

Rafael de Camargo Bertoli
RA: 002200200274-10º semestre

CONCRETO PRÉ – MOLDADO
EXECUÇÃO DE VIGAS E PILARES

Itatiba

2007

Rafael de Camargo Bertoli
RA: 002200200274 10º semestre

CONCRETO PRÉ – MOLDADO
EXECUÇÃO DE VIGAS E PILARES

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, sob a orientação do Prof. Dr. Adão Marques Batista, como exigência parcial para conclusão do curso de graduação.

Itatiba

2007

BERTOLI, Rafael de Camargo. **Concreto pré-moldado – Execução de vigas e pilares.** Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado na Universidade São Francisco pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Adão Marques Batista

USF – orientador

Prof. Dr. André Bartholomeu

USF – examinador

Eng. Élcio de Freitas Pereira Filho

USF - examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo pela vida que tenho e por ter me dado forças principalmente nas horas difíceis da vida e para seguir o meu caminho.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e incentivaram tanto nos estudos como em minha vida profissional.

Aos meus amigos de classe: Élcio, André, Flávio e Emerson, pelo companheirismo, ajuda e incentivo durante os anos de vida acadêmica.

Aos amigos e companheiros de vida que estão sempre juntos compartilhando os momentos bons e ruins da vida.

Agradeço em especial ao meu orientador o Prof. Dr. Adão Marques Batista, pela atenção, incentivo, dedicação, esclarecimentos e apoio para a finalização deste trabalho.

“O tempo e o espaço são modos nas quais pensamos e não condições na quais vivemos.” (Albert Einstein)

BERTOLI, Rafael de Camargo. **Concreto pré-moldado – Execução de Vigas e Pilares**. 2007. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica da Área de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade São Francisco, Itatiba.

RESUMO

O trabalho realizado a respeito da execução de vigas e pilares de concreto pré-moldado ao longo do tempo vem aumentando sua utilização no mercado. O trabalho demonstra os benefícios relacionados ao sistema pré-moldado como agilidade, versatilidade, menor custo e tempo de execução. Observou-se que o sistema de concreto pré-moldado deve ser projetado, havendo cuidado na execução, pois é necessária muita atenção nas tolerâncias das ligações entre as peças para não apresentar futuros problemas. A pesquisa realizada fornecerá informações importantes e necessárias à execução dos pilares e vigas pré-moldados, iniciando pelo projeto, tendo continuidade pelo planejamento de execução, produção das peças que tem início desde a moldagem até o transporte na obra, bem como os tipos de ligações e seus cuidados, até suas vantagens e desvantagens. Todos os assuntos relacionados estarão a disposição ao longo desta pesquisa.

Palavras-chave: CONCRETO, PRÉ-MOLDADO, PRÉ-FABRICADO.

BERTOLI, Rafael de Camargo. **Concreto pré-moldado – Execução de Vigas e Pilares**. 2007. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica da Área de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade São Francisco, Itatiba.

ABSTRACT

The work carried through regarding the execution of beams and pillars of concrete throughout the time comes increasing it's use in the market. The work demonstrates to the benefits related to the system daily pay-molded as agility, versatility, minor cost and time of execution. It was observed that the system of daily pay-molded concrete must be projected, having well-taken care of the execution, therefore is necessary much attention in the tolerances in the linkings between the parts not to present futures problems. The carried through research supplies important information and necessary the execution of them daily pay-molded pillars and beams, initiating for the project, having continuity for the planning of execution, production of parts that beginning has since the molding ties the transport in the workmanship, as well as the types of linkings and it's cares, tie it's advantages and disadvantages. All the related subjects will be the disposal throughout this research.

Keywords: CONCRETE, PAY-MOLDED CONCRETE, PRECAST CONCRETE.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	x
INTRODUÇÃO.....	1
1. PROJETO ESTRUTURAL DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	2
1.1 Fôrma dos elementos pré-moldados	2
1.2 Análises estruturais de projetos	3
2. PLANEJAMENTO EM SISTEMA PRÉ-MOLDADO	5
2.1 As etapas de uma construção.....	5
3. PRODUÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO	7
3.1 Atividades envolvidas na execução dos elementos	7
3.2 Processos de execução de pré-moldados	8
3.2.1 Fôrmas	9
3.2.2 Adensamento	11
3.2.3 Desmoldagem, aceleração de endurecimento e cura	11
3.2.4 Manuseio e armazenamento	12
4. PILARES	15
4.1 Cobrimento e detalhamento.....	15
4.1.1 Parâmetros do concreto	17
4.2 Amarração entre alvenaria e pilar.....	17
4.3 Sistema de águas pluviais	18
4.4 Consoles	20
5. VIGAS	23
5.1 Vigas retangulares	23
5.2 Vigas protendidas	24
5.3 Vigas calhas.....	25
5.4 Vigas-suporte protendidas	26
5.5 Vigas platibandas.....	27
5.6 Deformações.....	29
5.7 Instabilidade lateral.....	30
5.8 Estocagem.....	30
6. LIGAÇÕES	32
6.1 Tipos de ligações	32
6.1.1 Ligação isostática	32
6.1.2 Ligação rotulada	34
6.1.3 Ligação semi-rígida	35
6.1.4 Ligação engastada	36
6.1.5 Ligação pilar-fundação	37
6.1.6 Ligação viga-pilar.....	39
7. TOLERÂNCIAS	42
8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO	45
8.1 Vantagens	45
8.2 Desvantagens	45

9.	CONCLUSÃO.....	47
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE FIGURAS

• Figura 1.2 – Ligação articulada entre pilar e viga pré-moldados	4
• Figura 2.1 – Organização das etapas de uma construção	6
• Figura 3.1 – Etapas envolvidas na execução de pré-moldados de fábrica	7
• Figura 3.2 – Ciclo de execução com fôrma móvel	8
• Figura 3.2.1 – Detalhes relativos à execução dos elementos.....	10
• Figura 3.2.4 – Dispositivo auxiliar tipo laço chumbado.....	12
• Figura 3.2.5 – Elementos pré-moldados sendo içados pelo guindaste acoplado ao caminhão.....	13
• Figura 4.2.1 – Detalhe da amarração da alvenaria no pilar	17
• Figura 4.3.1 – Pilar com tubulação de ϕ 100mm para o escoamento das águas pluviais	18
• Figura 4.3.2 – Caixa de inspeção e controle de águas pluviais	19
• Figura 4.4.1 – Vigas tipo “I” apoiadas em consoles trapezoidais	20
• Figura 4.4.2 – Dente de Gerber, viga e consoles retangulares	21
• Figura 5.1 – Viga armada retangular com dente de Gerber.....	23
• Figura 5.2 – Vigas pré-moldadas em formato “I”	24
• Figura 5.3 – Exemplo de viga-calha em formato “J”	25
• Figura 5.4 – Viga-suporte com estribos a espera da segunda concretagem	26
• Figura 5.5 – Detalhe do suporte de apoio inferior	28
• Figura 5.8 – Foto das peças preparadas para estocagem das vigas pré-moldadas no canteiro de obras e detalhe das alças para içamento.....	30
• Figura 6.1.1 – Viga fixada com pino de ϕ 12,5mm e neoprene	33
• Figura 6.1.5 – Ligação pilar-fundação através do cálice moldado no local	36
• Figura 6.1.6 – Ligação viga-pilar com solda metálica	38
• Figura 6.1.7 – Chumbadores fixados no console do pilar aguardando fixação da viga	39

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1 – Vantagens e desvantagens de execução da fôrma móvel comparada com a pista de concretagem9
- Tabela 4.1 – Classes de Agressividade Ambiental..... 15
- Tabela 5.5 – Diferentes medidas de vigas suporte-peitoril27
- Tabela 5.7 – Espessuras mínimas das abas.....29
- Tabela 6.1.2 – Máxima força de cisalhamento, característica resistente por pino34
- Tabela 7 – Tolerâncias máximas admissíveis na execução.....42
- Tabela 7.1 – Tolerâncias máximas para a montagem e locação em pré-moldado42

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

m: Peso do elemento

Mres: Momento resistente da seção

h: Altura da seção transversal

g: Peso próprio do elemento por unidade de comprimento

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

ARI: Alta Resistência Inicial

ϕ : Diâmetro

CAA: Classe de Agressividade Ambiental

cm: Centímetro

m: metro

%: Porcentagem

mm: Milímetro

fck: Resistência característica do concreto

fcj: Resistência característica a “j” dias

MPa: Unidade de medida do sistema internacional

cm²: Centímetro quadrado

m³: Metro cúbico

Kg: Kilograma

Kgf: Kilograma-força

Esec: Módulo de elasticidade a secante

a/c: Relação água-cimento

CA-25: Aço para concreto armado de 250 MPa

CA-50: Aço para concreto armado de 500 MPa

CP190RB: Concreto protendido 190 relaxação baixa

INTRODUÇÃO

A utilização do concreto pré-moldado no Brasil tem sido de uma maneira geral, relativamente baixa ao compararmos com países mais desenvolvidos. O concreto pré-moldado é assim definido como um processo de fabricação ou construção em que a obra é moldada fora de seu local de atuação.

Conforme observado, a construção civil possui uma indústria atrasada com relação a outros ramos industriais do mercado. Entretanto, com o emprego do pré-moldado aumenta o desenvolvimento tecnológico do país, reduz o custo de materiais com fôrmas, concreto e armaduras, os quais são de maior custo no concreto armado, exigindo uma maior valorização da mão de obra no sentido da qualidade de execução.

É preciso destacar que, com o uso do concreto pré-moldado, estariam sendo melhoradas as condições de trabalho na construção civil, principalmente nas estruturas, como pilares, vigas e lajes que terão um aumento considerável na produtividade se comparados ao concreto armado convencional.

Segundo o Manual Técnico de Pré-fabricados de Concreto (1986), o período pós Segunda Guerra Mundial, foi caracterizado pela demanda de construções, empregando assim o sistema pré-fabricado, visando de início a racionalização.

Os países do continente europeu, bem como os Estados Unidos, tiveram de reconstruir suas cidades praticamente devastadas pela Segunda Guerra Mundial. Com o desenvolvimento da racionalização e necessidade de reconstrução rápida, foi notável o grande uso do sistema pré-moldado de concreto na construção de escolas, hospitais, edifícios, pontes, etc.

Este trabalho tem como objetivo demonstrar a execução de pilares e vigas em concreto pré-moldado. Primeiramente, verificam-se os cuidados na execução dos projetos em pré-moldado como a forma dos elementos e análises estruturais para um bom desempenho das peças. Contudo, serão discutidos nos capítulos a seguir o planejamento, a produção e execução de vigas e pilares em sistema pré-moldado.

1. PROJETO ESTRUTURAL DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Numa construção toma-se como prioridade inicial, a elaboração de um projeto prevendo detalhes e especificações minuciosas, especialmente quando se trata de concreto pré-moldado. Desta maneira, a execução dos projetos em pré-moldados é mais trabalhosa, tendo em vista, o planejamento da construção quanto às estruturas e sua forma de produção considerando as várias etapas da produção, bem como a execução dos elementos, o transporte, a montagem e a realização das ligações.

No entanto, grande parte dos projetos são elaborados para aplicações com concreto moldado no local, podendo posteriormente haver uma mudança para aplicações em concreto pré-moldado, o qual não foram previstas e dependendo do caso havendo certo prejuízo no projeto. Na prática, tanto no Brasil como em países desenvolvidos isso ocorre pelo menos em 50% dos casos.

EL DEBS (2000, p.64) afirma que,

No projeto estrutural devem ser previstas as interações com outras partes que formam a construção, como as instalações (hidráulicas, sanitárias, elétricas, de águas pluviais, ar condicionado, etc.), as esquadrias ou outros elementos, como a impermeabilização e o isolamento térmico. No caso de se empregar a pré-moldagem, esta previsão é mais importante, pois, as improvisações não são compatíveis com a pré-moldagem.

Entretanto, as diretrizes citadas por EL DEBS (2000), estão direcionadas para a industrialização da construção, que por esta razão, devem-se analisar as situações específicas para cada caso, principalmente, as etapas de execução, como montagem das armaduras, moldagem e desmoldagem, relacionadas ao tipo de elemento.

Assim, pode-se afirmar que o projeto bem elaborado deve prever todas as etapas das edificações, sendo que todos os detalhes analisados serão realizados com sucesso e com o mínimo possível de erros e imprevistos ao longo de sua execução.

1.1 Formas dos elementos pré-moldados

Geralmente, ao iniciar a elaboração de projetos pré-moldados procura-se diminuir tanto o peso dos elementos como também o consumo dos materiais, cuja variação acontece na

fôrma da seção transversal ou do elemento. Desta maneira, os elementos submetidos à flexão, juntamente com a resistência e peso específico dos materiais, deve ser desenvolvido o cálculo relacionado ao peso do elemento através de um parâmetro “ m ”, cuja expressão pode ser definida por:

$$m = \frac{M_{res}}{hg}$$

Onde:

M_{res} – momento resistente da seção;

h – altura da seção transversal;

g – peso próprio do elemento por unidade de comprimento

Por sua vez, EL DEBS (2000, p.72),

Referindo-se ao peso dos elementos, colocou que deve-se procurar aumentar o valor de m , o que pode ser obtido com o aumento do valor do rendimento da seção, relacionando apenas com o consumo de material, o aumento da resistência do concreto, a redução do peso específico do concreto ou ainda com a combinação dessas variáveis.

Portanto, cabe salientar que o emprego de concreto armado, direciona elementos pré-moldados a ficarem relativamente pesados em relação a outros materiais principalmente com aço e madeira.

1.2 Análises estruturais de projetos

No projeto de concreto pré-moldado procura-se garantir a rigidez e a estabilidade da construção, aspectos esses, que merecem maior atenção devido à existência de ligações articuladas conforme mostra Figura 1.2, principalmente entre viga e pilar que é mais freqüente.



Figura 1.2 – Ligação articulada entre pilar e viga pré-moldados.

Deve-se considerar nessas condições as resistências efetivas do concreto para que os elementos satisfaçam as etapas de desmoldagem, armazenamento, transporte e montagem.

De acordo com a NBR 9062(1985),

Os desenhos devem ser elaborados com vistas não somente à produção e montagem de estrutura, como também à facilidade do controle de qualidade durante o processo de produção e do elemento acabado e devem conter referências, quando for o caso, a outros desenhos relacionados.

Por outro lado, é necessário destacar também a transmissão de forças nas ligações que produzem variações como retração, temperatura e fluência. Por sua vez, EL DEBS (2000, p.76) diz que as forças que ocorrem devido a essas ações dependem do grau de restrição ao movimento do elemento que a ligação promove.

2. PLANEJAMENTO EM SISTEMA PRÉ-MOLDADO

Na execução de um projeto é necessário organização, planejamento e diversos tipos de pesquisas, as quais devem ser organizadas em etapas. Nestas etapas serão elaboradas diversas análises técnicas perante o projeto e a construção. Assim, na etapa de projeto considera-se o tempo, custo, mão de obra utilizada, contrato, seqüência de trabalho e principalmente o método a ser utilizado.

Segundo HALPIN (1992, pg.3) uma das maiores questões críticas de um Engenheiro Civil é definir qual técnica de construção a ser empregada, pois o número e tipos de métodos empregados são vários. Podem-se destacar as técnicas de concreto armado, protendido, pré-moldado dentre outras.

Hoje, surgem novas tecnologias na construção civil e as atuais são adaptadas para uma grande variedade de técnicas construtivas.

2.1 As etapas de uma construção

A obra geralmente é organizada através de etapas de execução. Estas, por sua vez, são derivadas de um planejamento e análise do projeto executivo. Especificamente, são identificadas quatro etapas a seguir:

- 1) Organização: é definida pelas várias áreas de gerenciamento como portfólio de projetos, custos totais, duração, fluxo de caixa e a interação entre funcionários do escritório e da obra;
- 2) Projeto: é definida por tipos de projeto como controle de custos, análises de projeto, contratos, arquivos, especificações;
- 3) Coordenação: Foca-se no trabalho de campo. Usualmente esta fase é tão complexa que para tanto é dividida em grupos distintos, cada um com sua própria seqüência de trabalho.

- 4) Produção: é definida pela identificação e distribuição do trabalho para os funcionários do campo.

As etapas destacadas anteriormente estão relacionadas de acordo com fluxograma mostrado na Figura 2.1:

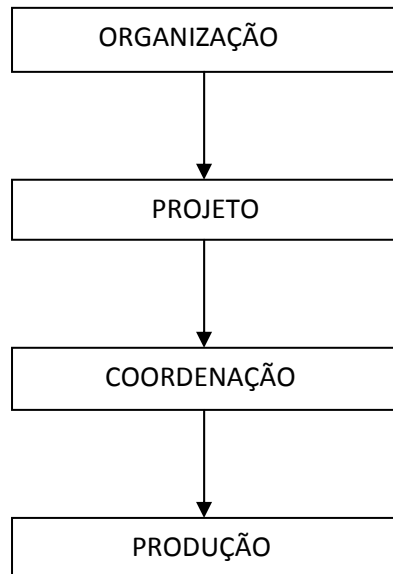


Figura 2.1 Organização das etapas de uma construção.

Fonte: modificada de HALPIN (1992).

3. PRODUÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Na produção de estruturas em concreto pré-moldado englobam-se todas as etapas desde o início da execução dos elementos até o final das ligações implementadas. Perante esta definição temos dois tipos de produção em concreto pré-moldado, a saber: os concretos pré-moldados em fábrica que englobam as etapas de moldagem e execução, transporte da fábrica até a obra, montagem e execução das ligações, e os concretos pré-moldados executados em canteiros que das etapas anteriores somente não inclui o transporte do material até a obra.

3.1 Atividades envolvidas na execução dos elementos

Para EL DEBS (2000, p.33) deve-se dar ênfase ao pré-moldado de fábrica, sendo que estes podem ser divididos em três fases de execução (Figura 3.1) tais como:

a) Atividades preliminares: incluindo preparo da armadura (tipo, corte e dobra), dosagem e mistura do concreto, armazenamento de matéria-prima, transporte da armadura e do concreto misturado até a fôrma;

b) Execução: limpeza da fôrma, aplicação de desmoldante, montagem da armadura, inserção de peças complementares, fechamento de fôrma, lançamento e adensamento do concreto, cura do concreto e desmoldagem;

c) Atividades finais: transporte interno, acabamentos finais (inspeção, tratamentos, eventuais reparos), armazenamento.

Todas essas etapas podem ser assim sintetizadas na figura 3.1, ou seja:

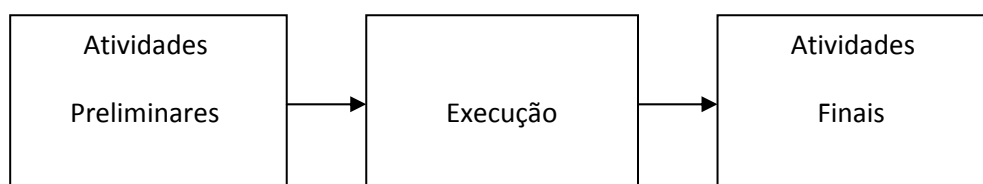


Figura 3.1 Etapas envolvidas na execução de pré-moldados de fábrica.

Fonte: modificada de EL DEBS, 2000.

3.2 Processos de execução de pré-moldados

Os processos de execução de pré-moldados, em geral, são descritos através dos seguintes tipos: execução com fôrma estacionária, execução com fôrma móvel, execução em pista de concretagem.

O processo de execução de fôrma estacionária indica a execução dos trabalhos em torno das fôrmas, ficando em todas as atividades na mesma posição.

Já o processo de execução de fôrma móvel, caracteriza-se pela execução dos trabalhos com as fôrmas em movimento, por todas as atividades mantendo a produção em equipes estacionárias como mostra a Figura 3.2. Este processo é conhecido também como carrossel.

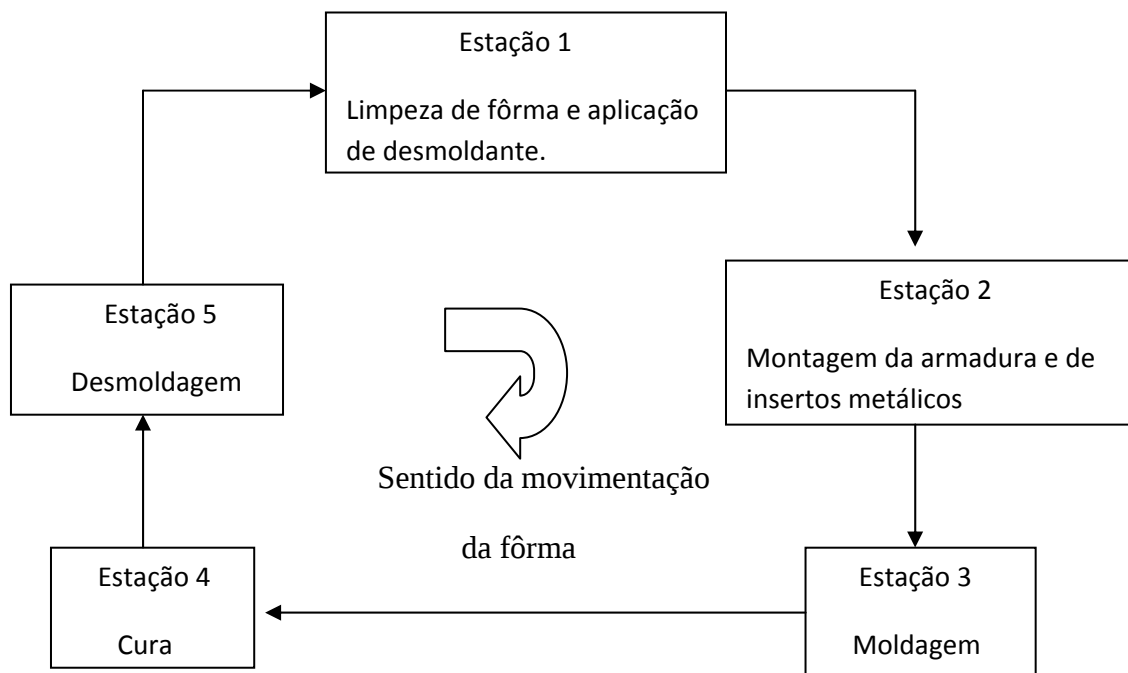


Figura 3.2 Ciclo de execução com fôrma móvel.

Fonte: modificada de EL DEBS, 2000.

Contudo, o processo de execução chamado pista de concretagem aborda um tipo e produção seqüencial no decorrer de uma linha de fôrma contínua ou descontínua. Normalmente, emprega-se esse tipo de processo em elementos protendidos mediante pista de protensão.

Cabe destacar que na escolha do processo de execução é necessário considerar diversos fatores como: investimentos, especialização de produção, produtividade desejada, emprego ou não da pré-tração da armadura e da forma do elemento.

Considerando-se as formas de execução mencionadas anteriormente possibilitam maiores ganhos em termos de produtividade através da execução em pista de concretagem ou a execução com fôrma móvel. A seguir a Tabela 3.1 se apresenta as vantagens e desvantagens da execução com fôrma móvel em relação à execução em pista de concretagem.

Tabela 3.1 Vantagens e desvantagens de execução de fôrma móvel comparada com pista de concretagem.

Vantagens	Desvantagens
a) Possibilidade de mudar a produção de um tipo de elemento de um dia para o outro; b) Produção simultânea de diferentes elementos; c) Instalações físicas de menor área; d) Menor consumo de energia no caso de cura térmica; e) Mais adaptável à automação; f) Possibilita o emprego de mão de obra menos qualificada; g) especialmente vantajosa para elementos não protendidos.	a) Maiores investimentos iniciais, especialmente em fôrmas; b) Maior custo de manutenção; c) Protensão medida por força e não por alongamento; d) Desmoldagem e aplicação da protensão mais trabalhosas; e) Maior desperdício de cordoalhas, especialmente em fôrmas curtas.

Fonte: EL DEBS, 2000.

3.2.1 Fôrmas

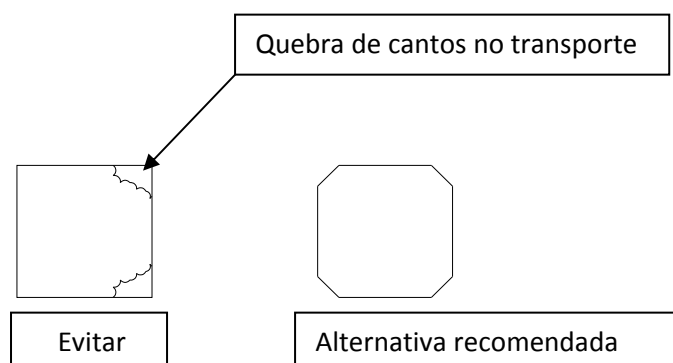
Na execução em concreto pré-moldado as fôrmas são de fundamental importância, pois determinam a produtividade e a qualidade do produto. Destas qualidades são desejáveis: estabilidade volumétrica, possibilidade de ser reutilizadas várias vezes, serem de fácil manejo facilitando a colocação e fixação da armadura, apresentar pouca aderência com o concreto, ser de fácil limpeza, facilidade de desmoldagem, estanqueidade, versatilidade e transportabilidade.

Os materiais utilizados para fabricação de fôrmas para estruturas são: madeira, concreto, plástico reforçado com fibra de vidro, aço. Dentre os materiais descritos, os mais utilizados na construção civil são o aço e a madeira. O aço permite a utilização de fôrmas com maior número de reutilizações, menos custo de manutenção, porém são mais caras. Já a madeira possui maior custo de manutenção, menor número de reutilizações, no entanto é muito utilizada se comparada aos outros tipos de materiais, principalmente com relação ao custo.

De acordo com EL DEBS (2000, p.37),

A escolha do material para a execução das fôrmas depende de vários fatores, como: acabamento superficial, tolerância, dimensões e formas dos elementos, tipo de adensamento, cura e número de reutilizações.

Para facilitar na execução dos pré-moldados, evitam-se os cantos vivos, bordas especiais e ângulos agudos, pois causam danos no manuseio das peças, conforme mostra a figura 3.2.1 a seguir:



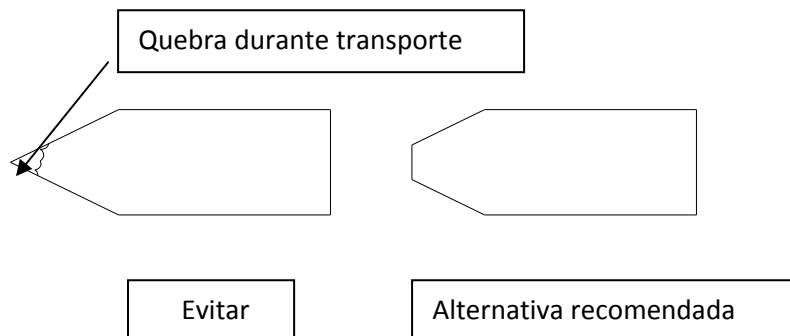


Figura 3.2.1 – Detalhes relativos à execução dos elementos.

3.2.2 Adensamento

Utiliza-se, geralmente concreto de alta resistência nos elementos pré-moldados se comparado aos elementos de concreto moldado no local. Assim, trabalha-se com concreto com menor relação água/cimento e menor índice de consistência, fazendo-se necessário maiores cuidados no adensamento, pois a execução de concreto pré-moldado é uma atividade muito importante, que implica na qualidade do concreto e sua produtividade. As principais maneiras de adensamento do concreto são: vibração, prensagem, vácuo e centrifugação, esta última, empregada principalmente em estacas, postes e tubos de concreto.

3.2.3 Desmoldagem, aceleração de endurecimento e cura

Para execução de desmoldagem deve-se considerar a aderência entre o concreto e a fôrma, a qual depende do material, da inclinação das nervuras e do desmoldante utilizado. Todavia, a desmoldagem é realizada através de dispositivos de içamento, onde há a possibilidade de utilizar macacos hidráulicos ou ar comprimido.

Por outro lado a NBR9062(1985), indica que,

O projeto e a execução das fôrmas devem atender a todas as condições para fácil desmoldagem, sem danificar os elementos concretados, como previsão

de ângulos de saída, livre remoção das laterais e cantos chanfrados ou arredondados.

A desmoldagem pode ser executada de três maneiras: direta, que implica na retirada das peças por levantamento e separação dos elementos o que correspondem às fôrmas tipo bateria utilizadas na execução de painéis, e por fim, por tombamento da fôrma onde a peça é moldada na posição horizontal e colocada na posição vertical para desmoldagem.

Para acelerar o endurecimento do concreto e liberar a fôrma do elemento moldado deve-se utilizar cimento de alta resistência inicial (cimento ARI), aumentar a temperatura e utilizar aditivos.

Ao executar o endurecimento do concreto a partir do aumento da temperatura ocorre a aceleração das reações químicas entre o cimento e a água. É uma maneira muito interessante, porém, deve-se tomar alguns cuidados, pois poderá haver perda da água necessária para a hidratação do cimento e devido a vaporização haver elevados gradientes térmicos provocando a microfissuração e perdendo a resistência.

Normalmente, não são utilizados aditivos para endurecimento do concreto, pois segundo EL DEBS (2000, p.45), justifica que a não utilização de aditivos está relacionado à sua composição ser à base de cloreto de cálcio, provocando corrosão nas armaduras.

Entretanto, há no mercado aditivos sem esta inconveniência, mas mesmo assim, não é recomendável na execução de concreto pré-moldado pois as peças são geralmente esbeltas e as patologias podem se acelerar com mais facilidade, principalmente nas armaduras.

3.2.4 Manuseio e armazenamento

Ao finalizar a etapa de desmoldagem, as peças estão sujeitas a movimentação. Para isto, são necessários equipamentos para transporte e montagem das mesmas, além de dispositivos auxiliares para manuseio das peças. Estes dispositivos podem ser dos seguintes tipos: laços chumbados com mostra a figura 3.2.4, chapas chumbadas, orifícios, laços ou argolas rosqueadas.



Figura 3.2.4 – Dispositivo auxiliar tipo laço chumbado.

Dos tipos de dispositivos destacados anteriormente, os mais empregados são os laços chumbados, porém, devem ser cortados e suas pontas protegidas contra corrosão e posteriormente preenchidas de concreto.

Contudo, além destes dispositivos citados, são necessários outros dispositivos para manuseio e colocação do elemento no local adequado. Cabe destacar o emprego de guindastes acoplados a caminhões convencionais que são bastante versáteis e auxiliam no ajuste do posicionamento da peça. Um exemplo deste dispositivo é mostrado na figura 3.2.5.



Figura 3.2.5- Elementos pré-moldados sendo içados pelo guindaste acoplado ao caminhão.

4. PILARES

Os pilares tanto nas definições de projeto como na execução são peças com maior dificuldade de executar e as mais complexas. Por essa razão, são projetados individualmente sendo as peças menos padronizadas do sistema pré-moldado e definidos pelas suas medidas mínimas, que, nunca poderão ter menos que 20 cm de largura em uma das faces.

Os elementos são moldados obedecendo às variações múltiplas de 10 cm, com seções retangulares ou quadradas. Mas, há os pilares que assimilam maior quantidade de águas pluviais, se necessário, pode-se ampliar a medida do tubo para ϕ 200 mm. Nestes casos, há uma exceção com variação de medida para 5 cm.

O Manual Munte (2004, p.199), descreve que as peças com o comprimento até 5 m, podem ter seção com 20 cm ou 30 cm em um dos lados, porém, com essas medidas não são permitidas seções quadradas, devendo ser a outra seção no mínimo de 40 cm. Acima deste comprimento, passa a ser de 40 cm a seção mínima do pilar.

Contudo, define-se o comprimento máximo do pilar através do transporte, ou seja, limitado a 24 m, que é o comprimento máximo possível e transportável.

4.1 Cobrimento e detalhamento

O cobrimento das armaduras é especificado de acordo com o projeto apresentado, definido pela CAA (classe de agressividade ambiental), onde existem várias classes de agressão para cada tipo de ambiente, conforme tabela 4.1 a seguir:

Tabela 4.1 – Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana (1 e 2)	Pequeno
III	Forte	Marinha (1)	Grande
		Industrial (1 e 2)	
IV	Muito forte	Industrial (1 e 3)	Elevado
		Respingos de maré	
1) Pode-se admitir um microclima com uma base de agressividade mais branda (um nível acima)para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura). 2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde chove raramente. 3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Fonte: modificada NBR 6118/2003.

Os pré-moldados, normalmente são utilizados em construções comerciais ou industriais se enquadrando na classe II (agressividade moderada, com pequeno risco de deterioração da estrutura) por permanecerem em ambiente seco. Caso ocorra do ambiente ser úmido, com umidade maior que 65%, mudamos a CAA para a classe III.

Entretanto, há construções pré-moldadas com risco de contaminação por cloretos ou por respingos de maré, que deve-se aplicar obrigatoriamente a CAA adequada.

De acordo com a NBR 9062/1985, os pilares, por não serem elementos protendidos, devem apresentar cobrimento mínimo de 2,0 cm, no entanto, se o elemento ou construção estiver na classe III da CAA, altera-se o cobrimento para no mínimo 3,0 cm.

Porém, para manter uma padronização do processo, as indústrias e pré-moldados tem como padrão geral espaçadores de 2,0 cm, para cobrimentos especiais usa-se espaçadores de 3,0 cm.

Para o detalhamento das armaduras, as barras são posicionadas nos cantos dos pilares com uma distância de 1ϕ entre elas, favorecendo o sistema de águas pluviais. Os diâmetros das barras empregadas são: $\phi 16$, 20 e 25 mm, salvo os pilares com dimensão menor que 40 cm, utilizando no caso barras de $\phi 12,5$ mm.

4.1.1 Parâmetros do concreto

Segundo Manual Munte (2004, p.202), deve-se ter as seguintes considerações importantes:

Para o concreto do pilar, deve-se utilizar a resistência do concreto de:

- $f_{ck} \geq 40$ MPa
- Fator $a/c \leq 0,45$
- Consumo mínimo de cimento de 285 kg/m³
- Módulo de elasticidade secante $E_{sec} \geq 1.800.000$ kgf./cm²
- $f_{cj} \geq 21$ MPa para 24 horas
- $f_{cj} \geq 27$ MPa para a data mínima e transporte e montagem

4.2 Amarração entre alvenaria e pilar

Deve ser empregada para a amarração das alvenarias nos pilares pré-moldados uma tela eletrosoldada com malha de 15 x 15 mm, fixada no pilar com finca-pino e arruela a cada 2 fiadas.

A alvenaria pode ser fixada por outro processo, no qual são feitos furos de ϕ 10 mm no pilar a cada fiada de blocos, fixando a barra de ϕ 10 mm no furo do pilar juntamente com a amarração do bloco canaleta a cada 5 fiadas, como mostra a figura 4.2.1.



Figura 4.2.1 Detalhe de amarração de alvenaria no pilar.

4.3 Sistema de águas pluviais

Para o escoamento das águas pluviais provenientes de vigas calhas, os pilares pré-moldados possuem em seu interior um tubo de PVC que são utilizados nos diâmetros: ϕ 100 mm (de acordo com a figura 4.3.1), ϕ 150 mm, ϕ 200 mm e ϕ 300 mm.

Assim, para a saída inferior do tubo, o pilar deve possuir uma caixa de inspeção e controle de águas pluviais como mostra a figura 4.3.2 e sua conexão a ser instalada deve ser curta e colada no tubo do pilar.



Figura 4.3.1 Pilar com tubulação de ϕ 100 mm para o escoamento das águas pluviais.



Figura 4.3.2 Caixa de inspeção e controle de águas pluviais.

4.4 Consoles

São complementos dos pilares com detalhamento mais difícil. Além de serem ligados nos pilares pela massa de concreto, representam a maior quantidade de problemas do projeto. Os consoles podem ser:

a) Console para viga tipo I:

As vigas consideradas tipo I não são realizadas dentes de Gerber e tem largura de 40 cm. Nesse caso são utilizados consoles trapezoidais também com 40 cm de largura, 50 cm de altura, sendo 20 cm de altura constante e 30 cm de trecho inclinado a 45° (figura 4.4.1).



Figura 4.4.1 Vigas tipo I apoiadas em consoles trapezoidais.

b) Consoles para vigas retangulares com Gerber:

Pelo fato de as vigas serem retangulares com Gerber, o console pode ser retangular, em que a largura e altura da viga sejam a metade do dente Gerber.(figura4.4.2).



Figura 4.4.2 Dente de Gerber, viga e console retangulares.

c) Console para laje alveolar

Geralmente, os consoles para lajes alveolares são retangulares de menor dimensão, mas podem ser utilizados os consoles em formato trapezoidal caso haja repetições.

d) Consoles complementares

Para aumentar a seção de apoio de uma viga são utilizados os consoles complementares. Caso haja necessidade, pode-se desenvolver um console que aumenta a área necessária, mas não deve ser utilizado por simplificação da construção.

5. VIGAS

As vigas de um modo geral são elementos estruturais aos quais para aplicar um carregamento, sofrem flexão, diferentemente dos pilares que, por sua vez, sofrem compressão.

No sistema pré-moldado, existem vigas armadas e protendidas que podem ser retangulares ou em formato “I”. As vigas armadas apresentam qualquer dimensão, sendo que, as medidas são múltiplas de 10 cm possuem para melhor aproveitamento da fôrma.

Já as estruturas protendidas são fabricadas com uma largura fixa de 40 cm, pois são produzidas em pistas com máxima racionalidade e facilidade de execução.

5.1 Vigas retangulares

Conforme descrito anteriormente as vigas retangulares apresentam vários tipos de seção, porém, é melhor trabalhar com seções múltiplas de 10 cm para se obter um aumento da produção e qualidade das peças.

Segundo o Manual MUNTE (2004, p.314),

A menor largura possível é de 15 cm, mas a medida padrão é de 20 cm. No caso de utilização de vigas retangulares protendidas, deve-se verificar a compatibilidade com a posição dos cabos de protensão, que são determinados por um pente fixo na cabeceira da pista. É recomendado que se utilize larguras superiores a 30 cm.

Além disso, para concreto protendido deve-se estabelecer no projeto das vigas retangulares a utilização de concreto $f_{ck} \geq 35$ MPa e na desforma utiliza-se $f_{cj} \geq 21$ MPa.

Geralmente, as vigas armadas apresentam dentes de Gerber com metade da altura da viga como pode ser visto na figura 5.1.



Figura 5.1 Viga armada retangular com dente de Gerber.

5.2 Vigas protendidas

O concreto recomendado e considerado como padrão para as vigas protendidas deve ser de $f_{ck} \geq 40$ MPa. Com esta resistência espera-se $f_{cj} \geq 22$ MPa mínimo na liberação da protensão. A figura 5.2, mostra um exemplo de viga em formato “I” que tem base geralmente de 40 cm e é considerada como medida padrão.



Figura 5.2 – Vigas pré-moldadas em formato “I”.

5.3 Vigas calhas

As vigas calhas são fabricadas para fazer parte do sistema de captação de águas pluviais e podem ser tanto no formato “U”, “I”, “J”. Nessas peças se introduz a fôrma interna chamada “miolo” para garantir o condutor de água pluvial. As peças são produzidas em medidas padrões de 25 cm de altura da alma e espessura de 12 cm.

De acordo com Manual MUNTE (2004), as vigas calhas e formato “I” devem ser protendidas, para que possa minimizar as flechas e impedir retenção de água dentro da calha.

A figura 5.3 mostra um exemplo de viga calha em formato “J”:



Figura 5.3 – Exemplo de viga-calha em formato “J”.

5.4 Vigas-suporte protendidas

As vigas-suporte são os elementos que recebem as cargas da laje e também são fabricadas tanto no formato “I” quanto “U”. Entretanto, sempre se mantém a base de 40 cm.

De acordo com o Manual MUNTE (2004),

Deve-se dimensionar a peça composta pelo f_{ck} de concretagem “*in loco*” com no mínimo de $f_{ck} \geq 25$ MPa. Para melhor detalhamento da peça é necessário que os estribos da mesma sejam deixados como espera (figura 5.4), para que se realize a segunda concretagem com boa aderência da capa da laje nas vigas.



Figura 5.4 – Viga-suporte com estribos a espera da segunda concretagem.

5.5 Vigas platibandas

São vigas caracterizadas para utilização na fachada da construção, ou seja, no peitoril do pavimento dividem-se em duas partes, a saber: viga-suporte peitoril e painel platibanda.

De acordo com o projeto de arquitetura, as vigas-suporte peitoril podem ter alteração em suas dimensões pelo fato de serem vigas armadas. As dimensões mais usadas por apresentarem melhor relação custo x benefício são aquelas com peitoril de 90 cm de altura, mas permite-se utilizar peitoril de 85 cm de altura, porém, com dimensões padrão de 150 ou 160 cm de altura.

Por outro lado, as vigas suporte-peitoril servem de apoio para as lajes alveolares, pois possuem console corrido com altura que varia de 30 cm a 41,5 cm dependendo da espessura da laje aplicada. Contudo, o console deve ser mais alto e embutido na espessura da laje

aplicada para se manter o detalhe do projeto arquitetônico. As vigas-suporte possuem diferentes medidas, conforme apresenta a tabela 5.5:

Tabela 5.5 – Diferentes medidas de vigas suporte-peitoril

Altura Total (cm)	Laje (cm)	Capa (cm)	Peitoril (cm)	h console corrido (cm)	h do console (cm)
150	20	7	90	30	27
150	20	7	85	38	31
150	20	7	85	35	29
150	26,5	7	85	31,5	31
160	26,5	7	90	33,5	32
160	26,5	7	90	36,5	33
160	26,5	7	85	41,5	36

Fonte: Manual MUNTE (2004).

Já os painéis platibandas são muito esbeltos e servem como uma peça de vedação, além de não possuírem o console corrido para apoio. Entretanto, essas peças têm as mesmas características das vigas-suporte peitoril. Neste caso, deve ser executado um apoio inferior com um pino em CA 25 e neoprene, ou ser como um suporte de aço com espessura fina conforme figura 5.5. Para evitar o tombamento da peça, é necessário fixar o apoio superior, pois esse pode ser simples como, por exemplo, uma chapa de ligação que permite movimentações das variações volumétricas do elemento.



Figura 5.5- Detalhe do suporte de apoio inferior.

5.6 Deformações

Conforme o Manual MUNTE (2004, p.321),

A verificação de flecha é utilizada como parâmetro para a aceitação ou definição de cálculo da peça. As variações de temperatura, de cura e tempo de alívio (idade da peça na introdução da força de protensão) variam na produção. Portanto, não é possível se prever no projeto os parâmetros exatos para a determinação da contra-flecha proveniente da protensão.

Como se pode observar, esses cuidados requerem muita atenção na etapa de projeto, pois, pode haver deformação excessiva da peça na etapa da execução.

5.7 Instabilidade lateral

Segundo a NBR 9062/1985, por serem as platibandas peças bastante esbeltas, o estado crítico se deve não ao dimensionamento referente ao momento ou mesmo na questão do cisalhamento, mas sim à flambagem.

Entretanto, o importante no dimensionamento das platibandas é a espessura da seção comprimida da peça. (Manual MUNTE (2004) apud Pierre Labelle).

Para realizar a verificação da instabilidade lateral, as platibandas devem ter abas com espessuras mínimas conforme tabela 5.7:

Tabela 5.7 – Espessuras mínimas das abas

Vão da Viga - L	Espessura da mesa comprimida
$L \leq 7,5 \text{ m}$	10 cm
$7,5 < L \leq 9 \text{ m}$	11 cm
$9 \text{ m} < L \leq 12,5 \text{ m}$	12 cm
$12,5 \text{ m} < L \leq 15 \text{ m}$	15 cm

Fonte: Manual MUNTE, 2004.

5.8 Estocagem

Para a estocagem das vigas, tanto calhas como as de suporte é necessário que haja um suporte com quatro alças e são colocadas uma ao lado da outra no canteiro de obras, que servem para içamento e transporte da peça até a fixação na estrutura, como mostra a figura 5.8.



Figura 5.8 – Foto das peças preparadas para estocagem das vigas pré-moldadas no canteiro de obras e detalhes das alças para içamento.

6. LIGAÇÕES

Nas estruturas em concreto pré-moldado, as ligações são partes importantes no comportamento e execução dos elementos, pois, dessa maneira é que se diferencia o concreto pré-moldado do concreto moldado no local.

De acordo com NOBREGA (2004, p.23),

As ligações podem ser consideradas como regiões de descontinuidade na estrutura pré-moldada onde ocorrem concentrações de tensões, as quais podem, ou não, provocar deslocamentos, imobilizar e redistribuir esforços entre os elementos por elas conectados, com influência no comportamento de toda a estrutura.

As ligações devem ser previstas no projeto, para não haver nenhum tipo de problema, tanto no funcionamento quanto na capacidade estrutural.

Por outro lado, o Manual MUNTE (2004, p.37) afirma que,

As ligações são diretamente proporcionais no que se refere à complexidade, ao custo e à eficiência estrutural. Quanto mais eficiente é a ligação, melhor partido estrutural é atingido, entretanto, seu custo e possíveis cuidados na execução também serão maiores. É muito importante a definição correta do tipo de ligação a ser usada para a determinação do custo do empreendimento.

Existem vários tipos de ligações a serem executadas no concreto pré-moldado, dentre elas convenhamos destacar: ligações isostáticas, ligações rotuladas, ligações semi-rígidas, ligações rígidas ou engastadas, ligação viga-pilar, ligação pilar-fundação, ligação viga-viga e ligação pilar-pilar.

6.1 Tipos de ligações

6.1.1 Ligação isostática

Nas ligações isostáticas, as peças como pilares e vigas, funcionam de forma isolada, pois no concreto pré-moldado este tipo de ligação não transmite esforços (momentos fletores) horizontais, eliminando o efeito de pórtico da estrutura.

De acordo com o Manual MUNTE (2004, p.38),

Neste tipo de modelo estrutural, as ligações não consideram a introdução de outros esforços na estrutura como retração, hiperestático de protensão e variação térmica. O vento é teoricamente absorvido na fachada, não existindo a transmissão de qualquer esforço horizontal ou momento atuante para as demais peças.

Utiliza-se aparelhos como o neoprene de 1 cm de espessura para o apoio das peças e deslocamento das mesmas. Para evitar o tombamento das vigas, são utilizados pinos de aço CA-25 com ϕ 12,5 mm para auxiliar na deformação adequada ao funcionamento da ligação, como mostra a figura 6.1.1.

Para se fixar as vigas, preenchem-se os furos dos pinos com argamassa comum, que permite ao se retrair, o pino fixado a se deformar-se através dos espaços deixados pela argamassa aplicada.

Devem-se verificar todos os esforços e deslocamentos possíveis na estrutura para ser considerada com isostática, pois pode acarretar patologias se forem desprezados.



Figura 6.1.1 – Viga fixada com pino de ϕ 12,5 mm e neoprene.

6.1.2 Ligação rotulada

Diferentemente das ligações isostáticas, as ligações rotuladas transmitem além dos esforços horizontais, as cargas verticais da estrutura.

Semelhante ao efeito pino pode-se substituir o neoprene simples pelo sistema e neoprene com graute, o qual é mais resistente. Para se transmitir os esforços, estes são encaminhados pela resistência do neoprene ao cisalhamento, conforme as ligações são projetadas.

O preenchimento dos furos das vigas, neste tipo de ligação, é feito com graute. Para que haja aderência do graute, é necessário retirar o tubo de PVC (molde do furo) da peça.

Conforme dito anteriormente, os pinos são feitos em aço CA-25, de ϕ 12,5 mm, entretanto, para os pinos ficarem mais resistentes, utiliza-se ϕ 16 mm. Por outro lado, há a possibilidade de se aplicar cordoalhas de aço como pino com ϕ 12,5mm ou ϕ 9,5mm de CP 190RB.

Segundo o Manual MUNTE (2004, p.39), “não são recomendados a utilização de pinos de aço CA-50 devido à dificuldade de montagem das peças, onde só devem ser utilizados em situações especiais, envolvendo os responsáveis da obra”.

Adotando o concreto das peças $f_{ck} \geq 40$ MPa e espessura de neoprene a 1 cm, a Tabela 6.1.2 mostra a máxima força de cisalhamento, característica resistente por pino.

Tabela 6.1.2 – Máxima força de cisalhamento, característica resistente por pino.

BITOLA/TIPO DE AÇO	CA50	CA25	CP190
$\phi 9,5\text{mm}$			730Kg
$\phi 12,5\text{mm}$		290Kg	1.425Kg
$\phi 16\text{mm}$	700Kg	570Kg	
$\phi 20\text{mm}$	1.725Kg	1.020Kg	

Fonte: Manual MUNTE (2004).

6.1.3 Ligação semi-rígida

As ligações semi-rígidas são um aprimoramento técnico das ligações rotuladas, ou seja, com condição mais favorável e eficiente, não desprezando a capacidade resistente ao momento. Com relação aos esforços horizontais são os mesmos estudados nas ligações rotuladas, porém, diferencia-se apenas na obrigação do uso de neoprene preenchido com graute.

Este tipo de ligação resiste ao engaste das peças por uma parte do momento fletor. Para isso, colocam-se dois pinos de ligação, criando um binário de forças resistentes. Deve-se priorizar a especificação do pino através da capacidade de suporte a tração. Assim, as ligações resistentes ao momento deverão possuir pinos em cordoalhas com $\phi 12,5\text{mm}$, todos ancorados.

Conforme o Manual MUNTE (2004, p.40),

As cordoalhas apresentam a característica de permitir grandes alongamentos (deformações) quando da aplicação das cargas, portanto, antes mesmo de atingir a capacidade resistente da cordoalha ou o seu arranque, ocorrerá à

deformação da viga, que tenderia nestas condições, a trabalhar como articulada.

6.1.4 Ligação engastada

As ligações engastadas se apresentam em dois tipos: a ligação engastada simples e ligação engastada completa.

As ligações engastadas simples não possuem ligações resistentes aos esforços de tração na região inferior da viga. Entretanto, com relação aos esforços horizontais, comporta-se exatamente como as ligações ditas anteriormente. Porém, para resistirem aos esforços de compressão, a ligação deve ser grauteada por completo.

Para se formar um nó entre o pilar e a armadura negativa, utiliza-se duas formas de execução: com furos passantes no pilar ou com luvas colocadas no pilar. A primeira opção é a mais recomendada, pois se obtém a folga necessária para fixação da armadura negativa de forma exata após a instalação das peças. Já as luvas, exigem uma precisão maior na concretagem do pilar e geralmente, por serem mais caras que a primeira opção, utiliza-se quando não há mais nenhuma possibilidade ou em pilares de extremidades.

Já as ligações engastadas completas, são mais sofisticadas possibilitando o engaste perfeito. Este tipo de ligação difere-se muito pouco da engastada simples, porém, os apoios de neoprene de 1 cm de espessura são substituídos por chapas metálicas no inferior da viga, as quais, transmitem os esforços de tração. São colocadas duas chapas: uma na viga e a outra no console, esta deve ser soldada na armadura principal do mesmo com espessura de no mínimo 10 mm.

Segundo o Manual MUNTE (2004, p.45), “considerando-se as dimensões e valores usuais nas estruturas pré-moldadas de concreto, pode ser a chapa suficientemente rígida para transmitir os esforços de tração de forma igualitária para todas as grapas soldadas”.

6.1.5 Ligação pilar-fundação

A ligação pilar-fundação é executada de várias maneiras, podendo elas ser divididas por meio de cálice, por meio de chapa de base, por emenda da armadura com graute e bainha e com emenda de armaduras salientes.

A ligação por meio de cálice é executada pela fixação do pilar pré-moldado em um elemento estrutural de fundação podendo ser de concreto moldado no local ou pré-moldado no caso de fundação direta, como mostra a figura 6.1.5. As características deste tipo de ligação são as facilidades de ajustes aos desvios, transmite os momentos fletores muito bem e facilidade na montagem da peça, sendo este tipo de ligação mais utilizado no país.



Figura 6.1.5 – Ligação pilar-fundação através do cálice moldado no local.

Segundo EL DEBS (2000, p.179),

Ao dimensionar a fundação de cálice, deve-se considerar a existência ou não de rugosidade no pilar e na parede. O dimensionamento das paredes rugosas é elaborado como se o pilar obtivesse as dimensões externas do elemento de fundação, podendo assim, admitir a transmissão das solicitações pelo conjunto pilar e elemento de fundação. Já no dimensionamento de parede

lisa, normalmente, aplica-se na base toda força normal do pilar em situação extrema, pois o momento fletor que atua na base tem a função de mobilizar o atrito que depende das pressões de contato entre pilar e elemento de fundação.

No entanto a NBR 9062/1985, relata que, “as rugosidades do pilar e do colarinho (elemento estrutural de fundação), quando consideradas no cálculo, devem ter profundidade mínima de 10 mm a cada 100 mm e o comprimento de embutimento deve ser maior que 400 mm”.

Por outro lado, a ligação por meio de chapa de base, é feita através da fixação de uma chapa metálica nas extremidades do pilar, que por sua vez, conecta-se à fundação através de porcas e chumbadores. Entretanto, com relação ao tipo de ligação anterior, esta possui uma capacidade menor de transmissão dos momentos fletores, porém, pode ser utilizada em pilares encostados nas divisas, diferentemente da ligação por meio de cálice.

Geralmente, o pilar na montagem, é posicionado para possibilitar o encaixe dos furos da chapa nos chumbadores, pois na fábrica solda-se a chapa metálica na armadura principal da peça. Utiliza-se argamassa seca para preencher o espaço que fica entre o inferior da chapa metálica com a fundação, transmitindo as solicitações após o endurecimento do material.

No entanto, EL DEBS (2000, p.182), afirma que,

O comportamento da ligação em relação à transferência de força normal e de momento fletor, consiste basicamente na transmissão das forças da armadura, por solda, e do concreto, por contato, para a chapa. Essas forças são transmitidas de chapa para os chumbadores ou para o material de enchimento, mediante flexão da chapa, e destes para a fundação.

Já a ligação por emenda da armadura com graute e bainha como a ligação por cálice possui uma boa transmissão de momento fletor, pois se projeta a armadura do pilar ou da fundação para fora da peça, introduzido a armadura em bainha previamente no elemento adjacente. Preenche-se com graute tanto o espaço entre a bainha e a barra quanto entre o pilar e fundação.

A ligação por emenda de armaduras salientes reproduz as estruturas de concreto moldado no local, pois parte da armadura do pilar fica saliente, onde, se emenda com solda ou acopladores, à armadura saliente da fundação, concretando a emenda posteriormente. Por

apresentar várias dificuldades como solda em campo, montagem da peça, este tipo de ligação é limitado.

6.1.6 Ligação viga-pilar

O concreto pré-moldado possui muitas ligações viga-pilar que, geralmente, são classificadas pelo comportamento estrutural sendo articuladas, semi-rígidas e rígidas. Neste capítulo daremos ênfase a ligação viga-pilar por meio de elastômeros e chumbadores, porém, a Figura 6.1.6 mostra ligação com solda, mas há ainda as ligações com pino de encaixe, com parafuso, com perfil metálico de encaixe.



Figura 6.1.6 – Ligação viga-pilar com solda metálica.

No concreto pré-moldado é muito utilizada a ligação por meio de elastômero e chumbadores, pois trata-se de uma ligação a seco e bastante simples sem aplicação de solda. Neste tipo de ligação, pode-se executar ligação da viga em um ponto intermediário do pilar ou na sua extremidade superior com ou sem recortes. Geralmente utiliza-se chumbadores contra

tombamento e instabilidade lateral, mantendo a viga em equilíbrio, entretanto, podem ser dispensados caso não haver riscos ou utilizar outros meios para evitar essas ocorrências como, por exemplo, vigas baixas e largas.

Os chumbadores, normalmente, são rosqueados em dispositivo metálico fixado no concreto ou chumbado no pilar ou console, conforme mostra a Figura 6.1.7.



Figura 6.1.7 – Chumbadores fixados no console do pilar, aguardando fixação da viga.

Após a fixação da viga, emprega-se no espaço entre o chumbador e o furo da viga, enchimento com material deformável, como o asfalto, mastique ou graute auto-adensável não retrátil, podendo ser dispensados quando a fixação é feita através de porca e arruelas. Porém, há prejuízo neste tipo de ligação, com porca e arruelas, pois existe o comprometimento com relação à proteção dos chumbadores contra a corrosão.

Contudo, existe uma melhor definição das ações e comportamento para este tipo de ligação como a transmissão de forças horizontais aplicadas nos pilares, momentos de flexão e de torção e a variação do comprimento da viga.

Segundo EL DEBS (2000, p.188),

Em se tratando de pilares usuais em que os deslocamentos são restringidos apenas pelo engastamento da base, essas forças não são de grande magnitude. No entanto, quando o topo do pilar for impedido de deslocar, como, por exemplo, quando existe alvenaria de fechamento, as forças passam a ser de grande magnitude, podendo provocar danos na ligação.

7. TOLERÂNCIAS

Nas estruturas de concreto pré-moldado, a precisão na execução é maior do que as estruturas de concreto armado. O sistema pré-moldado se adapta a uma precisão intermediária, onde ocorre a variação máxima permitida de um elemento em relação à medida especificada em projeto.

As tolerâncias no sistema pré-moldado possuem valores fixados, assim, somam-se as folgas, que são medidas mínimas para montagem das peças, realizando os ajustes que consiste numa somatória de todas as variações.

De acordo com o Manual MUNTE (2004, p.47),

O ajuste não é simplesmente a soma das tolerâncias, visto que é necessário um tratamento estatístico de probabilidades para se avaliar a simultaneidade de efeitos. Geralmente, utiliza-se a distribuição normal que atende as necessidades do sistema pré-fabricado.

No sistema pré-moldado, determina-se cada tolerância de modo a conhecer o ajuste necessário ao sistema. Existem vários tipos de tolerâncias, dentre elas podemos citar: tolerâncias de execução, de montagem, de locação e de deformação.

As tolerâncias de execução são definidas pela NBR 9062/1985 e estão ligadas às características das formas de moldagem dos elementos, como também, ao processo executivo. Contudo, consideram-se menores tolerâncias a um escoramento projetado e controlado de uma viga executada com fôrmas metálicas o invés de uma viga executada com fôrma de madeira e sem escoramento adequado.

Segundo a NBR 9062/1985, a tabela 7 mostra as tolerâncias máximas admissíveis na execução:

Tabela 7 – Tolerâncias máximas admissíveis na execução.

Execução	Comprimento	até 5m	10 mm
		de 5 a 10 m	15 mm
		acima de 10 m	20 mm
	dimensão transversal		5 mm
	linearidade da peça		L/1000
	medida em planta entre apoios consecutivos		10 mm

Fonte: NBR 9062/1985.

As tolerâncias de montagem e locação são muito importantes, pois, na montagem de viga entre pilares, por exemplo, que é a principal ligação no sistema pré-moldado, geram grandes problemas de ajustes. Para a maioria das peças em concreto pré-moldado, o ajuste necessário para este tipo de tolerância é de 10 mm entre os elementos. Na cobertura, utiliza-se este ajuste, pois, são colocados rufos minimizando as diferenças do processo. Nas fachadas, por serem executadas com painéis alveolares e ficar por fora da estrutura, não fica confinada a outro elemento estrutural, facilitando a compensação dos ajustes. Porém, não se pode aumentá-los, pois o processo de estanqueidade é mais complexo na fachada, acarretando problemas futuros.

Para as lajes de piso, devido ao seu rigoroso processo de fabricação, a medida nominal da laje já possui a tolerância de fabricação em seu valor.

Segundo o Manual MUNTE (2004, p.48), “como as lajes são montadas se encostando umas as outras, ocorrem a compensação e a correção em função da tolerância do fabricante”. A tabela 7.1 nos mostra a tolerâncias máximas para montagem e locação em pré-moldado:

Tabela 7.1 – Tolerâncias máximas para montagem e locação em pré-moldado:

Montagem	verticalidade	10 mm a cada 3 m, c/25mm no máximo
	nível dos apoios	10 mm ²
Locação	em planta e em elevação de pilares	10 mm
	em planta para blocos pré-moldados sobre a fundação	50 mm

Fonte: modificada NBR 9062/1985.

Por fim, as tolerâncias de deformação podem se classificar como um novo conceito no sistema de concreto pré-moldado. Para se evitar deformações durante a montagem das estruturas, deve-se analisar o empreendimento de forma criteriosa, antes de se iniciar o

projeto, pois liga-se este tipo de tolerância à interface entre a montagem da obra e as considerações do projeto.

Conforme o Manual MUNTE (2004, p.49),

Quando se executa a montagem de estrutura em função de seqüências definidas por condições locais ou contratuais, pode-se carregar a estrutura de forma assimétrica e impor deformações aos pilares, que dificultam a montagem das demais peças da estrutura.

Dessa maneira, as tolerâncias executivas e de projeto devem ser estabelecidas para que o empreendimento seja executado dentro das perspectivas adequadas e conforme recomendações técnicas.

8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

8.1 Vantagens

Executando-se parte da estrutura, fora do local final de utilização, facilita-se a produção das peças e reduz o cimbramento da estrutura, sendo uma das grandes vantagens do sistema de concreto pré-moldado.

Segundo EL DEBS (2000), “nos casos em que a construção é executada com um único elemento pré-moldado, as vantagens seriam a redução do cimbramento e no nível do solo, as facilidades de execução de fôrma, moldagem e da armação”.

Para as fábricas que produzem os elementos em série, as vantagens são mais significativas, dentre elas: enorme reutilização das fôrmas, maior produtividade da mão de obra, garantia de qualidade, emprego de protensão com armadura pré-tracionada, grande reutilização de fôrmas, versatilidade, velocidade, otimização do canteiro de obras, garantia de desempenho, durabilidade e manutenção, viabilidade, ecologia e responsabilidade social dentre outras vantagens do concreto pré-moldado.

8.2 Desvantagens

A grande desvantagem no sistema de concreto pré-moldado é a necessidade da ligação entre as várias peças da estrutura e a colocação dos elementos nos locais de utilização. Contudo, estas variáveis estão relacionadas ao custo, limitando-se à montagem e ao transporte dos elementos.

As limitações com relação à montagem podem ser estabelecidas pelas condições de acesso de equipamentos e a disponibilidade de realização dos serviços. As limitações para o transporte se referem principalmente aos gabaritos para a montagem das peças.

De acordo com EL DEBS (2000, p. 27),

As ligações entre os elementos se constituem em uma das dificuldades do emprego da pré-moldagem. Normalmente, ligações mais simples acarretam estruturas mais pobres em relação às solicitações, enquanto ligações que procuram reduzir o monolitismo das estruturas de concreto moldado no local são, em geral, mais trabalhosas ou mais caras.

Conforme características técnicas, sociais e econômicas, existem muitas discussões com relação ao sistema de concreto pré-moldado, tornando o assunto polêmico por haver argumentos antagônicos, por exemplo, a redução de tempo da construção.

9. CONCLUSÃO

O sistema de concreto pré-moldado está sendo empregado gradativamente em muitas construções no país. De acordo com a pesquisa realizada, o concreto pré-moldado, tem suas vantagens e desvantagens e nos últimos tempos aumentou o número de construções como galpões industriais, edifícios comerciais, industriais, empresariais, residenciais, pontes, instituições, escolas, universidades que usufruem do sistema de concreto pré-moldado.

Comparado ao sistema de concreto armado, o pré-moldado se destaca pelas suas vantagens em relação ao sistema convencional as quais podemos destacar: facilidade de realizar o controle de qualidade produzindo economia e reduz os custos e tempo, dispensa montagem, fôrmas, tempo de cura, escoramentos, aplicação de sistemas industrializados de concreto, reduzindo o prazo de entrega da obra.

Porém, uma das grandes dificuldades do sistema pré-moldado são as ligações entre os elementos como vigas, pilares e lajes onde há limites a serem executados rigorosamente, exigindo a presença permanente do responsável pela realização da obra.

Na construção civil, há vários métodos de realizar uma construção, mas ainda o concreto armado é muito utilizado, principalmente em edifícios residenciais. Diante da evolução e aumento da construção civil ao longo dos tempos, com estudos mais específicos no sistema pré-moldado, poderemos futuramente, construir edificações cada vez maiores e mais complexas com os elementos pré-moldados.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 1985.
- _____. **NBR 6023**: Informação e documentação. Rio de Janeiro, 2002.
- EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos, SP: EESC-USP, 2000.
- MELO, C.E.E. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. São Paulo: PINI, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de pré-fabricados de concreto**. São Paulo: ABCI, 1986.
- NÓBREGA, P. G. B. **Análise dinâmica de estruturas de concreto – estudo experimental e numérico das condições de contorno de estruturas pré-moldadas**. 2004. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos. 2004.
- HALPIN, D. W. **Planning and analysis of construction operations**. Ed. Wiley-IEEE. E.U.A., 1992. 400 p. ISBN 978-0-471-55510-0
- GONÇALVES, E. M. R.; ASSIS, L. J. de; FIORI, R. Execução de vigas protendidas para a construção de pontes pré-moldadas. Jundiaí. 46p. 2005.

