, só tenho a agradecer a Deus pelas pessoas maravilhosas que entraram em minha vida, e por fim, não poderia deixar de citar a minha nova família (família da minha noiva) que é admirável e hoje faz parte de minha vida.

Agradeço de modo especial a toda equipe do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), o Adilson, o Bruno, a Longuinho, o Regis e a todos que contribuíram para a minha formação. Principalmente, gostaria de agradecer a Mary que sempre me ajudou e me apoiou, sendo uma pessoa especial. Também agradeço o professor Douglas que sempre acreditou em meu potencial e me apoio. Fiquei lisonjeado com suas palavras a meu respeito.

Agradeço ao professor Ércio, sem ele não teria conseguido. Obrigado pela dedicação, compreensão, e por me ensinar muitas coisas. Sinto orgulho de ter sido orientado por um professor de tamanha grandeza e um excelente profissional, muito conceituado.

Agradeço também a banca examinadora, composta de dois excelentes profissionais. O professor Libório que me surpreendeu com sua simplicidade, a quem foi um prazer conhecer e que com certeza será sempre meu amigo. Sinto orgulho por ter sido avaliado por um professor renomado, de grande competência e um educador exemplar.

A professora Luciana que apesar de ser da nova geração de profissionais e educadores, mostra-se uma profissional muito competente e de grande conhecimento naquilo que faz, uma profissional que com certeza atingirá grandes patamares.

E por fim, agradeço ao companheirismo e a amizade de todos os alunos que compartilharam estes anos ao meu lado. E para aqueles que não conseguiram alcançar o objetivo: nunca desistam de seus sonhos, sempre acreditem em Deus, pois tudo que desejarem será possível.

Hoje sinto orgulho de ser mestre pelo IPT, uma entidade reconhecida internacionalmente pela sua competência.

## RESUMO

O trabalho apresenta de forma teórica, as características gerais e a aplicação das estruturas mistas de aço e concreto em edifícios multipavimentos residências, comerciais e industriais. Abrangendo no escopo do trabalho os elementos estruturais: vigas mistas, lajes mistas destacando o sistema *steel deck*, pilares mistos, ligações mistas e pavimentos mistos. E os sistemas estruturais mistos classificados como verticais e horizontais. O trabalho aborda questões técnicas dos elementos estruturais mistos voltadas à: definição técnica, aspectos estruturais e tipologias. Também são abordados os aspectos de: dimensionamento, construtivo e controle tecnológico de execução das vigas mistas, pilares mistos e lajes mistas. E referente aos sistemas estruturais mistos verticais e horizontais, o trabalho aborda questões técnicas voltadas à: definição técnica, características funcionais e tipologias. Ainda faz parte do conteúdo deste trabalho a abordagem de conceitos técnicos de estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio, considerando o comportamento térmico dos materiais aço e concreto em elevadas temperaturas, os métodos de prevenção passiva das estruturas mistas, o dimensionamento das estruturas mistas em situação de incêndio, e o comportamento estrutural dos pilares, vigas e lajes mistas em situação de incêndio. A finalidade deste trabalho destina-se a difusão e o melhor entendimento desta técnica construtiva no meio técnico profissional e acadêmico.

Palavras-chave: estruturas mistas aço-concreto; ligações mistas; vigas mistas; pilares mistos; lajes mistas; estruturas em situação de incêndio.

## **ABSTRACT**

### **General features and application of composite structures steel and concrete**

This paper presents, in theory, the general characteristics and application of composite structures steel-concrete, as well as their application in residential, commercial and industrial multi-storey buildings. The scope of this paper includes the structural elements such as composite beams steel-concrete, composite slabs steel-concrete with special emphasis to steel deck, composite columns steel-concrete and composite pavements steel-concrete, as well as the system composite structures steel-concrete classified as vertical and horizontal. This paper presents technical aspects of the composite elements structural steel-concrete relative to technical definition, structural aspects and typology as well as aspects of building, of dimensioning and technological control of the composite beams, composite columns and composite slabs. In relation to composite systems structure steel-concrete the vertical and horizontal, this paper presents technical aspects relative to technical definition, functional characteristics and typology. The paper also includes technical concepts of composite structures steel-concrete in case of fire, taking into account the thermal behavior of the material under high temperatures, the composite structures steel-concrete passive prevention methods and dimensioning, as well as beams, columns and slabs structural behavior in case of fire. The purpose of this paper is to provide a better understanding of this building technique for the academic and working fields.

Key-words: composite structures steel-concrete; composite joints steel-concrete, composite beams steel-concrete, composite columns steel-concrete, composite slabs steel-concrete, structures in case of fire.

## Lista de Ilustrações

Figura 01	Comportamento do conjunto misto aço-concreto em vigas	36
Figura 02	Fôrma de aço: disposição dos mecanismos de aderência	38
Figura 03	Gráfico referente ao comportamento dos conectores flexíveis e rígidos	40
Figura 04	Tipos de conectores de cisalhamento	41
Figura 05	Comportamento estrutural de conectores dispostos em uma viga mista	42
Figura 06	Ensaio do tipo <i>push out</i> com a utilização de conectores do tipo pino com cabeça	43
Figura 07	Mecanismos de transferência de cisalhamento	48
Figura 08	Tipos de conectores	48
Figura 09	Diagrama tensão-deformação dos aços	51
Figura 10	Diagrama da tensão-deformação do concreto para compressão uniaxial	54
Figura 11	Curva de Gauss	56
Figura 12	Diagrama de ruptura típica de Mohr para o concreto	60
Figura 13	Curvas tensão de cisalhamento x deslocamento relativo	61
Figura 14	Aderência por meio de adesão de bloco disposto sobre chapa de aço	62
Figura 15	Aderência por atrito	63
Figura 16	Aderência mecânica	64
Figura 17	Acabamento superficial de fios e barras lisas	65
Figura 18	Modelos idealizados de transferência de cisalhamento na interface aço-concreto	66
Figura 19	Corpos de prova para a caracterização do aço à tração	76
Figura 20	Diagramas Tensão x Deformação	77
Figura 21	Efeitos do trabalho a frio nas características	78
Figura 22	Distribuição de tensões residuais em seções de perfis tubulares quadrados	79
Figura 23	Pilares do subsolo – Edifício E – Tower	94
Figura 24	Edifício E – Tower	94



Figura 25	Influência da qualidade (resistência) da matriz no desempenho do compósito	104
Figura 26	Tratamento de frestas	111
Figura 27	Transição entre aço e concreto	112
Figura 28	Posições para evitar pontos de acúmulo de água e sujeira	113
Figura 29	Condições para execução de aberturas circulares	115
Figura 30	Conectores de Cisalhamento: pino com cabeça ( <i>stud bolt</i> ) e perfil “U” laminado	118
Figura 31	Interação entre o aço e o concreto no comportamento da viga mista	119
Figura 32	Principais tipos de vigas mistas	123
Figura 33	Comparação do comportamento de vigas mistas contínuas em regiões de momentos positivo e negativo	125
Figura 34	Vigas mistas escoradas	128
Figura 35	Vigas mistas não escoradas	129
Figura 36	Através de chapa de apoio	148
Figura 37	Por meio de chapas e pinos previamente chumbados no concreto	148
Figura 38	Por meio de console incluído no pilar	149
Figura 39	Por meio de nichos previamente feitos no concreto	149
Figura 40	Fixação através de chumbadores de expansão, químicos ou protendidos – Pilares com grandes espessuras, largura e comprimento > 500 mm	150
Figura 41	Fixação através de chumbadores ou parafusos passantes, que atravessam toda a espessura, fixando-se em outra chapa no outro lado, dando uma protensão no chumbador – Pilares com pequena espessuras, largura e comprimento ≤ 50mm	150
Figura 42	Detalhe de fixador químico em um pilar de concreto	151
Figura 43	Chumbador de expansão	151
Figura 44	Sistema de lajes mistas – <i>Stell Deck CE-75</i>	155
Figura 45	Principais tipos de formas utilizadas no sistema <i>Steel deck</i>	157
Figura 46	Esquema típico do ensaio <i>slip block test</i>	160
Figura 47	Esquema típico do ensaio <i>pull-out test</i>	162
Figura 48	Esquema típico do ensaio <i>push-off test</i>	162
Figura 49	Dimensões da laje mista	164

Figura 50	Dimensões típicas da fôrma de aço e da laje de concreto	165
Figura 51	Comprimentos mínimos de apoio	166
Figura 52	Instalação de conector de cisalhamento do tipo pino com cabeça ( <i>stud bolt</i> )	167
Figura 53	Disposição das fôrmas de aço incorporada já com os conectores fixados ao longo da laje	168
Figura 54	Operário realizando a conferência dos serviços de execução da laje	169
Figura 55	Etapa de concretagem da laje, e através das setas amarelas observam-se as armaduras adicionais dispostas ao longo da laje	169
Figura 56	Seções típicas de pilares mistos revestidos	171
Figura 57	Tipos de pilares mistos preenchidos	173
Figura 58	Tipos de pilares mistos parcialmente revestidos	174
Figura 59	Pilar misto tipo <i>battened</i>	174
Figura 60	Demais tipos de pilares mistos	176
Figura 61	Tensões de confinamento em seções circulares	181
Figura 62	Arqueamento das tensões de confinamento em seções retangulares e quadradas	182
Figura 63	Zonas de confinamento do concreto	183
Figura 64	Flambagem local para pilares mistos constituídos por perfis tubulares retangulares	188
Figura 65	Sistema estrutural final em pórticos mistos	194
Figura 66	Detalhes de ligação entre pilares mistos revestidos com vigas mistas	196
Figura 67	Detalhe de ligações tipo A	197
Figura 68	Detalhe do dispositivo tipo 1 de transmissão de cargas para pilares mistos circulares e retangulares	199
Figura 69	Detalhes (a) e (b) do dispositivo tipo 2 de transmissão de cargas para pilares mistos	200, 201
Figura 70	Modelo para a rigidez do conjunto da ligação mista (NBR 8800 – rev. 2006)	203
Figura 71	Tipos de ligações mistas	204
Figura 72	Modelos experimentais do tipo cruciforme (a) e em pilar de extremidade (b)	205

Figura 73	Comportamento M – Ø das ligações mistas	207
Figura 74	Exemplos de pisos mistos de pequena altura	208
Figura 75	Viga tipo Delta Beam	209
Figura 76	a) Viga Asymmetric Slimflor Beam, b) Sistema Slimdek, c) Sistema RHSSB	210
Figura 77	Sistemas mistos: a) IFB b) <i>Slim floor</i> desenvolvido na Finlândia	211
Figura 78	Sistema de piso com treliça espacial mista	212
Figura 79	Distribuição de tensões em vigas mistas sob o efeito de momento negativo	225
Figura 80	Fluxo de comunicação sugerido para o projeto-processo de lajes mistas <i>steel deck</i>	249
Figura 81	Fluxo de produção resumido para lajes mistas <i>steel deck</i>	250
Figura 82	Algumas etapas que podem ser consideradas no projeto de produção para concretagem de lajes mistas <i>steel deck</i>	251
Figura 83	Alguns modelos de sistemas verticais	254
Figura 84	Algumas aplicações do sistema em pórtico	256
Figura 85	Um modelo de sistema de treliças em edifícios de múltiplos andares	257
Figura 86	Centro Cultural do Banco Itaú (1995) - São Paulo	258
Figura 87	Edifício Cinevideo Frame – Cotia / SP	259
Figura 88	Exemplos de utilização dos sistemas tubulares	260
Figura 89	Edifício <i>Petronas Twin Tower</i> – <i>Kuala Lumpur</i> – Malásia	261
Figura 90	Sistema do tipo tubular	262
Figura 91	Sistema composto por núcleo rígido	264
Figura 92	Esquema típico do sistema com núcleo central	264
Figura 93	Tipo de aplicação do sistema com núcleo estrutural de concreto em edifício de múltiplos andares – Ribeirão Preto – SP	266
Figura 94	Exemplos de algumas disposições estruturais de um sistema horizontal	267
Figura 95	Disposição de laje mista em edifício garagem	268
Figura 96	Exemplo da utilização de lajes nervuradas pré-fabricadas em piso de edifício	268
Figura 97	Curva tempo-temperatura de um edifício em situação real de	

	Incêndio	270
Figura 98	Diagrama tensão x deformação do aço, $f_y = 235$ MPa, sob temperaturas entre 20° C e 600° C	273
Figura 99	Diagrama tensão x deformação do aço para temperaturas elevadas	275
Figura 100	Variação dos fatores de redução do módulo de elasticidade e da resistência ao escoamento do aço em função da temperatura	278
Figura 101	Variação dos fatores de redução para a resistência característica do concreto com a elevação da temperatura	281
Figura 102	Alongamento do aço ( $\Delta l/l$ ) em função da temperatura ( $\theta_a$ )	283
Figura 103	Calor específico do aço ( $C_a$ ) em função da temperatura ( $\theta_a$ )	285
Figura 104	Condutividade térmica do aço ( $\lambda_a$ ) em função da temperatura ( $\theta_a$ )	286
Figura 105	Alongamento do concreto ( $\Delta l/l$ ) em função da temperatura ( $\theta_a$ )	288
Figura 106	Calor específico do concreto ( $C_c$ ) em função da temperatura ( $\theta_c$ )	289
Figura 107	Condutividade térmica do concreto ( $\lambda_c$ ) em função da temperatura ( $\theta_c$ )	290
Figura 108	Placas rígidas de gesso resistente ao fogo	297
Figura 109	Vermiculita	297
Figura 110	Manta de lã cerâmica aluminizada	297
Figura 111	Manta de lã cerâmica – sem revestimento	297
Figura 112	Manta de lã de vidro	297
Figura 113	Manta de lã de rocha	298
Figura 114	Aplicação de argamassa projetada em viga de aço	298
Figura 115	Argamassa projetada revestindo vigas e pilares, em seguida realizada pintura Shopping Metrô Santa Cruz	298
Figura 116	Aplicação de pintura intumescente em estrutura metálica	299
Figura 117	Expansão da pintura intumescente após contato com o fogo	299
Figura 118	Variação da temperatura na seção de vigas mistas	301
Figura 119	Diagrama força-escorregamento de conectores de cisalhamento sob elevadas temperaturas	304
Figura 120	Curva tempo-temperatura em alguns pontos da seção transversal da laje mista	306

Figura 121	Dimensões da seção transversal da laje mista	318
Figura 122	Posição da armadura na seção da laje mista	320
Figura 123	Vista da fábrica atingida pelo incêndio	322
Figura 124	Fuligem sobre a viga de aço	323
Figura 125	Pilar de aço atingido pelo fogo	323
Figura 126	Viga de aço com deformação na mesa superior	323
Figura 127	Perda da pintura de proteção dos elementos estruturais de aço	323
Figura 128	Vista do fechamento metálico lateral	324
Figura 129	Deformação da diagonal metálica do fechamento lateral	324
Figura 130	Vista da cobertura metálica – deformação severa dos elementos estruturais da cobertura	324
Figura 131	Deformação da vigota metálica do fechamento lateral	324
Figura 132	Deformação severa das montantes metálicas do fechamento lateral	325
Figura 133	Deformação na alma do pilar metálico de perfil I	325
Figura 134	Deformação da alma e mesa do pilar metálico de perfil I	325
Figura 135	Vista da ligação pilar metálico e viga metálica	325

## Lista de Tabelas

Tabela 1	Resistência de conectores de cisalhamento	37
Tabela 2	Dimensões e tolerância de conectores de cisalhamento usuais	44
Tabela 3	Espessuras mínimas de chapas de aço para a solda por arco elétrico do conector	47
Tabela 4	Fatores de conversão aplicáveis à resistência de corpos de prova	53
Tabela 5	Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de ambiente	74
Tabela 6	Materiais usados em parafusos	81
Tabela 7	Compatibilidade do metal base com o metal da solda	83
Tabela 8	Resistência mínima à tração do material de solda	84
Tabela 9	Valores de $E_c$	87
Tabela 10	Classes de agressividade ambiental	88
Tabela 11	Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	90
Tabela 12	Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobertura nominal para $\Delta_c = 10$ mm	92
Tabela 13	Classes de resistência do concreto	93
Tabela 14	Benefícios conseguidos pelo emprego de aditivos redutores de água	100
Tabela 15	Características das fibras de aço	103
Tabela 16	Resistência de cálculo dos materiais	105
Tabela 17	Valores dos coeficientes de ponderação das resistências $\gamma_m$	106
Tabela 18	Limites de dimensões para lajes mistas	107
Tabela 19	Recomendações quanto aos materiais constituintes do pilar misto	108
Tabela 20	Recomendações quanto aos pilares preenchidos	109
Tabela 21	Valores máximos recomendados para flechas segundo a ABNT NBR 8800	143
Tabela 22	Lista das principais normas brasileiras relacionadas aos componentes das estruturas mistas	217
Tabela 23	Resistência e módulo de deformação longitudinal do concreto, segundo a norma EUROCODE 4 (1994)	221
Tabela 24	Força de protensão mínima em parafusos ASTM	233
Tabela 25	Espessura da garganta efetiva de soldas de penetração parcial	236

Tabela 26	Espessura da garganta efetiva da solda em juntas de superfície curva	237
Tabela 27	Ensaio a serem realizados no concreto fresco	242
Tabela 28	Ensaio a serem realizados no concreto endurecido	242
Tabela 29	Controle tecnológico e de qualidade do concreto nas diversas etapas	243, 244
Tabela 30	Exemplo de uma planilha de controle de qualidade da execução dos serviços	245
Tabela 31	Exemplo de memorando para a prática de ações e medidas corretivas	246, 247
Tabela 32	Parâmetros que definem o diagrama tensão x deformação dos aços	274
Tabela 33	Fatores de redução para o aço	276
Tabela 34	Fatores de redução da resistência do concreto	279
Tabela 35	Fatores de massividade para elementos estruturais sem proteção	292, 293
Tabela 36	Fatores de massividade para elementos estruturais com proteção	294
Tabela 37	Variação de temperatura na altura das lajes de concreto	302
Tabela 38	Dimensões mínimas da seção transversal de pilares mistos totalmente revestidos em função do tempo requerido de resistência ao incêndio	312
Tabela 39	Cobertura de concreto com função apenas de isolamento Térmico	313
Tabela 40	Dimensões mínimas da seção transversal de pilares mistos parcialmente revestidos em função do TRRF (tempo requerido de resistência ao incêndio)	314
Tabela 41	Dimensões mínimas da seção transversal de pilares mistos preenchidos em função do tempo requerido de resistência ao Incêndio	315
Tabela 42	Espessura efetiva mínima da laje mista sem proteção térmica	317
Tabela 43	Temperatura da armadura na laje mista	319

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABECE	Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural
ACI	American Concrete Institute
AISC	American Institute of Steel Construction
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumina
ARI	Alta Resistência Inicial
ASTM	American Society of Civil Engineers
AWS	American Welding Society
BS	British Standard Institution
CAN	Canadian Standards Association
CAR	Concreto de Alta Resistência
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Cálcio
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CEB	Working Group on High Strength Concrete
CP	Cimento Portland
CH	Hidróxido de Cálcio
CSA	Canadian Standards Association
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado
ECCS	European Convention for Constructional Steelwork
EUROCODE	European Committee for Standardization
FLT	Flambagem Lateral por Torção
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
ISO	International Standardization for Organization
NBR	Norma Brasileira Registrada
NS	Norsok Standard
SiO <sub>2</sub>	Sílica
TB-NBT	Texto-base de uma futura norma brasileira, elaborada pelo um grupo de trabalho difundido em 2008 que conta com o apoio do Comitê Técnico de Construção Metálica constituída pela ABECE
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo



## Lista de Símbolos

$A$	:	área da seção do aço; área da seção transversal mista
$A_c$	:	área da laje de concreto na largura efetiva
$A_{cs}$	:	área da seção transversal do conector
$A_{fy}$	:	resistência à tração do perfil de aço
$A_s$	:	área do aço estrutural; área da seção transversal da armadura; área do perfil de aço
$A_s, A_c$	:	taxa mínima da armadura (ABNT NBR 14323)
$A_t$	:	área total da seção do perfil de aço
$b$	:	espessura da mesa de um perfil I, largura
$b_b$	:	largura da chapa base entre nervuras
$b_c$	:	largura da seção de concreto em pilares revestidos
$b_F$	:	largura da fôrma de aço da laje mista
$b_f$	:	largura da mesa do perfil de aço
$b_{fc}$	:	largura mesa comprimida (ABNT NBR 8800)
$b_o$	:	largura média das nervuras para formas trapezoidais
$bt_c$	:	largura efetiva da laje
$C_{red}$	:	coeficiente redutor
$C$	:	diâmetro do conector de cisalhamento
$^{\circ}C$	:	graus Celsius
$c$	:	cobrimento mínimo de concreto para seção de aço estrutural
$C1, C2, C3, C4, C5-I, C5-M$	:	categoria de corrosividade
$C_x, C_y$	:	cobrimentos nas direções x e y respectivamente
$C_a$	:	calor específico do aço
$C_c$	:	calor específico
$C25$ a $C55$	:	classe de resistência do concreto
$d$	:	diâmetro, altura da viga do perfil de aço viga
$d_b$	:	diâmetro do parafuso; diâmetro da cabeça do pino
$d_{cs}$	:	diâmetro dos conectores pino com cabeça
$D1, D2$	:	diâmetro de abertura da viga de aço (ABNT NBR 8800)

$E$	:	módulo de elasticidade; módulo de elasticidade do aço; módulo de elasticidade do aço sob uma temperatura de 20°C
$e$	:	o valor da resistência de cálculo em temperatura ambiente
$e_c$	:	escorregamento relativo
$E_c$	:	módulo de elasticidade do concreto
$E'_c$	:	módulo de elasticidade secante
$E_{cm}$	:	módulo de deformação do concreto
$E_{c, \theta}$	:	módulo de elasticidade do concreto em função da temperatura
$E_{\theta}$	:	deformação do aço sob elevada temperatura (EUROCODE 4); módulo de elasticidade do aço sob uma temperatura $\theta_a$ ;
$El_1$	:	rigidez à flexão constante ao longo do vão (EUROCODE 4)
$El_2$	:	rigidez à flexão na região dos apoios (EUROCODE 4)
$e_{m\acute{a}x}$	:	espaçamento máximo entre conectores
$e_{m\acute{i}n}$	:	espaçamento mínimo entre conectores
$F$	:	força
$F_{Tb}$	:	força de protensão mínima em parafusos (ASTM)
$F_{tb}$	:	força mínima de protensão
$f_c$	:	resultado da ruptura de corpos de prova cilíndricos; força transmitida pelo conector
$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$	:	resistência de projeto
$f_{cd}$	:	resistência de cálculo do concreto à compressão; resistência de cálculo do concreto da laje
$f_{cp}$	:	fator de redução de corpos de prova cilíndricos
$f_{ctd}$	:	resistência à tração por compressão diametral
$f_{ctf}$	:	resistência à tração na flexão
$f_{ck}$	:	resistência característica do concreto à compressão; resistência característica à compressão do concreto de densidade normal sob uma temperatura de 20°C
$f_{ck, \theta}$	:	é a resistência característica à compressão do concreto de densidade normal sob uma temperatura $\theta_c$

$f_{ckb, \theta}$	:	é a resistência característica à compressão do concreto de baixa densidade sob uma temperatura $\theta_c$
$f_{ck,est}$	:	é a resistência estimada
$f_{ct}$	:	resistência à tração direta
$f_i$	:	força da ligação na mesa inferior
$f_w$	:	resistência mínima do material de solda
$f_r$	:	tensão residual, adotada igual a 115 MPa
$f_{sd}$	:	resistência de cálculo ao escoamento do aço da armadura
$f_{sl}$	:	força na armadura longitudinal
$f_{sy}$	:	resistência ao escoamento da armadura longitudinal das laje resistência ao escoamento do aço da armadura
$f_{tk}$	:	resistência característica à tração
$f_u$	:	limite de resistência à tração do aço do conector
$f_{ucs}$	:	resistência à ruptura do aço do conector
$f_y$	:	resistência ao escoamento do aço à tensão normal; resistência ao escoamento dos aços laminados a quente sob uma temperatura de 20° C
$f_{yd}$	:	resistência ao escoamento do aço dos perfis; resistência de cálculo do aço dos perfis
$f_{yFd}$	:	resistência de cálculo do aço da fôrma de aço incorporada
$f_{yF}$	:	resistências ao escoamento do aço da fôrma de aço incorporada
$f_{ys}$	:	resistências ao escoamento do aço das armaduras
$f_{y, \theta}$	:	resistência ao escoamento dos aços laminados a quente sob uma temperatura $\theta_a$
$f_{y0}$	:	resistência ao escoamento dos aços trefilados sob uma temperatura de 20°C;
$f_{y0, \theta}$	:	resistência ao escoamento dos aços trefilados sob uma temperatura $\theta_a$
G	:	módulo de elasticidade
H	:	diâmetro da cabeça do conector
h	:	altura; altura total da laje mista

$h_c$	:	altura de concreto da laje; altura da seção de concreto em pilares revestidos
$h_{cs}$	:	comprimento do conector após a instalação
$h_{cs}$	:	altura total do conector de cisalhamento
$h_{ef}$	:	espessura efetiva mínima da laje mista; altura para lajes com fôrma de aço incorporada (ABNT NBR 14323) e (EUROCODE 4)
$h_F$	:	altura nominal da nervura da fôrma de aço
$h_f$	:	altura da fôrma metálica
$h_p$	:	altura da nervura da fôrma de aço
$h_s$	:	distância entre a face inferior da laje e o eixo da armadura
$h_w$	:	largura da alma
$h_1, h_2$	:	altura
$I_1$	:	momento de inércia da seção mista transformada, obtida pela homogeneização da seção, assumindo que o concreto tracionado não esteja fissurado
$I_2$	:	momento de inércia da seção mista transformada, obtida pela homogeneização da seção, desprezando a resistência à tração do concreto, porém, incluindo a armadura longitudinal
$L$	:	tolerâncias de comprimento; comprimento; vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico nos balanços e para vigas com restrição à rotação no plano de flexão nos apoios; distância entre as seções de momento nulo; distância do vão da viga
$l$	:	comprimento da barra sob uma temperatura de 20°C
$l_1, l_2, l_3$	:	dimensões da seção transversal da laje
$L_b$	:	comprimento destravado analisado da viga de aço
$L_{cs}$	:	comprimento do perfil de aço da viga
$LF$	:	vão teórico da laje na direção das nervuras
$\ell_{ic}$	:	comprimento especificado pela ABNT NBR 8800:2008 para abertura de vãos nas paredes do perfil tubular do pilar
$\ell_b$	:	comprimento do pino

L.N	:	linha neutra
$l_0$	:	comprimento do trecho da viga submetido somente a momento positivo ou negativo, entre pontos de momento nulo
$l_0/8$	:	largura efetiva das lajes, para cada lado do eixo longitudinal da viga (EUROCODE 4)
$L_s$	:	comprimento de cisalhamento
k	:	constante determinada a partir de dados experimentais
$K_{C,\theta}$	:	fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto de densidade normal
$K_{cb,\theta}$	:	fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto de baixa densidade
$K_{E,\theta}$	:	fator de redução para o módulo de elasticidade (todos os aços)
$K_{mod}$	:	coeficiente de modificação
$K_{mod1}$	:	1,2 e leva em consideração o acréscimo de resistência do concreto após o período de 28 dias
$K_{mod2}$	:	0,95, considera que a resistência obtida em corpos de prova cilíndricos com dimensão de 15 x 30 cm é superestimada
$K_{mod3}$	:	0,75 leva em consideração o efeito deletério proporcionados pelas ações de carga de longa duração
$K_{y,\theta}$	:	fator de redução para o limite de escoamento (aços laminados a quente)
$K_{y0,\theta}$	:	fator de redução para o limite de escoamento (aços trefilados)
M	:	momento fletor
m	:	constante determinada a partir de dados experimentais
$M_A$	:	valor do momento máximo solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a um quarto do comprimento destravado.
$M_B$	:	valor do momento máximo solicitante de cálculo, em módulo, na seção central do comprimento destravado
$M_C$	:	valor do momento máximo solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a três quartos do comprimento destravado
$M_c$	:	momento no centro do vão da viga de aço

$M_r$	:	o menor valor entre $(f_y - f_r) W_c$ e $f_y W_t$
$M_0$	:	momento na extremidade que provoca a maior tensão de compressão na mesa inferior da viga de aço
$M_1$	:	momento na outra extremidade da viga de aço
$N$	:	força axial
$n$	:	limites mínimos para o grau de interação com a finalidade de assegurar capacidade suficiente de deformação dos conectores (EUROCODE 4)
$n_{cs}$	:	número de conectores de cisalhamento
$N_{fi,pl,Rd}$	:	força normal de plastificação de cálculo em situação de incêndio (ABNT NBR 14323: 2003)
$P$	:	força
$pH$	:	medida que indica se uma solução é ácida
$q_{Rd}$	:	resistência de um conector
$R$	:	raio da superfície de junta
$R_n$	:	resistência nominal dos conectores
$R_s, R_f, R_a, R_w$	:	forças resultantes dos diversos elementos da viga
$R_{b2}$	:	força de arrancamento
$R_{b1}$	:	resistência de arrancamento
$S$	:	deslocamento relativo
$T$	:	altura mínima da cabeça do conector
$t$	:	espessura da parede do tubo
$t_c$	:	espessura da laje ABNT NBR 14323 e EUROCODE 4
$t_f$	:	largura da mesa de um perfil I
$t_{fc}$	:	espessura da mesa comprimida
$t_w$	:	espessura da alma
$u$	:	representa o perímetro do aço exposto ao fogo
$u / A$	:	fator de massividade
$u_s$	:	distâncias mínimas dos eixos das barras da armadura em relação às faces

- $u_1$ ,  $u_2$  e  $u_3$ : as distâncias da armadura em relação à forma de aço, expressas em mm, e verificado através da figura 40
- $W_c$  : representa o módulo resistente elástico do lado comprimido da seção, relativo ao eixo de flexão
- $W_t$  : representa o módulo resistente elástico do lado tracionado da seção, relativo ao eixo de flexão
- $z$  : parâmetro utilizado na determinação da temperatura da armadura, expresso em  $\text{mm}^{1/2}$ , e verificado através da tabela 16
- $\sigma$  : tensão
- $\sigma_{a, \theta}$  : tensão do aço sob elevada temperatura (EUROCODE 4)
- $\varepsilon$  : deformação
- $\varepsilon_{\theta}$  : deformação do aço sob elevada temperatura
- $\gamma$  : densidade
- $\gamma_a$  : peso específico
- $\gamma_{al}$  : coeficiente de ponderação
- $\gamma_c$  : coeficiente de minoração da resistência do concreto
- $\gamma_c$  : peso específico do concreto normal
- $\gamma_s$  : coeficiente de minoração da resistência do aço da armadura
- $\tau_o$  : resistência do concreto ao cisalhamento
- $\tau_{bu}$  : valor de tensão de cisalhamento última
- $\mu$  : coeficiente de atrito
- $\mu m$  : perda de espessura do aço exposto ao meio ambiente
- $\pi$  : 3,14
- $\nu$  : coeficiente de Poison
- $\eta$  : grau de interação da laje mista ou da viga mista, taxa de armadura equivalente da fôrma de aço
- $\delta_{max}$  : flecha total (máxima) de uma viga mista não escorada
- $\delta_1$  : flecha causada pelas ações permanentes atuantes antes da cura do concreto, calculada com base na rigidez do componente de aço;

- $\delta_2$  : flecha causada pelas ações variáveis de curta duração atuantes após a cura do concreto, calculada com base nos momentos de inércia
- $\delta_3$  : flecha calculada com as ações variáveis de longa duração somadas às ações permanentes que solicitam a viga após a cura do concreto, com base nos momentos de inércia
- $\delta_4$  : flecha causada pela retração do concreto
- $\delta_o$  : contra flecha da viga, que pode ser deduzida até o limite do valor da flecha proveniente das ações permanentes
- $\delta_{tot}$  : flecha total
- $\varnothing_b M_n$  : momento resistente de cálculo (ABNT NBR 8800)
- $\rho_a$  : massa específica do aço em situação de incêndio
- $\Delta l$  : é o alongamento da barra de aço devido a elevação da temperatura
- $\theta_a$  : temperatura do aço em grau Celsius
- $\theta_c$  : temperatura do concreto em grau Celsius
- $\theta_s$  : temperatura da armadura (ABNT NBR 14323.)
- $\theta_c$  : temperatura do concreto em grau Celsius
- $\theta_{f,s}$  : temperatura na mesa superior da viga de aço (EUROCODE 4 parte 1.2)
- $\theta_w$  : temperatura na alma do perfil da viga de aço (EUROCODE 4 parte 1.2)
- $\theta_{f,i}$  : temperatura na mesa inferior da viga de aço (EUROCODE 4 parte 1.2)
- $Q_\theta$  : resistência da ligação para a temperatura  $\theta$ ;
- $Q_{\theta,20^\circ\text{C}}$  : resistência da ligação a temperatura de 20 °C. (padrão  $\theta$ )
- $\lambda_a$  : condutividade térmica do aço
- $\lambda_c$  : condutividade térmica do concreto
- $\lambda_r$  :  $0,62 \sqrt{E W_c} M_r$  para perfis soldados;  $0,82 \sqrt{E W_t} M_r$  para perfis laminados; parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento
- $\lambda_{0,\theta}$  : índice de esbeltez reduzido (ABNT NBR 14323)
- $\eta_{fi}$  : nível de carga dos materiais em elevadas temperaturas; relação entre o valor do esforço de cálculo na barra em situação de incêndio



$\chi_{fi}$  : fator de redução associado à curva de resistência à compressão  $c$   
(ABNT NBR 8800)

## RESUMO

O trabalho apresenta de forma teórica, as características gerais e a aplicação das estruturas mistas de aço e concreto em edifícios multipavimentos residências, comerciais e industriais. Abrangendo no escopo do trabalho os elementos estruturais: vigas mistas, lajes mistas destacando o sistema *steel deck*, pilares mistos, ligações mistas e pavimentos mistos. E os sistemas estruturais mistos classificados como verticais e horizontais. O trabalho aborda questões técnicas dos elementos estruturais mistos voltadas à: definição técnica, aspectos estruturais e tipologias. Também são abordados os aspectos de: dimensionamento, construtivo e controle tecnológico de execução das vigas mistas, pilares mistos e lajes mistas. E referente aos sistemas estruturais mistos verticais e horizontais, o trabalho aborda questões técnicas voltadas à: definição técnica, características funcionais e tipologias. Ainda faz parte do conteúdo deste trabalho a abordagem de conceitos técnicos de estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio, considerando o comportamento térmico dos materiais aço e concreto em elevadas temperaturas, os métodos de prevenção passiva das estruturas mistas, o dimensionamento das estruturas mistas em situação de incêndio, e o comportamento estrutural dos pilares, vigas e lajes mistas em situação de incêndio. A finalidade deste trabalho destina-se a difusão e o melhor entendimento desta técnica construtiva no meio técnico profissional e acadêmico.

Palavras-chave: estruturas mistas aço-concreto; ligações mistas; vigas mistas; pilares mistos; lajes mistas; estruturas em situação de incêndio.

## **ABSTRACT**

### **General features and application of composite structures steel and concrete**

This paper presents, in theory, the general characteristics and application of composite structures steel-concrete, as well as their application in residential, commercial and industrial multi-storey buildings. The scope of this paper includes the structural elements such as composite beams steel-concrete, composite slabs steel-concrete with special emphasis to steel deck, composite columns steel-concrete and composite pavements steel-concrete, as well as the system composite structures steel-concrete classified as vertical and horizontal. This paper presents technical aspects of the composite elements structural steel-concrete relative to technical definition, structural aspects and typology as well as aspects of building, of dimensioning and technological control of the composite beams, composite columns and composite slabs. In relation to composite systems structure steel-concrete the vertical and horizontal, this paper presents technical aspects relative to technical definition, functional characteristics and typology. The paper also includes technical concepts of composite structures steel-concrete in case of fire, taking into account the thermal behavior of the material under high temperatures, the composite structures steel-concrete passive prevention methods and dimensioning, as well as beams, columns and slabs structural behavior in case of fire. The purpose of this paper is to provide a better understanding of this building technique for the academic and working fields.

Key-words: composite structures steel-concrete; composite joints steel-concrete, composite beams steel-concrete, composite columns steel-concrete, composite slabs steel-concrete, structures in case of fire.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

Devido à grande disponibilidade de materiais e à grande diversidade de tipos de aço e de concreto hoje verificados no mercado mundial, os sistemas mistos vem se mostrando uma boa alternativa técnica e econômica, com emprego cada vez mais crescente em obras de edifícios residenciais e industriais.

Países como Canadá, Japão, EUA e Austrália, e algumas nações da Europa, já utilizam esta técnica quase que de forma rotineira, com elevada produção de empreendimentos. Os EUA e a Austrália são pioneiros no desenvolvimento dos sistemas mistos aço-concreto, possuindo, em função deste pioneirismo, um vasto acervo de metodologias voltadas a esta técnica construtiva.

Devido à cultura de utilização de estruturas de concreto armado no Brasil, o sistema misto ainda é pouco utilizado por aqui, seja por falta de divulgação ou ausência de conhecimento técnico por parte de profissionais e usuários, seja pela própria cultura do país que repercute quase sempre na opção por sistemas construtivos convencionais.

A normalização internacional é bastante ampla, sendo que no Brasil a norma ABNT NBR 8800: “Projeto e Execução de Estruturas de Aço em Edifícios” contém prescrições técnicas voltadas a conceitos construtivos de estruturas mistas.

Todavia, para que ocorra considerável avanço no conhecimento e no emprego deste sistema construtivo no Brasil, há necessidade de aumentar-se o número de estudos técnicos e produção acadêmica, resultando em publicações, normas técnicas, códigos de obras, dissertações e teses. Diante da necessidade do aprimoramento das técnicas de projeto e execução do sistema misto aço-concreto, no intuito de disseminar melhor esta técnica construtiva é que se desenvolve o presente trabalho.

## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Através do presente trabalho, nota-se que a maior complexidade técnica do sistema misto está voltada ao eficiente trabalho em conjunto dos materiais aço e concreto durante a solicitação de esforços, principalmente quando a aderência é realizada somente pela adesividade química entre esses materiais, o que ocorre na maioria dos pilares mistos. Tendo em vista as diferentes propriedades físico-químicas dos aços e dos concretos. Diante disso, muitas pesquisas e estudos foram criados ao longo do tempo como solução para este fato, e muitos destes trabalhos serviram de base para o desenvolvimento de normas técnicas nacionais e estrangeiras.

Por meio das publicações técnicas e das normas técnicas pesquisadas, é possível afirmar que o trabalho de aderência entre os materiais aço e concreto está associado a diversos fatores físico-químicos, destacando-se os efeitos da retração e da deformação lenta do concreto. Esses efeitos são mais críticos em pilares mistos, principalmente os preenchidos, pois em muitos casos a aderência promovida entre os materiais aço e concreto é realizada pela adesividade química ou por simples repartição de cargas.

Já nas vigas e lajes mistas a aderência entre os materiais aço e concreto é realizada por meios mecânicos, como conectores de cisalhamento, mossas, reentrâncias etc., o que não torna um fator preocupante os efeitos da retração e da deformação lenta do concreto.

Os efeitos da retração do concreto são mais prejudiciais em pilares mistos preenchidos, devido a um possível descolamento do concreto da camisa metálica ou pela ocorrência de uma flambagem local da camisa metálica. Porém, Hunaiti *et al.* (1992), Gomes (1994), Wiun & Lebet (1994) em seus trabalhos mencionam que os efeitos da retração do concreto sobre a resistência à compressão do pilar misto são pouco consideráveis.

Diante disso, é possível afirmar que os efeitos da retração do concreto em pilares mistos, especificamente em pilares mistos preenchidos não se torna um fator preocupante para resistência final do pilar. Mas de qualquer forma, cuidados devem ser tomados, principalmente quando forem projetados pilares mistos sujeitos a carga excêntrica. Segundo Uy & Das (1997), há necessidade de um acervo maior de pesquisas voltadas a avaliar os efeitos da retração do concreto nos elementos estruturais mistos. Afirmam ainda que a retração causará deformações significativas em pilares preenchidos que deverão ser supostamente, consideradas em projeto, principalmente para os casos de edifícios altos.

Os efeitos da deformação lenta são mais prejudiciais nas vigas mistas, devido às principais normas considerarem este efeito no dimensionamento das vigas.

Para reduzir os efeitos da deformação lenta em vigas mistas, em específico nas vigas mistas com interação parcial, um dos métodos mais eficientes segundo Wright *et al.* (1992) é a utilização de concreto de baixa densidade.

Por sua vez, o trabalho em conjunto dos materiais aço e concreto realizados por meios mecânicos são muitas vezes prejudicados pela ineficiência de projeto, ou seja, o dimensionamento errôneo dos conectores de cisalhamento ocasionado pela falta de conhecimento técnico. E nos demais casos, prejudicados por deficiências construtivas, principalmente voltadas à deficiência de fixação dos conectores de cisalhamentos.

Diante disso, torna-se fundamental o conhecimento técnico dos métodos construtivos de ligação entre os materiais aço e concreto por meio de trabalhos científicos, literaturas técnicas ou normas técnicas que tratam do assunto, sejam elas nacionais ou estrangeiras, assim como, a realização de um eficiente controle tecnológico na etapa de execução do sistema misto.

Outro fator de elevada importância na concepção das estruturas mistas de aço e concreto está relacionado com a transferência de esforços entre vigas mistas e pilares mistos na região de ligação destes elementos estruturais.

Através do acervo técnico pesquisado para o desenvolvimento do presente trabalho, pode-se notar uma grande deficiência na provisão do melhor sistema de

ligação, que garanta o eficiente trabalho em conjunto na interface dos materiais aço e concreto. Porém, é possível afirmar que o sistema de ligação mista proposto pelo TB-NBT:2010 tem grande eficiência, apesar de o procedimento de fixação entre os componentes das vigas mistas com os componentes dos pilares mistos serem bastante complexos.

O sistema misto composto por elementos estruturais de aço e concreto pode apresentar vantagens em relação às estruturas constituídas unicamente por aço ou unicamente por concreto, ou seja, a partir de projetos e construção bem executados pode-se aliar as vantagens de um e de outro material. Em nosso país, com vasta tradição no emprego do concreto armado e com a maior reserva de ferro do mundo, além das vantagens técnicas pode-se atingir também benefícios econômicos.

De maneira geral, pode-se concluir que os benefícios mais importantes deste sistema estão relacionados com:

- Rápida execução de obra, tendo em vista a rapidez de montagem da estrutura mista, o que proporciona o aumento das frentes de trabalho de outras atividades correlacionadas com o sistema estrutural, como por exemplo, o fechamento externo da edificação;
- Redução da mão de obra no canteiro, uma vez que parte dos componentes estruturais do sistema misto são industrializados, em específico, os componentes de aço;
- Precisão dos materiais, com sistemas industrializados ou semi-industrializados;
- Menor peso próprio da obra;
- Canteiro de obra potencialmente mais limpo e mais seco;
- Possibilidade de economia, principalmente relacionada ao menor custo das fundações, redução da mão de obra e do desperdício de materiais, que em parte

são industrializados e confeccionados com uma maior precisão, além de maior possibilidade de entrega da obra no prazo, devido à possibilidade de execução mais rápida.

A escolha e adoção do sistema estão atreladas a muitos fatores, impossibilitando a afirmação de que há melhor ou pior sistema estrutural por si. O que diferencia um sistema do outro são as condições de implantação, seja técnica, financeira ou relacionada a prazos de execução e a necessidades técnicas da obra. Porém, este sistema pode funcionar como alternativa nos casos em que se necessite atender a algumas dessas exigências.

Há de se considerar, entretanto, que as estruturas mistas ainda não são comuns no Brasil, requerendo maior capacitação de projetistas, de fabricantes de materiais e mesmo da mão de obra responsável pelas construções e montagens. Também os projetistas de sistemas prediais, de elétrica, hidráulica, telefonia e outros terão a necessidade de compatibilização dos projetos, considerando-se que não podem ser adotados os atuais critérios de introdução de furos em vigas e lajes observados nas estruturas correntes de concreto armado.

Estudos e pesquisas ainda são muito necessários no sentido de identificar melhor a forma de propagação de tensões nas regiões de transição entre o aço e o concreto, já que não se tem sob total domínio os efeitos positivos e negativos decorrentes da presença de mossas, entalhes, rugosidades, galvanização e outros.

No entanto, cada vez mais, no Brasil, as estruturas mistas vêm crescendo, fato este comprovado através das normas técnicas já disponibilizadas em nosso país e que tratam especificamente de estruturas mistas, como a ABNT NBR 8800: 2008 “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios”, que aborda conceitos capazes de direcionar todo o dimensionamento e execução das estruturas mistas aço-concreto; e a norma ABNT NBR 14323:1999 “Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – Procedimento”, que aborda conceitos técnicos voltados ao dimensionamento e à execução de estruturas mistas aço-concreto em situação de incêndio.



A primeira publicação da norma ABNT NBR 8800:1986 tratava apenas de vigas mistas, mas com o avanço na adoção das estruturas mistas no Brasil, esta norma já faz prescrições a todos os elementos estruturais componentes de um sistema misto, como pilares mistos, vigas mistas, lajes mistas e até mesmo ligações mistas.

Isto mostra a evolução das estruturas mistas no Brasil e a preocupação em difundi-la cada vez mais. Reflete também o vasto acervo técnico disponibilizado atualmente, de autoria brasileira, capaz de fornecer informações técnicas necessárias para o desenvolvimento de um bom projeto estrutural. De qualquer forma, deve-se ressaltar que ainda há necessidade de aprofundamento em determinados assuntos.

Nas estruturas mistas deve-se atentar para as exigências de durabilidade, estabelecidas pela ABNT NBR 8800: 2008 e pela ABNT NBR 6118:2008, tomando-se todo o cuidado particularmente quando as estruturas forem instaladas em ambientes com certo grau de agressividade. Nesses casos, devem-se reunir as melhores técnicas de proteção dos componentes em concreto (cobrimentos mínimos, tipo de cimento, proteção catódica etc.) com as técnicas mais eficientes de proteção dos componentes em aço (tipo de aço, pinturas anticorrosivas etc.). Desse modo, é possível obter a melhor proteção da estrutura mista.

O conhecimento dos materiais a serem utilizados na concepção de estruturas mistas é fundamental na fase do projeto, uma vez que a adição de determinados materiais podem realçar propriedades físico-químicas do aço e do concreto, gerando uma resistência maior para determinado elemento estrutural misto.

Antes da aplicação desses materiais nos elementos estruturais mistos, deve haver um conhecimento preciso de suas propriedades e características, de preferência devem ser empregados materiais selecionados e com propriedades bem definidas.

Quanto à questão da segurança das estruturas mistas, as maiores preocupações estão voltadas a fragilidade do aço mediante a ação do fogo. Outro

aspecto muito importante a ser aprofundado é a estabilidade e resistência das estruturas mistas sob ação de incêndios, considerando-se inclusive que, a altas temperaturas, as dilatações térmicas diferenciadas entre o aço e o concreto poderão repercutir em tensões muito elevadas, capazes até de provocar instabilizações localizadas e até colapso total das estruturas. Dessa forma, recomenda-se bastante prudência ao projetar-se as estruturas mistas, recorrendo-se sem muita parcimônia a contraventamentos redundantes, proteções passivas, disposições que previnam ruptura progressiva e outros.

Pelo estudo da ampla bibliografia pesquisada, considerando as exigências de desempenho estrutural, durabilidade e resposta da estrutura frente à ação do fogo, as melhores soluções são aquelas representadas pelo envelopamento da estrutura metálica, ou seja, emprego de pilares e vigas mistas com o concreto atuando externamente ao metal.

E quando a proteção do aço não é realizada pelo concreto, destaca-se como material de proteção a pintura intumescente, devido a sua praticidade de aplicação e a sua eficiente proteção do aço a ação do fogo.

Relativamente às lajes mistas *steel deck*, estas já com emprego bem mais difundido em nosso país, parece prudente recomendar o emprego de lajes armadas, isto é, com a disposição de armaduras positivas no interior das calhas do *deck*, chegando-se nos casos de maior responsabilidade (hospitais, escolas etc) até mesmo a prescindir da contribuição da fôrma metálica na resistência à flexão da laje.

Em qualquer situação, recomenda-se ainda que a fôrma metálica receba camada de proteção constituída por qualquer material termoisolante que garanta a máxima proteção da laje mista diante da ação do fogo, como a aplicação de pintura intumescente.

Na fase de projeto e execução das estruturas mistas, alguns cuidados devem ser tomados com o objetivo de garantir a qualidade dos elementos estruturais e de todo o sistema estrutural. Estes cuidados devem ser embasados em literaturas técnicas, normas nacionais ou estrangeiras e códigos de obras.

Este trabalho procurou colaborar para o enriquecimento das informações técnicas voltadas à concepção das estruturas mistas de aço e concreto, pelo fato do crescente avanço na adoção das estruturas mistas no Brasil e da necessidade em aumentar a gama de estudos para o aperfeiçoamento e qualidade do sistema misto. Por fim, deve-se considerar que o contexto deste trabalho está voltado a demonstrar as questões técnicas do sistema misto de modo teórico.

