

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

FÁBIO NORI UEHARA

**DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE
PROJETO PARA LIGAÇÕES DE PAINÉIS DE
FACHADA HORIZONTAIS DE CONCRETO
PRÉ-MOLDADO**

São Carlos
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE
PROJETO PARA LIGAÇÕES DE PAINÉIS DE
FACHADA HORIZONTAIS DE CONCRETO
PRÉ-MOLDADO**

FÁBIO NORI UEHARA

Dissertação apresentada ao Programa De Pós-Graduação Em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Marcelo de Araujo Ferreira

São Carlos
2009

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

U22dd

Uehara, Fabio Nori.

Diretrizes para desenvolvimento de projeto para ligações de painéis de fachada horizontais de concreto pré-moldado / Fabio Nori Uehara. -- São Carlos : UFSCar, 2009.
100 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2009.

1. Concreto pré-moldado. 2. Ligações de painéis. 3. Tipologia de painéis. 4. Critério de projeto. 5. Tipologia de ligações. I. Título.

CDD: 624.183414 (20^a)

*Aos meus Pais
Luiz e Izumi Uehara*

*Aos meus irmãos
Érick e Jonny*

Agradecimentos

Aos Professores que sempre me estimulam a ser cada vez melhor

Aos meus amigos que sempre estão do meu lado

Aos engenheiros e projetistas que generosamente deram suporte à pesquisa

*À LEONARDI Construção Industrializada pela oportunidade de desenvolvimento profissional
estudo e desenvolvimento do tema deste trabalho*

À UFSCar pela minha formação

À Abcic por promover a aproximação da indústria à universidade

Ao meu orientador que faz o seu papel de maneira exímia

e principalmente

À minha família por sempre me apoiar nas minhas decisões

Meus mais sinceros agradecimento.

Resumo

Dada a falta de normatização, escassez de estudos sobre painéis pré-moldados, suas ligações e o amplo emprego de painéis pré-moldados nos dias atuais, percebeu-se uma necessidade tanto acadêmica quanto dos projetistas por material de consulta. As empresas fabricantes de painéis se baseiam em normas estrangeiras e no conhecimento adquirido empiricamente para o projeto de ligações de painéis, deste fato surge, portanto, a dificuldade de encontrar soluções para ligações que propiciem a eficácia da aplicação dos painéis. As ligações são parte fundamental dos sistemas pré-moldados, já que para a composição da edificação são necessários dispositivos “interligantes”, que intrinsecamente interferem em toda a cadeia produtiva e de montagem, ou seja, regem a eficiência nas etapas de fôrma, moldagem, estoque, transporte, manuseio e principalmente na montagem em canteiro. Neste trabalho são apresentadas ligações entre painéis de fachada horizontais pré-moldadas de concreto, a conceituação e a caracterização dos principais tipos e funções das ligações, identificando as diversas ligações existentes relacionando indicações gerais de projeto, além da proposição das ligações por encaixe como nova classificação de elementos de ligação.

Palavras-chaves: ligações, critério de projeto, painéis de fachada, pré-moldados, painéis horizontais, tipologias de painéis.

Abstract

The increasing of using precast concrete panels, lack of standardization, lack of studies on precast concrete panels and its connections devices on Brazil, has led to the need of manual and design criteria of precast concrete panel connections. Although the designers and precast concrete panel manufacturers is using foreign standards when its available and their empirical knowledge on the specification and connections design criteria, the lack of manuals become hard to find solutions that provide easiness of precast concrete panel's employment. Connections are fundamental part of the precast structures. For the building assembly are necessary linking devices which influences the production process, the efficiency of casting, storage, transport, handling and especially in the assembly on site. This work presents the concept, technical features and functions of main types of spandrel panel connections and the main structure of building, and identifies typical connections and the general design recommendation. This report purpose the "put in" connection as a new classification of connection type.

Keywords: Connection, design criteria, spandrel panels, precast concrete, facade panels, panel types.

LISTA DE FIGURAS:

<i>Figura 2.1: Exemplos de aplicação de painéis horizontais em fachada (UEHARA)</i>	8
<i>Figura 2.2: Painéis de fachada horizontais entre pilares (UEHARA)</i>	9
<i>Figura 2.3: Tipologias geométricas de painéis (OLIVEIRA, 2001)</i>	9
<i>Figura 2.4: Painel Alveolar empregado como painel de fachada (PAIVA, 2002)</i>	10
<i>Figura 2.5: Produção de painéis alveolares (PAIVA, 2002)</i>	11
<i>Figura 2.6: Tipologias de painéis e armações padrões</i>	12
<i>Figura 2.7: Os Painéis podem ser posicionados vertical ou horizontalmente (FIB, 2003)</i>	13
<i>Figura 2.8: Forma de painel em bateria (UEHARA)</i>	16
<i>Figura 2.9: Forma de painel (UEHARA)</i>	16
<i>Figura 2.10: Ligação na parte superior (MUCMULLIN, 2001)</i>	17
<i>Figura 3.1: a) aspecto interno para painel de fachada arquitetônico; b) aspecto interno atualmente exigido para painéis horizontais (UEHARA)</i>	19
<i>Figura 3.2: Ligações de Contraventamento (PCI, 2001)</i>	24
<i>Figura 3.3: Ligação de gravidade e ligação de contraventamento adjacente (MCMULLIN,K. (2004).</i>	25
<i>Figura 3.4: Ligações de Gravidade (PCI, 2001)</i>	26
<i>Figura 3.5: Ligações de alinhamento</i>	27
<i>Figura 3.6: Composição de ligações para painéis horizontais adaptado de PCI (1989)</i>	29
<i>Figura 3.7: Efeito de posicionamento da ligação de gravidade (MCCANN apud CRI, 1995)</i>	30
<i>Figura 3.8: Armação de Painéis quanto à disposição das ligações</i>	32
<i>Figura 3.9: Ligações por sobreposição de armadura (ABCP-ABCIC, 2003)</i>	33
<i>Figura 3.10: Ligações Parafusadas (ABCP-ABCIC., 2003)</i>	35
<i>Figura 3.11: Parafuso e barra espiralado (MARTIN & KORKOSZ apud PCI, 2001)</i>	35
<i>Figura 3.12: Insertos de fio (MARTIN & KORKOSZ apud PCI, 2001)</i>	36
<i>Figura 3.13: Chumbadores de Expansão (MARTIN & KORKOSZ apud PCI, 2001)</i>	37
<i>Figura 3.14: Gráfico comparativo de resistência (FRANCA & OLIVEIRA, 2004)</i>	38
<i>Figura 3.15: Modos de falhas em chumbador de expansão</i>	38
<i>Figura 3.16: Dimensões mínimas para ancoragem (TAYLOR apud OLIVEIRA, 2002)</i>	39
<i>Figura 3.17: Ancoragens de expansão instalados pós concretagem (PCI, 2006)</i>	39
<i>Figura 3.18: Modos de falha em ancoragens químicas (COOK et al., 1993)</i>	41
<i>Figura 3.19: Stud bolts e aplicação para fixação de chapas (MARTIN & KORKOSZ apud PCI (2001)</i>	45
<i>Figura 3.20: ligação em face viga-pilar (FIB, 2003)</i>	46
<i>Figura 3.21: Ligações de encaixe da empresa suíça PEIKO.</i>	47

<i>Figura 3.22: Ligações tipo encaixe para painéis de fachada da fabricante B.S. ITALIA</i>	47
<i>Figura 3.23: Ligação de encaixe utilizado (Leonardi Pré-fabricados Ltda)</i>	47
<i>Figura 3.24: Sistema de contraventamento por composição de calhas tipo Halfen da empresa BS.ITALIA</i>	48
<i>Figura 3.25: Dispositivo para ajuste com chapa dentada (GOODCHILD & GLASS, 2004)</i>	52
<i>Figura 4.1: Trajetória de transmissão de esforços (PCI, 2001)</i>	56
<i>Figura 4.2: Deformação da estrutura por variação da temperatura</i>	60
<i>Figura 4.3: Ligação de painéis horizontais com encaixe das ligações de contraventamento (adaptado de CLION, 2001)</i>	61
<i>Figura 4.4: Força transversal em pinos (FIB 2003)</i>	64
<i>Figura 4.5: Furos para saída de ar em chapas e perfis (adaptado de STURM, 1985)</i>	73
<i>Figura 5.1: Cisalhamento do consolo de apoio de painel e quebra de painel (UEHARA)</i>	80

LISTA DE TABELAS:

<i>Tabela 3-1: Classificação das ligações (adaptado de PCI, 2001 e EL DEBS, 2000)</i>	21
<i>Tabela 4-1: Tolerâncias de Acessórios executados in-loco (SORENSEN et al, 2000)</i>	62
<i>Tabela 4-2: Tolerâncias para ligações em painéis pré-moldados de concreto (SORENSEN et al, 2000)</i>	62
<i>Tabela 4-3: Espaçamentos mínimos recomendados (PCI, 1985)</i>	64

SUMÁRIO:

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTO.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.3	JUSTIFICATIVA.....	3
1.4	METODOLOGIA DE TRABALHO.....	4
	1.4.1. <i>Pesquisa Bibliográfica</i>	4
	1.4.2. <i>Coleta de dados junto aos Fabricantes de Painéis</i>	4
	1.4.3. <i>Análises e Conclusões</i>	5
1.5	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	5
CAPÍTULO 2	PAINÉIS DE FACHADA HORIZONTAIS	7
2.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS PAINÉIS DE FACHADA	7
2.2	TIPOLOGIAS DE PAINÉIS HORIZONTAIS.....	8
	2.2.1. <i>Geometria transversal</i>	9
	2.2.2. <i>Característica estrutural</i>	11
2.3	COMPORTAMENTO ESTRUTURAL	13
2.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO PRODUTIVO	15
CAPÍTULO 3	LIGAÇÕES PARA PAINÉIS DE FACHADA.....	18
3.1	CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES.....	20
3.2	FUNÇÃO DA LIGAÇÃO	22
	3.2.1. <i>Ligações de Contraventamento</i>	23
	3.2.2. <i>Ligações de Gravidade</i>	25
	3.2.3. <i>Ligações de Alinhamento</i>	26
3.3	COMPOSIÇÃO DO SISTEMA DE LIGAÇÕES	27
	3.3.1. <i>Número de ligações</i>	27
	3.3.2. <i>Localização das ligações</i>	29
3.4	ELEMENTOS DE LIGAÇÃO.....	32
	3.4.1. <i>Ligações por sobreposição de armadura de espera</i>	32

3.4.2. Ligações parafusadas	34
3.4.3. Ligações soldadas.....	42
3.4.4. Ligações por encaixe	45
3.5. MECANISMOS DE ABSORÇÃO DE ESFORÇOS	49
CAPÍTULO 4 REQUISITOS DE PROJETO PARA LIGAÇÕES DE PAINÉIS DE FACHADA HORIZONTAIS.....	54
4.1. RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	55
4.2. ADEQUAÇÃO ESTRUTURAL	57
4.3. DUCTILIDADE.....	64
4.4. ACOMODAÇÃO A DEFORMAÇÕES VOLUMÉTRICAS	66
4.5. DURABILIDADE	67
4.6. RESISTÊNCIA AO FOGO	69
4.7. FACILIDADE DE PRODUÇÃO E MONTAGEM.....	70
4.8. MATERIAIS	73
4.9. COEFICIENTES DE REDUÇÃO DE RESISTÊNCIA.....	75
CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Os sistemas construtivos em pré-moldados de concreto têm, cada vez mais, ganhado espaço na indústria da construção, tanto pelo advento da desoneração governamental fiscal sobre os produtos pré-fabricados, quanto pelas vantagens técnicas, econômicas e pelo tempo, fatores intrínsecos ao conceito da pré-moldagem. O emprego de pré-moldados proporciona uma mudança significativa nos processos de produção com a racionalização dos recursos e aumento significativo da velocidade das construções. Entretanto, como ainda é limitada a tecnologia disponível no país, há uma crescente demanda de desenvolvimento de tecnologias e componentes para este sistema.

Os sistemas construtivos pré-moldados são encontrados em construções no setor industrial e edificações institucionais, em grande parte, limitados a estruturas reticuladas e lajes. Atualmente, o sistema de fechamento em painéis de fachada horizontais de concreto pré-moldado não-estrutural vem substituindo outros sistemas convencionais industriais já consagrados, tais como, painéis duplo tê (T) e tipo calha (W) em concreto pré-moldado, além de fechamentos em telhas metálicas e dos fechamentos em blocos de alvenaria. Há um aumento significativo no emprego em sistemas de fechamento em edificações de estruturas

metálicas. Esta inversão é em função de seu aspecto estético diferenciado e da eliminação de um segundo empreiteiro para execução dos fechamentos das edificações.

O sistema de painéis de fachada horizontais consiste basicamente de placas com dimensão horizontal (comprimento) superior a duas vezes sua altura, fixadas por suas extremidades laterais em elementos de sustentação (pilares). Embora haja um volume razoável de informações na literatura técnica internacional, faz-se necessário um estudo sistemático deste assunto com o objetivo de disseminá-lo e adequá-lo à realidade da construção civil no Brasil.

Neste trabalho, são abordados os critérios necessários para os sistemas de ligação entre painéis de fachada horizontais de concreto não-estrutural e pilares. São apresentados alguns modelos de ligações empregados atualmente, conceitos gerais para projetos de ligações, tipologias, empregabilidade, análise comportamental dos painéis e interação painel x estrutura proporcionada pelas ligações e considerações práticas gerais.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é o de coletar e organizar o conhecimento existente sobre ligações entre painéis de fachada horizontal não-estruturais e pilares. As metas para este objetivo são:

1. Conceituar e caracterizar os principais tipos e funções de ligações entre painéis pré-moldados de concreto para fachada e a estrutura, com base em literatura nacional e internacional disponível;

2. Relacionar indicações gerais de projeto (estabilidade, durabilidade e produtividade) para ligações entre painéis de fachada e a estrutura, com base em normas técnicas e manuais disponíveis na literatura internacional;
3. Identificar na bibliografia internacional tipologias de ligações para painéis de fachada com potencialidade para racionalização do projeto e da produção.

1.3 Justificativa

A primeira justificativa para este estudo é a necessidade de promover uma sistematização de informações disponíveis na bibliografia internacional, bem como uma maior uniformização dos conceitos empregados com a bibliografia nacional existente. Apesar do reduzido material sobre este assunto no Brasil, onde os painéis são tratados a partir da revisão da norma NBR-9062/06, não existe uma uniformidade na caracterização, tipologias e critérios para projeto de sistemas de ligação para painéis de fachada. As ligações estão entre as principais dificuldades a serem enfrentadas no emprego dos sistemas em concreto pré-moldado.

Com o progresso da tecnologia estão sendo desenvolvidos novos métodos de análise e dimensionamento estruturais e torna-se cada vez mais viável a investigação detalhada dos elementos componentes para atribuir suas respectivas contribuições para o sistema. Para as ligações é importante a investigação e o entendimento do comportamento dos componentes e do sistema de vedação uma vez que é possível conferir materiais, funções e dispositivos adequados para a racionalização dos recursos.

1.4 Metodologia de trabalho

A metodologia utilizada teve um caráter exploratório, empírico e experimental. Grande parte da fase exploratória foi realizada anteriormente através de atividades relacionadas à pesquisa de iniciação científica, posteriormente e durante a vigência do curso de mestrado com atuação como profissional na gestão da qualidade em uma empresa especializada em estruturas pré-fabricadas em concreto (Leonardi Construção Industrializada Ltda.), onde foram implantados painéis de fachada horizontais. As diversas recomendações de projeto e produção são citadas ao longo do trabalho.

A pesquisa foi desenvolvida através das diversas fases apresentadas a seguir.

1.4.1. Pesquisa Bibliográfica

Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica através de livros e revistas especializados, anais de congressos, dissertações, teses e buscas em *sites* confiáveis na Internet. As normas técnicas e os catálogos dos fabricantes também foram estudados. Sabe-se que o conhecimento científico e histórico é fundamental para toda pesquisa de iniciação científica.

1.4.2. Coleta de dados junto aos Fabricantes de Painéis

Com o apoio da Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) e da Leonardi Construção Industrializada Ltda. foi realizado um levantamento de diversos sistemas de painéis existentes no mercado brasileiro. A atuação para implantação do produto painéis de fachada em uma empresa de pré-fabricados permitiu a absorção, e a assimilação do conhecimento existente e disseminado internacionalmente sobre

as considerações de projeto, visando a eficiência durante as fases de produção, manuseio, transporte e montagem dos painéis pré-moldados em concreto.

1.4.3. Análises e Conclusões

Ao longo do trabalho são apresentados dados que contribuem para projetos mais eficientes e eficazes, abastecendo a indústria nacional com informações adequadas em relação aos sistemas de ligações, seus mecanismos de funcionamento e os critérios de resistência entre outras diversas informações ainda ausentes na literatura nacional. Além disso, foram constatadas algumas indicações para futuras pesquisas e avanços necessários para o desenvolvimento de ligações em painéis de fachada.

1.5 Estruturação do trabalho

Para o desenvolvimento do trabalho proposto, a dissertação foi estruturada em sete capítulos:

No Capítulo 1 são apresentados o contexto geral, a justificativa e os objetivos do trabalho direcionado aos painéis de fachada pré-moldados de concreto.

No Capítulo 2 faz-se uma descrição dos painéis pré-moldados e a definição de painéis horizontais, suas aplicações e conceitos gerais sobre projeto, produção e montagem através uma revisão bibliográfica.

No Capítulo 3 é apresentada uma revisão bibliográfica internacional de diversas tipologias de ligações e seus componentes, além de práticas recomendadas para o desenvolvimento de projetos e diversos sistemas e materiais empregados para a confecção dos sistemas de ligações para painéis e estruturas.

No Capítulo 4 são apresentados os critérios e requisitos gerais de projetos de ligações. Estão reunidas diversas recomendações internacionais para projeto de ligações de painéis de fachadas horizontais.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões, considerações gerais e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

PAINÉIS DE FACHADA HORIZONTAIS

2.1. Considerações Gerais sobre os Painéis de Fachada

Os painéis de fachada pré-moldados de concreto são elementos de vedação que vêm ganhando bastante destaque no mercado de construções industrializadas. No Brasil, para o emprego de painéis de fachada, podem-se dividir as tipologias em três categorias de painéis conforme o tipo de edificação: residencial, industrial e comercial (escritórios). No primeiro, é de praxe o emprego de painéis de concreto arquitetônicos, em cujo acabamento externo são incorporados materiais, pigmentos ou detalhes geométricos que atribuem um acabamento diferenciado. São raros empregos deste tipo de painéis em edifícios de até 4 pavimentos. Em edificações industriais, é usual o emprego de painéis de vedação em concreto aparente. E, finalmente, em edifícios comerciais não há uma tendência estabelecida, o emprego de um ou outro painel com estética diferenciada depende do uso da edificação.

O contexto atual do mercado de pré-fabricados é o aumento do emprego de painéis de fachada horizontais pré-moldados de concreto, em substituição a outros sistemas de vedação, principalmente em galpões para uso industriais e edificações institucionais ou comerciais. Os tipos de fechamento mais usuais são os painéis não-estruturais: tipo calha (U), duplo tê (π) e simples tê (T) e horizontais. Embora, conhecidas as vantagens do uso de

elementos pré-moldados, sua aplicação se limitava à execução das estruturas reticuladas (vigas, pilares, lajes e coberturas). Entretanto, em 2003, com o advento da desoneração fiscal sobre o INSS (Imposto Nacional de Seguro Social), através da INSTRUÇÃO NORMATIVA INSS/DC N° 100, de 18 de dezembro de 2003, para a industrialização das construções, a ampliação de produtos para o mercado de construção se torna mais atraente financeiramente. Outros fatores também contribuíram para este cenário, a qualidade técnica e estética dos elementos de vedação, redução de agentes intervenientes no processo de construção (empreiteiras e mão-de-obra) e principalmente a rapidez.

2.2. Tipologias de painéis horizontais

Os painéis horizontais são caracterizados pela dimensão horizontal (ao longo do vão) ser maior a duas vezes a sua altura. Na Figura 2.1, são apresentados exemplos de aplicação de painéis horizontais pré-fabricados de concreto. Neste trabalho são abordadas ligações específicas para aplicação de painéis posicionados na face periférica dos pilares.



Figura 2.1: Exemplos de aplicação de painéis horizontais em fachada (UEHARA)

Para HEGLE apud CRI (1995) e PCI (2001), os pilares suportando painéis são mais econômicos do que as vigas ou lajes, já que a trajetória de esforços mais curta até a fundação. Quando possível, as ligações que transferem o peso dos painéis devem ser fixadas

nos pilares. A citar, podem-se encontrar painéis de fachada posicionados entre pilares, conforme ilustrado na Figura 2.2.



Figura 2.2: Painéis de fachada horizontais entre pilares (UEHARA)

As tipologias de painéis horizontais podem ser divididas quanto a:

- a) Geometria transversal
- b) Característica estrutural

2.2.1. Geometria transversal

De acordo com OLIVEIRA (2001), os painéis de fachada podem ser classificados quanto a sua geometria transversal: em maciços, sanduíche, alveolar e nervurado (Figura 2.3).

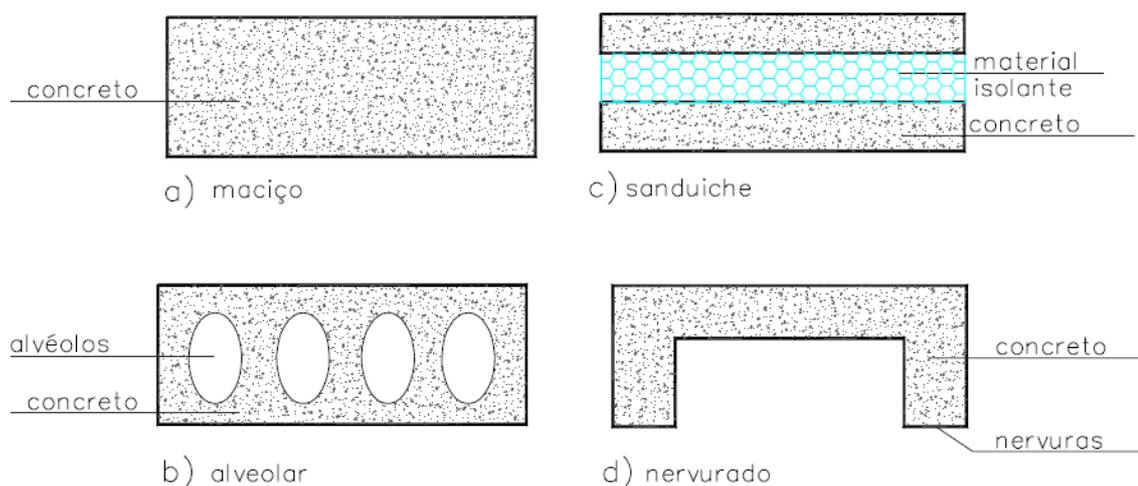


Figura 2.3: Tipologias geométricas de painéis (OLIVEIRA, 2001)

Freqüentemente, tanto no Brasil, como em outros países, observa-se uma especificação de concreto com resistência característica à compressão acima dos 35 MPa, como pode ser observado em diversas normas e manuais de pré-moldados em função da resistência necessária do ciclo de produção (deforma) e montagem.

No Brasil são empregados painéis do tipo maciço e painéis do tipo alveolar em alta escala. Nos países mais avançados, onde os requisitos quanto ao conforto ambiental são fundamentais, o emprego de painéis de fachada para edificações são quase que em sua totalidade fabricada com materiais isolantes, painel tipo sanduíche. No Brasil estes painéis ainda não são muito difundidos, tanto pela sua complexidade de produção, quanto pelo elevado custo inerente ao produto. Já os painéis nervurados têm seu emprego limitado ao uso de painéis π . A citar, os painéis maciços são, também, largamente empregados no sistema de pré-moldagem em canteiro *tilt-up*. Na década de 1980 até meados da década de 1990, houve um considerável emprego de painéis nervurados horizontais e verticais em galpões industriais.



Figura 2.4: Painel Alveolar empregado como painel de fachada (PAIVA, 2002)

Os painéis alveolares, normalmente protendidos, têm um processo de produção muito racionalizado, tornando-os altamente competitivos em relação a outros sistemas de vedação existentes no mercado, além de serem empregados como elementos de laje, função para a qual foram originalmente criados. Os painéis alveolares são produzidos com o plano do painel paralelo a horizontal. Os sistemas de produção atualmente encontrados são através de máquinas extrusoras (Figura 2.5) e moldadoras – altamente eficientes – pode-se encontrar ainda outras técnicas já em desuso, tais como, com emprego de tubos ou emprego de elementos infláveis para proporcionar os vazios na seção do elemento.



Figura 2.5: Produção de painéis alveolares (PAIVA, 2002)

Já os painéis maciços podem ser produzidos de duas maneiras: concretagem do elemento em sua posição de serviço, ou seja, com o plano na posição vertical ou com o plano na posição horizontal (deitado).

2.2.2. Característica estrutural

Os painéis de fachada podem também ser classificados segundo a sua função estrutural: painéis estruturais e não-estruturais. No primeiro os painéis são projetados para exercer função estrutural da edificação e resistir às ações externas e internas aos painéis. Ou

seja, não há necessidade de se apoiar ou fixar sobre um sistema estrutural, exceto sobre a fundação.

Já os não-estruturais necessitam de uma superestrutura na qual são fixadas e por onde são transmitidas as ações externas e internas sobre os painéis. Têm potencialidade de aplicação em qualquer tipo de edificação, podem ser aplicados em fechamento de estruturas pré-fabricadas de concreto, em estruturas de concreto moldadas *in loco* ou em estruturas mistas, proporcionando flexibilidade arquitetônica e velocidade à obra.

Os painéis ainda podem ser subdivididos quanto ao seu tipo de armação: armaduras simples ou armaduras ativas. A definição da armadura mais adequada é realizada através de uma análise dos esforços ao qual o painel estará submetido durante o processo produtivo, transporte, montagem e em situação de serviço. Os painéis devem ser armados de maneira a resistir basicamente às forças ortogonais (direção de menor inércia) durante o manuseio do painel e durante serviço. De acordo com a espessura do painel e da tipologia de secção transversal eles podem ser armados com uma única ou dupla camada de armaduras longitudinais.

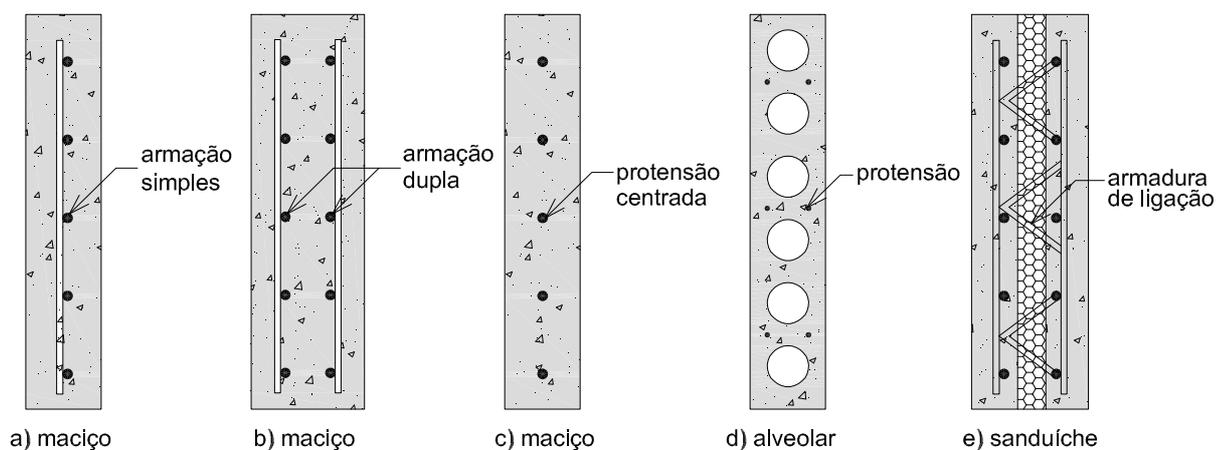


Figura 2.6: Tipologias de painéis e armações padrões

2.3. Comportamento estrutural

Os esforços aos quais os painéis estão sujeitos em situação de serviço são provenientes do vento, peso próprio, peso de outros elementos (caixilhos ou painéis), variações volumétricas e movimentações da estrutura principal.

Na Figura 2.7 é apresentado o comportamento da estrutura sob ações de vento e variação volumétrica para painéis horizontais e verticais. Os painéis posicionados verticalmente são apoiados em vigas ou baldrames. Em função das variações volumétricas a ligação da base deve permitir a rotação enquanto a ligação da parte superior deve permitir a movimentação na direção mais desfavorável, a vertical. Esta medida previne que surjam tensões internas nos elementos.

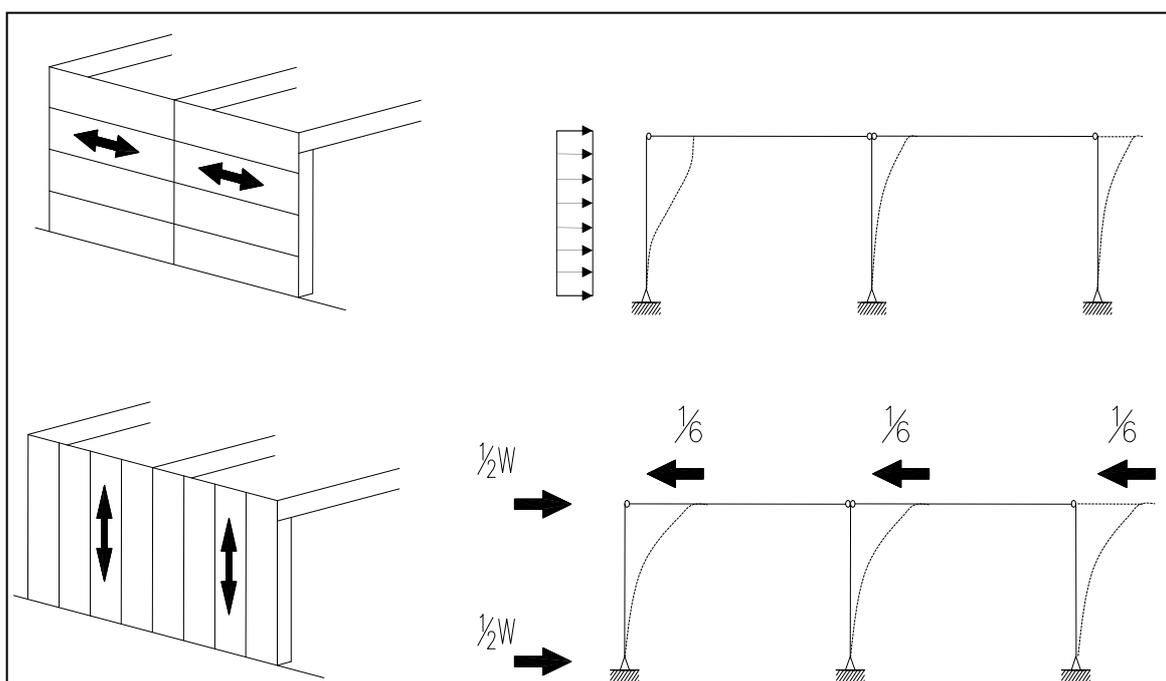


Figura 2.7: Os Painéis podem ser posicionados vertical ou horizontalmente (FIB, 2003)

Os painéis horizontais são geralmente fixados na estrutura principal, nos pilares. Nesta configuração estrutural o efeito da variação volumétrica pode ser mais significativo quando os painéis são interligados, causando a interação com a estrutura. O

sistema deverá absorver ou acomodar toda movimentação a fim de evitar o surgimento de esforços não previstos. Desta maneira, as ligações devem ser, preferencialmente, projetadas sem restrições.

Apesar dos painéis estarem ligados estrutura principal, há uma diferença na distribuição dos momentos nos elementos de apoio como mostrado na Figura 2.7. Ao se projetar um sistema de ligações, o posicionamento das ligações deve ser compatibilizado com a estrutura principal. Mudanças de posicionamento posteriores à execução da estrutura de apoio devem ser verificadas quanto à segurança estrutural.

Visto que os maiores efeitos citados pelo PCI (2001), causadores de patologias mais significativas relacionadas às ligações, são provenientes da variação volumétrica do painel e da deformação da estrutura de apoio, a adoção de sistemas estaticamente determinados minimizam as condições adversas durante sua vida útil. Deste modo, o maior cuidado durante a concepção de uma ligação é que elas sejam submetidas a esforços específicos durante toda sua vida, atentando-se para minimizar ao máximo o surgimento de esforços não contabilizados.

Nos painéis de fachada, os maiores problemas estão relacionados à estanqueidade das juntas, alinhamento dos elementos e empenamento. De acordo com OLIVEIRA (2001), “as juntas devem ser projetadas segundo alguns critérios que atendam aos requisitos de desempenho relativos à estanqueidade à água e ao ar, e à capacidade de absorver deformações sem introduzir tensões extras nos painéis”. Para atender a esses requisitos devem ser verificados os critérios dimensionais para o material selante, as variações volumétricas, movimentações da estrutura, tolerâncias dimensionais do painel, da estrutura e das ligações, além dos ajustes proporcionados pelo sistema de ligações. Sua geometria mínima deve ser respeitada para se alcançar uma boa aderência e um espaçamento necessário para a

deformação e absorção das variações volumétricas dos painéis adjacentes expostos às intempéries. O desempenho adequado das juntas está relacionado à facilidade de posicionamento e de alinhamento dos painéis.

O alinhamento dos painéis e o empenamento são facilmente perceptíveis e revelados quando a fachada está exposta à incidência direta de uma fonte luminosa (luz solar ou artificial). As ligações influem no desempenho do sistema de fechamento e para o comportamento estrutural da edificação, nestas circunstâncias a adoção ou concepção de sistemas de ligação deve estar adequada a todas as fases.

2.4. Considerações sobre o processo produtivo

Os painéis horizontais podem ser produzidos de duas maneiras: concretados na posição horizontal ou vertical. Para se definir o modo de produção adequado, devem ser analisados basicamente os seguintes fatores: recursos de investimento disponíveis, produtividade desejada, tipologia da seção transversal do painel e tipologia da ligação.

A concretagem dos painéis na posição vertical é efetuada por um sistema de formas conhecido como “forma em bateria” (Figura 2.8) ou formas em linha para elementos retangulares (Figura 2.9), é tendência o emprego de concreto auto-adensável em função da abertura superior, da dificuldade de vibração e da eficiência de produção. A determinação do uso deste tipo de forma restringe o emprego de algumas tipologias de ligações, isto é, não são viáveis ligações projetadas além da seção do concreto. É importante considerar as dificuldades de garantia de posicionamento das ligações para estas formas, verificar as tolerâncias inerentes ao processo de posicionamento, adequando-os aos ajustes previstos para a fase de montagem.



Figura 2.8: Forma de painel em bateria (UEHARA)



Figura 2.9: Forma de painel (UEHARA)

A concretagem de painéis na horizontal (Figura 2.10) pode ser empregada para todas as tipologias de painéis e possibilita maior flexibilidade de produção, porém é necessário o emprego de uma armação para a fase de desmoldagem do elemento. Em caso do emprego de formas com sistema basculante, essa armação não é necessária. Neste processo há maior garantia das dimensões geométricas e do posicionamento das ligações, pois são em geral posicionadas no lado de cima da forma.



Figura 2.10: Ligação na parte superior (MUCMULLIN, 2001)

As ligações devem considerar o processo produtivo em função do modo de concretagem dos elementos em concreto, além de outros critérios apresentados nos capítulos seguintes para uma concepção racional da ligação.

Capítulo 3

LIGAÇÕES PARA PAINÉIS DE FACHADA

Para que os painéis não-estruturais realizem sua função e para que as cargas sejam transmitidas à estrutura, eles necessitam de ligações que mantenham a estabilidade do sistema de vedação. As ligações são parte fundamental na eficiência do subsistema de fechamento. Devem ser analisados todos os processos, desde o projeto (pela quantidade elementos e detalhes), passando pela produção, montagem e finalmente na situação de serviço. De acordo com ELLIOTT (2005), as ligações compõem parte fundamental do projeto e das construções pré-moldadas, sozinhas delimitam o tipo de sistema estrutural e o processo da montagem. De acordo com PCI (2008), os objetivos de uma boa ligação combinam praticidade e economia, baseados em projetos que requerem entendimentos de diversos fatores, tais como a resistência, durabilidade, ductilidade, técnica de produção, montagem, estética e economia.

Uma característica que diferencia as ligações entre painéis de fachada horizontais e painéis arquitetônicos empregados em edifícios de múltiplos pavimentos é a sua condição de exposição ao meio ambiente. Em painéis e edifícios multi-pavimentos, freqüentemente são utilizados painéis tipo *dry-wall* que dão o acabamento interno aos ambientes, proporcionando o confinamento da ligação, enquanto que no primeiro caso, raramente há a utilização de outros sistemas que possibilitem o confinamento e evite a

exposição das ligações. Uma das premissas básicas para o projeto de ligações em painéis horizontais é que essas sejam esteticamente aceitáveis ou não-perceptíveis, vide Figura 3.1.



Figura 3.1: a) aspecto interno para painel de fachada arquitetônico; b) aspecto interno atualmente exigido para painéis horizontais (UEHARA).

Um fator que norteia a definição de projeto é o custo. IVERSON apud CRI (1995) salienta que a evolução das ligações está atrelada ao custo exercido para a efetivação dos sistemas de fechamento. Grande parte do custo é indireta e está relacionada às fases projeto, moldagem, montagem e posicionamento final do painel. O material e o trabalho nas ligações são a maior influência nos custos dos painéis.

Além do custo em si, envolvido em todo o sistema, é importante entender e determinar a trajetória de transmissão das forças a fim de verificar o comportamento de cada componente. O projeto se torna ainda mais importante na medida em que o comportamento idealizado para as ligações fica submetido a influências dos métodos de produção (das tolerâncias), métodos de montagem e mão-de-obra (ELLIOTT, 2005).

3.1. Classificação das ligações

A Norma Brasileira NBR-9062/2006 define que os elementos de ligação são “dispositivos utilizados para compor um conjunto estrutural a partir de seus elementos, com a finalidade de transmitir os esforços solicitantes, em todas as fases de utilização, dentro das condições de projeto, mantendo as condições de durabilidade ao longo da vida útil da estrutura”. ELLIOTT (2005) acrescenta que, além de resistir aos esforços de serviço e ao estado limite último, eles devem ser previstos para situações não comuns de incêndio, impacto, recalque entre outros.

De acordo com CASTILHO et al. apud OLIVEIRA (2000), os dispositivos de fixação dos painéis têm a finalidade de suportar o seu peso próprio, as tensões devidas ao vento e, ainda, absorver certas movimentações diferenciais. Os dispositivos de ligação são responsáveis pela interação estrutura-painel. Também é necessária a garantia da segurança estrutural do subsistema de painéis, que depende do desempenho das ligações, dentre insertos, consolos e demais componentes do sistema quanto à resistência mecânica, química (corrosão) e a resistência ao fogo.

Entre painéis pré-fabricados de concreto e a estrutura tem-se, predominantemente, a transferência de esforços de tração, cisalhamento e compressão. Sua localização no painel e as respectivas atribuições de resistência a esses esforços direcionarão a adoção do tipo de ligação.

Na Tabela 3-1 são apresentadas as classificações de ligações para painéis de fachada. Verificou-se a necessidade de uma nova classificação, proposta na tabela como ligação por encaixe. Recentemente diversos dispositivos baseados nesta ligação têm sido desenvolvidos e largamente empregados (ver item 3.4.4). Adicionalmente, também foram

inclusas as ligações utilizadas temporariamente e permanentemente para a montagem dos sistemas pré-moldados. Em empresas de pré-moldados e empresas de projeto de painéis de fachada, é mais usual o emprego das duas primeiras classificações encontradas na tabela, ou seja, quanto à sua função e quanto aos elementos de ligação.

Tabela 3-1: Classificação das ligações (adaptado de PCI, 2001 e EL DEBS, 2000)

Classificação por	Tipologias
Função	<ul style="list-style-type: none"> - ligação de contraventamento - ligação de gravidade (apoio) - ligação de alinhamento
Elementos de ligação	<ul style="list-style-type: none"> - ligação por sobreposição de armadura de espera - ligação parafusada - ligação soldada - ligação por encaixe
Tipo de vinculação	<ul style="list-style-type: none"> - ligação articulada – não transmite momento fletor - ligação rígida – transmite momento fletor - ligação semi-rígida – transmite parcialmente os momentos fletores
Emprego de concreto e argamassa no local	<ul style="list-style-type: none"> - ligação seca - ligação úmida
Esforço principal transmitido	<ul style="list-style-type: none"> - compressão - tração - cisalhamento - momento fletor - momento de torção
Tempo	<ul style="list-style-type: none"> - Temporário: somente durante a montagem - Permanente: durante toda vida útil
Material de amortecimento	<ul style="list-style-type: none"> - ligação dura – solda ou concreto <i>in loco</i> - ligação macia – intercalação com material de amortecimento

Ligações para painéis não-estruturais

De acordo com PCI (2001), o projeto de ligações de painéis não-estruturais para fachadas arquitetônicas segue os mesmos princípios das ligações em painéis estruturais, com exceção dos esforços transmitidos serem menores. Normalmente as ligações são detalhadas de modo a minimizar as forças provenientes das variações volumétricas e projetadas para resistir aos esforços devido ao peso próprio do painel e das ações laterais (vento), além disso, devem ser sempre concebidos de forma a evitar o colapso progressivo dos painéis e rupturas frágeis.

3.2. Função da ligação

Os sistemas de ligações podem ser basicamente classificados quanto à sua função em 3 tipos: ligação de gravidade, ligação de contraventamento e ligação de alinhamento. Nas ligações os esforços preponderantes são basicamente: cortante, momento e forças axiais. Em função da concepção da ligação e das trajetórias de transmissão de esforços, podem surgir outros esforços como, por exemplo, o de torção.

As ligações de gravidade são essencialmente solicitadas por esforços verticais provenientes do painel e outros elementos sobre ele apoiados. As ligações de contraventamento mantêm a estabilidade e o prumo dos painéis, que são preponderantemente solicitadas por forças axiais oriundas da ação do vento e excentricidades das ligações de gravidade. Já as ligações de alinhamento, como seu próprio nome indica, proporcionam e mantêm o alinhamento das faces dos painéis, suas ligações estão sujeitas aos efeitos de cortante e tração.

Na concepção dos painéis é essencial uma composição sistêmica das ligações, com o emprego criterioso e racional das ligações de gravidade, contraventamento e alinhamento.

3.2.1. Ligações de Contraventamento

As ligações de contraventamento têm tripla função: resistir aos esforços de tração e compressão perpendiculares ao plano do painel, permitir movimentos no plano do painel e proporcionar ajustes para o alinhamento do painel. Em painéis com grandes dimensões, durante o projeto, verificar se há ocorrência de deformações excessivas de empenamento, é indicada a utilização de ligações de contraventamento a fim de conter esta deformação. O PCI (2001) recomenda que haja, pelo menos, quatro pontos de contraventamento para transferir a carga horizontal.

Dado os grandes vãos vencidos pelos painéis horizontais, as ligações de contraventamento devem possibilitar a movimentação longitudinal dos painéis, exceto no caso em que os painéis sejam dimensionados para contribuírem com a rigidez global da estrutura ou em casos em que o mesmo esteja provido para resistir a esforços causados pela variação volumétrica.

De acordo com PAULA (2007), em simulações numéricas mostrou-se que as tensões geradas pela restrição da movimentação são significativas para as ligações, assim como para o painel. Embora o enrijecimento das ligações mostre melhoria no comportamento global da estrutura, para ações laterais na edificação, os efeitos de variação de temperatura e a excentricidade dos painéis em relação à estrutura e em relação ao painel resultam num esforço de flexão lateral do painel.

Em painéis muito pesados a utilização de consolidações das ligações de contraventamento com o uso de solda deve ser criteriosa. O controle sobre a temperatura alcançado pelos elementos adjacentes é difícil e os materiais adjacentes ficam sujeitos a perda das características físicas do material, principalmente a ductilidade que se torna incerta.

Recomenda-se que as ligações de contraventamento não devam ser restritivas com relação à variação volumétrica do painel. A insolação sobre as mesmas pode ser muito grande e a restrição das ligações pode acarretar em formação de esforços imprevisíveis sobre o sistema de vedação. Esse problema pode ser contornado com o emprego de ligações em barras, que liberam o painel para movimentação nas direções necessárias, ou com o emprego de ligações com furos oblongos (apresentados no item 3.5). Também existem ligações de alinhamento que podem ser utilizados como ligações de contraventamento. Essa possibilidade é viável e necessária em local onde a utilização de ligação de contraventamento na estrutura é dificultada ou impossibilitada (PCI, 2001).

Abaixo o PCI (2001), apresenta algumas tipologias básicas de ligações de contraventamento, a partir das quais pode se obter uma multiplicidade de variações:

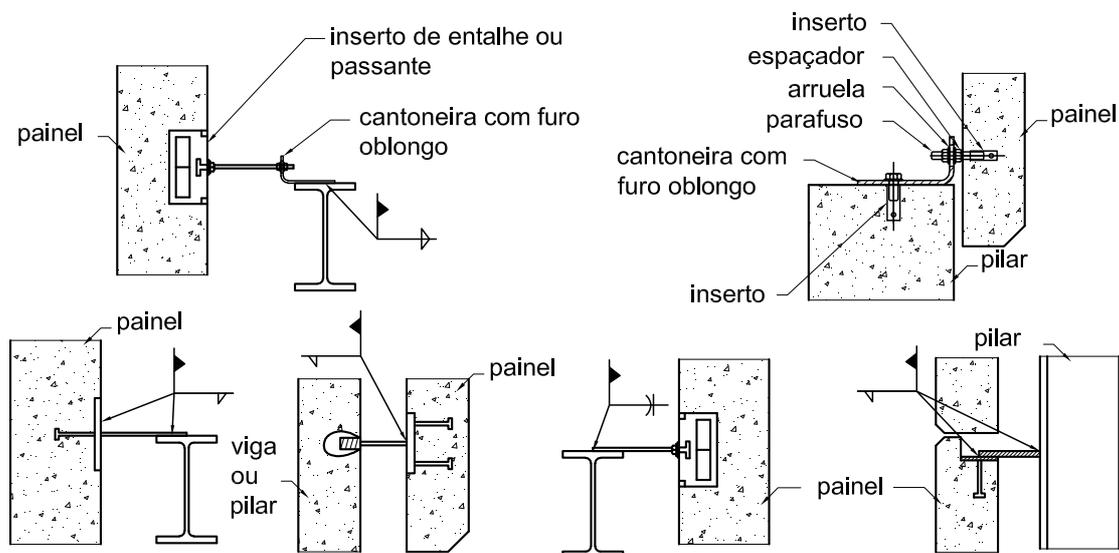


Figura 3.2: Ligações de Contraventamento (PCI, 2001)

3.2.2. Ligações de Gravidade

As ligações de gravidade, também conhecidas como ligações de apoio, transferem essencialmente as cargas do painel devido à ação da gravidade, mais cargas permanentes de outros elementos a ele fixados (i.e. caixilhos). Porventura para essas ligações pode-se atribuir a função de contraventamento. Deste modo, cargas de vento e cargas sísmicas perpendiculares ao painel também podem ser transferidas pela ligação de gravidade. Na ausência desta função, devem-se prover ligações de contraventamento adjacentes (Figura 3.3).



Figura 3.3: Ligações de gravidade e ligação de contraventamento adjacente (MCMULLIN,K. (2004).

Semelhantemente a outros elementos pré-fabricados, os painéis de fachada devem ser projetados para trabalhar sempre bi-apoiados a partir das ligações de gravidade, num sistema estaticamente determinado. A utilização de três ou mais apoios deve ser evitada, porque durante a montagem é praticamente impossível garantir qual será o primeiro apoio a ser solicitado e quais serão os esforços incidentes em cada um deles após a montagem. Isto se reforça a partir do momento em que é necessário um dispositivo de ajuste de nivelamento dos painéis. O nivelamento dos painéis garante uma espessura de junta e o correto posicionamento do painel conforme as especificações do projeto.

As ressalvas ao uso de solda são semelhantes àqueles apresentados para as ligações de contraventamento.

A seguir são apresentadas algumas tipologias genéricas de ligações de apoio, a partir das quais, através de variações, pode se ter uma variedade infinita de ligações.

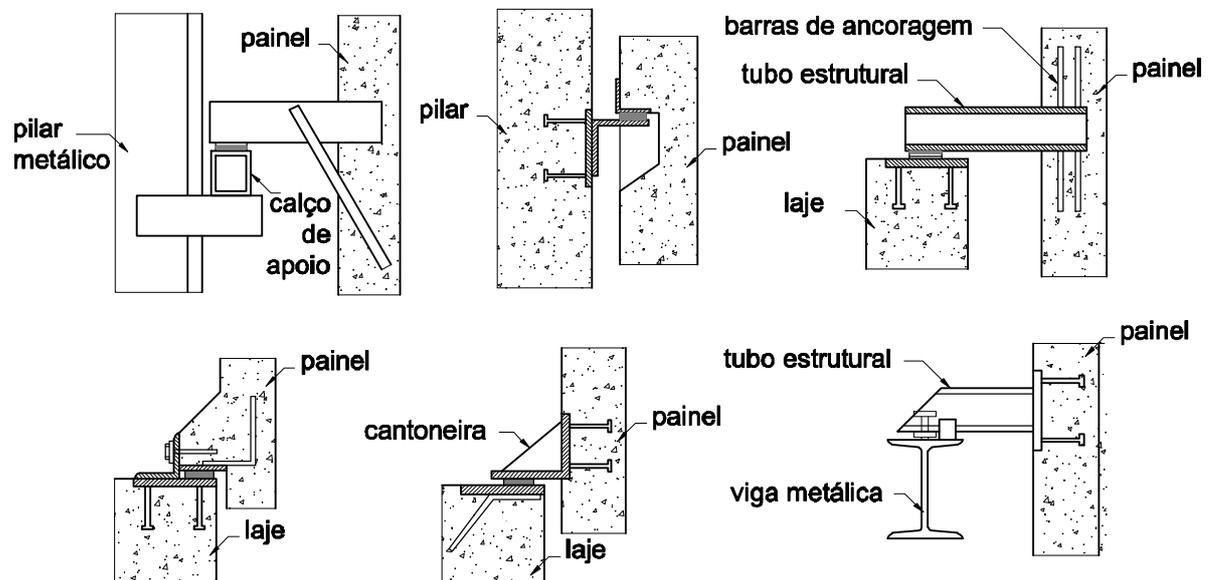


Figura 3.4: Ligações de Gravidade (PCI, 2001)

3.2.3. Ligações de Alinhamento

As ligações de alinhamento são aquelas que têm por objetivo garantir que as faces externas dos painéis fiquem alinhadas, elas estão submetidas principalmente por esforços de cisalhamento. Este tipo de ligação é frequentemente empregado entre os painéis, nas bordas onde a possibilidade de movimentações diferenciais pode acarretar numa inadequação visual, patologias e, por conseqüência, um comprometimento do material selante. O emprego de ligações de alinhamento pode melhorar o comportamento dos painéis quanto à vibração, através da transmissão dos esforços perpendiculares aos elementos adjacentes.

Em função da composição da estrutura da edificação e de diversas limitações técnicas, em certas ocasiões em que as ligações de contraventamento com a estrutura não são

viáveis, pode-se empregar ligações de alinhamento, transmitindo esforços perpendiculares a outro painel. Na Figura 3.5 são exemplificados alguns tipos de ligações de alinhamento.

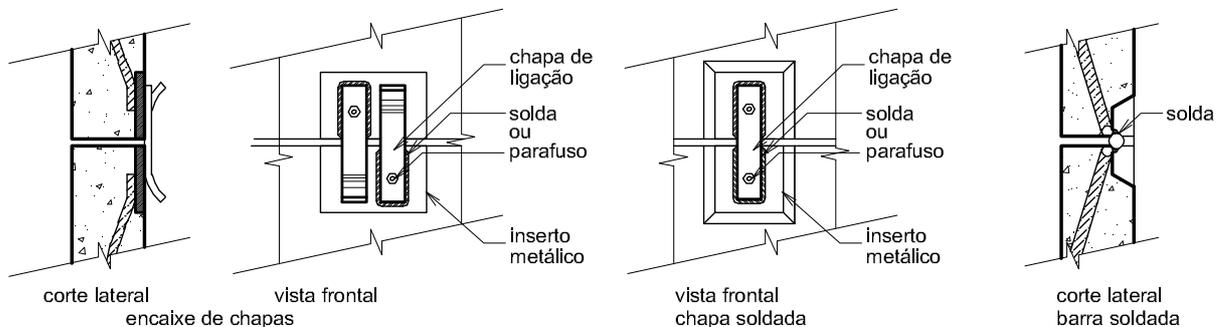


Figura 3.5: Ligações de alinhamento

3.3. Composição do sistema de ligações

A fixação dos painéis com a estrutura requer uma composição adequada das ligações de gravidade e contraventamento. A sua composição deve levar em considerações a quantidade, o posicionamento e o comportamento de cada uma das ligações.

3.3.1. Número de ligações

De acordo com PCI (2001), é recomendável utilizar no mínimo 4 ligações para a fixação de cada painel. Normalmente, o sistema é composto por 2 ligações de gravidade, mais 2 ligações de contraventamento, sendo que as 2 de gravidade têm também a função de contraventamento. Consistem em 2 ligações por nível. Para cada nível é atribuída, respectivamente, a função de apoio ou a função de contraventamento. Em função dos custos de manuseio e consolidação, as ligações de gravidade detêm também de dispositivos mecânicos com a função de contraventamento. Na sua ausência deve-se prover de ligações de contraventamento adjacentes a fim de resistir a esses esforços.

Para CRI (1995) os painéis não-estruturais deveriam ser projetados para acomodar livremente movimentos e, quando possível, sem apoios redundantes, exceto onde seja necessário conter deformações (empenamento dos painéis). Os painéis podem ter uma ou duas ligações de apoio, mas nunca mais que duas. Os painéis, geralmente, são muito mais rígidos em seu plano quando comparados à estrutura de sustentação, mais de dois pontos de apoio num painel propiciarão a geração de cargas desconhecidas em cada ligação.

Nas ligações de gravidade, ao utilizar mais de 2 apoios, não é possível garantir a distribuição igualitária de esforços sobre as ligações. Outro fator preponderante para a não adoção de três ou mais pontos de apoio é devido às deformações da estrutura e do painel ao longo do tempo. Quando ocorrerem movimentações dinâmicas na estrutura de apoio, as ligações estarão sujeitas a variações de tensão, ocorrendo concentração excessiva em alguns pontos de apoio. Os sistemas e unidades de ligação mais simples freqüentemente têm melhor desempenho, portanto, a utilização de mais de 2 ligações de gravidade torna-se antieconômica e irracional.

Na Figura 3.6 podem-se observar as solicitações e os graus de liberdade para as ligações. Salienta-se que em todas as ligações há ocorrência de esforços perpendiculares ao plano do painel.

Nos painéis de fachada horizontais, conforme MCCANN apud CRI (1995) pode-se atribuir pontos de contraventamento adicionais a fim de se restringir o efeito de empenamento devido às variações de volume, principalmente, quando a fachada está diretamente exposta à insolação.

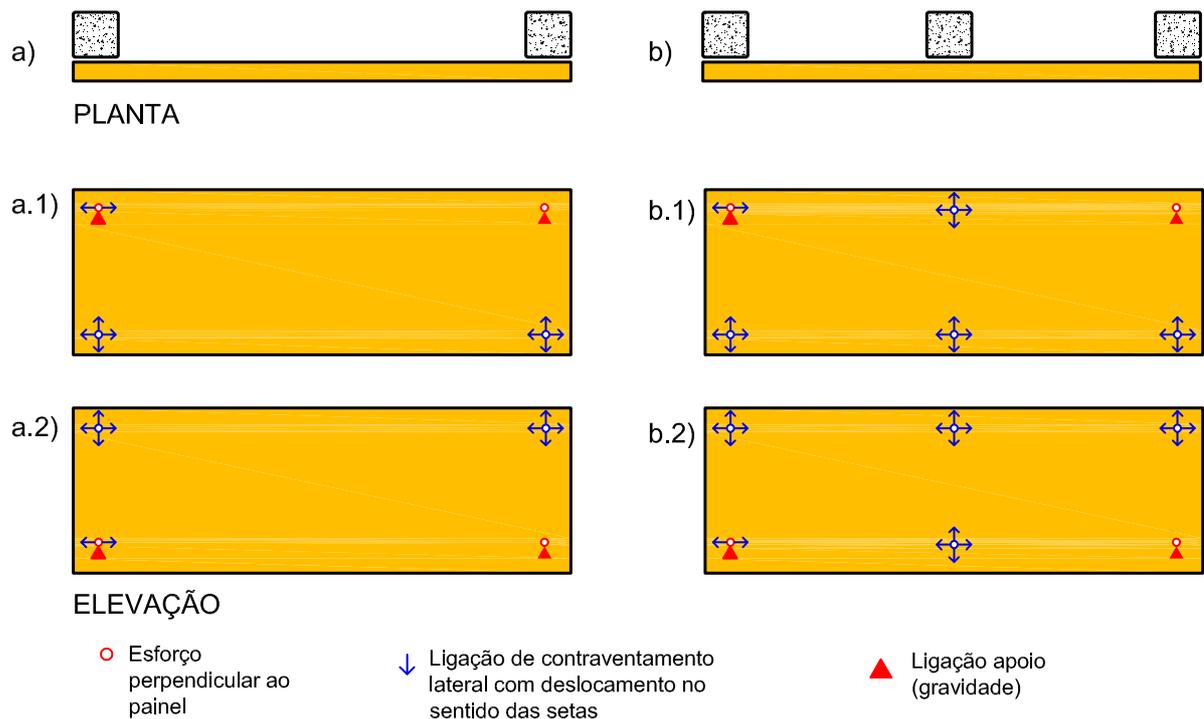


Figura 3.6: Composição de ligações para painéis horizontais adaptado de PCI (1989)

Na Figura 3.6 a) cada painel vence o vão existente entre dois pilares. O posicionamento das ligações em função das solicitações é discutido no item a seguir. Na Figura 3.6 b) quando o painel tem a capacidade de vencer o vão existente entre três pilares, pode-se empregar um único painel. Quando há condições para sua aplicação, elas reduzem consideravelmente o custo do sistema, à medida que se tem uma maior área por painel, conseqüentemente, há uma redução na quantidade total de ligações.

3.3.2. Localização das ligações

Habitualmente as ligações são posicionadas nos cantos dos painéis, primeiro em razão da acessibilidade durante a montagem e, segundo, em função do momento binário. As soluções usuais de posicionamento das ligações em relação ao posicionamento vertical (ao nível) são: painel pendurado (ligações de gravidade no topo do painel e ligações de contraventamento na base) ou apoiado (ligações de gravidade na base do painel e ligações de

contraventamento no topo do painel). Conforme MESSEY & MEGGET apud CRI (1995), o emprego de painéis grandes e pesados em fachadas se torna crítica em regiões com presença sísmica. Para evitar movimentações críticas, os painéis podem ser pendurados. De acordo com WANG apud CRI (1995), para painéis de fachada em geral, sempre que possível, os painéis devem ser fixados de maneira que as ligações de apoio sejam posicionadas no topo e as ligações de contraventamento na base do painel, pois durante um evento sísmico, dada a falha de uma das ligações de contraventamento, pode-se causar o tombamento do painel (Figura 3.7). O autor ainda afirma que é comum o emprego deste tipo de posicionamento para painéis horizontais.

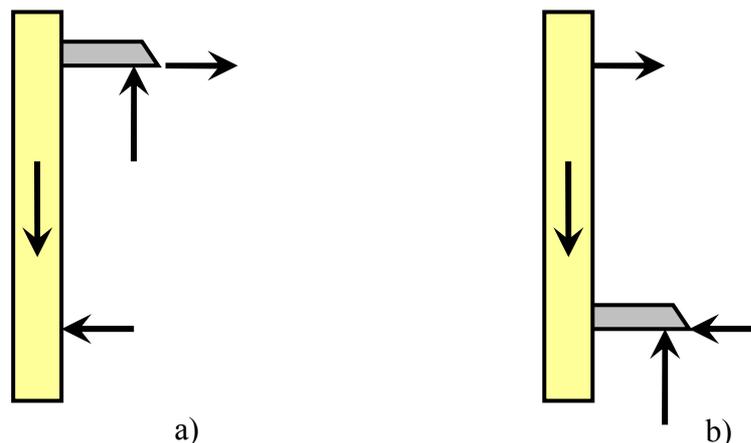


Figura 3.7: Efeito de posicionamento da ligação de gravidade (MCCANN apud CRI, 1995)

Na montagem de painéis é necessário o emprego de equipamentos de grande capacidade de carga, deste modo, levando-se em conta o custo destes equipamentos é coerente que as ligações possibilitem uma montagem mais rápida. Durante a montagem, sendo significativo o custo de mobilização dos equipamentos em relação ao custo dos painéis, pendurar o painel se torna uma solução eficaz. A vantagem está no tempo necessário de espera do guindaste para a consolidação das ligações. Observando-se o efeito na Figura 3.7, o sentido de esforço horizontal na ligação de gravidade se inverte de acordo com o seu posicionamento: a) e b). Os painéis quando pendurados tendem a se inclinar em direção à

estrutura, assim não é necessário consolidar as ligações de contraventamento durante a montagem, podendo ser executados numa etapa seguinte, sem a mobilização de equipamentos pesados. A rápida montagem permite que os painéis sejam ao mesmo tempo descarregados e montados, evitando-se o processo de estocagem em canteiro.

Embora ocorram ganhos durante a fase de montagem dos painéis, diversos autores comentam sobre o maior custo do material (painel e ligação) envolvido neste tipo de solução quando comparado aos painéis apoiados. Para painéis arquitetônicos o PCI (2001) destaca que a solução de pendurar o painel é mais sofisticada e mais cara, porém oferece maior flexibilidade ao projetista no momento da divisão dos painéis e proporciona melhores condições para o ajuste fino de montagem. Para entender um pouco mais sobre esta questão, será apresentada uma análise dos impactos de se utilizar este tipo de solução.

Um entendimento importante está relacionado à quantidade de armação necessária para cada caso. Fazendo-se uma analogia simplificada do mecanismo de resistência dos painéis, podemos comparar um painel a uma viga. Numa situação em que as ligações de gravidade se encontram na parte superior do painel, ocorrerá um mecanismo de solitação semelhante ao encontrado em vigas com dente Gerber, resultando na necessidade de uso de uma armadura de suspensão. Já em painéis apoiados o mecanismo resistente será orientado pela resistência ao cisalhamento do concreto, através da ocorrência do efeito arco. A Figura 3.8 mostra essas duas situações, respectivamente em (a) e (b).

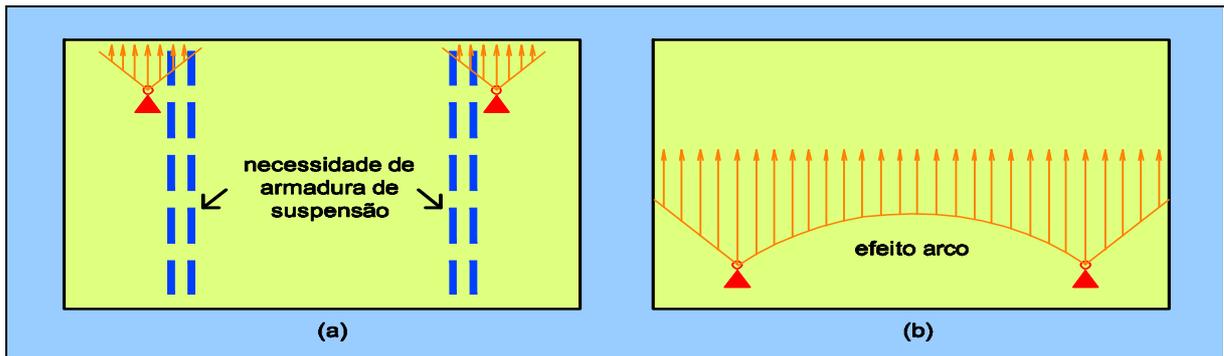


Figura 3.8: Armadura de Painéis quanto à disposição das ligações

Ao se prover deste tipo de solução, os mecanismos de ajuste e fixação devem ser condizentes com a agilidade esperada. Empregam-se neste caso, elementos metálicos em grande quantidade, dentre mecanismos de encaixe e parafusados. Apesar do aumento do material, atualmente muita das empresas estão em busca dos sistemas e de painéis pendurados em função da alta demanda de equipamentos no mercado e por conseqüência o aumento do custo dos serviços de montagem. A adoção do tipo de posicionamento da ligação de gravidade, portanto, depende de um estudo dos custos envolvidos.

3.4. Elementos de ligação

Para a composição dos mecanismos de transferência de esforços há uma série de elementos de ligação amplamente difundidos em elementos pré-moldados.

3.4.1. Ligações por sobreposição de armadura de espera

Este tipo de ligação é geralmente empregado para ligar painéis estruturais. As vantagens específicas com este tipo de ligação, comparadas com outras são: grandes tolerâncias, custo reduzido da ligação, resistência à corrosão (durabilidade) e resistência ao fogo. A desvantagem é não permitir estabilidade imediata para o sistema estrutural e a

necessidade de utilizar escoras ou ligações temporárias durante a construção (ABCP-ABCIC, 2003).

Nas ligações, normalmente, são utilizados graute e argamassa seca. Conforme STURM (1985), os grautes são, também, utilizados como forma de proteção passiva contra a corrosão e contra o fogo, ou como forma de proporcionar um acabamento adequado à ligação exposta. Em circunstância de uso de ligações em consolos de concreto, o graute e a argamassa seca são empregados para transferir forças de compressão. Os grautes são utilizados como elemento para preenchimento de nichos, enquanto que a argamassa seca é utilizada entre ligações de apoio como elemento regularizador e conformador entre as superfícies irregulares.

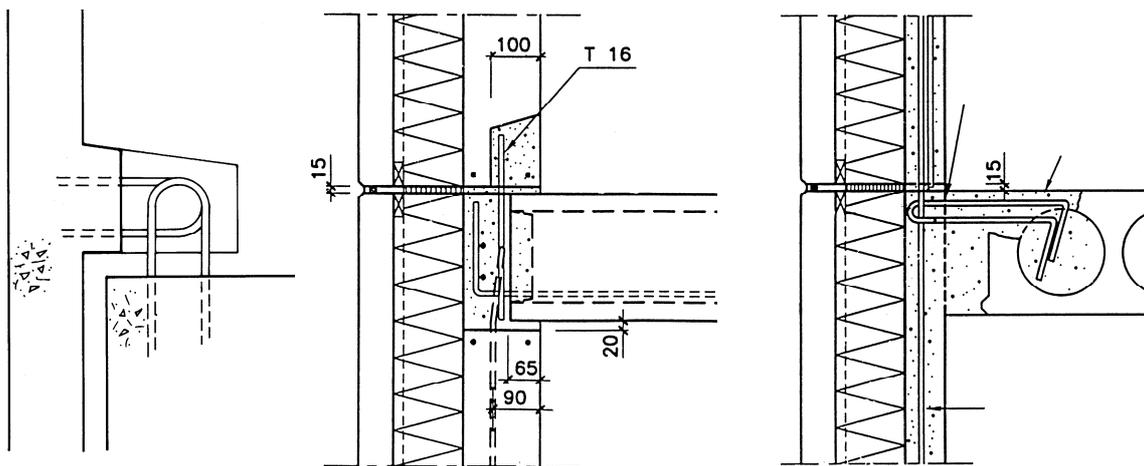


Figura 3.9: Ligações por sobreposição de armadura (ABCP-ABCIC, 2003)

Os painéis pesados podem se tornar difíceis de fixar quando necessitam de uma estabilização temporária durante a montagem. As ligações com preenchimento de concreto são geralmente mais resistentes e rígidas, sendo necessária a análise dos esforços conseqüentes da restrição de deformação (FIB, 2003). O emprego de ligações por concretagem ou grauteamento é utilizado em países estrangeiros para a efetivação de ligações de painéis estruturais devido à sua rigidez. Em painéis não-estruturais, essas ligações são pouco empregadas. O tempo inerente e a necessidade de dispositivos temporários de ligação encarecem a montagem em canteiro ao consumir maior tempo dos equipamentos de içamento

e maior tempo de mão-de-obra para a efetivação da ligação. Por outro lado, essas ligações proporcionam maior rigidez da estrutura e, assim, há redução das seções dos elementos, ou seja, outras economias no sistema pré-moldado.

3.4.2. Ligações parafusadas

As ligações parafusadas proporcionam grande agilidade de montagem dos painéis e facilidade de ajustes. Existem várias possibilidades de se fazer uso de fixadores existentes, tais como parafusos, trilhos (ou calhas) embutidos no concreto, barras rosqueadas etc. As ligações parafusadas podem ser desmontadas, promovem uma consolidação imediata e detém mecanismos de ajuste em todas as direções em função das tolerâncias construtivas (ABCP-ABCIC, 2003). Na Figura 3.10, são apresentadas algumas ligações com o emprego de parafusos.

De acordo com OLIVEIRA (2002), os elementos parafusados podem ainda ser dividido em dois grupos: os pré-ancorados, também conhecidos com insertos, nos quais os dispositivos metálicos são colocados antes da concretagem do painel; e os pós-ancorados, cujos dispositivos são instalados após a peça ser concretada.

De acordo com STURM (1985), os diâmetros mais usuais de parafusos em ligações de pré-moldados são de 3/4” e 1”. É importante considerar os tipos de roscas utilizadas nas ligações com porca e escolher aqueles considerados como padrão de uso regional.

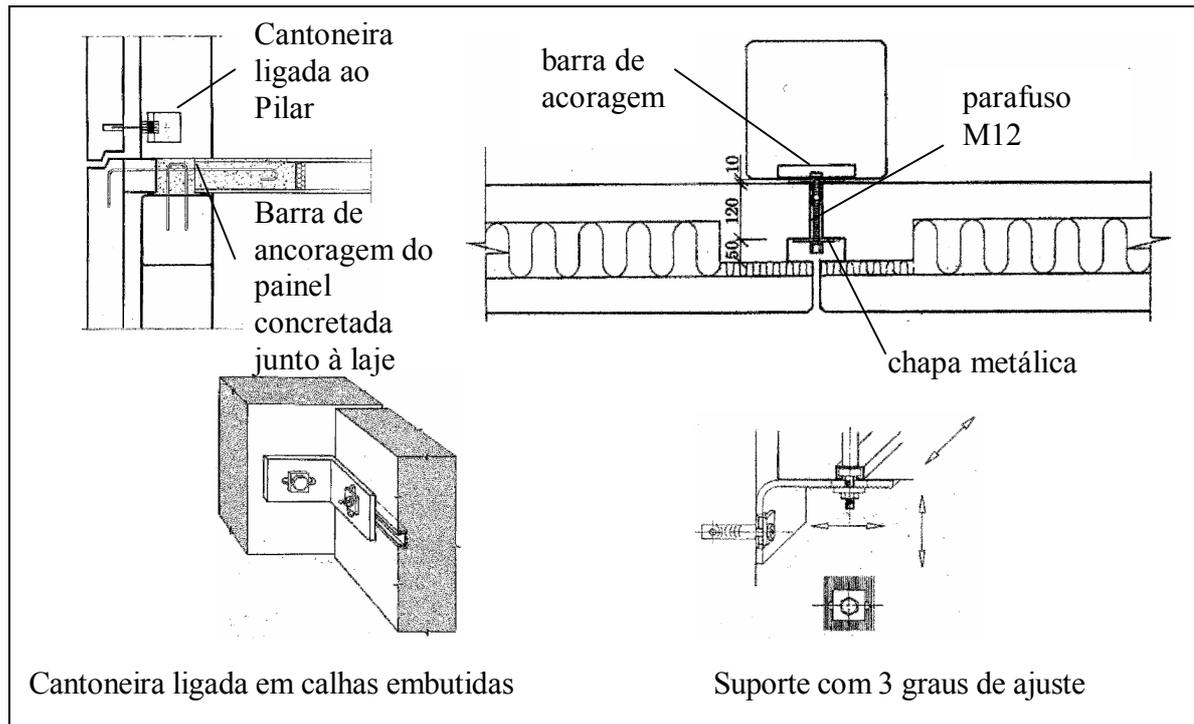


Figura 3.10: Ligações Parafusadas (ABCP-ABCIC., 2003)

A seguir são apresentados dispositivos para a fixação das ligações nos elementos pré-moldados de concreto.

Insertos

É comum a utilização de insertos de fios de aço (Figura 3.12) no exterior, porém no Brasil ainda não se encontram em produção, somente importados. Na Figura 3.11 são apresentados os respectivos parafusos para atarraxamento nesses insertos.

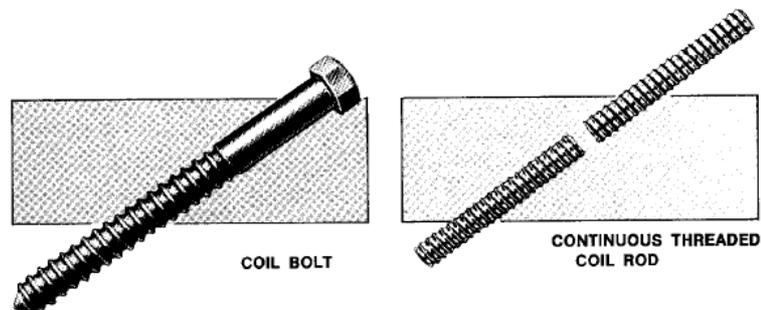


Figura 3.11: Parafuso e barra espiralado (MARTIN & KORKOSZ apud PCI, 2001)

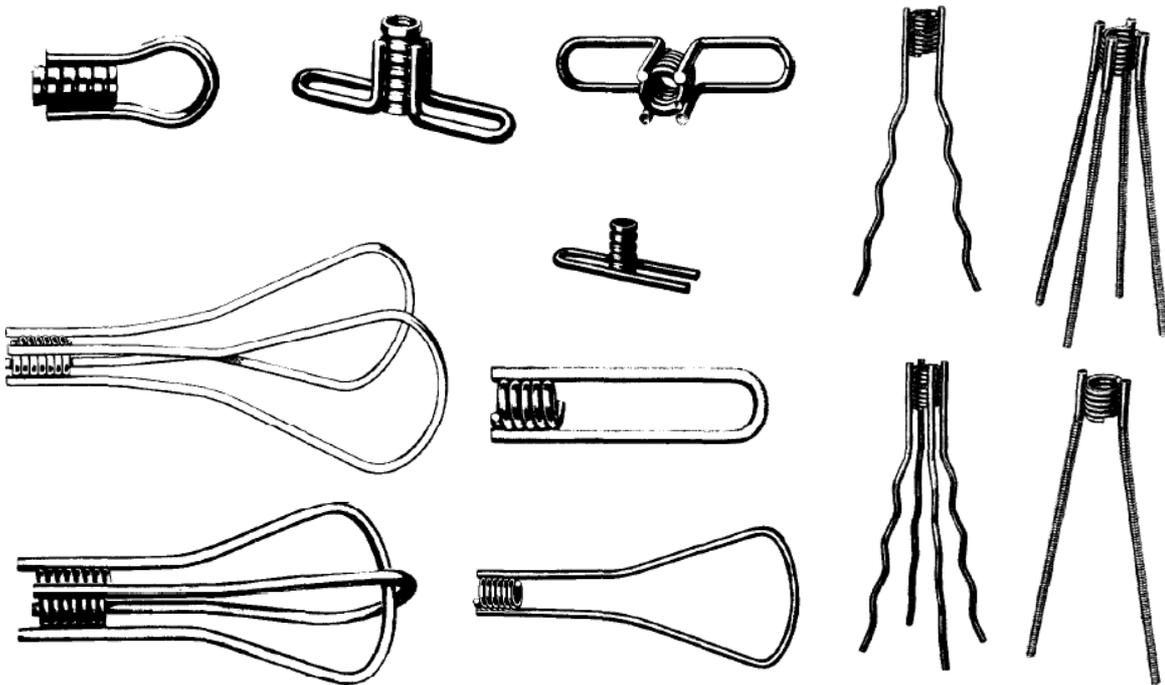


Figura 3.12: Insertos de fio (MARTIN & KORKOSZ apud PCI, 2001)

Chumbadores de expansão

Os chumbadores são dispositivos de fixação bem disseminados na construção civil. Porém de acordo com a literatura disponível, não se tem um modelo ainda totalmente adequado para o dimensionamento de ligações utilizando chumbadores e há ainda muitas incertezas sobre os métodos de dimensionamento. De acordo com FRANÇA & OLIVEIRA (2004), os chumbadores de expansão (Figura 3.13) ainda necessitam de estudos mais aprofundados para que sua segurança seja garantida.

Conforme MARTIN & KORKOSZ apud PCI (2001), o desempenho desses insertos tem uma variação em seu desempenho devido ao fator humano, ou seja, os furos devem ser corretamente executados com profundidade suficiente, diâmetro correto do furo e apertados com torque adequado. Alguns dispositivos estão disponíveis no mercado para a medição da tensão aplicada no parafuso, tais como, torquímetro, chave pneumática, arruelas deformáveis e porcas que se rompem ao alcance da carga. Devido aos diversos fatores

intrínsecos durante o processo de utilização e dos materiais envolvidos, muitos fabricantes recomendam não utilizar mais do que um quarto da resistência última indicada nos catálogos.

De acordo com os mesmos autores e o ACI (2004), para ligação não-dúctil, tais como chumbadores de expansão, recomenda-se um fator de segurança para o dimensionamento dos chumbadores de 3 a 4 sobre a combinação máxima dos esforços.

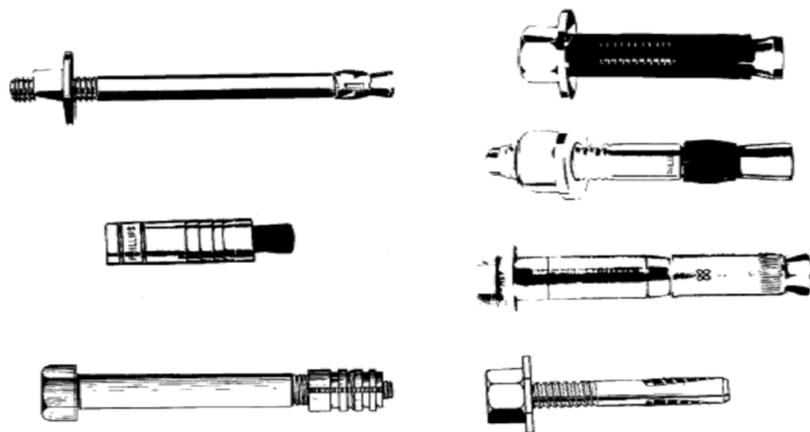


Figura 3.13: Chumbadores de Expansão (MARTIN & KORKOSZ apud PCI, 2001)

Na Figura 3.14 é apresentado um gráfico onde FRANCA & OLIVEIRA (2004), fazem um comparativo entre o comprimento de ancoragem e a resistência calculada por diversas equações encontradas em literaturas técnicas internacionais. Observa-se que a curva na cor lilás é a mais conservadora, cuja equação utilizada encontra-se proposta pelo Comitê 349 do ACI-349 (2004). Neste gráfico foi feita uma comparação considerando-se a ruptura ocorrida no cone do concreto.

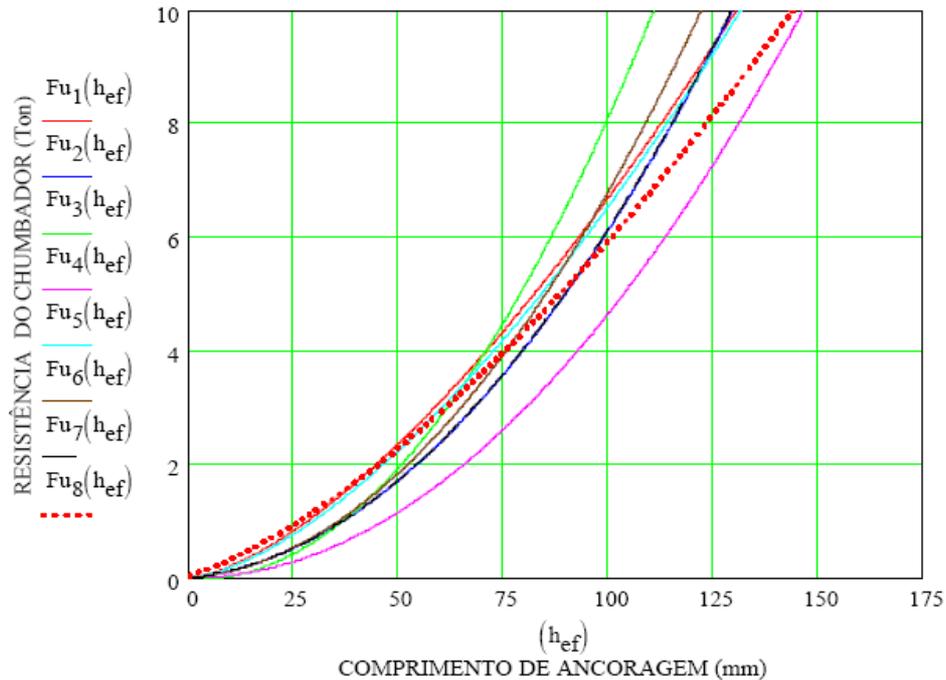


Figura 3.14: Gráfico comparativo de resistência (FRANCA & OLIVEIRA, 2004)

A resistência dos chumbadores não é proporcional ao seu embutimento. Para um adequado dimensionamento dos chumbadores devem ser analisados os modos de falha possíveis. As falhas ocorrem, ou por ruptura do chumbador (aço), escorregamento do chumbador (arrancamento), fracionamento ou ruptura do cone de concreto. Na Figura 3.15, estão apresentados os modos de falhas possíveis.

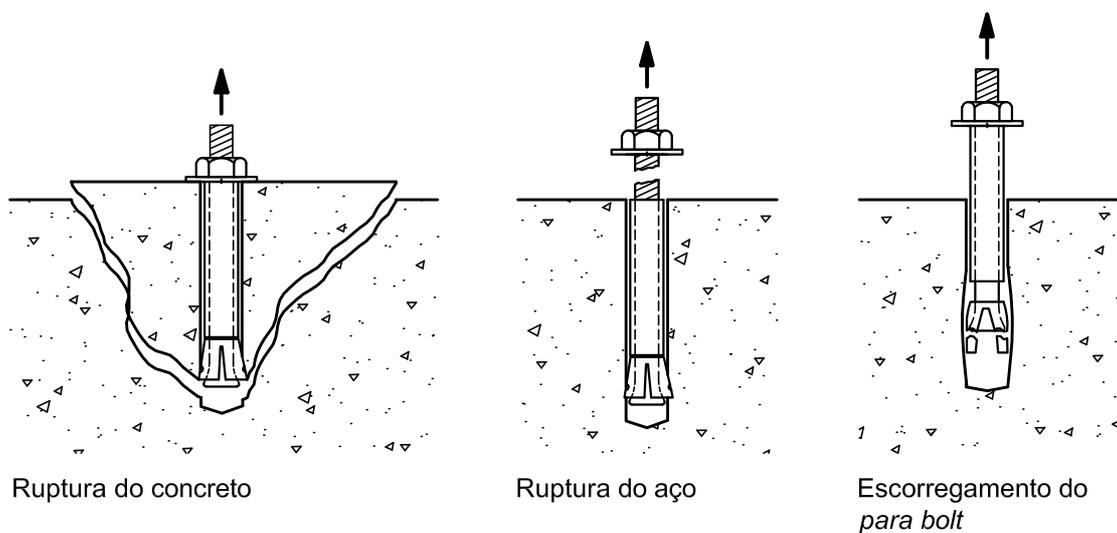


Figura 3.15: Modos de falhas em chumbador de expansão

O ACI (2004) recomenda que não seja considerada a resistência ao atrito entre os elementos unidos pelos chumbadores. Diversos efeitos podem decorrer em função do comportamento dos materiais e dispositivos adotados nas ligações com o decorrer do tempo. Alguns efeitos mais comuns são a fluência do concreto e a deformação plástica do metal.

Quanto ao posicionamento, TAYLOR apud OLIVEIRA (2002), recomenda que os dispositivos de expansão devam estar no mínimo 75 mm afastados da borda do concreto e com profundidade de embutimento com pelo menos 75 mm, como mostra a Figura 3.16. No entanto, de acordo com MARTIN & KORKOSZ apud PCI (2001) e PCI (2006), deve-se respeitar um mínimo de distanciamento de borda equivalente a cinco vezes o diâmetro do dispositivo.

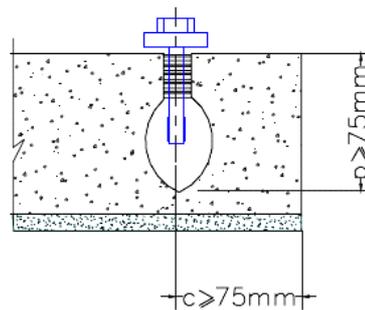


Figura 3.16: Dimensões mínimas para ancoragem (TAYLOR apud OLIVEIRA, 2002)

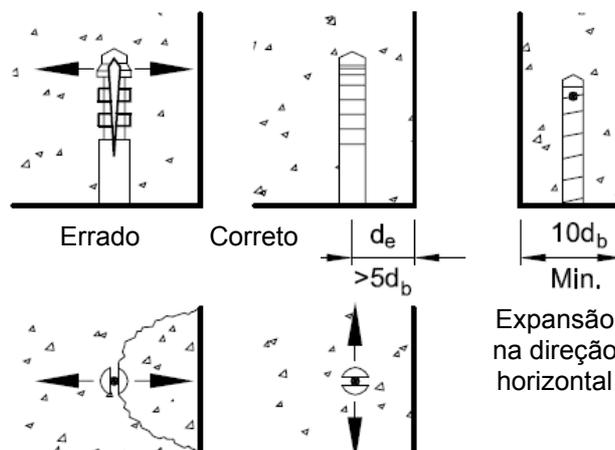


Figura 3.17: Ancoragens de expansão instalados pós concretagem (PCI, 2006)

A vantagem da utilização dos chumbadores expansivos é a sua exatidão de posicionamento e o emprego como medida corretiva quando os insertos são esquecidos ou posicionados incorretamente.

A desvantagem da utilização de chumbadores de expansão está relacionada ao conflito com a armação. Como os chumbadores são instalados em elementos de concreto endurecido, os furos são realizados conforme a necessidade de posicionamento da ligação e se torna difícil desviar de toda armação. Durante o projeto, deve-se dispor de regiões livres de interferências, prevenindo-se conflitos de armação, tubos de água pluvial ou outros elementos embutidos nos pilares.

Chumbadores químicos

Os chumbadores químicos são muito comuns nos países estrangeiros devido à sua alta confiabilidade à resistência mecânica. No entanto, de acordo com COOK et al. (1993), os projetistas ainda se baseiam nas recomendações dos fabricantes, dada a falta de normalização e de um modelo para o seu dimensionamento. As resistências médias obtidas pelos fabricantes são baseadas em testes de laboratórios.

Os chumbadores químicos são usuais por acomodarem bem os esforços em situações de eventos sísmicos. Num abalo sísmico, os chumbadores podem oscilar de maneira a ocasionar a falha do metal de ligação.

O chumbador químico consiste no preenchimento do espaço entre o mesmo e o furo, com uma resina química, distribuindo quase que integralmente os esforços ao longo do seu fuste, sendo assim, menos passíveis à perda de trabalho sobre condições de choque ou vibração se comparados aos chumbadores de expansão. Entretanto, sua fixação não é

instantânea. É necessário proporcionar um tempo mínimo de cura para que a resina alcance a resistência adequada para a aplicação de cargas. As resinas com menor tempo necessitam de cerca de 20 minutos de cura. Dependendo do tipo de resina é necessário esperar por um período de até 12 horas. Diversas são as variáveis envolvidas para a escolha do tipo de resina mais adequada: temperatura de aplicação, tipo de concreto em que se será aplicado, esforços, tempo, meio ambiente, entre outros fatores. A escolha do tipo mais adequado de chumbador químico deve ser através de consulta aos fornecedores, visto que são exclusivos de cada empresa.

Uma particularidade do comportamento das ligações com chumbadores químicos é a total ou parcial distribuição dos esforços ao longo do fuste da ancoragem, já os chumbadores de expansão têm transmissão pontual de esforço de tração. Podem ocorrer três modos de falhas: ruptura do aço do chumbador, ruptura do cone de concreto e ruptura do cone de concreto com arrancamento do adesivo (Figura 3.18).

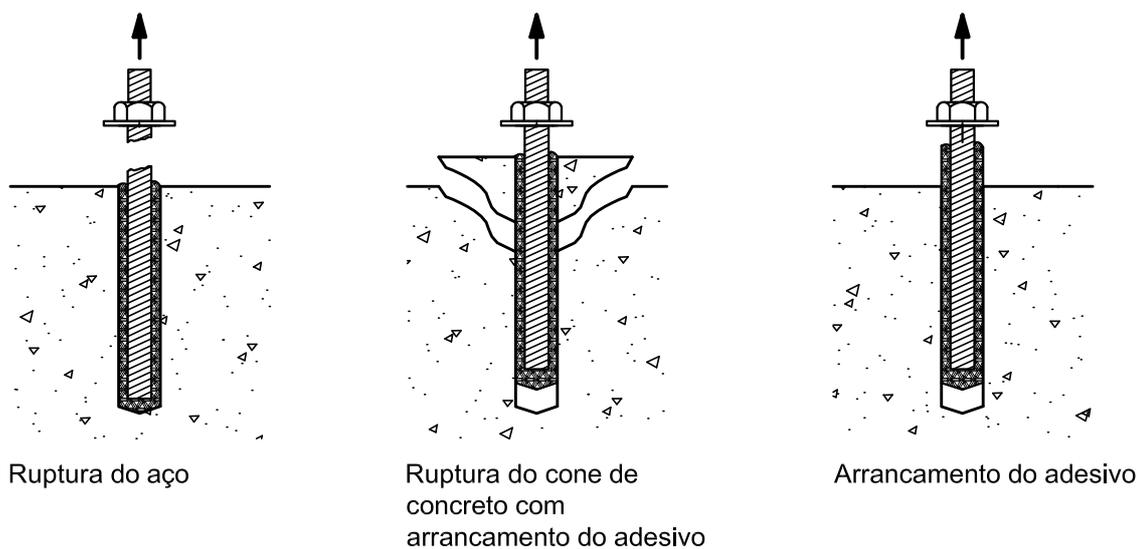


Figura 3.18: Modos de falha em ancoragens químicas (COOK et al., 1993)

Os chumbadores químicos apresentam comportamento dúctil em uma adequada profundidade de embutimento e cobertura do fuste com adesivo químico,

ocorrendo a falha no aço. De acordo com COOK et al. (1993), a falha do cone de concreto é observada somente em casos de embutimento muito rasos (de 50 a 100 mm), em profundidades maiores é detectada a ruptura de um cone de cisalhamento raso com o adesivo ileso. Se o chumbador estiver parcialmente ancorado, sem os 50 mm iniciais, a partir da superfície, fixados pelo adesivo, a falha ocorrerá no adesivo ou no aço, e a capacidade de ancoragem é praticamente inalterada. Isto indica que o cone de cisalhamento raso se forma antes da falha do adesivo, ou a contribuição do cone inicial de 50 mm para a resistência total da ancoragem é mínima. A distribuição de tensão e a resistência do adesivo podem ser determinadas por um modelo de comportamento elástico.

3.4.3. Ligações soldadas

A ligação soldada é muito empregada nos EUA e no Canadá, mas raramente na Europa. Esse modo de consolidação é eficiente e pode ser facilmente ajustado para condições variadas no campo. Quando poucas ligações necessitam de solda no canteiro torna-se mais econômico a adoção de outros métodos de consolidação. Todavia, o desempenho quanto à sua resistência e mesmo a sua confiabilidade estrutural depende da qualidade da soldagem em campo, ou seja, dependem da qualidade da mão-de-obra empregada. Na Europa, as regulamentações vigentes para aplicação de solda em canteiro somadas com os riscos de condições climáticas desfavoráveis, limitam bastante a sua aplicação. Em outras regiões com eventos sísmicos significativos, observa-se que, a solda é pouco empregada nas ligações.

As ligações soldadas devem seguir as seguintes normas, de acordo com PCI (2008): ANSI/AWS D1.1 para aço estrutural e AWS D1.4 para aço de concreto armado. Na NBR 6118/2003 também são indicadas condições de soldagem para aço de concreto armado. A soldagem sobre materiais galvanizados a quente exige cuidados especiais. Em regiões

galvanizadas é necessária a pré-remoção de galvanização, caso contrário podem ocorrer contaminações gerando a perda de qualidade da solda e a formação de fumaça tóxica. Posteriormente recomenda-se aplicar spray metálico (galvanização a frio) sobre as juntas de solda para repor a galvanização. Ao executar solda no canteiro, ela deve ser efetuada preferencialmente abaixo do operador e ser evitada em locais confinados. Além de poder melhorar a qualidade da soldagem, minimiza um potencial acidente. Outro lugar a se evitar o emprego de solda são os locais em altura, pela dificuldade na locomoção do equipamento e do risco de acidentes (STURM, 1985).

De acordo com PCI (2001) e STURM (1985), as soldas executadas em ligações metálicas adjacentes ao concreto, devido o alto calor produzido, podem ocasionar expansões térmicas e deformações no aço rompendo a ligação entre concreto e o aço, e provocando a fissuração ou despedaçando o concreto ao seu redor. Para que este efeito seja reduzido podem ser utilizadas soldas de baixa temperatura, soldas intermitentes ou pequenas soldas parceladas. Dependendo das condições ambientais são empregados aços inox em ligações para minimizar o processo de corrosão. Como o inox exige alta temperatura para soldagem, é necessário um grande cuidado na soldagem em canteiro a fim de controlar sua dilatação evitando o rompimento do concreto de confinamento.

A aplicação de solda no canteiro deve ser criteriosa e adequadamente acompanhada a fim de evitar sua utilização descontrolada, provocar o enrijecimento não intencional dos dispositivos de ligação e o surgimento de esforços não contabilizados. O enrijecimento da ligação pode se tornar um fator crítico para a segurança estrutural de toda a edificação ao condicionar os elementos de fachada aos esforços da estrutura principal. De acordo com FIB (2003), as ligações soldadas são em sua maioria muito menos rígidas que as ligações por grauteamento.

Conforme MC (2004) e MAPA (2004), alguns cuidados devem ser tomados para evitar transtornos durante a utilização da solda:

- a. disponibilização de ponto de energia na proximidade;
- b. proteção dos elementos adjacentes à solda, evitando manchas;
- c. evitar a aplicação com a utilização de escadas;
- d. evitar o uso em locais acima do operador;
- e. evitar o uso em locais de difícil acesso ou apertados;
- f. evitar a solda sobre elementos galvanizados, devido à toxicidade da fumaça e à baixa eficiência da soldagem sobre elementos galvanizados.

De acordo com OLIVEIRA (2002), os parâmetros para a escolha do tipo de solda a ser utilizada são:

- a. as características químicas e físicas do metal base;
- b. o tipo de junta e sua geometria;
- c. a posição de soldagem;
- d. as características dos equipamentos utilizados; e
- e. as características desejadas do metal depositado.

O emprego de solda indica a presença de insertos metálicos (embutidos) nos elementos pré-moldados. Nos países onde o uso dos sistemas pré-moldados é bem disseminado, são largamente utilizados *stud bolts* (Figura 3.19) para a fixação de chapas no concreto. Porém, os *stud bolts* ainda são muito pouco empregados no Brasil. Para a utilização de *stud bolts* são necessários equipamentos de alto custo.

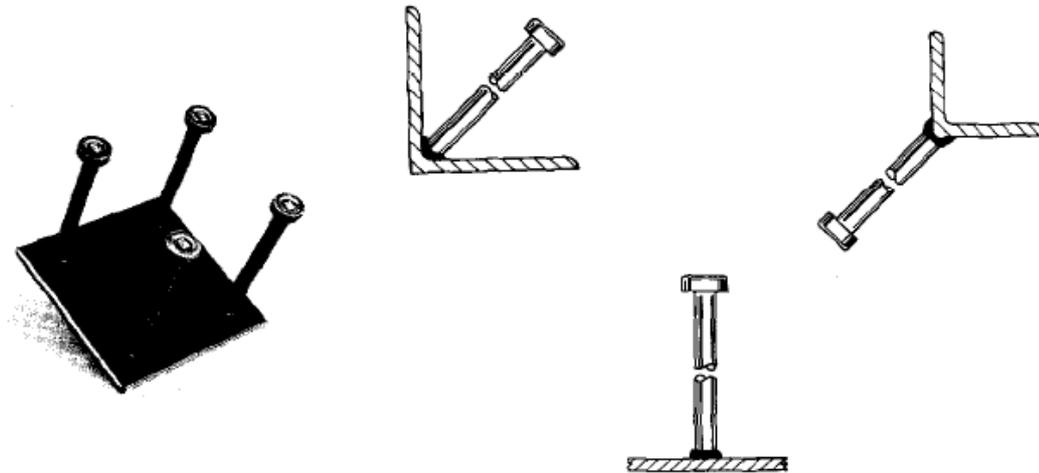


Figura 3.19: *Stud bolts* e aplicação para fixação de chapas (MARTIN & KORKOSZ apud PCI (2001))

3.4.4. Ligações por encaixe

Recentemente, com a finalidade de racionalizar o processo de montagem, estão sendo desenvolvidos dispositivos de ligação através de encaixe. Esses dispositivos começaram a ser praticados em países desenvolvidos, onde o custo da mão-de-obra é elevado e, portanto prioriza-se o custo operacional e a estética em detrimento do custo de material empregado nas ligações e nas estruturas.

Em FIB (2003) é apresentado uma ligação viga-pilar do tipo faca, desenvolvida por Spenncon A.S., na Noruega (Figura 3.20). São muitas as vantagens relacionadas a este tipo de ligação, mas o principal objetivo é ter uma ligação oculta priorizando-se a estética. Uma vantagem que não se pode deixar de salientar é a facilidade de montagem. Não são necessárias muitas ferramentas e nem aparatos para sua efetivação, o que reduz significativamente o tempo de montagem dos elementos. Embora esta ligação seja para viga, sua concepção pode ser empregada para projetos de ligações em painéis de fachada.

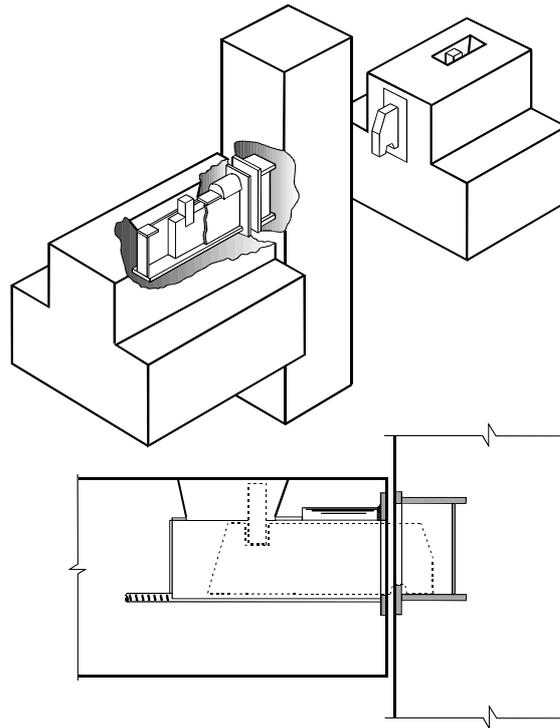


Figura 3.20: ligação em face viga-pilar (FIB, 2003)

No Brasil já se encontram aplicações e desenvolvimentos deste tipo de ligação para painéis de fachada. Na Itália as ligações metálicas de encaixe já são uma realidade amplamente difundida, visto que há empresas especializadas em fabricação destes acessórios para a indústria de pré-moldados. Na Figura 3.22 são apresentados alguns dos sistemas produzidos pela indústria italiana B.S. ITALIA. Essas ligações são providas de sistemas de ajuste através de parafusos niveladores. Os sistemas são basicamente formados por 3 partes: um inserto embutido no pilar, um elemento transmissão e um inserto no painel. Como, normalmente, a produção de pilares e elementos retangulares é realizada em formas metálicas, os insertos devem ser embutidos no elemento de concreto ou posteriormente instalados (Figura 3.23). O mesmo critério é válido para os insertos em painéis.

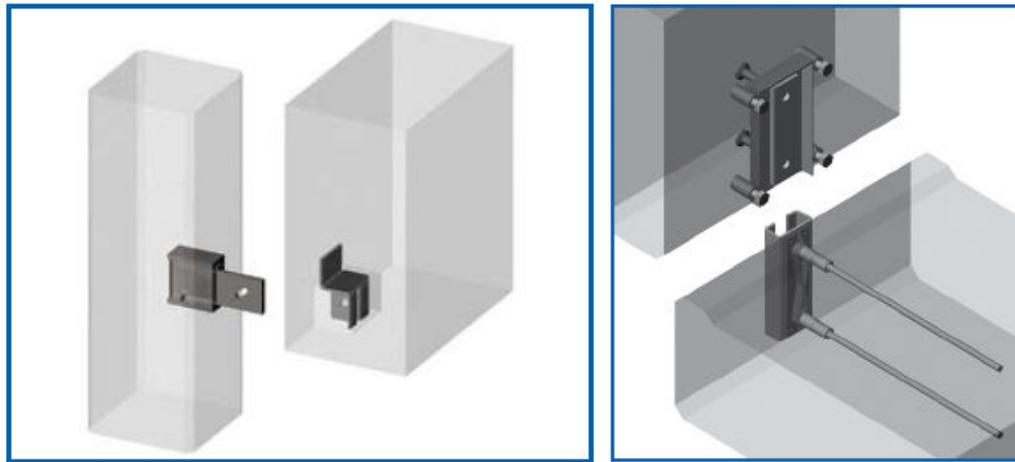


Figura 3.21: Ligações de encaixe da empresa suíça PEIKO.

No projeto de ligações por encaixe é importante verificar e simular seu comportamento durante a fase de montagem, disponibilizando espaços de ajuste e nivelamento. Essas ligações têm uma complexidade considerável comparadas a outros dispositivos, pois ainda não se têm modelos de cálculo e estudos aprofundados dos mecanismos de transmissão de esforços (FIB, 2003).



Figura 3.22: Ligações tipo encaixe para painéis de fachada da fabricante B.S. ITALIA



Figura 3.23: Ligação de encaixe utilizado (Leonardi Pré-fabricados Ltda)

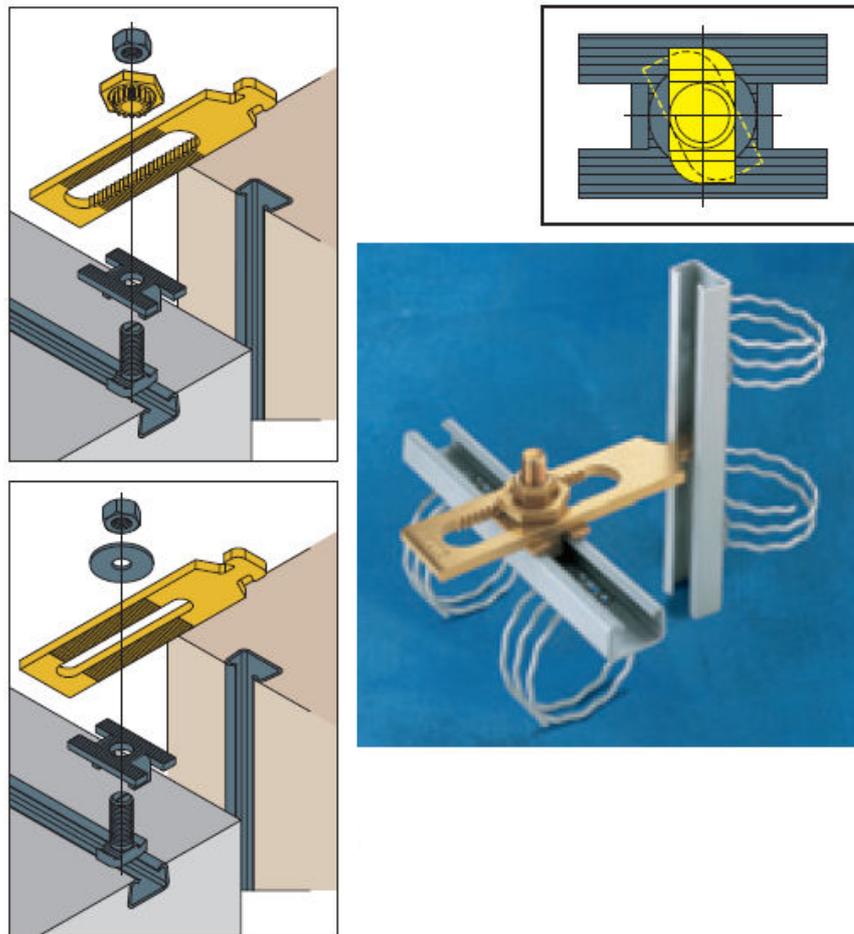


Figura 3.24: Sistema de contraventamento por composição de calhas tipo Halfen da empresa BS.ITALIA

Conforme observado nos sistemas de ligações de fabricação seriada em países estrangeiros, o sistema de encaixe provém de um elemento em chapa metálica concretado junto ao painel para distribuir o acúmulo de tensão de compressão decorrente do peso do painel. A concentração de tensão no concreto provoca o puncionamento ou o fendilhamento da área de contato. Na área de contato do apoio do sistema de gravidade é fundamental verificar os esforços incidentes e os coeficientes de redução de resistência na interface de contato de materiais com durezas diferentes.

3.5. Mecanismos de absorção de esforços

Os painéis são suscetíveis aos esforços provenientes da deflexão da estrutura de apoio, à variação volumétrica (devido à variação de temperatura, umidade, fluência e retração do concreto), entre outros efeitos que geram esforços nas ligações. De acordo com o PCI (2001), é recomendado que os esforços surgidos durante a utilização da edificação sejam, de preferência, absorvidos pelas ligações através das características físicas do material utilizado na ligação ou, através de mecanismos que possibilitem a movimentação dos painéis de forma a não resultar em patologias.

De acordo com CRI (1995), algumas vezes são empregados aparelhos de apoio (elementos macios) para distribuir esforços sobre superfícies de apoio e para acomodar as irregularidades do edifício, fabricação e construção. Estes elementos reduzem a concentração de tensões na superfície dos materiais devido à deformação imediata ao longo de sua espessura ou pela possibilidade de deslizamento. As características físicas necessárias para satisfazer esta função são: (1) Estabilidade permanente; (2) Capacidade de equalizar superfícies irregulares e evitar pontos de compressão; e (3) capacidade de acomodar movimentos.

Para a escolha de aparelhos de apoio os fabricantes devem ser consultados a fim de selecionar os produtos com características físico-químicas adequadas para o tipo de utilização. A escolha está relacionada diretamente à tensão sobre a superfície. Quanto maior a necessidade de resistência do material maior o seu custo. Conforme PCI (2000), os materiais mais empregados são:

- a. elastômeros (neoprene): resistências de compressão, cisalhamento e atrito conhecidas, com alta capacidade de acomodar deformações, podem ser compostos com outros tipos de materiais, tais como, placas de aço, fibras (vidro, carbono), entre outros;
- b. plásticos: têm alta capacidade à compressão e cisalhamento, com baixo coeficiente de atrito, são fabricados em placas de pequenas dimensões especificamente para o uso em suporte.

No mesmo sentido de proporcionar a acomodações entre superfícies irregulares ou de materiais distintos, a argamassa seca é utilizada para apoio de consolos de concreto sobre superfícies de concreto, tais como, laje e viga.

Alguns dispositivos de ajustes comumente encontrados na literatura internacional são as barras rosqueadas, calhas *Halfen* e furos oblongos. Estes dispositivos proporcionam simultaneamente a absorção ou acomodação das movimentações. Dois tipos comuns de ligações, de acordo com CRI (1995), têm sido desenvolvidos para permitir a movimentação entre os painéis pesados, tais como de concreto pré-moldado, e a estrutura principal: (1) ligações por meio de barras, que são mais comuns na costa oeste dos EUA; e (2) ligações deslizantes (com furos oblongos), que têm sido amplamente empregados na Nova Zelândia e em outros lugares. Há algumas desvantagens para este tipo de ligação: restrição de movimento devido à ferrugem e deformação por serviço ou fabricação, e os parafusos podem estar super apertados de maneira que a ligação possa transmitir os esforços por atrito. As ligações deslizantes são melhor empregadas em situações cujo grau de deslocamento lateral em cada ligação é pequeno, por exemplo, estruturas rígidas, ou painéis com altura baixa.

De acordo com CRI (1995), as ligações em barra são referidas tradicionalmente como ligações tipo “push-pull” nos EUA e muito empregadas em ligação de

contraventamento. A barra e os complementos da ligação devem ser fortes o suficiente para resistir aos esforços solicitantes. Tanto na face quanto no plano do painel a barra deve ser longa e flexível o suficiente de modo que ela permanecerá dúctil sobre a extensão de movimento prevista para a ligação. Se as ligações forem posicionadas muito próximas à estrutura, pode ser difícil de alcançar este comportamento.

De acordo com WANG apud CRI (1995), as ligações em barras funcionam melhor que as ligações de cantoneiras providas de furos oblongos. A preferência incide sobre o menor risco de inadequação comportamental conseqüente da fase de instalação e da exposição da ligação. As ligações com furos oblongos têm um bom comportamento para a finalidade projetada, no entanto, corrosão, pontos de soldas inadequados e tensão superior ao projetado podem alterar o comportamento do mecanismo de movimentação. No Japão é comum o uso de ligação com furos oblongos, visto que proporcionam boa acomodação em abalos sísmicos. Entretanto, nos EUA, seu uso é restrito a painéis pesados e edifícios altos, devido ao alto custo de detalhamento dessa ligação (há muitas peças) e devido ao preciosismo durante a instalação. Nos EUA o uso comum de ligações de contraventamento em barra é justificado pela facilidade de projeto, montagem e menor quantidade de material utilizado. As movimentações no plano do painel são possibilitadas pela flexibilidade do aço.

Como se pode observar a ligação de contraventamento na Figura 3.25, ela dispõe de liberdade de movimento nas direções do plano do painel. Para cada grau de liberdade há um mecanismo específico. O sistema de contraventamento deve permitir o ajuste em todas as direções durante a montagem e restringir os esforços perpendiculares do painel. O deslocamento horizontal do painel é propiciado pela liberdade de movimento conferida pela utilização de calha inserida na estrutura de apoio. Outra calha é disponibilizada no painel permitindo a liberdade de movimento na direção vertical. O ajuste do alinhamento e prumo do

painel é atribuído ao furo oblongo da chapa de ligação. A restrição de movimento na direção ortogonal ao plano do painel é proporcionada por dentes (travas) na interface das chapas ou pontos de solda.

Entretanto devem ser feitas algumas considerações para este mecanismo: (1) o movimento não ocorrerá se as travas prenderem devido à má construção ou durante o flexionamento dos componentes sobre serviço, ou emperramento do mecanismo ao longo do tempo (devido à ferrugem); e (2) os parafusos podem estar superapertados transferindo as cargas laterais à ligação. Essas ligações são propícias a serem utilizadas em painéis no qual o grau de movimentação lateral em cada ligação é pequeno, por exemplo, estrutura rígida, ou painéis leves (CRI, 1995).

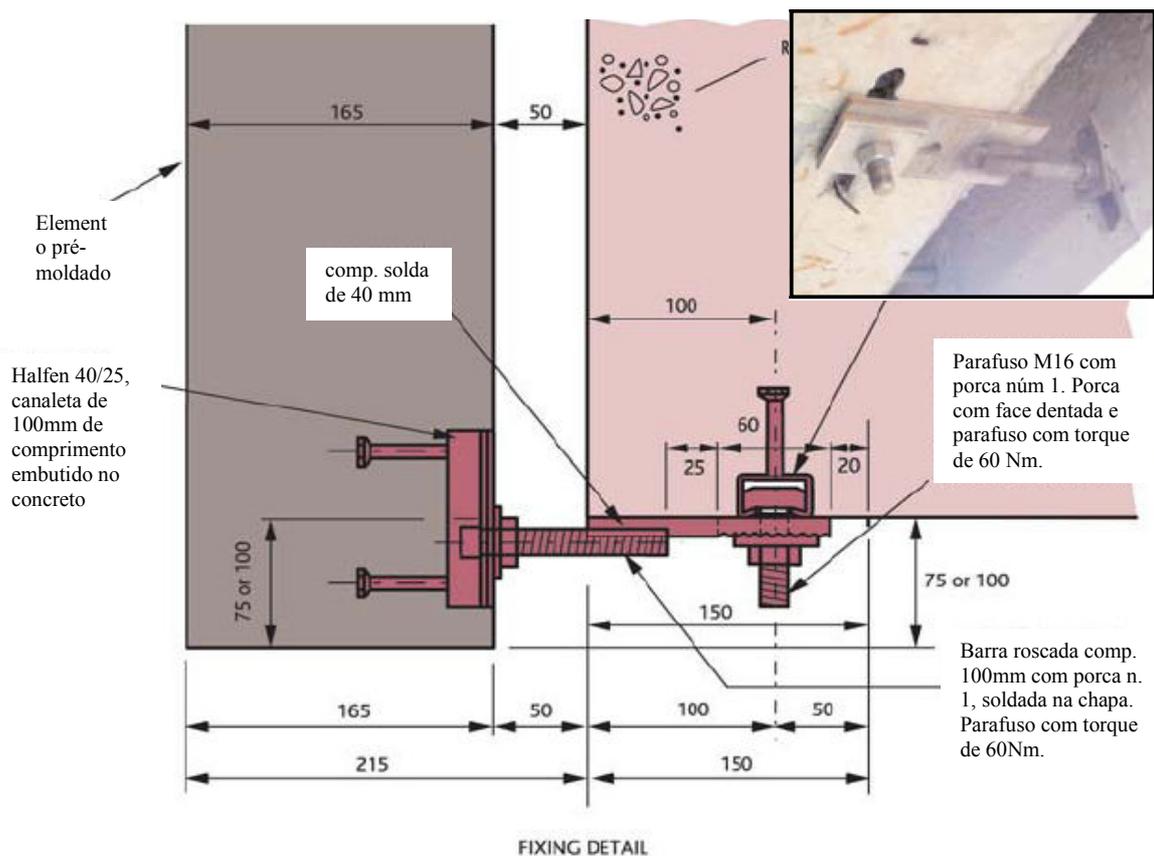


Figura 3.25: Dispositivo para ajuste com chapa dentada (GOODCHILD & GLASS, 2004)

Um cuidado importante na adoção de furos oblongos é não posicionar o alongamento na mesma direção do esforço principal da ligação. Na impossibilidade, devem ser utilizados mecanismos que impeçam a movimentação no sentido do esforço principal através de soldagem das arruelas ou, melhor ainda, através de superfícies dentadas (entre a arruela e a chapa metálica) ().

Nas ligações metálicas, a eficiência de sua aplicação e seu desempenho está relacionada em proporcionar ductilidade e amortecimento dos esforços surgidos ao longo do tempo e durabilidade. Para PINELLI & CRAIG apud CRI (1995), ductilidade e amortecimento podem ser desenvolvidos através de variados processos passivos, incluindo extrusão, ação inelástica da ligação iniciada por efeitos de torção ou flexão dos componentes da ligação, efeitos de atrito em ligações projetadas com diversas camadas de materiais e o uso de sistemas compostos de materiais selecionados para proporcionar resistência e ductilidade.

Capítulo 4

REQUISITOS DE PROJETO PARA LIGAÇÕES DE PAINÉIS DE FACHADA HORIZONTAIS

Neste capítulo serão apresentados recomendações e diversos critérios a fim de se proporcionar um projeto de ligação condizente ao contexto do emprego dos sistemas de painéis horizontais pré-moldados de concreto. De acordo com o PCI (2008), as ligações e seus componentes devem atender aos seguintes requisitos de comportamento durante a utilização da edificação a fim de se ter um bom desempenho do sistema empregado:

- Resistência mecânica
- Adequação estrutural
- Ductilidade
- Acomodação por deformações volumétricas
- Durabilidade
- Resistência ao fogo
- Facilidade de produção
- Facilidade de construção

A seguir é apresentado em detalhe cada requisito.

4.1. Resistência Mecânica

“A resistência e a rigidez das ligações podem ser feitas por formulação analítica. Destaca-se, no entanto, que devem ser previstas as imperfeições de montagem quando se passa das condições de laboratório para as condições de campo.” (EL DEBS, 2000). As ligações devem ter resistência para transmitir, com segurança, todos os esforços ao longo de sua vida útil.

De acordo com PCI (2001), o projetista deve determinar trajetórias simples e diretas para a transferência dos esforços através das ligações e da sua ductilidade. Isto reduz sensivelmente a quantidade, tamanho das ligações e a necessidade de cálculos dos esforços e forças devidos, por exemplo, às mudanças de volume e das deformações da estrutura do edifício. As ligações mais simples proporcionarão melhor eficiência de montagem e refletirão diretamente na economia do sistema de ligações. Menor quantidade de componentes e menor complexidade evitarão erros durante a fabricação e montagem.

Na Figura 4.1 são apresentadas algumas trajetórias de esforços nas ligações.

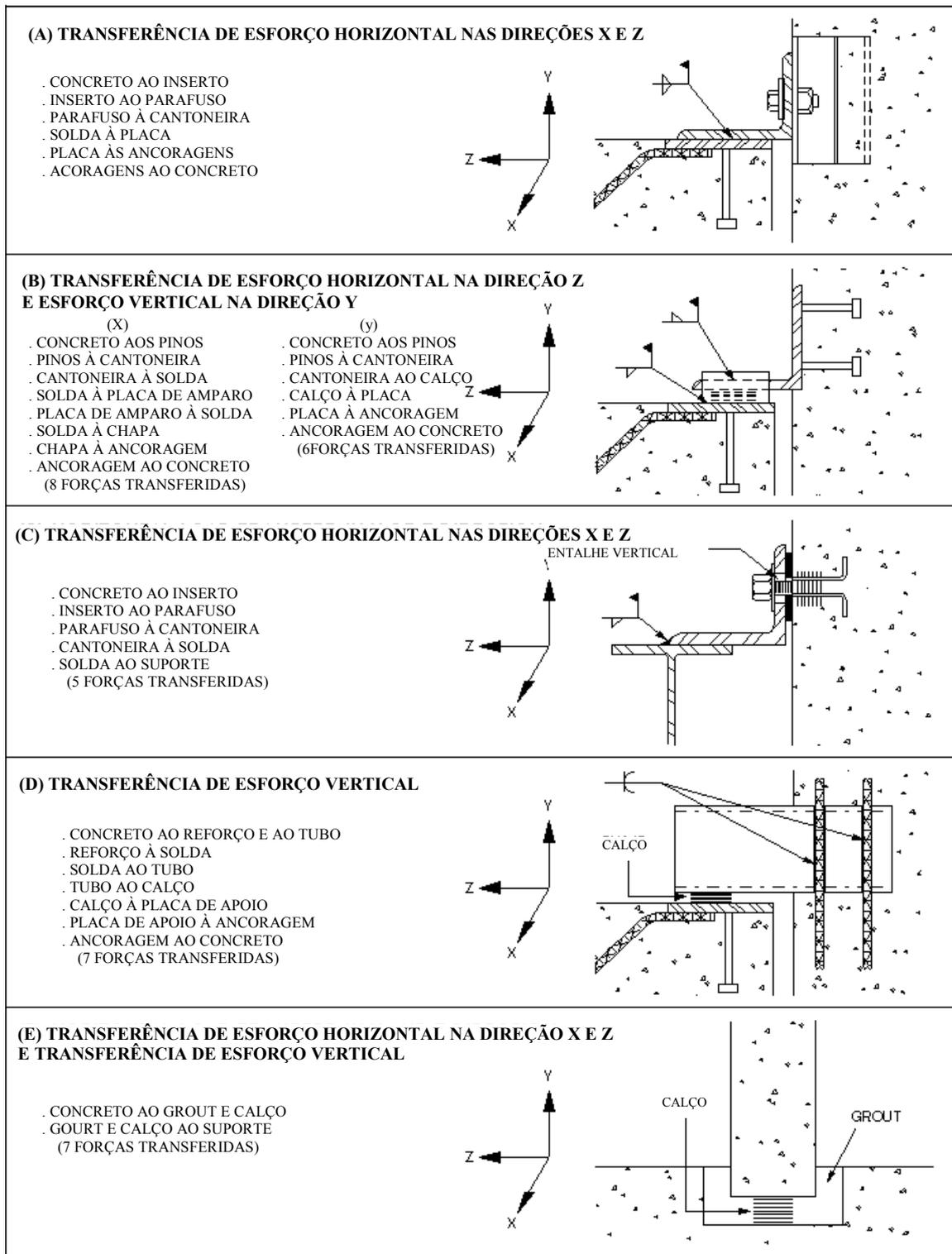


Figura 4.1: Trajetória de transmissão de esforços (PCI, 2001)

4.2. Adequação Estrutural

As ligações devem atender as exigências de deformabilidade a fim de manter a estabilidade dos painéis fixados na estrutura. Os esforços aos quais as ligações estão sujeitas são: compressão, tração, flexão, torção e cisalhamento. Normalmente, os diversos tipos de ligações têm boa resistência num tipo de esforço, porém pouca em outros. No entanto, isto não é, necessariamente, um problema, pois nem sempre é necessário ou, talvez seja indesejável alta resistência em certos tipos de esforços (NPCAA, 2000). Por exemplo, as ligações de contraventamento em barras roscadas têm boa resistência à tração, ideais quando o painel é apoiado, pois a tendência é surgir tração na ligação. Já em painéis pendurados, eles não se comportam muito bem podendo sofrer flambagem devido à compressão.

De acordo com PCI (2001), os projetos da ligação e da estrutura devem ser interdependentes, ou seja, o elemento de sustentação estrutural deve atender às condições impostas pelos esforços dos painéis e, ao mesmo tempo, as ligações devem proporcionar situações para o não surgimento de esforços não considerados para a estrutura adotada.

A relação entre as deformações dos painéis e a estrutura de apoio deve ser avaliada, prevenindo-se contenções inapropriadas. Tal deformação da estrutura de suporte pode ser causada pelo peso do painel ou mudanças de volume nas estruturas do concreto. Para evitar esforços indesejáveis nos painéis, as ligações devem ser projetadas e instaladas a fim de permitir que tais deformações ocorram livremente ou, quando desejado, que ocorram de forma controlada. Deve-se atentar para interação entre os sistemas (estrutura e vedações), a formação de forças e o comportamento à deformação de cada sistema, averiguando a capacidade de deformação dos elementos para dimensionar as ligações.

De acordo com CRI (1995), são admitidas as seguintes considerações quanto à ductilidade e os painéis de fachada:

- a. Teoricamente, totalmente separado da estrutura: o painel não contribui no enrijecimento da estrutura. Na prática, seria uma situação muito rara. Numa edificação com centenas de painéis talvez haja alguma transmissão de força dos painéis para a estrutura e vice-versa, mesmo para painéis de pouca massa. No entanto, isto pode não ser significativo para o comportamento da estrutura;
- b. Participação acidental: pode ocorrer durante um evento sísmico ou efeito de vento, pela pequena separação à face da estrutura ou pela restrição da suposta liberdade de movimento das ligações;
- c. Enrijecimento controlado ou amortecimento da estrutura pelos painéis de fechamento e acessórios: embora, raramente considerada, é ainda objeto de estudos e pode beneficiar o projeto de estruturas;
- d. Total integração dos painéis à estrutura: quando a estrutura e o fechamento forem homogêneos como, por exemplo, paredes de concreto moldadas *in loco*, os resultados são previsíveis e as paredes se tornam parte do contraventamento da estrutura. Todavia, esta situação não é amplamente empregada. Raramente o projeto de painéis arquitetônicos é totalmente compatível com o conceito estrutura, pois são sistemas com objetivos principais totalmente distintos.

LIMA et al. (2005), verificou analiticamente que a contribuição dos painéis de concreto de fechamento é significativa para o enrijecimento da estrutura. Através de simulações computacionais com aplicação de cargas de vento foi constatado que o os painéis

de concreto poderiam ser utilizados como elementos para a concepção de uma estrutura mais econômica.

PAULA (2007) realizou um estudo analítico sobre a contribuição do sistema de vedação com aplicação de painéis horizontais para o enrijecimento de um galpão pré-fabricado (sede do Laboratório do Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-fabricados – NET-Pré). Os resultados mostraram uma contribuição significativa para a diminuição dos deslocamentos da estrutura principal frente às ações laterais. Considerando-se a sua contribuição para o enrijecimento, a mesma autora, redimensionou os pilares com uma redução de até 23% no custo de cada pilar. Entretanto, para se alcançar tal desempenho com redução de pilares, é necessário que as ligações tenham rigidez suficiente para proporcionar este benefício. Outro fator é que o enrijecimento das ligações sucede em tensões de flexão lateral no plano do painel. Através das análises numéricas realizadas pode-se chegar ao comportamento da estrutura ilustrado na Figura 4.2, em função das variações de temperatura. Dado este efeito os painéis próximos à base do pilar tem menos liberdade de movimentação. Este é exatamente o comportamento real observado na estrutura, os painéis inferiores têm um empenamento maior do que os painéis nos níveis superiores. O fato de estes painéis serem instalado excêntrica ao eixo da estrutura de suporte potencializa o efeito de empenamento por flexão lateral.

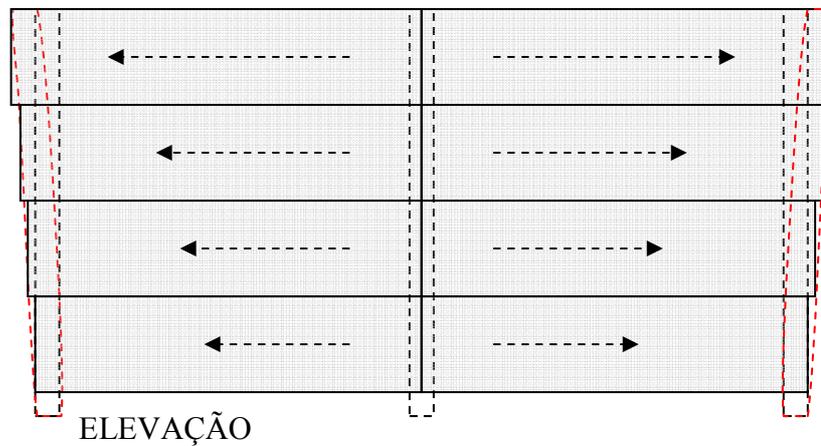


Figura 4.2: Deformação da estrutura por variação da temperatura

CASTILHO et al. (1998) estudou o efeito da interação entre painéis de fechamento arquitetônicos com altura de um pavimento em edifício residencial de múltiplos pavimentos, onde verificou o surgimento de esforços de flexão que devem ser considerados no projeto, bem como verificou que dada esta interação, os painéis de fachada contribuem para um aumento do travamento da estrutura.

Como salientado pelo PCI (2001), deve ser ressaltada a importância dos efeitos de variações volumétricas dos painéis, induzindo esforços nos painéis e nas ligações, assim como, por ventura, na estrutura de suporte. É importante que o projetista atente para a possibilidade de enrijecimento da estrutura. A real rigidez da ligação (não intencional) pode conduzir à interação do painel com a estrutura “atraindo” esforços na estrutura da edificação e nos painéis de fachada. Neste caso, ambos os elementos estarão submetidos a comportamentos não intencionais numa condição desfavorável e imprevisível à segurança estrutural.

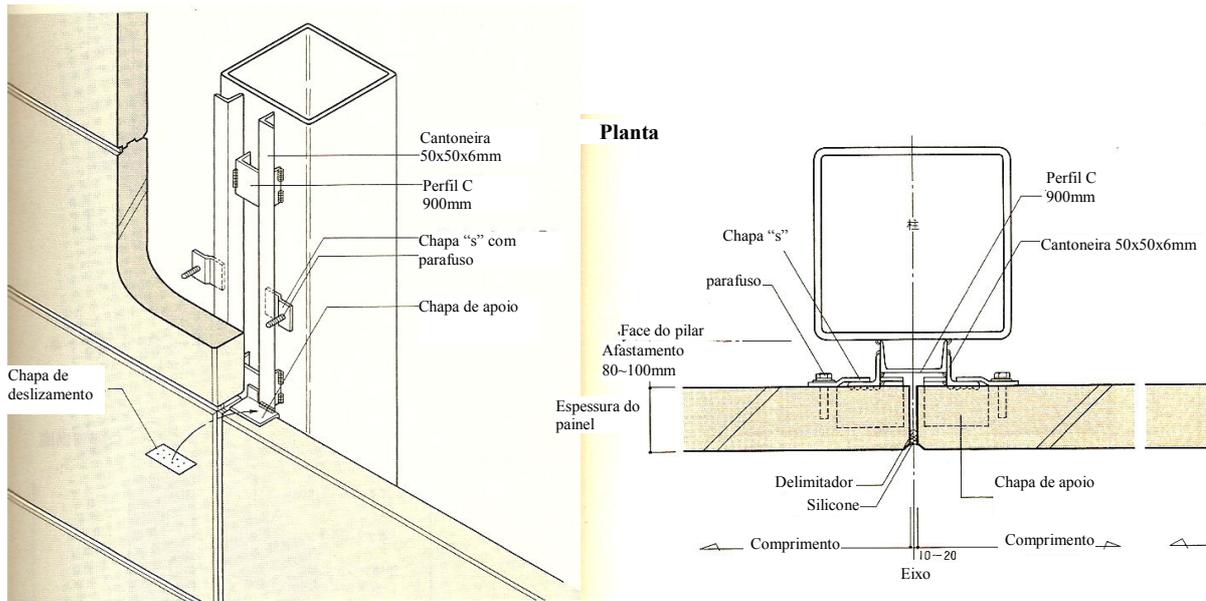


Figura 4.3: Ligação de painéis horizontais com encaixe das ligações de contraventamento (adaptado de CLION, 2001)

Apesar das pesquisas relacionadas à contribuição dos painéis no enrijecimento da estrutura, os manuais e normas estrangeiras recomendam que os painéis trabalhem independentemente da estrutura, razão presumível pela ocorrência de eventos sísmicos e pela alta variabilidade térmica. São, portanto, recomendadas apenas concepções de ligações para absorverem ou acomodarem os esforços solicitados. No Japão é freqüente o emprego de ligações de encaixe em função de abalos sísmicos constantes.

Com a finalidade de proporcionar as adequações necessárias aos painéis devem ser garantidas, também, as tolerâncias dimensionais dos elementos: estrutura e painéis. Como a produção de qualquer componente com total precisão dimensional tornar-se-ia inviável para os meios de produção existentes, aumentando consideravelmente o custo de produção e até mesmo a inexequidade do produto. As tolerâncias são recomendadas para possibilitar um controle tecnológico sobre o produto: têm-se um menor custo de produção, maior aceitabilidade das dimensões e tornar intercambiáveis diferentes peças (de diferentes materiais e fornecedores).

Os detalhes do componente final para os produtos pré-moldados de concreto devem atender três grupos de tolerâncias que foram estabelecidas como partes do processo de projeto em pré-moldados de concreto, são:

- a) Tolerância dos produtos: são relacionadas às variações dimensionais dos elementos individuais de concreto pré-moldado;
- b) Tolerância de construção: são definidos como as diferenças aceitáveis exigidas para a compatibilidade entre os elementos depois de construídos (montados);
- c) Tolerância de interface: são relacionadas às dimensões entre outros materiais ou sistemas em contato ou próximo ao pré-moldado de concreto, antes e depois de construídos.

A seguir são apresentadas algumas tabelas com tolerâncias e espaçamentos recomendados:

Tabela 4-1: Tolerâncias de Acessórios executados in-loco (SORENSEN et al, 2000)

Itens (executados no canteiro)	Tolerâncias Recomendadas (mm)
Ancoragens e Insetos	± 13
Níveis de pilares e pavimentos	± 25
Chapas e Perfis	± 25

Tabela 4-2: Tolerâncias para ligações em painéis pré-moldados de concreto (SORENSEN et al, 2000)

Item	Tolerâncias recomendadas (mm)
Locação lateral de chapas soldadas	± 25
Profundidade de chapas	± 6
Rotação de chapas, insetos	$\pm 2^\circ$ ou 6 mm de giro no perímetro
Profundidade de chapas de ligação de apoio	± 3
Posicionamento de insetos	± 13
Locação da superfície de apoio em relação à lateral do painel	± 6

Para a fixação dos painéis, há a necessidade de manter um distanciamento mínimo em relação à estrutura. Este espaçamento tem vários motivos para ser admitido e adotado. Durante a fase de montagem, os painéis necessitam de alinhamento entre si e entre a estrutura. Deve-se ter em mente que um espaçamento mínimo é diferente de tolerância dimensional. Podem ocorrer erros do alinhamento da estrutura, do painel, da ligação e de empenamento do painel. Assim, a medida total deve considerar os espaçamentos e as tolerâncias de desvios dimensionais dos painéis, da estrutura e do possível recalque da fundação. Em outro sentido, esse espaçamento não deve ser muito grande a fim de evitar o gasto excessivo de material, assim como de proporcionar maiores excentricidades do painel em relação à estrutura de apoio (PCI, 1985).

A análise do espaçamento entre os painéis e a estrutura deve ser avaliada, considerando-se a excentricidade por conta das tolerâncias de montagem da estrutura principal e a interferência estética da junta. Respeitando-se as tolerâncias dimensionais de montagem dos pilares o desvio de seu prumo é praticamente invisível a olho nu. Neste caso, em função do aprumamento dos painéis, haveria uma variação da largura da junta ao longo do pilar, revelando as imperfeições de montagem. Dependendo do tipo de construção deve-se levar em conta este fator de conforto psicológico aos usuários e proporcionar um espaçamento fixo entre o sistema estrutural e o de vedação.

Distanciamentos muito grandes podem causar efeitos indesejáveis nas ligações. Na Figura 4.4, de acordo com FIB (2003), em elementos em forma de pino submetido à força cortante, ocorre a flexão da barra, com um ponto de plastificação e compressão do concreto. Em certas ligações, quando não forem previstos esforços transversais, pode ocorrer a ruptura do concreto adjacente.

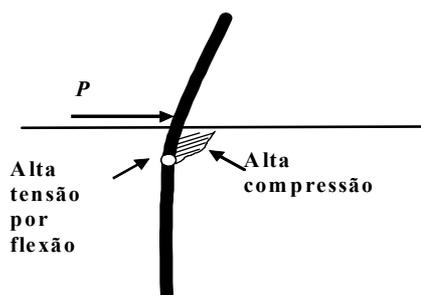


Figura 4.4: Força transversal em pinos (FIB 2003)

Tabela 4-3: Espaçamentos mínimos recomendados (PCI, 1985)

Item	Espaçamento mínimo recomendado (mm)
Pré-fabricado x Pré-fabricado	13 (optar por 25 mm)
Pré-fabricado x Moldado in-loco	25 (optar por 50 mm)
Pré-fabricado x Aço	25 (optar por 50 mm)
Revestimento de pilares	30 (optar por 75 mm)

De acordo com FOLCH (2004), para estruturas moldadas *in loco*, ocorrem desaprumos significativos dos pilares, portanto a folga de projeto deve ser de 35 mm em relação ao painel. Para outros sistemas construtivos industrializados pré-moldados e estrutura metálica, as folgas adotadas são, respectivamente, de 10 mm e 20 mm.

4.3. Ductilidade

O comportamento mecânico de uma ligação pode ser caracterizado pela relação entre a força transferida e o deslocamento correspondente, por exemplo, a relação entre a força de tração x alongamento, momento fletor x rotação, força cortante x deslizamento. Para avaliar o efeito de deformações, movimentos e possíveis restrições no sistema estrutural, é necessário ter conhecimento sobre os deslocamentos que se desenvolvem nas ligações quando eles são carregados.

Ductilidade é a capacidade do material de sofrer deformações sem que ocorra a ruptura. Está, geralmente, associada às resistências à flexão e tração às quais as ligações estão sujeitas. De acordo com EL DEBS (2000), a ductilidade da ligação, assim como a ductilidade das outras seções da estrutura, é caracterizada como a capacidade da ligação sustentar grandes deformações inelásticas sem perda significativa de resistência, antes de atingir a ruína. Essa é uma característica importante em relação à capacidade de redistribuição de esforços da estrutura. É importante verificar se, na ocorrência de deformação da ligação de gravidade, os esforços de gravidade não serão transmitidos às ligações de contraventamento.

Os diversos componentes envolvidos numa ligação devem desenvolver ductilidade suficiente para impedir colapsos frágeis. É desejável, para STANTON et al. (1987), que as ligações falhem após apresentarem comportamento dúctil, pois a quantidade de deformação apresentada durante uma ruptura dúctil é um indicativo de como os esforços são distribuídos entre a ligação e a estrutura de apoio. De acordo com FIB (2003), em ligações com um comportamento frágil (não-dúctil), a falha normalmente aparece logo que a resistência máxima é alcançada, enquanto que as ligações do tipo dúctil podem resistir às deformações após alcançar uma resistência correspondente de ruptura. Este é um comportamento muito favorável no caso de sobrecarregamento devido à restrição de deslocamento da ligação. A força restringida depende das deformações e é reduzida quando a ligação falha. Devido ao comportamento dúctil, resta uma resistência durante uma deformação plástica. No caso de ações acidentais, fogo etc., as deformações plásticas devido ao sobrecarregamento torna favorável a redistribuição de forças.

De acordo com FIB (2003), os parâmetros “capacidade de deformação” e “ductilidade” são normalmente mal entendidos e confundidos. A capacidade de deformação de uma ligação é referente ao máximo deslocamento possível antes de uma degradação e não

diz respeito à relação esforço-deformação. A ductilidade é uma habilidade da ligação de ser submetida a uma deformação amplamente plástica sem uma substancial redução da força que ela resiste. A ductilidade é normalmente expressa numericamente pelo fator de ductilidade μ . Define-se como uma razão entre a deformação última (capacidade de deformação) e a deformação quando um comportamento plástico é alcançado por:

$$\mu = \frac{u_u}{u_y}$$

, onde:

u_u = deformação última

u_y = deformação quando é alcançado um comportamento plástico

Vários parâmetros descrevendo as deformações podem ser usados para determinar o fator de ductilidade, por exemplo, deslocamento, rotação, deslizamento, alongamento e encurvamento. Observa-se que, como o fator de ductilidade é um parâmetro relativo (adimensional) e incide sobre a relação esforço-deslocamento, e não sobre a capacidade de deformação como tal. As ligações podem ter capacidades de deformações diferentes, mas mantêm a mesma ductilidade.

4.4. Acomodação a Deformações Volumétricas

De acordo com PCI (2001), a combinação de efeitos de retração, movimentação diferencial e dilatação térmica podem causar grandes tensões no concreto e nas ligações. Estas tensões devem ser consideradas em projeto a fim de dimensionar a ligação com capacidade de absorver, resistir, ou permitir, de acordo com as requisições de projeto, movimentações aliviando as tensões, pois estes esforços podem aparecer após anos de construção.

Conforme relatado por diversos autores, a variação volumétrica devido à variação de temperatura é significativa. PAULA (2007) analisou numericamente o efeito da variação de temperatura para os painéis de fachada horizontais. Quanto menor a deformação absorvida nas ligações, maiores os efeitos de flexão sobre os painéis. Observa-se que os valores encontrados são significantes tanto na ligação quanto para o esforço de flexão lateral transmitido ao painel.

De acordo com LATTA (1967a), os esforços da estrutura podem ser transmitidos para os painéis de fachada que não foram projetados para tal finalidade se não forem atribuídos espaçamentos e dispositivos adequados para a acomodação das variações volumétricas. Os espaçamentos devem acomodar as variações volumétricas da estrutura de apoio, caso contrário, surgirão patologias nos painéis, tais como, fissuras, lascagem do concreto e até mesmo o destacamento do painel.

4.5. Durabilidade

As ligações devem ser resistentes aos ataques do meio ambiente onde estarão expostos. Recomenda-se a proteção para as partes metálicas expostas, assegurando um desempenho satisfatório por parte das ligações durante toda a vida útil da estrutura, ou seja, as ligações devem possuir uma vida útil equivalente ao da estrutura, caso contrário é necessário prover acesso às ligações para manutenções periódicas.

As proteções aplicáveis às ligações podem ser: galvanização, recobrimento com espumas poliméricas, recobrimento com concreto, ou utilização de aço inoxidável. LATTA (1967b) percebeu que, normalmente, as temperaturas externa e interna da edificação são diferentes e, dadas as características de bom condutor de calor dos metais, pode ocorrer a

condensação de umidade sobre a ligação (quando a temperatura interna é maior que a temperatura externa). Outro efeito notado por LATTA (1967a) foi a forma como a corrosão pode causar a falha da estabilidade do painel, não apenas na corrosão da ligação, mas também, no efeito expansivo da corrosão sobre os componentes adjacentes e no desmembramento entre os materiais. De acordo com MAPA (2004), a aplicação de *prime* antiferrugem é, geralmente, suficiente para a proteção das ligações não expostas às intempéries, barateando o custo das ligações.

De acordo com SILVA (2003) e OLIVEIRA (2002), deve-se atentar para a não formação do efeito “pilha”, devido à diferenciação do potencial eletroquímico dos materiais.

Muitos componentes da ligação, tais como barras de ancoragem e de flexão, utilizam extrusão ou outros processos de trefilação a frio. Em alguns casos, o trabalho a frio pode tornar o aço frágil com o tempo. O enfraquecimento pode não ser visível mesmo depois da galvanização. Isto ocorre, pois o envelhecimento é relativamente lento à temperatura ambiente, mas é mais rápido em temperaturas elevadas em função do banho de galvanização (STURM, et al., 1985).

Sabe-se, conforme STURM (1985), que qualquer tipo de trabalho a frio reduz a ductilidade do aço. Operações de furos por punção, produção de fresa de pequenos diâmetros, corte ou encurvamento rápido podem causar enfraquecimento da tensão de envelhecimento de certos aços, particularmente os com alto teor de carbono. A seguir são apresentadas algumas recomendações:

- a. Escolher aço com teor de carbono abaixo de 0,25%;
- b. Selecionar aço com baixa condução de temperatura, já que o trabalho a frio eleva a temperatura de transição (ductil-frágil) e a galvanização pode aumentar ainda mais;

- c. Em aços com teor de carbono entre 0,1% e 0,25%, deve-se manter pelo menos o raio de dobra a 3 vezes a seção do aço. De outra forma, deve-se aliviar a tensão a 600 °C/h.inch;
- d. De preferência os furos devem ser perfurados ao invés de serem puncionados, em materiais com espessura maiores que 19 mm, se os furos forem puncionados, devem ser 3 mm menor do que o de projeto e então retificados;
- e. Seções de aço com espessuras maiores que 16 mm e projetados para resistir a esforços de tração devem ser cortados em máquina de corte;
- f. Em empregos críticos, o aço deve ser trabalhado a quente acima de 650°C de acordo com o fabricante. Quando não for possível evitar o uso de trabalho a frio, o alívio de tensão como descrito no item (c) deve ser efetuado.

4.6. Resistência ao fogo

Muitas das ligações dos painéis pré-fabricados de concreto não são vulneráveis ao fogo, não sendo necessário qualquer tipo de tratamento na medida em que os elementos utilizados na ligação com o concreto proporcionam uma condutibilidade térmica que reduz a temperatura do aço. Há, porém, algumas ligações que devem ser protegidas contra o efeito do fogo, devido às mudanças das características dos materiais e à possível falha da ligação. A proteção das ligações pode ser por envolvimento através do uso de concreto, placas de gesso acartonado, mastique ou tinta intumescente, ou materiais de proteção contra fogo (NPCAA, 2000). De acordo com FREIRE (2005), alguns materiais muito utilizados na proteção passiva de estruturas metálicas são vermiculita, gesso e amianto.

Apesar das partes metálicas embutidas no concreto terem temperaturas inferiores àquelas que não estão embutidas, por causa da condutividade térmica do concreto, recomenda-se sempre aplicar proteção suficiente para as partes expostas dos itens conectados, tais como parafusos, cantoneiras metálicas, etc. (EUROCODE, 2000; CEB, 1991).

4.7. Facilidade de produção e montagem

Toda concepção de um projeto de sistema de ligação para painéis de fachada deve estar imprescindivelmente ligado à forma de concretagem dos painéis. Dependendo do tipo de fôrma, a utilização de alguns tipos de ligações é prejudicada ou impossibilitada. Assim, para uma determinada concepção de um sistema de ligação, a forma deve ser coerente com os dispositivos adotados e vice-versa.

A máxima economia proporcionada na construção com pré-fabricados é alcançada quando as ligações são as mais simples possíveis e repetitivas, com desempenho adequado e com facilidade de produção. Caso contrário, a complexidade das ligações provoca maior dispêndio na fabricação das peças e na montagem dos painéis. A concepção do projeto de uma ligação visando a produtividade deve incidir sobre os seguintes aspectos, de acordo com NPCAA (2000) e PCI (2001) e FIB (2003):

- a. *Facilidade de manuseio e posicionamento*: dentro das tolerâncias admitidas e com um mínimo de esforço para sua execução. Há de se considerar que as ligações, apesar de serem extremamente importantes para os sistemas pré-fabricados, são executadas por profissionais operacionais;
- b. *Evitar o congestionamento de armadura*: nos locais onde se posicionam as ligações normalmente são requeridos armaduras de reforço, estribos, chapas, insertos, entre outros

- dispositivos. Nesses locais há uma grande concentração de elementos o que pode dificultar a penetração do concreto. Em caso de suspeita de sobre posicionamento de armaduras, aconselha-se desenhar a armação em escala real. Em certas condições vale o aumento do elemento para a redução e embutimento dos reforços;
- c. *Evitar penetração em fôrmas*: Furos em fôrmas devem ser evitados o máximo possível, exceto quando há uma grande quantidade de repetições. Os recortes em fôrma despendem maior controle de qualidade;
- d. *Padronização e repetição*: de ligações e detalhes, quanto menor a quantidades de detalhes e ligações, maior a produtividade. Deve-se visar, durante a concepção das ligações, a velocidade de montagem na obra, de maneira a liberar o mais rápido possível o equipamento de içamento, a não ser que os painéis sejam projetados para ser parte resistente da estrutura;
- e. *Considerar a ergonomia*: no uso de equipamentos, tais como soldas e chaves, em posições inadequadas. Por exemplo, deve-se evitar a utilização de solda sob uma laje, sobre a cabeça do trabalhador;
- f. *Resistência e dimensões de materiais*: evitar variedades de materiais com aspectos semelhantes, a fim de evitar erros de aplicação. Aplicar materiais com dimensões padrões disponíveis no mercado;
- g. *Possibilitar ajustes*: essencialmente todos os elementos pré-moldados devem apresentar esta característica para compensar as suas deformações e alinhamento. Todas as ligações, de preferência, devem proporcionar o ajuste nas três direções. Verificada a necessidade de adaptação da ligação durante a montagem, os projetistas e o engenheiro responsável pelo projeto devem ser consultados, verificando a segurança do dispositivo, ou prover e permitir soluções diferentes na ocorrência de problemas;

- h. *Considerar as tolerâncias da estrutura:* é necessário prever espaçamentos em projeto a fim de evitar necessidades de replanejamento das ligações durante a montagem, caso ocorra erro na execução da estrutura;
- i. *Utilizar menor quantidade de ferragens:* principalmente os insertos embutidos na concretagem, pois despendem tempo para serem locados de maneira firme e precisa;
- j. *Prover sistemas de escoramento:* para os painéis, até a consolidação de todas as ligações. Esta medida proporciona melhores condições de montagem ao liberar em menor tempo o equipamento de içamento dos elementos;
- k. *Planejamento de içamento ou transporte:* dos painéis com as ligações, a maior interferência das ligações está relacionada ao tempo de colocação dos painéis e, conseqüentemente, ao tempo gasto no canteiro (mobilização de equipamentos e mão-de-obra). Em situações que ocorram ventos durante a montagem dos painéis, a maior facilidade de consolidação reduz os problemas de instabilidade.

Durante a concretagem de algumas ligações nos painéis ou na estrutura a serem afixadas, STURM (1985) recomenda um cuidado no posicionamento das placas de cantoneira em relação à colocação e vibração do concreto sobre placas, perfis e insertos. Para a completa concretagem, devem ser disponibilizados furos de 6 a 19 mm para liberação de ar nas cantoneiras, como mostrado na Figura 4.5. Este procedimento permite ao ar incorporado no concreto ser liberado o que reduz a possibilidade de vazios sob as placas ou cantoneira. A real posição das ancoragens durante o lançamento do concreto deve ser pré-determinada para que os furos sejam feitos nas placas.

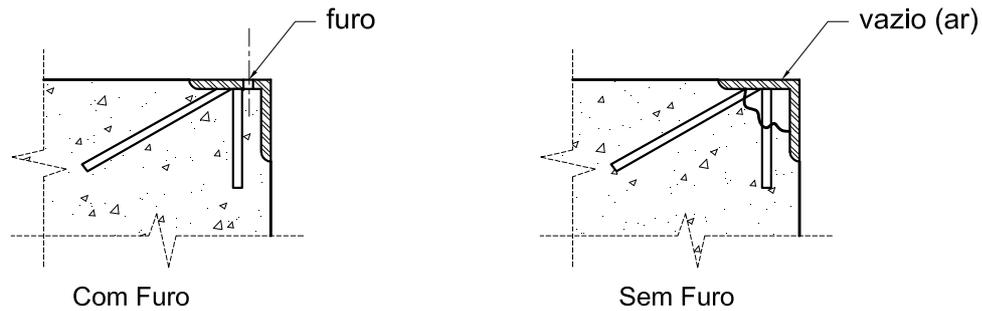


Figura 4.5: Furos para saída de ar em chapas e perfis (adaptado de STURM, 1985)

Outra técnica para eliminar vazios sob as placas é envolver o concreto numa fôrma e colocar as ancoragens por meio de sua vibração no concreto fresco. Exige-se uma supervisão especial para que haja uma adequada vibração e posicionamento das ancoragens no seu correto posicionamento para evitar o desconfinamento ou surgimento de vazios.

4.8. Materiais

Os materiais mais utilizados nos dispositivos de fixação de painéis são os metais, devido às suas propriedades de resistência mecânica e ductilidade. Existe uma grande variedade de metais, que se diferenciam pela suas composições químicas podendo ser caracterizados como metais mais ou menos nobres e, conseqüentemente, mais ou menos propensos à corrosão. Geralmente, os principais metais utilizados em dispositivos de fixação dos painéis são: o aço carbono (que pode ser revestido por galvanização ou eletroposição de metais como o zinco), o aço acimável ou patinável (comercialmente conhecido como aço SAC) e o aço inoxidável (OLIVEIRA, 2002).

De acordo com FREIRE (2005), os aços patináveis apresentam resistência à corrosão atmosférica até oito vezes maior que os aços-carbono comuns; resistência mecânica na faixa de 500 MPa e boa soldabilidade. A sua utilização não exige revestimento contra corrosão, devido à formação da “pátina” (camada de óxido compacta e aderente) em contato

com a atmosfera. O tempo necessário para a sua completa formação varia em média de 2 a 3 anos conforme a exposição do aço, ou pré-tratamento em usina para acelerar o processo.

Os aços patináveis utilizados em locais onde as condições climáticas não permitam o desenvolvimento da pátina protetora devem receber pintura quando expostas à atmosfera industrial altamente agressiva, atmosfera marinha severa, regiões submersa e locais onde não ocorram ciclos alternados de molhagem e secagem, ou quando for uma necessidade imposta no projeto arquitetônico. O aço patinável deve ser empregado com cautela, pois em intempéries óxidos de ferro podem escorrer junto à água da chuva e manchar os elementos.

Estudos verificam que os aços apresentam bom desempenho em atmosferas industriais não muito agressivas. Em atmosferas industriais altamente corrosivas seu desempenho é bem menor, porém superior à do aço-carbono. Em atmosferas marinhas, as perdas por corrosão são maiores do que em atmosferas industriais, sendo recomendada a utilização de revestimento.

Ainda de acordo com FREIRE (2005), a proteção pelo uso de zinco consiste em combinar o zinco com o ferro, resultando o zinco como anodo e o ferro como cátodo, prevenindo assim a corrosão do ferro, uma vez que o zinco atua como uma barreira protetora evitando a entrada de água e ar atmosférico, além de sofrer corrosão antes do ferro. A galvanização é o processo de zincagem por imersão a quente num recipiente com zinco fundido a 460°C. O zinco adere à superfície do aço através da formação de uma camada de liga Fe-Zn, sobre a qual se deposita uma camada de zinco pura de espessura correspondente a agressividade do meio a qual a peça será submetida.

O PCI (2001) recomenda alguns tipos de materiais para serem utilizados em ligações, insertos e metais embutidos no concreto:

- Placas, cantoneiras entre outros componentes estruturais: ASTM A36
- Soldas: - AWS D1.1
- Acabamentos: - “primer”: conforme especificação do fabricante
 - galvanização: ASTM A52
 - zincagem: MIL-P-2135
 - banho de cadmium: conforme recomendações de fabricantes

4.9. Coeficientes de redução de resistência

As ligações têm um papel fundamental para a segurança estrutural, o modo de falha da ligação pode ser previsto e determinado, aplicando-se coeficientes de majoramento em esforços e coeficientes de redução nas propriedades físicas dos materiais.

De acordo com PCI (2001), a resistência ao arrancamento para qualquer ancoragem no concreto deve ser baseada numa tensão uniforme de ductilidade de $2,8\lambda\phi\sqrt{f_c}$ agindo numa área efetiva de tensão, a qual é definida pela região projetada pelo cone de cisalhamento irradiando em direção à ligação, a partir da borda do suporte da ancoragem. A área efetiva é limitada pela superposição dos cones de tensão, pela interseção dos cones com as superfícies do concreto, pela área de suporte das cabeças de ancoragem e por toda espessura do concreto. O ângulo de inclinação para o cálculo da área projetada deve ser de 45°. De acordo com CANNON et al (1981), o fator ϕ deve ser assumido igual a 0,65 para apenas uma ancoragem; a menos que a ancoragem não seja confinada pela armadura do

painel, deve-se adotar um fator ϕ igual a 0,85. O mesmo autor ainda destaca a mudança da resistência do concreto a partir da 3ª. Edição do PCI, outrora com resistência dada por $4\phi\sqrt{f_c'}$.

ϕ = fator de redução de resistência, adimensional

λ = fator de correção relacionado ao peso da unidade de concreto; fator de amplificação de deflexão; $\lambda = 0,75$ para todo tipo de concreto leve; $\lambda = 0,85$ para concreto leve de areia; e $\lambda = 1,00$ para concreto de peso normal

f_c' = tensão característica do concreto à compressão, psi

Conforme PCI (2001) e CANNON (1995a), para a resistência a tração ou resistência ao cisalhamento, com a utilização de chumbadores metálicos, assume-se valores para o coeficiente ϕ , por unidade de chumbador, para:

- $f_c' \geq 20,69MPa$

$\phi = 0,85$; quando a falha não é governada pela capacidade do concreto;

$\phi = 0,65$; quando a falha é governada pelo concreto, através do colapso do cone de cisalhamento a 45°;

- $f_c' < 20,69MPa$

$\phi = 0,65$; quando a falha não é governada pela capacidade do concreto;

$\phi = 0,50$; quando a falha é governada pelo concreto, através do colapso do cone de cisalhamento a 45°.

Nas ancoragens não dúcteis, o fator de redução que é aproximadamente 25% maior do que o fator recomendado para ancoragens dúcteis.

STANTON et al. (1987), em seu trabalho observou que a adoção do fator ϕ menor que 0,85 é apropriada especialmente quando é utilizado em conjunto com fator de segurança de serviço igual a 4, em condições de efeito de arrancamento de chumbadores do concreto.

Em elementos de flexão se recomendada que as ligações de apoio sejam projetadas para um mínimo de força tração, agindo perpendicularmente ao elemento, de 0,2 vezes o esforço estático transferido ao apoio, a menos que um valor menor seja justificado pelo emprego apropriado de aparelhos de apoio (PCI, 2001). Já a norma BS 8110-1 (1997) estabelece que: para o cálculo dos esforços laterais, devem ser considerados: a soma de todas as reações estáticas aplicadas na horizontal e 2,5% do carregamento vertical da parede.

Em ligações soldadas o projeto deve ser dimensionado para a falha governada pela:

solda de entalhe, $\phi = 0,80$

solda de filete, $\phi = 0,75$

parte metálica da ligação (aço estrutural), $\phi = 0,75$

De acordo com CPCI (1994) e CSI (1994), são estabelecidos os seguintes fatores de redução de resistência dos materiais a seguir:

concreto, resistências dadas por $\phi_c \sqrt{f'_c}$ e $\phi_c \cdot f'_c$, e $\phi_c = 0,60$;

armadura (vergalhões), $\phi_s = 0,85$;

aço estrutural, $\phi_a = 0,90$,

Na revisão da norma NBR 9062/2006, recomenda-se que em ligações de painéis de fechamento em que o acesso para manutenção não é possibilitado deve-se adotar um fator de segurança $Y_n = 4$, sendo obrigatória a proteção contra corrosão em ligações metálicas ou emprego de aço inoxidável. Entretanto, entende-se que este fator de segurança é extremamente elevado quando comparado a outros sistemas estruturais onde as ligações não são acessíveis para inspeção.

De acordo com ACI (1993), quando são projetadas ligações baseadas em transferência de esforços por atrito, deve-se adotar um fator de segurança de 4 ou mais e pode ser utilizado somente onde o desempenho da estrutura não seja afetado pelo efeito de deslizamento ou trepidação e para painéis com módulos de grande massa (PCI, 2001).

O PCI (2004) destaca que para evitar o deslocamento dos elementos pré-moldados da edificação, em casos de impactos oriundos da força do vento e de explosões, deve ser evitado o uso de ligações por atrito. Nesses casos a falha deve ocorrer no elemento metálico das ligações, ou seja, no aço. Requer-se ao menos que as ligações estejam projetadas para 20% a mais da capacidade dos dispositivos da ligação, tanto a resistência à flexão quanto à resistência ao cisalhamento.

O PCI (2001) ainda cita que, para situações expostas a forças sísmicas, o UBC (Norma Unificada da Construção, dos EUA) exige que a ligação seja projetada com uma força equivalente a um 1/3 da força solicitada do painel e que o corpo da ligação seja dúctil. A norma exige que todas os chumbadores sejam projetados para 4 vezes a força de projeto em função da variabilidade operacional de instalação. IVERSON apud CRI (1995) levantou uma questão: “Qual é a diferença principal de projeto entre regiões sísmicas e não-sísmicas? Simplesmente, há mais uma força significativa na horizontal que deve ser considerada e os

movimentos mencionados anteriormente devem ser acomodados. Mas o problema é a consideração para manter a ductilidade”.

Capítulo 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Percebeu-se a falta de materiais técnicos para a fundamentação dos projetos aplicados no Brasil. Os projetos de ligações de painéis têm como base, literaturas e normas estrangeiras e principalmente o conhecimento empírico adquirido pelos profissionais e empresas. Entretanto, este aprendizado gera muitos gastos para as empresas e para o desenvolvimento do setor da construção no país. Os conhecimentos são transmitidos de forma interpessoal pelos profissionais mais experientes, porém sem uma metodologia.

Os aspectos técnicos e tecnológicos devem atingir a capacitação técnica dos profissionais envolvidos no setor de pré-moldados. São necessárias muitas pesquisas acerca dos painéis de fachada e a divulgação dos mesmos, justificado pela ocorrência de acidentes envolvendo painéis de fachada.



Figura 5.1: Cisalhamento do consolo de apoio de painel e quebra de painel (UEHARA)

A partir deste trabalho almeja-se maior disseminação do conhecimento a respeito de projeto e desenvolvimento de ligações para sistemas de fechamento empregando painéis horizontais pré-moldados de concreto. Foi realizada uma extensa investigação a respeito dos critérios internacionalmente difundidos para a criterização dos projetos de ligações.

Com base nos levantamentos realizados, podem ser apreendidas algumas considerações gerais para o projeto de ligações:

- a) Nos últimos anos foi percebido o crescimento e emprego de novas ligações baseadas no encaixe de componentes metálicos. Neste sentido, propõe-se a adoção de uma nova classificação como elementos de ligação por encaixe (item 3.4.4), ainda não discriminados em literaturas e normas disponíveis;
- b) Há um grau de contribuição dos sistemas de vedação de painéis para o comportamento global da estrutura;
- c) É necessário analisar a prioridade para consideração de projeto: rapidez de montagem ou comportamento estrutural global. Caso se dê prioridade para ligações que contribuam no enrijecimento da estrutura é necessário o emprego de dispositivos de ligação rígidos para garantir a interação com a estrutura, os quais são normalmente alcançados por emprego de solda ou grauteamento. Dispositivos de rápida execução normalmente não oferecem rigidez significativa, por serem, em sua maior parte, parafusadas ou de encaixe;
- d) O maior emprego de painéis horizontais ocorre em galpões industriais e com até 12 metros de altura. Nestas tipologias de edificação e em função do custo de equipamentos de içamento, os projetistas estão priorizando ligações de rápida execução durante a montagem;

- e) Ao se considerar ligação rígida é fundamental a verificação dos efeitos de variação volumétrica somada à excentricidade da ligação a fim de evitar o surgimento de esforços de flexão lateral no painel, causando diversas patologias. As ligações rígidas podem ser interessantes na fachada em que o plano fica na direção da menor inércia da estrutura. Normalmente a maior área de painéis, o plano está direcionado para o sentido de maior inércia da estrutura de suporte, sendo questionável, neste caso o emprego de ligações rígidas;
- f) Preferencialmente, projetar as ligações para permitir as movimentações conforme a função da ligação. Ainda não se têm sistematizados processos de dimensionamento para a consideração da interação painel x estrutura e são necessários processos de cálculo complexos para sua verificação;
- g) A forte tendência de mercado é por demanda de painéis de fachada horizontais, por causa de seu aspecto estético. Assim, para se propiciar tal característica os projetistas estão em busca de soluções de ligações ocultas, sem que haja comprometimento significativo da montagem;
- h) A NBR 9062/2006 recomenda a aplicação de um coeficiente de majoração de cargas igual a 4 para aquelas ligações em que não são dispostos meios de acesso para inspeção. Em consultas realizadas a projetistas e calculistas esse fator de segurança não é empregado em função de se justificar a inacessibilidade de outras tipologias de ligação em outros sistemas estruturais ou até mesmo em ligações de elementos pré-moldados, ou seja, onde se aplica o coeficiente de 1,4 para o dimensionamento das ligações. Em literaturas estrangeiras não foi observada tal consideração. Ademais esta consideração vai de encontro das recomendações internacionais para o não enrijecimento, já que tal fator de majoração praticamente enrijece a ligação. Há de se levar em conta que as ligações de

gravidade podem sofrer impacto durante a fase de montagem danificando a ligação e seus efeitos devem ser considerados no projeto da ligação;

- i) Neste tipo de painel o custo direto das ligações pode variar de 5 a 15% do custo por metro quadrado de painel. Quanto maior o tamanho dos painéis menor o custo total do sistema de painéis e maior a eficiência operacional;
- j) Deve-se verificar a real necessidade de proporcionar o prumo dos painéis durante a concepção da ligação;
- k) Os painéis concebidos em suspenso (pendurados) possibilitam ganho significativo durante a montagem dos painéis;
- l) As ligações, em sua maioria em dispositivos metálicos, merecem atenção pela possibilidade de corrosão causando a ruptura por expansão ou o comprometimento do acabamento do painel. Dependendo do ambiente onde estão expostos merecem mais ou menos proteção, no entanto, o tempo ainda é fator desconhecido;
- m) O desenvolvimento de ligações para painéis de fachada merecem a execução de um protótipo a fim de verificar a facilidade de montagem e as variáveis de tolerâncias dimensionais dos materiais e de produção.

Sugestões para pesquisas futuras:

- n) coeficientes de majoração de cargas para as ligações;
- o) critério para projeto de painéis estruturais;
- p) estudo e sistematização de dimensionamento de chumbadores;
- q) caracterização de painel horizontal estrutural para apoio de lajes;

r) avaliação de painéis resistentes ao fogo;

Além da pesquisas futuras, verifica-se a necessidade da elaboração de uma norma que prescreva os critérios para dimensionamento das ligações e dos painéis de fachada, para que o sistema possa ser empregado em grande escala e com critérios bem definidos para o bom desempenho e segurança dos sistemas de fechamento em painéis de concreto pré-moldado.

Quanto aos objetivos determinados no início desta pesquisa:

OBJETIVO 1) Além da conceituação e caracterização dos principais tipos de ligações para painéis de fachada horizontais, verificou-se a necessidade de inclusão de uma nova classificação para os elementos de ligação.

OBJETIVO 2) Foram relacionadas as indicações gerais para projeto, possibilitando ao projetista e calculista uma visão sistêmica dos processos envolvidos para a viabilização das ligações, partindo do projeto, ao uso final dos painéis. Com as informações contidas neste trabalho, almeja-se fornecer conhecimentos significativos para todos os envolvidos, ao listar as principais patologias, preocupações e requisitos para se obter um sistema de ligação eficaz e seguro.

OBJETIVO 3) Foram identificadas diversas tipologias de ligações de gravidade e contraventamento apresentadas ao longo do trabalho, possibilitando ao projetista a apreensão de mecanismos e dispositivos para a concepção de ligações para painéis de fachada horizontais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP-ABCIC. (2003). **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. Tradução por FERREIRA, M.A.; de: ACKER, A.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 : Projeto e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 9062**. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT: 2006.

ACI (1993). **ACI Structural Journal**. V.90, No.1.- Design Recommendations for Precast Concrete Structures.

ACI (2004). AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI Manual of Concrete Practice**. Farmington Hills.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI-533R (1992). **Precast concrete wall panels**.

BS 8110-1 (1997). BRITISH STANDARD. **Structural Use of Concrete – Part 1: Code of Practice for design and Construction**. 2nd Ed. Mar.

CANNON, RW. et al. (1981, jul.). **Guide to the Design of Anchor Bolts and Other Steel Embedments**. ACI Structural Journal. V. 3, No. 7.

CANNON, RW. (1995a). Straight Talk About Anchorage to Concrete – Part II. **ACI Structural Journal**. V. 93, No. 6. Nov-Dez.

CASTILHO, V.C.; EL DEBS, M.K.; GIL, L.S.(1998) Contribuição dos Painéis Pré-moldados de fechamento no enrijecimento da estrutural principal: estudo de caso. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO, 40, Rio de Janeiro, 1998, **Anais**. Rio de Janeiro, Ibracon.

CEB (1991, jul). **CEB Bulletin** N° 208 – Fire design of concrete structures Comité Euro-International du Béton.

COELHO, R. (2002). **Interface entre perfis estruturais laminados e sistemas complementares**. Coletânea do uso do aço. Ed. 1. disponível em :<
[http://www.acominas.com.br/br/produtos/manuaistecnicospf.asp?flag=S&secaosup=caracteris](http://www.acominas.com.br/br/produtos/manuaistecnicospf.asp?flag=S&secaosup=caracteristicatecnicapf)
ticatecnicapf >

CHOUINARD, K.L et al. **CMHC's Best Practice Guide** – Architectural Precast Concrete Walls. Disponível em: < [www.morrisonhershfield.com/papers /Precast9th.pdf](http://www.morrisonhershfield.com/papers/Precast9th.pdf) >. Acesso em: 7 dez. 2006.

CLION (2001). **Clion Technical Handbook**. Catálogo de produtos. Tóquio, Japão.

COOK, R.A., DOERR, G.T., KLINGNER, R.E. (1993). **Bond Stress Model for Design of Adhesive Anchors**. ACI Structural Journal. V. 90, No. 5. Set-Out.

CPCI. (1994, dez.). Canadian Prestressed/ Precast Concrete Institute. **CPCI – Design Manual**. 3rd. Edition.

CPCI. (Canadian Prestressed/ Precast Concrete Institute). **Architectural Precast Concrete**. Technical Brochure. Disponível em: < <http://www.cpci.ca> >. Acesso em: 5 dez. 2006.

CPCI. (2001). Canadian Prestressed/ Precast Concrete Institute. **Designer's Notebook – Design Economy**. Disponível em : < <http://www.cpci.ca> >. Acesso em: 15 abr. 2007.

CRI (1995, fev.). Cladding Research Institute – California. **Literature Review on Siesmic Performance of Building Cladding Systems**. Report to U.S. Department of Commerce.

CSI (1994). CANADIAN STANDARD ASSOCIATION. **Design of Concrete Structures**. A23.4-94. Toronto. Dec.

EL DEBS, M. K. (2000). **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. Publicação Escola de Engenharia de São Carlos, SP.

ELLIOTT, K.S. (2005). **Precast Concrete Structures**. 2nd Edition. 375p. Elsevier Butterworth-Heinemann. London, England.

FIB (2003). Organizer: ENGSTRÖM,B. **Structural Connections for Precast Concrete Building - Manual**. Bruxelas. Draft.

FRANCA, M.P.A., OLIVEIRA, R.A. Estudo Comparativo de Capacidade de Carga de Chumbadores Instalados em Peças de Concreto. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO, 44, Belo Horizonte, 2002, **Anais**. Minas Gerais, Ibracon.

EUROCODE (2000, out.). **Eurocode 2: Design of concrete structures** – Part 1: General rules – Structural fire design; prEN 1992, 1st draft.

FOLCH, A.T. (2004). **Manual Munte de Projetos em Pré-fabricados de Concreto**. 1^a. Ed., Pini. São Paulo.

FOWLER, J.R. **Architectural Precast Concrete Walls**. Disponível em: < <http://www.cpci.ca/?sc=news>>. Acesso em: 20 dez. 2004.

FREEDMAN, S. (1999) Loadbearing Architectural Precast Concrete Wall Panels. **PCI JOURNAL**, set. out, pp.92-115.

FREIRE, C. **Proteção Contra Corrosão**. Disponível em: < http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=159>. Acesso em 15 jun. 2005.

KRIZ, L.B., RATHS, C.H., (1964, fev.) **Connections in Precast Concrete Structures-Strength of Corbels**. PCI Journal, V. 10, No. 1.

LATTA, J.K. (1967a, set.). **Precast Precast Concrete Walls - Problems With Conventional Design**. CBD-94. IRC-Canada. Disponível em: < <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd-e.html> >. Acesso em: 6 nov. 2004.

LATTA, J.K. (1967b, out.). **Precast Concrete Walls – A new basis for design**. CBD-94. IRC-Canada. Disponível em: < <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd-e.html> >. Acesso em: 6 nov. 2004.

LIMA, M.C.V., CASTILHO, V.C., GESUALDO, F.A.R. (2005). Efeito de Enrijecimento da Estrutura Principal por meio de Painéis Pré-moldados de Fechamento. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO, 47, Recife, 2005, **Anais**. Pernambuco, Ibracon.

MCMULLIN,K. (2004). **Japanese Precast Concrete Cladding Industry**. Disponível em: < <http://www.engr.sjsu.edu/mcmullin/research/cladding/> >. Acesso em 15 set. 2004.

MAPA (2004), Mid-Atlantic Precast Association. **Making the Connection**. Disponível em: <<http://www.cpci.ca/?sc=news>>. Acesso em: 12 jan. 2005.>

MC (2004), MC Magazine Archive. **Precast Installation Procedures**. Disponível em: <<http://www.precast.org/publications/mc/archive.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2005.>

NPCAA (1995). (National Precast Concrete Assotiation Australia). **Precast, Residential Construction**. NPCAA Article, Jan. (n.11)

NPCAA (2000). (National Precast Concrete Assotiation Australia). **Precast Connections and Fixings**. NPCAA Article, Abr.Set.Dez. (n.23, n.24, n.25)

OLIVEIRA, L.A. (2002). **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. Dissertação de MESTRADO. Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PCC-EPUSP. São Paulo.

PAIVA, P. (2002). **Painéis de Fachada**. Apresentação de "slides" de palestra ocorrida em Curitiba.

PAULA G.F. (2007). **Contribuição de Painéis Pré-moldados de concreto no enrijecimento da estrutura principal**. Dissertação de MESTRADO. Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal de Uberlândia. FECIV. Uberlândia.

PCI (1985), Committee on Tolerances. **Tolerances for Precast and Prestressed Concrete**. PCI Journal, V. 30, No. 1.

PCI (2001), PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE,. **Design Handbook**. Vol. 1. Chicago, ILLINOIS, PCI.

_____ (2004) **Design Handbook**. Vol. 6. Chicago, ILLINOIS, PCI.

PCI (2008), PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. **PCI Connections Manual for precast and prestressed concrete construction**. First Edition. USA.

PCI (2004). Designer's Notebook. **Blast Considerations**. Part III. PCI. Disponível em <www.pci.org/pdf/DN/DN_blast3.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2004.

SILVA, M.G, SILVA, V.G.(2003). **Manual de Construção do Aço**. Painéis de Vedação. disponível em :< <http://www.acominas.com.br/br/produtos/>

manuaistecnicospf.asp?lag=S&secaosup= aracteristicatecnicapf > Acesso em : 25 nov. 2004.

SORENSEN, K., et al. (2000). **Tolerances for Precast and Prestressed Concrete Construction**. 1st Ed. PCI.

STANTON, J.F., et al. (1987, mar. abr.). **Moment Resistant Connections and Simple Connections**. PCI Journal, Vol. 32, No. 2.

STURM, E.R., et al. (1988). **Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete**. 2nd Ed. PCI. Chicago.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)