

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

HELOIZA CANDEIA RUTHES

**PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO: ANÁLISE
DE CONFORMIDADE ÀS NORMAS TÉCNICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2015

HELOIZA CANDEIA RUTHES

PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO: ANÁLISE DE CONFORMIDADE ÀS NORMAS TÉCNICAS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Volmir Sabbi

PATO BRANCO

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO: ANÁLISE DE CONFORMIDADE ÀS NORMAS TÉCNICAS

Heloiza Candeia Ruthes

No dia 20 de novembro de 2015, às 10h20min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi considerado **APROVADO** como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, conforme ata de defesa pública N° 33 de 2015.

Fizeram parte da banca examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Volmir Sabbi**

Membro 1 da Banca: **Prof. Msc. Cleovir José Milani**

Membro 2 da Banca: **Prof. Dra. Elizângela Marcelo Siliprandi**

*Dedico este trabalho aos meus maiores incentivadores,
meus pais!*

“- Onde foi, se posso perguntar? Disse Torin a Gandalf, enquanto cavalgavam.

- Ver o caminho para frente!”

J.R.R Tolkien

AGRADECIMENTOS

Minha mais sincera gratidão e todo meu amor aos meus pais, Luis Fernando Ruthes e Eliana Candeia Ruthes, pelos esforços de toda a vida em prol da nossa família, pelo incentivo de sempre, pelo amparo nos momentos difíceis, por aceitar toda a ausência durante todos estes anos e principalmente por acreditar na minha capacidade. Vocês são meu chão!

Agradeço ainda, o meu maior motivador, Allan Gregori de Castro, por toda a ajuda durante toda a graduação, pelas palavras duras no início, que me fizeram crescer e me tornar o que sou hoje, por todo o companheirismo, amor e paciência nessa caminhada, por não me deixar cair em nenhum momento. Você é minha inspiração!

Às minhas melhores amigas e irmãs, Angela Candeia Ruthes e Ana Clara Candeia Ruthes, obrigada por todas as risadas e por serem meu ponto de apoio em toda esta caminhada e por acreditarem em mim. Tenho muito orgulho de vocês.

E à minha família, toda a minha gratidão por todo amor, carinho e compreensão durante todo esse período.

Aos meus poucos, mas sinceros amigos, meu muito obrigada por todo o suporte, não só na realização deste trabalho, mas em toda a graduação. Agradeço especialmente, Victor Hugo Suardi Calin, pelas palavras carinhosas e motivadoras, Anna Caroline Araldi, por me mostrar que eu podia e me inspirar, Ana Paula Penso Arendt, Letícia Col Debella pelo coleguismo nos últimos períodos.

Agradeço ainda, meu colega, Thiago Wrublack por todo o auxílio no desenvolvimento deste trabalho e pelo coleguismo em todos estes anos de graduação.

Meu muito obrigada à o meu orientador Professor Doutor Volmir Sabbi por toda contribuição na realização deste trabalho e ao Professor Msc. Cleovir Milani, por todos os ensinamentos de uma vida repassados, pelas conversas sinceras e pela contribuição neste trabalho.

Agradeço, por fim, às empresas que possibilitaram o estudo de campo e todos as pessoas que se envolveram direta ou indiretamente na realização deste trabalho. Muito Obrigada!

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise de normas técnicas de forma a encontrar diretrizes e métodos para o dimensionamento e execução de painéis de vedação pré-moldados de concreto, bem como um estudo de campo em empresas produtoras destes elementos, visando comparar os métodos utilizados por elas com as requisições de norma. Esta análise dos painéis pré-fabricados vem a contribuir para se obter maior conhecimento dos processos de fabricação e dimensionamento dos mesmos, visto que este processo construtivo não está consolidado na literatura já que é uma tecnologia construtiva recente e de média utilização. Os painéis pré-moldados de vedação surgiram nos anos 50, no período de recuperação pós-guerra e tiveram seu auge de utilização nos anos 60, após houve um período de declínio em sua utilização por sua limitação estética e só voltaram a ser largamente empregados atualmente por ter havido uma revitalização dos modelos conseguindo dar maior flexibilidade ao elemento. A realização desta pesquisa oportunizou maior conhecimento sobre o dimensionamento e fabricação destas placas de vedação bem como, constatou que há uma grande dificuldade no seguimento de normas pelas empresas estudadas, visto que estes documentos são vagos em relação à este tipo de elemento pré-moldado.

Palavras-chave: painéis de vedação, pré-moldados, normas, concreto.

ABSTRACT

This work presents an analysis of technical standards in order to list wall panels design and execution guidelines. In addition, a field study is realized at manufacturers of these elements, intending to compare the practical methods with the standards requisitions. The main goal of analyzing different wall panels standards is evoke recommendations in common once the procedures of the use of wall panels in constructive processes aren't consolidated in literature since this is a recent constructive technique and is very employed. The painéis pré-moldados de vedação emerged at 50s as an aesthetic element and today are widely used thanks to greater flexibility reached of these elements. This research has pointed clearly that manufacturers have difficulties to follow standard recommendations once these documents have no precise design or manufacturing instructions.

Keywords: wall panels, precast, standards, concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Fachada de edificação com a utilização de painéis pré-fabricados de concreto	24
Figura 2:	Painel de concreto utilizado na fachada do Perot Museum, em Dallas	25
Figura 3:	Fachada em construção do Perot Museum	25
Figura 4:	Painel utilizado em edificação residencial	26
Figura 5:	Fachada do condomínio residencial em Melrose Park	26
Figura 6:	Disposições possíveis das placas no vão a ser vedado	27
Figura 7:	Seção transversal de um painel alveolar	29
Figura 8:	Esquema de painel nervurado	29
Figura 9:	Seção transversal de um painel nervurador	30
Figura 10:	Seção transversal de um painel sanduíche	30
Figura 11:	Utilização dos painéis pré-fabricados de concreto em barracões industriais	31
Figura 12:	Fôrmas do tipo bateria utilizadas para a fabricação dos painéis	32
Figura 13:	Processo de desfôrma dos painéis pré-fabricados	33
Figura 14:	Içamento de uma placa de vedação pré-fabricada	34
Figura 15:	Exemplo de projeto de placas de vedação pré-moldadas	39
Figura 16:	Valores do coeficiente de majoração γ_f	41
Figura 17:	Valor do coeficiente de majoração γ_{f2}	41
Figura 18:	Esquema do dimensionamento de uma alça de elevação para pré-moldados	42
Figura 19:	Alça de içamento para painel pré-moldado já colocada no molde na empresa A	43
Figura 20:	Alça de içamento para painel pré-moldado em detalhe da armadura, na empresa A	43

Figura 21:	Detalhe de armadura e alça para painel da empresa B	44
Figura 22:	Classificação da agressividade do meio em que se encontra a estrutura	45
Figura 23:	Correspondência entre a classe de agressividade ambiental com a resistência mínima do concreto e o fator água/cimento	45
Figura 24:	Cobrimento mínimo para placas de concreto pré-moldado. . . .	47
Figura 25:	Espaçadores colocados na armadura para garantir o cobrimento mínimo necessário às armaduras.	48
Figura 26:	Local de preparação da armadura utilizada na empresa B . . .	49
Figura 27:	Armadura pronta para ser colocada na fôrma para concretagem na empresa B, sem espaçadores	49
Figura 28:	Local de preparação do concreto utilizado na pré-moldagem da empresa A	51
Figura 29:	Localização das fôrmas utilizadas na empresa B	52
Figura 30:	Momento da concretagem de placa pré-moldada de vedação pela empresa A	54
Figura 31:	Armazenagem de painéis pré-moldados de concreto armado nas empresas estudadas	55
Figura 32:	Fôrma utilizada na execução de placas de vedação na empresa A	56
Figura 33:	Fôrma utilizada na execução de placas de vedação na empresa B	57
Figura 34:	Pórtico utilizado para a suspensão de peças pré-moldadas na empresa B	58
Figura 35:	Exemplo de colocação de cabo suplementar para o levantamento de placa de concreto pré-moldado	59
Figura 36:	Método de içamento da placa por duas alças	60
Figura 37:	Momento fletor causado pela elevação considerando uma borda, com dois pontos de içamento.	60
Figura 38:	Armazenamento de painéis pré-moldados na empresa A	61
Figura 39:	Modo de transporte de placas indicado pelo <i>PCI Design Handbook</i>	62
Figura 40:	Fissuras provenientes do processo executivo das placas de vedação	63

Figura 41: Discrepância de coloração e manchas nos painéis pré-moldados de vedação da empresa B	64
Figura 42: Trincas em placa pré-moldada de vedação	65
Figura 43: Placa inutilizada por patologias oriundas do mau dimensionamento dos sistemas de elevação	65
Figura 44: Ruptura da alça de içamento de uma placa pré-moldada da empresa B	66

LISTA DE TABELAS

- 1 Cobrimentos mínimos das armaduras de peças de concreto pré-moldado 47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 METODOLOGIA	17
2.1 ESTUDO DE CAMPO	18
3 CONCRETO PRÉ-MOLDADO	20
3.1 HISTÓRICO DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO	20
3.2 ATUALIDADES E MERCADO DO CONCRETO PRÉ-FABRICADO	22
3.3 ASPECTOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS	23
4 PAINÉIS DE VEDAÇÃO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	24
4.1 TIPOLOGIA DOS PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS	28
4.1.1 Classificação quanto à seção transversal	28
4.1.2 Classificação quanto à sua capacidade estrutural	30
4.2 FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO	31
5 PROCESSO DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE PLACAS PRÉ-MOLDADAS	35
5.1 CONFORMIDADE DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO COM AS NOR- MAS TÉCNICAS VIGENTES	38
5.2 CONTABILIZAÇÃO DAS CARGAS REFERENTES ÀS FASES TRANSITÓRIAS	39
5.3 ATENDIMENTO ÀS NORMAS TÉCNICAS: CLASSE DO CONCRETO E COBRIMENTO DA ARMADURA	44
6 SOBRE OS MATERIAIS E FABRICAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO	50

6.1	CONFORMIDADE AOS REQUISITOS NORMATIVOS DOS PROCEDIMENTOS RELATIVOS À EXECUÇÃO	51
6.2	MANUSEIO, ARMAZENAGEM E TRANSPORTE	58
6.3	PATOLOGIAS EM PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO ARMADO E SUAS CAUSAS	63
7	CONCLUSÃO	67

1 INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira ainda utiliza muitos métodos artesanais e em consequência disto existe uma grande dificuldade no cumprimento de prazos, grandes desperdícios de materiais e mão de obra, principalmente com retrabalho, e claro, desorganização no canteiro de obras.

Segundo Formoso *et al.* (1997), as atividades que agregam valor correspondem a somente um terço do tempo total gasto pela mão de obra, o que significa que o restante do tempo é perdido entre transporte, retrabalho, entre outras atividades, cada vez mais onerosas aos orçamentos das obras.

Apesar disto, nos últimos anos o crescimento econômico do país beneficiou muito o setor da construção civil. Em consequência, a construção civil começou a buscar alternativas para modernizar os processos construtivos a fim de torná-los mais eficientes, com maior qualidade, organização e segurança. Nesse sentido a industrialização dos processos vem se destacando e ganhando espaço no mercado da construção.

Conforme Ordóñez (apud EL DEBS, 2000, p.11) "... industrialização da construção é o emprego, de forma racional e mecanizada, de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas, para conseguir uma maior produtividade".

A industrialização da construção gerou um aumento significativo na qualidade dos processos construtivos e nos canteiros de obras, principalmente devido ao acréscimo no uso de peças pré-fabricadas ou pré-moldadas de concreto armado.

Como menciona a ABCP (2009), os sistemas de pré-moldados são vantajosos por erguer edificações com agilidade e qualidade, já que se utilizam estruturas e fachadas produzidas em indústrias, em que, a priori, se observam com rigor os critérios de padronização e normalização.

Mesmo com a utilização crescente destes elementos, ainda é comum que haja certa confusão com os termos empregados. A NBR 9062 (ABNT, 2006) classifica um elemento pré-moldado como aquele executado com controle de qualidade, mas fora do local de utilização da peça. Já um elemento pré-fabricado é classificado como aquele produzido industrialmente com controle rigoroso de qualidade, mesmo

em instalações temporárias.

EL DEBS (2000, p.11) também define que, de um modo geral “pré-moldagem aplicada à produção em grande escala resulta na pré-fabricação que por sua vez, é uma forma de buscar a industrialização da construção”.

Os elementos pré-moldados mais utilizados ainda são as vigas, pilares e lajes, porém já se pode observar a crescente utilização, principalmente em barracões industriais, de painéis de vedação pré-moldados.

Os painéis pré-moldados surgiram nos anos 50, no período de recuperação pós-guerra e tiveram seu auge de utilização nos anos 60. Porém, após esse período de grande utilização, houve um declínio no seu emprego especialmente pela limitação estética, resultante da padronização dos componentes. Os painéis só voltaram a ser largamente empregados, quando houve uma revitalização dos modelos conseguindo dar maior flexibilidade ao elemento (SILVA, 2003)

Essas placas podem ser portantes, ou seja, com função estrutural resistindo principalmente aos esforços decorrentes de lajes e pisos ou de fechamento resistindo somente à seu peso próprio e aos esforços decorrentes de ventos. Geralmente são projetados para transferir suas cargas à estrutura principal e para resistir as situações transitórias (manuseio, armazenamento e transporte). Esta transferência de cargas é feita por ligações aparafusadas ou soldadas, capaz de resistir aos carregamentos e dar maior enrijecimento na estrutural global (PAULA, 2007).

Apesar do uso destes painéis, ser cada vez mais abrangente, a norma brasileira NBR 9062 (ABNT, 2006), é limitada no que diz respeito ao dimensionamento e fabricação tanto dos painéis pré-moldados de vedação quanto de sua ligação com a estrutura principal (FREITAS *et al.*, 2012).

Nesse trabalho foi realizada uma análise das principais normas sobre painéis pré-moldados abrangendo desde seu dimensionamento até sua fabricação, com posterior estudo de campo em empresas que executem os painéis na região Sudoeste do Paraná buscando verificar se o dimensionamento, a execução e a instalação destes painéis estão de acordo com as normas vigentes ou tem algum respaldo bibliográfico.

Para a conclusão deste trabalho serão seguidas as seguintes etapas: Estudo dos sistemas de fabricação e dimensionamento dos painéis pré-fabricados; Análise das normas técnicas vigentes que abragem o assunto; Pesquisa de campo em empresas fabricantes de painéis e por fim, a análise e documentação dos resultados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as metodologias de projeto, dimensionamento e execução dos painéis pré-fabricados de concreto e realizar estudo de campo em empresa do ramo, analisando o emprego de normatizações e técnicas.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar referencial bibliográfico sobre o sistema de construção por elementos pré-fabricados;
- Realizar levantamento bibliográfico sobre os painéis pré-moldados de concreto;
- Analisar as normas brasileiras vigentes buscando métodos de projeto, dimensionamento e execução existentes para painéis pré-moldados;
- Realizar pesquisa de campo em empresa fabricante dos painéis de vedação;
- Analisar os resultados obtidos na pesquisa de campo realizada e comparar com as especificações das normas técnicas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, em países da América do Norte, Europa e Ásia houve uma intensificação da industrialização nos canteiros de obra a fim de proporcionar maior produtividade, economia de custos e mão de obra frente aos métodos artesanais (FARIA, 2008).

A expansão da industrialização da construção civil deve-se principalmente ao emprego parcial ou total de estruturas pré-moldadas de concreto armado. A utilização do concreto pré-moldado atua especialmente no sentido de reduzir os custos dos materiais das estruturas de concreto, sendo que as maiores economias se dão na parcela relativa às fôrmas e ao cimbramento (EL DEBS, 2000).

Como menciona a Associação Brasileira de Cimento Portland, a ABCP (2009), os sistemas de pré-moldados são vantajosos por erguer edificações com agilidade e qualidade, já que se utilizam estruturas e fachadas produzidas em indústrias, em que se observam com rigor os critérios de padronização e normalização, além de erguer edificações com agilidade e qualidade.

Dentre os elementos pré-moldados existentes e usuais, estão as placas ou painéis utilizados na vedação (sobretudo em barracões industriais), em substituição à vedação de alvenaria de bloco cerâmico convencional. Uma das vantagens do seu uso é a possibilidade de utilizar inúmeros recursos, combinados ou não, como: relevos, textura, cor, agregados expostos etc. para compor as fachadas de edificações. Em geral, os mesmos são projetados para transferir o peso próprio e a ação do vento para a estrutura principal (CASTILHO, 1998).

Os esforços para encontrar alternativas que tragam avanço no projeto e execução deste tipo de sistema estrutural são totalmente válidos, visto que, os painéis pré-moldados ainda não são tão amplamente utilizados quando comparado aos sistemas convencionais de vedação, como alvenaria e painéis metálicos.

Frente ao cenário exposto da popularização da industrialização nos processos construtivos, uma análise dos painéis pré-fabricados vem a contribuir para se obter maior conhecimento dos processos de fabricação e dimensionamento dos mesmos, visto que este processo construtivo não está consolidado na literatura já que é uma tecnologia construtiva recente e de média utilização.

2 METODOLOGIA

Este trabalho apresenta uma pesquisa bibliográfica em relação aos procedimentos técnicos (de fabricação e de dimensionamento de placas pré-fabricadas) com base em materiais já elaborados, principalmente livros, artigos e normas técnicas.

Também contempla uma pesquisa exploratória, que segundo Gil (1994, p.41) "...têm objetivo proporcionar maior familiaridade do problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses".

Após a pesquisa bibliográfica, foi realizada uma análise das normas existentes que abordam os painéis pré-moldados com o intuito de analisar e conhecer o método correto de dimensionamento destes elementos.

A fim de confrontar à análise das normas técnicas, um estudo de campo foi realizado em fábricas da região Sudoeste do Paraná produtoras deste tipo de elemento pré-moldado.

Esse estudo objetivou evidenciar, a partir de observação visual e entrevistas informais com os responsáveis técnicos, as técnicas praticadas pelas empresas com respeito ao dimensionamento, projeto e processo de fabricação das peças.

A organização metodológica estrutura-se nas seguintes etapas:

- Etapa 1: Estudo da manufatura e emprego de painéis pré-moldados como elemento estrutural;
- Etapa 2: Investigação de diretrizes de projeto, dimensionamento e fabricação de painéis pré-moldados de concreto em normas técnicas nacionais e internacionais;
- Etapa 3: Estudo de campo em empresas fabricantes de painéis a fim de registrar o método de fabricação e dimensionamento para confrontamento com as normas técnicas.
- Etapa 4: Análise dos dados obtidos, comparação dos resultados das etapas 2 e 3 e documentação dos mesmos.

2.1 ESTUDO DE CAMPO

Para se fazer a comparação entre o que vem sendo praticado pelas empresas quanto ao dimensionamento e execução das placas pré-moldadas de vedação com os requisitos de normas técnicas estudadas, foi realizado um estudo de campo em empresas que atuam na fabricação de elementos estruturais pré-moldados, bem como em algumas obras em que estavam sendo utilizadas as placas, na região Sudoeste do estado do Paraná.

O recolhimento de dados baseou-se em análise visual da fabricação conjuntamente com entrevistas e acesso à dados técnicos do projeto e da execução das placas, através de técnicas padronizadas de coletas de dados. Situações relevantes à discussão foram fotografadas, com a anuência dos responsáveis, para apresentação neste trabalho.

O estudo de campo foi realizado em 3 etapas principais:

1. Identificação das possíveis empresas a serem visitadas na região e contato para agendamento de visitaçãõ;
2. Elaboração de uma lista com os principais pontos a serem observados e levantados em entrevista com os responsáveis;
3. Visita às empresas fabricantes das placas pré-moldadas de concreto armado e que aceitaram colaborar com a pesquisa, com realização de entrevista com os responsáveis, observação visual do processo construtivo e identificação de pontos a serem melhorados.

Este estudo de campo foi feito em duas diferentes empresas da região Sudoeste do estado do Paraná, doravante nomeadas A e B, que fabricam além de placas outros elementos pré-moldados, como vigas, pilares, lajes, escadas e cálices de fundação.

A empresa A, está no mercado da pré-moldagem desde o ano de 1994, atuando em todo o sul do país, não somente na fabricação de elementos estruturais pré-moldados bem como na execução de estruturas metálicas. Ademais, atua também na montagem das estruturas, sendo que até o ano de 2015 já contabiliza mais de um milhão de metros quadrados de área construída.

Nesta empresa, atuam dois engenheiros civis, sendo que um é responsável pelo setor de projetos e o outro acompanhamento de execução das peças. Conta

também, com um engenheiro mecânico, responsável pelo projeto e execução das estruturas metálicas e das máquinas que são utilizadas na execução de elementos pré-fabricados.

Em contraponto, a empresa B executa elementos pré-moldados desde 2009, fabricando especialmente painéis, lajes e pilares. A empresa é responsável por todo o projeto e execução das obras que se utilizam dos seus pré-moldados. Há um engenheiro civil responsável pela fabricação dos elementos pré-moldados, bem como da execução das obras para as quais são contratados.

Os aspectos que foram analisados quanto ao dimensionamento nas visitas técnicas foram: a conformidade do projeto e do dimensionamento com as normas técnicas, a utilização das cargas referentes às fases transitórias no processo de dimensionamento, aplicação dos valores da classe de concreto (resistência característica à compressão mínima, f_{ck}) e do cobrimento mínimo da armadura recomendados pelas normas técnicas.

Já na fabricação os principais aspectos explorados foram o armazenamento dos materiais necessários à produção das placas, o armazenamento do aço e o processo de montagem da armadura.

3 CONCRETO PRÉ-MOLDADO

O concreto pré-moldado vem ganhando destaque no mercado da construção civil, principalmente pela sua versatilidade, já que pode abranger quase todos os sistemas de edificações de pequeno e médio porte, construção pesada (pontes de grande porte e túneis) e outras obras civis (EL DEBS, 2000).

Mesmo com a sua crescente utilização, os termos concreto pré-fabricado e concreto pré-moldado ainda são confundidos, porém a NBR 9062 (ABNT, 2006) enfatiza que a diferença está no nível de controle de qualidade na fabricação das peças e no local de sua produção.

Segundo a norma brasileira referente, o concreto pré-fabricado abrange os elementos produzidos em usina ou instalações análogas, que disponham de recursos e pessoal para produção dos elementos, organização de laboratório e demais instalações permanentes para o controle de qualidade. Já concreto pré-moldado, é aquele executado fora do local definitivo da obra, podendo assim, ser executado no canteiro de obras, sem tanto rigor no controle de qualidade (ABNT, 2006).

Neste contexto, o termo a ser empregado neste trabalho será o de concreto pré-moldado, já que a maioria das placas pré-fabricadas, objetos deste estudo, são executadas em fábricas e transportadas até seu local definitivo, porém sem muito controle de qualidade.

3.1 HISTÓRICO DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

A evolução da indústria da construção civil aconteceu em diversas fases, sendo cada uma, caracterizada por uma diversidade de métodos, tecnologias e arquiteturas próprias (SERRA *et al.*, 2005)

Conforme Vasconcelos (2002) menciona, não é possível precisar a data em que se iniciou a pré-moldagem de elementos de concreto. Entretanto a criação do concreto armado ocorreu pré-moldando elementos fora do seu local de uso. Sendo assim, pode-se afirmar que a pré-moldagem começou com a invenção do concreto armado e que o concreto moldado *in loco* surgiu somente depois disso.

As primeiras aplicações de elementos pré-moldados datam do final do século XIX e início do século XX, época que surgiu também o concreto armado. Também surgiu o que podem ser considerados os primeiros elementos pré-moldados na Europa, as vigas treliças “*Visintini*” e as estacas de concreto armado. Alguns anos depois, surgiu a tecnologia “*tilt-up*”, nos Estados Unidos, que consiste em moldar as paredes no solo e depois levantá-las para a posição vertical (EL DEBS, 2000).

No período pós Segunda Guerra Mundial, foi que houve maior manifestação da industrialização da construção civil e conseqüentemente do uso de estruturas pré-moldadas ou pré-fabricadas de concreto armado. Isso se deu principalmente pela necessidade de reconstrução rápida e em grande escala de hospitais e escolas que haviam sido atingidos em confrontos durante o período de guerra (SERRA *et al.*, 2005).

No Brasil, não há registros anteriores à utilização de elementos pré-fabricados na construção do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro, em 1926 pela construtora dinamarquesa Christiani-Nielsen. Nesta obra foram utilizados diversos elementos pré-fabricados, dentre eles as estacas e as cercas no perímetro da área reservada ao hipódromo (VASCONCELOS, 2002).

Segundo a Associação Brasileira da Construção Industrializada de concreto, ABCIC (apud SERRA *et al.*, 2005, p.06), foi somente no início da década de 1960 que se iniciou de forma ordenada alguma preocupação com a racionalização ou industrialização da construção civil. Antes disso, houve outras experiências, porém descontinuadas e esporádicas (SERRA *et al.*, 2005).

Na década de 1980, depois de várias construções em grandes centros urbanos feitas com sistemas pré-fabricados apresentarem grandes problemas patológicos, eles praticamente deixaram de existir. O retorno só ocorreu na década de 1990, principalmente devido ao desenvolvimento rápido da cidade de São Paulo, que passou a receber grandes investimentos e por isso necessitava da execução rápida e de qualidade especialmente para shoppings centers e hotéis (SERRA *et al.*, 2005).

Vasconcelos (2002) salienta que a utilização de elementos pré-fabricados em edifícios de vários pavimentos, com estrutura reticulada, no Brasil, iniciou somente com a construção do conjunto CRUSP (Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo) da cidade universitária Armando Sales de Oliveira, em São Paulo. Trata-se do conjunto residencial da USP de 1964, constituído de 12 prédios de 12 pavimentos projetado para abrigar estudantes de outras cidades que ingressaram nas faculdades da universidade.

Na Europa e nos Estados Unidos, o uso do concreto pré-fabricado tem aumentado, porém já não existe o entusiasmo do período pós-guerra. Nota-se, no entanto, que há um refinamento na execução destes componentes, que beneficia a industrialização de ciclo aberto (EL DEBS, 2000).

3.2 ATUALIDADES E MERCADO DO CONCRETO PRÉ-FABRICADO

O monitoramento constante do mercado, aliado à divulgação de boas práticas, normas, novidades tecnológicas, estudos e oportunidades, sem dúvida contribuíram para o crescimento sustentado do setor de pré-fabricados de concreto (ABCIC, 2012).

Em 2011, a ABCIC realizou uma pesquisa em que se objetivou o mapeamento da atuação e produção de elementos pré-fabricados no ano de 2011, a fim de levantar dados sobre a expansão do mercado de pré-moldados no Brasil.

Participaram desta pesquisa, 47 empresas associadas à ABCIC. Dentre elas, 30% produziram até 10 mil m³ de pré-moldados, outros 32% produziram entre 10 mil m³ e 20 mil m³. O resto das empresas, cerca de 6% produziu mais de 100 mil m³ de pré-moldados.

Constatou-se também nessa pesquisa, que as grandes empresas estão investindo cada vez mais na produção, principalmente na modernização dos equipamentos de montagem e produção e na ampliação da área de produção (ABCIC, 2012).

De acordo com a mesma pesquisa, o melhor desempenho da indústria nos últimos 24 anos foi em 2010. Já em 2011 obteve-se um crescimento de 4,8% em relação a 2010. A projeção de crescimento para os próximos anos foi revista, movida principalmente pela desaceleração do mercado imobiliário que ocorre desde 2012 (ABCIC, 2012).

Apesar do significativo crescimento deste tipo de indústria nos últimos anos, a preferência por sistemas pré-fabricados ainda é maior nos grandes centros urbanos. Nas pequenas cidades, entretanto, já se percebe um crescimento na utilização deste sistema, principalmente em barracões, elementos de lajes, estacas, tubos circulares para drenagem e em edifícios residenciais.

Quanto a pesquisas na área, EL DEBS (2000) destaca alguns assuntos que vem se destacando, como a automatização de projeto, visando soluções arquitetônicas personalizadas, o aumento do uso do concreto de alto desempenho e o desenvolvimento de elementos estruturais resistentes a sismos.

3.3 ASPECTOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS

Apesar do projeto de estruturas pré-moldadas ser similar ao de estruturas moldadas “*in loco*”, o projeto de estruturas pré-fabricadas ou pré-moldadas diferencia-se principalmente na análise estrutural a ser feita, fundamentalmente, pela necessidade de considerar outras situações a mais que na situação final da estrutura e por ter que ponderar as particularidades das ligações entre os elementos (EL DEBS, 2000).

Ademais, existem situações transitórias correspondentes às fases de desmoldagem, transporte, armazenamento e montagem, que podem apresentar solicitações mais críticas que aquelas correspondentes à situação definitiva (CASTILHO, 1998).

A NBR 9062 (ABNT, 2006) cita que a análise deve ser feita considerando todas as fases em que os elementos pré-moldados possam passar e que os tornem suscetíveis de apresentarem condições desfavoráveis quanto aos seus estados limites. Geralmente, as fases para as quais é necessário haver dimensionamento e verificações são: fabricação, manuseio, armazenamento, transporte, montagem e de serviço (preliminar e final).

Esta mesma norma diz ainda que, além das fases anteriores, a análise da estrutura deve levar em conta também as retrações e outras deformações que possam surgir devido às diferentes idades, composição e propriedades do concreto utilizado nestas peças. Salienta ainda que a fase final de serviço só é considerada encerrada quando as ligações entre os elementos forem terminadas e definitivas.

A NBR 9062 (ABNT, 2006) diz ainda que os desenhos dos projetos de execução das peças devem apresentar as dimensões e posição dos elementos, bem como suas armaduras, furos, saliências e aberturas. Estes desenhos devem ser feitos ainda, pensando na facilidade de produção e montagem da estrutura final e do controle de qualidade no processo de execução e instalação deste tipo de estrutura.

Esses desenhos devem incluir ainda, no mínimo, as seguintes informações: f_{ck} (resistência a compressão mínima do concreto); a resistência característica do concreto exigida para o manuseio, transporte, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014); os tipos de aço utilizado, incluindo suas dimensões, quantidades e detalhes de emendas; o cobrimento da armadura e dos insertos; armadura adicional colocada em obra (caso houver) e ainda o volume e peso de cada elemento e ainda os detalhes de ligações entre elementos a ser feita em obra (ABNT, 2006).

4 PAINÉIS DE VEDAÇÃO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Dentre os elementos pré-fabricados mais usuais, destacam-se os painéis pré-fabricados, já amplamente utilizados nos Estados Unidos e na Europa (CASTILHO, 1998). No Brasil, as maiores utilizações desses elementos se dão principalmente em edificações industriais, escolas, dentre outros (FREITAS *et al.*, 2012).

Além de ser uma opção para o fechamento de edificações, estas placas são uma solução de rápida montagem, que auxiliam na diminuição do tempo necessário para erguer uma edificação e que aliam a racionalização e industrialização da construção civil com a velocidade da produção de vedação vertical em edificações (FREITAS *et al.*, 2012).



Figura 1: Fachada de edificação com a utilização de painéis pré-fabricados de concreto
Fonte: (REVISTA ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO WEB, 2011).

Estes elementos podem ser fabricados com concreto convencional, ou com aplicação de componentes estéticos, como: relevos, textura, cor, agregados expostos etc. para compor as fachadas de edificações (SILVA, 2003).

Alguns exemplos práticos de aplicações arquitetônicas destas placas são o *Perot Museum of Nature and Science*, localizado em Dallas, nos Estados Unidos e um condomínio residencial em Melrose Park, Illinois, também nos Estados Unidos.

Toda a fachada do *Perot Museum* foi vedada com placas de concreto combinadas com aplicação de relevo, como demonstram as figuras 2 e 3:



Figura 2: Painel de concreto utilizado na fachada do Perot Museum, em Dallas
Fonte: (KRICHELS, 2011).



Figura 3: Fachada em construção do Perot Museum
Fonte: (BROWN, 2011).

Já no condomínio de Melrose Park, quase toda a estrutura foi executada no sistema de pré-fabricados. Desde as fundações, pilares, vigas, lajes e também a

parte de vedação, com placas com acabamento de um componente estético que imita tijolos, como se pode ver nas figuras 4 e 5:



Figura 4: Painel utilizado em edificação residencial

Fonte: (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2011).



Figura 5: Fachada do condomínio residencial em Melrose Park

Fonte: (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2011).

A primeira construção documentada que conta com a utilização desses painéis é a *Cathedral de Notre Dame Du Haut*, em Raincy, França em que sua utilização se deu somente nas paredes divisórias da estrutura.

Porém assim como os outros elementos pré-fabricados (vigas, pilares e lajes), os painéis de concreto foram introduzidos no mercado com maior êxito nos anos 50, impulsionado pela recuperação das estruturas no período pós-guerra e pelo movimento modernista da arquitetura (SILVA, 2003).

Os painéis de concreto podem ter função estrutural ou arquitetônica, como no caso de estruturas metálicas em que são empregados somente com função de vedação da estrutura (SILVA, 2003).

Ainda segundo o Manual da Construção em Aço: Painéis de vedação, (SILVA, 2003, p.14) “os componentes pré-fabricados podem ser planos ou receber nervuras para aumentar suas dimensões sem o acréscimo de espessura ou da armadura”.

Os painéis pré-fabricados podem ser dispostos na estrutura de três formas diferentes: um painel cobrindo todo o vão entre os pilares de uma estrutura de diversos pavimentos, vários painéis cobrindo um único vão entre pilares ou vários painéis vedando o vão para a estrutura de único pavimento, como ilustrado pela Figura 6.

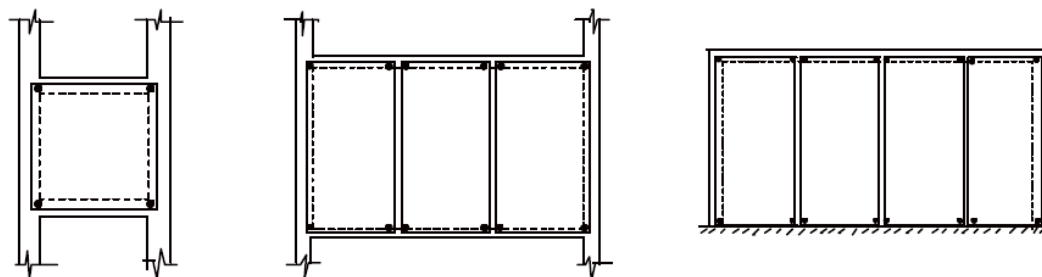


Figura 6: Disposições possíveis das placas no vão a ser vedado
Fonte: (CASTILHO, 1998).

Dentre as vantagens citadas pelo Manual da Construção em Aço (SILVA, 2003), destacam-se: resistência ao fogo, inércia térmica e acústica variedade de dimensões, durabilidade compatível com a vida útil de projeto, necessidade de pouca manutenção, possibilidade de emprego de painéis com função estrutural e incorporação de revestimentos diretamente na fábrica.

Os painéis de fachada pré-fabricados geralmente tem uma pequena espessura, por isso, Melo (2004) expõe que seu peso por metro quadrado é semelhante ao peso da alvenaria convencional. De tal modo, sua utilização não altera o projeto estrutural e até provoca certa economia se sua utilização e o tipo de ligação com o pilar forem adotados logo nas fases preliminares de projeto. Essa adoção gera vigas menos solicitadas e é claro, com menores seções transversais.

Porém, apesar de todas estas vantagens, esses painéis tem alto custo relativo à produção quando são utilizadas várias dimensões diferentes, principalmente pela necessidade de emprego de moldes extras. Além disso, devido a algumas peças terem grande peso, existe certa dificuldade no manuseio e transporte até o local defi-

nitivo (SILVA, 2003).

Outra desvantagem observada é a falta de normalização destes painéis. Melo (2004) comenta que a NBR 9062 (ABNT, 2006): “Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado” é restrita no que diz respeito aos painéis de fechamento pré-moldados e suas ligações com a estrutura. O autor diz ainda que a maior referência para o dimensionamento e execução dos painéis continua sendo o *PCI Design Handbook*, (PCI, 2010).

Nacionalmente, a referência mais completa sobre o assunto é o Manual Munte de projetos pré-fabricados (MELO, 2004), desenvolvido pela Munte Construções industrializadas conjuntamente com o engenheiro Carlos Eduardo Emrich Melo, colaborador da empresa.

4.1 TIPOLOGIA DOS PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS

Atualmente, existem diversos tipos de painéis pré-fabricados no mercado brasileiro, que atendem as mais diversas necessidades. Desde painéis metálicos com preenchimento ou não, painéis de gesso acartonado, de concreto celular autoclavado, alveolares, de gesso reforçado com fibra de vidro, dentre outros.

Estes elementos são classificados segundo diversos parâmetros. Os principais, segundo o *American Concrete Institute* (ACI, 1993) são: classificação quanto à seção transversal e classificação segundo a sua capacidade estrutural.

4.1.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À SEÇÃO TRANSVERSAL

Os painéis pré-fabricados de concreto armado dividem-se quanto a sua seção transversal em:

a) Painéis Maciços

São aqueles em que a seção transversal é uniforme, ou seja, não apresenta diferença de materiais ao longo da seção, sendo constituído apenas por concreto. Além deste tipo de painel proporcionar conforto térmico e acústico aos ambientes, na face interna pode ser aplicado acabamentos convencionais, como pintura ou *dry wall* (CIOCCHI, 2003).

b) Painéis Alveolares

Segundo o ACI (1993, p.5), “são aqueles painéis que tem vazios em seu interior, em toda a extensão do seu comprimento”. Na maioria das vezes essas placas são produzidas em concreto protendido e devido aos seus alvéolos, pode aumentar o conforto térmico na edificação. Na figura 7 pode-se verificar a seção transversal de um painel alveolar.

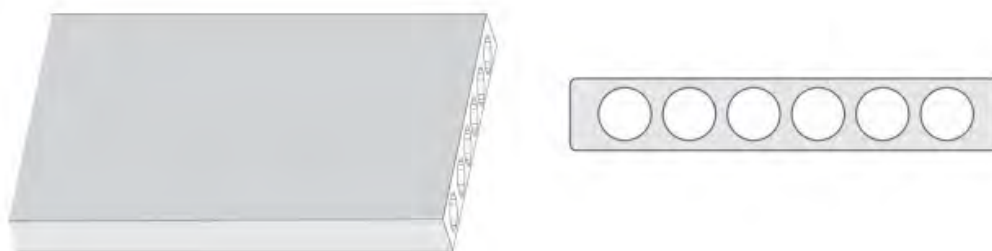


Figura 7: Seção transversal de um painel alveolar
Fonte: Adaptado de (CASSOL PRÉ-FABRICADOS, 2014)

c) Painéis Nervurados

São aqueles em que há a colocação de nervuras em uma ou duas direções objetivando o aumento de suas dimensões longitudinais sem a necessidade de aumentar a espessura ou armadura já existente. O esquema da nervura de uma placa de vedação pode ser verificado na Figura 8.

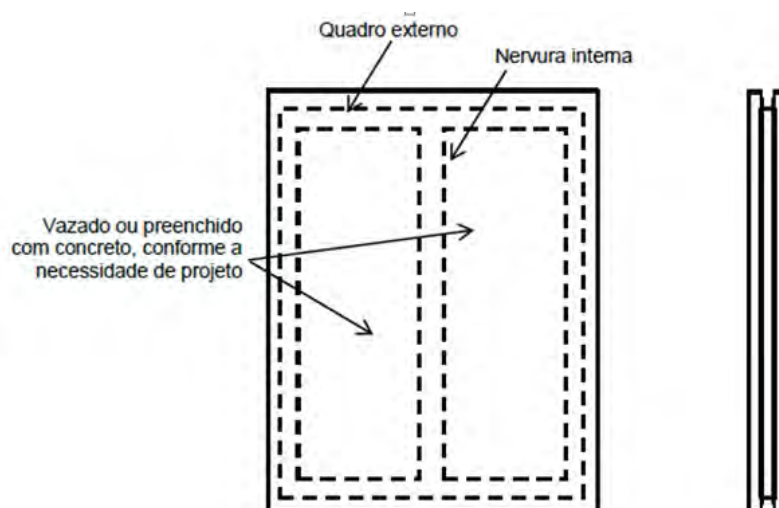


Figura 8: Esquema de painel nervurado
Fonte: Adaptado de (IPT, 2014)



Figura 9: Seção transversal de um painel nervurador
Fonte: Adaptado de (IPT, 2014)

d) Painéis Sanduíche

Este tipo de painel é composto por duas placas separadas por um material isolante, conforme mostra a Figura 10. O material isolante mais utilizado é o EPS (Poliestireno Expandido) e a espessura do preenchimento pode variar de acordo com o conforto térmico desejado.



Figura 10: Seção transversal de um painel sanduíche
Fonte: (MOUNTAIN VIEW PRE-CAST CONCRETE, 2010)

4.1.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À SUA CAPACIDADE ESTRUTURAL

Os painéis pré-fabricados de concreto classificam-se quanto a sua capacidade estrutural em: estruturais ou não estruturais. Os painéis estruturais suportam o carregamento referente ao seu peso próprio, às fases transitórias e ainda podem suportar as cargas de pisos, estruturas de cobertura sendo elas horizontais ou verticais (FREITAS *et al.*, 2012).

De acordo com Castilho (1998), o efeito do enrijecimento na estrutura provocado por estes elementos de vedação tem sido geralmente desprezado no dimensionamento do restante dos elementos da estrutura. Porém, já existe diversos estudos que avaliaram que tais elementos, dependendo de seu tipo de ligação com a estrutura principal, contribuem significativamente na rigidez lateral das edificações e que assim auxiliam na resistência das ações laterais.

As placas utilizadas para vedação em barracões industriais, quase sempre são estruturais, já que ajudam a contraventar a estrutura de grande altura e que está sujeita a ação de vento lateral, como mostra a Figura 11.



Figura 11: Utilização dos painéis pré-fabricados de concreto em barracões industriais

Fonte: (MODULAR ENGENHARIA, 2009)

Já o painel não estrutural, somente suporta as cargas referentes às fases transitórias, ao seu peso próprio, a ação do vento e de forças sísmicas, quando houver, e que também transferem cargas desprezíveis do restante da estrutura para os apoios (ACI, 1993).

A principal vantagem citada por Silva (2003), dos painéis não estruturais é a possibilidade de removê-lo, sem afetar a estabilidade estrutural de toda a edificação.

4.2 FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

A primeira etapa para a fabricação dos painéis pré-moldados de concreto é o projeto completo das peças. Esse projeto deve contemplar todas as fases com

todos os detalhes necessários para a fabricação, manuseio e montagem dos produtos pré-moldados.

O detalhamento das peças deve ser feito de acordo com o tipo do projeto no qual vai ser empregado, levando em consideração a localização das janelas, portas, vigas, pilares, encanamentos e outros elementos. Este detalhamento deve fornecer o tamanho, forma, dimensões de cada componente, assim como suas conexões com a estrutura principal e reforços se necessário e também o tipo de selante a ser utilizado nas juntas entre painéis (ACI, 1993).

Com o projeto em mãos, faz-se a escolha do tipo de formas determinada pela possibilidade de reaproveitamento da mesma, o que diminui os custos relativos à produção dos painéis. O tipo mais usual é o molde metálico, que são os mais indicados, já que tem um custo maior número de reutilização que os moldes feitos de madeira, que têm um menor custo inicial. Geralmente para os painéis estruturais usa-se as formas do tipo bateria apoiadas sobre quadro metálico como exemplificado na Figura 12 .



Figura 12: Fôrmas do tipo bateria utilizadas para a fabricação dos painéis

Fonte: (FREITAS, 2011)

A dosagem do concreto é feita de acordo com as características dos materiais utilizados pensando no seu desempenho, que deve ser como especificado em projeto. O manual de Construção em Aço (SILVA, 2003) cita que a dimensão máxima característica do agregado usual é de 20 mm, o que facilita o acabamento superficial desejado quando as placas não serão submetidas a nenhum tipo de acabamento estético.

O concreto utilizado nos painéis é geralmente auto-adensável e tem adição de fibras de polipropileno. Estes elementos possuem basicamente dois tipos de armadura: simples e centralizada ou dupla, conforme projeto estrutural elaborado para cada empreendimento. O cobrimento de concreto das armaduras é garantido pelo posicionamento de espaçadores plásticos nas telas. No caso de painéis com duas telas, o espaçamento entre as telas é garantido com o uso de separador tipo "caranguejo" em aço. A resistência mínima do concreto, na desforma, é de 8 MPa (SILVA, 2011).

Após a preparação da armadura e colocação dos espaçadores e separadores tipo caranguejo entre as telas é feito o fechamento e travamento das formas metálicas e posterior lançamento do concreto.

Depois da concretagem, as peças são armazenadas e é feito o controle de qualidade conforme procedimento específico da fábrica e então é feita a cura por aspersão de água ou a vapor por aproximadamente 48 horas. Em seguida, as peças são armazenadas em local definitivo (SILVA, 2011).

A desfôrma ocorre aproximadamente 20 horas após a concretagem, ou como cita o Manual de Construção em Aço: painéis de Vedação (SILVA, 2003) no mínimo, após 16 horas do preenchimento ou até o painel adquirir resistência suficiente para os esforços que incidirão durante a desfôrma, o manuseio, o transporte e o içamento do elemento. O processo referente a desfôrma dos elementos pode ser observado na Figura 13.



Figura 13: Processo de desfôrma dos painéis pré-fabricados
Fonte: (FREITAS, 2011)

As peças então são levadas até o canteiro de obras em que serão utiliza-

das e içadas até seu local definitivo, com posterior ligação na estrutura principal. A colocação da placa no seu local é feita com auxílio de um caminhão, através de suas alças, como mostra a Figura 14.



Figura 14: Içamento de uma placa de vedação pré-fabricada
Fonte: (MODULAR ENGENHARIA, 2009)

Após colocadas as placas no seu local definitivo da estrutura, colocam-se fôrmas metálicas na região das juntas entre painéis, para preenchimento das mesmas com graute ou material semelhante. Se o painel não tiver acabamento arquitetônico de fábrica, depois de preencher as juntas, é possível fazer o acabamento desejado (SILVA, 2003).

5 PROCESSO DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE PLACAS PRÉ-MOLDADAS

O processo de dimensionamento das placas pré-moldadas é muito semelhante ao de qualquer outro elemento estrutural de concreto armado, diferenciando-se apenas pela adição de esforços que ocorrem em fases específicas da sua fabricação, as chamadas fases transitórias, como por exemplo, manuseio e transporte dos elementos. De acordo com Castilho (1998), pode-se dizer que este dimensionamento segue as seguintes etapas:

- Definição do tamanho inicial do painel, levando em consideração a disponibilidade de meios de transporte adequados;
- Delimitação das cargas as quais os painéis estarão submetidos, geralmente: ações permanentes (peso próprio), ações provenientes do vento, ações devido à variação de temperatura e ações resultantes das fases transitórias;
- Com as cargas definidas, encontra-se qual deverá ser a resistência do concreto utilizado e também o tipo de armadura a ser colocada;
- Determinação da espessura final do painel;
- Cálculo da armadura de flexão assim como sua verificação para as fases transitórias;
- Marcação dos pontos onde terão as ligações com a estrutura principal;
- Dimensionamento das ligações, nos pontos localizados anteriormente, com uma força unitária aplicada;
- Verificação da acomodação pelas ligações do momento causado pelas ações.

Todo esse procedimento deve ser feito balizado por normas vigentes que tratam do assunto, já que estar em conformidade com normas poupa tempo, esforço e despesas bem como gera segurança e maior eficiência nos procedimentos.

No entanto, no Brasil atualmente não há uma norma que especifique diretamente os procedimentos de projeto e execução destas placas de vedação. Este fato

pode ser justificado pelo crescimento do seu uso ser recente ou pelo fato de que apenas há pouco tempo as placas passaram a assumir certas funções estruturais (como vedação de locais que armazenam grãos, por exemplo).

Como as placas foram, durante anos utilizadas somente com função arquitetônica, devendo suportar apenas seu próprio peso, não era crítico para sua aplicação, a determinação de métodos para o cálculo de sua seção transversal e armadura. No entanto, atualmente este tipo de elemento tem sido empregado em barracões industriais e silos de armazenamento, de forma a estar submetida a esforços adicionais.

As normas brasileiras analisadas neste trabalho são: a NBR 9062/2001, “Projeto e Execução de estruturas de concreto pré-moldado”, (ABNT, 2006) e também a NBR 6118/2014 “Projeto e Execução de estruturas de concreto armado”, (ABNT, 2014), uma vez que esta é vinculada à anterior.

A NBR 9062 (ABNT, 2006), cita apenas algumas diretrizes referentes ao dimensionamento, dando maior ênfase à critérios de fabricação. No entanto, não baliza o dimensionamento no tocante à valores máximos e mínimos para a geometria e armadura das placas.

Os pontos de dimensionamento e projeto tratados na NBR 9062 (ABNT, 2006) são algumas tolerâncias a serem consideradas levando em conta os desvios de produção, locação e montagem dos elementos e algumas análises sobre as cargas referentes às fases transitórias presentes.

Como a NBR 9062 (ABNT, 2006) está vinculada à NBR 6118 (ABNT, 2014), pesquisou-se também essa norma com o objetivo de encontrar quais são as instruções para se fazer o dimensionamento das placas de vedação pré-moldadas.

Na NBR 6118 (ABNT, 2014) podem ser encontradas algumas considerações iniciais para o dimensionamento. As principais são: a classe do concreto que deve ser utilizada (a resistência característica mínima do concreto, bem como o fator água/cimento) e o cobrimento necessário para proteção da armadura de acordo com a classe de agressividade ambiental do meio definitivo em que a estrutura será colocada; quais ações estão atuando e como devem ser consideradas (valores de cálculo, coeficientes de ponderação e combinações possíveis).

No capítulo 6 dessa mesma norma brasileira, pode-se encontrar as diretrizes para a durabilidade das estruturas de concreto, que engloba os parâmetros a serem adotados de acordo com a classe de agressividade ambiental do local definitivo da estrutura.

O capítulo 7 da mesma norma, abrange a classe de concreto mínima a ser utilizada dependendo da peça a ser produzida e da classe de agressividade ambiental encontrada através do capítulo anterior, bem como a relação água/cimento do concreto utilizado.

Já o capítulo 11 da NBR 6118 (ABNT, 2014), discorre sobre as ações a serem consideradas no projeto estrutural de um elemento, com as ponderações (majorações e coeficientes de segurança) a serem feitas e também como devem ser feitas as combinações em vista de encontrar o valor final do carregamento atuante.

O capítulo 16 complementa o capítulo 11, pois fala dos princípios gerais de dimensionamento, verificação e detalhamento de elementos em concreto armado, de forma a garantir a segurança em relação aos estados limites (de serviço e último) da estrutura. Porém, nenhum dos parâmetros comumente adotados no dimensionamento de estruturas de concreto estão disponíveis para as placas pré-moldadas.

Como as duas normas brasileiras citadas anteriormente (NBR 9062 (ABNT, 2006) e NBR 6118 (ABNT, 2014)) não tratam o dimensionamento de placas com profundidade, buscou-se então normas e guias internacionais, já que a utilização das placas de vedação pré-moldadas fora do Brasil é consideravelmente maior.

Portanto, neste trabalho analisou-se também um guia elaborado pela ACI (*American Concrete Institute*), o ACI 533R-93, do ano de 1993, intitulado “*Guide for Precast Concrete Wall Panels*” e que por sua vez está ligado ao manual criado pelo PCI (*Precast and Prestressed Concrete Institute*), denominado “*PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete*”, de 2010.

Estes dois guias de instituições americanas de concreto estabelecem diretrizes para o projeto, dimensionamento e execução de elementos estruturais de concreto armado. No caso do segundo guia, o “*PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete*” (PCI, 2010), aborda instruções para o dimensionamento de estruturas pré-moldadas e protendidas.

O próprio *American Concrete Institute*, salienta que o seu manual é uma compilação de informações contidas em vários relatórios anteriores à publicação do guia, juntamente com experiências dos membros e novas informações contidas em pesquisas de desenvolvimento da indústria (ACI, 1993). Este documento é vinculado à outro, do mesmo instituto, o ACI 318-08, de 2008, que tem como título: “*Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*”, e traz os parâmetros e requisitos para construções em concreto armado no geral.

O ACI 318-08, abrange os materiais, projeto e construção de concreto estrutural utilizado em edifícios e quando aplicável, em elementos não estruturais. Este código engloba também os métodos avaliativos de resistência de estruturas de concreto existentes.

Após a análise das normas brasileiras que deveriam conter diretrizes quanto as placas pré-moldadas e outros manuais e guias que pudessem trazer maiores informações quanto ao projeto destas peças, um estudo de campo foi realizado em empresas produtoras de elementos de concreto pré-moldado, bem como em obras onde os painéis de vedação vinham sendo utilizados.

Os aspectos analisados no estudo de campo quanto ao dimensionamento das placas pré-moldadas foram:

- (a) A conformidade de projeto e dimensionamento com as normas técnicas em geral;
- (b) A contabilização das cargas referentes às fases transitórias na fase de análise estrutural;
- (c) O atendimento de recomendações da normas técnicas quanto à classe do concreto e cobrimento mínimo da armadura nas peças.

Estes tópicos foram escolhidos, pois notou-se que são nestes aspectos que quando falhos surgem as maiores e mais graves manifestações patológicas.

5.1 CONFORMIDADE DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO COM AS NORMAS TÉCNICAS VIGENTES

Como relatado anteriormente, as normas brasileiras de concreto armado e concreto pré-moldado são carentes de informações e parâmetros para os painéis de vedação pré-moldados, tanto para o seu dimensionamento quanto para a sua produção.

Sendo assim, constatou-se através das entrevistas realizadas com o engenheiro civil responsável de cada uma das empresas, que as normas brasileiras, ou qualquer outra norma ou manual, não estavam sendo pouco ou não utilizadas no processo de dimensionamento dos painéis.

O projeto destas placas, também nas duas empresas visitadas (A e B), é feito quase em sua totalidade com base no conhecimento técnico e prático do engenheiro civil atuante na empresa ou como no caso da empresa A, também com base em experimentos realizados antes do início da fabricação para comercialização.

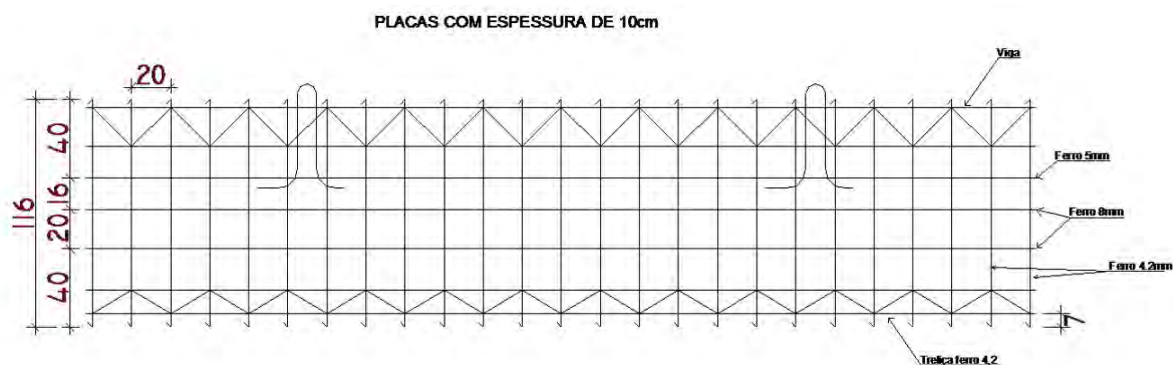


Figura 15: Exemplo de projeto de placas de vedação pré-moldadas
 Fonte: Empresa B, 2015.

Esses experimentos, realizados na empresa A, consistiram em fabricar algumas placas, com diferentes seções transversais de barras de aço compondo a armadura e diferentes dimensões de seção transversal da placa até encontrar uma combinação que atendesse as solicitações e pudesse ser produzida. Obviamente, isso foi feito com alguns critérios, já que pode contar com o senso crítico do engenheiro responsável.

Os principais pontos colocados pelos engenheiros como justificativa para esta realidade são a falta de abrangência das normas técnicas, ou seja, existem poucas recomendações que dizem respeito às placas pré-moldadas e também pela placa ser um elemento estrutural não fundamental à rigidez ou sustentação da estrutura.

5.2 CONTABILIZAÇÃO DAS CARGAS REFERENTES ÀS FASES TRANSITÓRIAS

Em referência ao segundo ponto averiguado no estudo de campo, a consideração das cargas provenientes das fases transitórias, também em entrevista com os engenheiros civis responsáveis pelas duas empresas, verificou-se que essas cargas são contabilizadas, porém não estão de acordo com a norma, visto que os engenheiros aumentam a seção transversal das barras de aço utilizadas e a seção transversal da própria placa de acordo com o que julgam necessário.

O que ocorre é que, como não há nas normas brasileiras especificações que balizem esse dimensionamento considerando estes carregamentos dinâmicos para placas, o mesmo não é realizado e por isso, sabe-se que existem estas ações, porém não é feito nenhum cálculo para quantificá-las.

Um exemplo prático é que, primeiramente, na empresa A, somente uma malha de aço com diâmetro 4,2 mm era utilizada, porém o número de peças inutilizadas por colapso durante o içamento se tornou muito grande, o que fez com que

passassem a adotar duas malhas de aço com o reforço de treliças, usualmente utilizadas em lajes pré-moldadas, na parte superior e inferior. Ou seja, se houvesse um dimensionamento coerente, provavelmente não haveria tanto desperdício de peças por colapso devido à flexão.

Outro aspecto analisado quanto aos procedimentos referentes às fases transitórias (manuseio e transporte), foi a consonância das alças de elevação utilizadas com a NBR 9062 (ABNT, 2006).

De acordo com PCI (2010), os pontos de levantamento devem ser localizados para manter as tensões dentro dos limites admissíveis e para assegurar um alinhamento adequado de a peça, uma vez que está a ser levantada.

A NBR 9062 (ABNT, 2006, p.16) cita que as “alças e pinos são considerados ligações temporárias com o equipamento de manuseio e montagem das peças”. Outra observação feita pela mesma norma é que, as alças em sua parte externa à estrutura atua majoritariamente à tração, sendo que a parte interior à estrutura atua ao cisalhamento, devido a sua aderência ao concreto.

A mesma norma técnica, estabelece que estas alças sejam dimensionadas de acordo com uma análise dinâmica e que quando não for possível fazê-la, é necessário aproximar as cargas dinâmicas por uma carga estática equivalente. A mínima carga estática equivalente é expressa pela equação

$$g_{e_{min}} = \beta_a g \quad (1)$$

Onde:

- $g_{e_{min}}$: Carga estática equivalente;
- β_a : Coeficiente de ação dinâmica;
- g : Carga estática permanente no transporte.

Ademais, para se considerar a ação dinâmica, o coeficiente de ação dinâmica deve ter valor mínimo de 1,3 para a determinação da carga estática equivalente utilizada no dimensionamento ou verificação dos elementos na etapa de transporte conforme explicado pela NBR 9062 (ABNT, 2006).

Outra ponderação a ser feita é que para qualquer dispositivo de levantamento, manuseio ou montagem, em contato com a superfície do elemento ou imerso no concreto, como no caso das alças, deve haver um dimensionamento para uma

solicitação de cálculo mínima de quatro vezes a solicitação obtida para o próprio peso do elemento, conforme a equação

$$\beta_a \gamma_f \geq 4 \quad (2)$$

Já as solicitações de cálculo, podem ser encontradas, aplicando-se o coeficiente de majoração γ_f , que é encontrado na NBR 6118 (ABNT, 2014) e expresso pela equação

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} \gamma_{f3} \quad (3)$$

e demonstrados nas figuras 16 e 17.

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ¹⁾	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

Onde:
D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.
¹⁾ Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Figura 16: Valores do coeficiente de majoração γ_f
Fonte: Adaptado da NBR 6118 (ABNT, 2014)

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1 ¹⁾	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ²⁾	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas ³⁾	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

¹⁾ Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente aos problemas de fadiga, ver seção 23.
²⁾ Edifícios residenciais.
³⁾ Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Figura 17: Valor do coeficiente de majoração γ_{f2}
Fonte: Adaptado da NBR 6118/2014 (ABNT, 2014).

A NBR 9062 (ABNT, 2006) salienta ainda que é impedido o uso de aços das categorias CA50 e CA60 em alças de levantamento e que estes dispositivos devem ser dimensionados de acordo com a Figura 18.

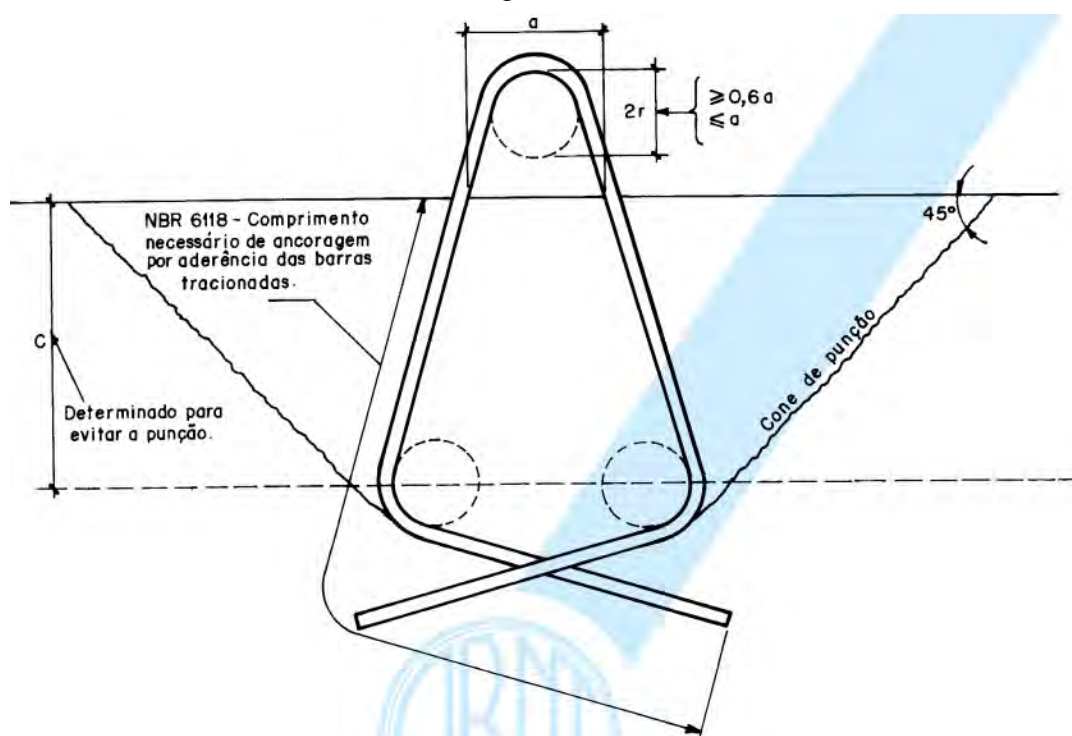


Figura 18: Esquema do dimensionamento de uma alça de elevação para pré-moldados
Fonte: Adaptado da NBR 9062 (ABNT, 2006).

Na empresa A, a alça de levantamento é feita com aço CA25, de diâmetro de 20 mm, contudo o dobramento desta barra não é feito de acordo com a Figura 17 (requisitado em norma), como observa-se na Figura 19 e na Figura 20.



Figura 19: Alça de içamento para painel pré-moldado já colocada no molde na empresa A
Fonte: Autoria Própria.



Figura 20: Alça de içamento para painel pré-moldado em detalhe da armadura, na empresa A
Fonte: Autoria Própria.

Na empresa B, se utiliza aço da categoria CA50 para as alças, de diâmetro igual a 16 mm, dobrados de forma inadequada, com as barras que ficarão ancoradas no concreto dispostas retilineamente, com uma simples dobra, como demonstrado na Figura 21.



Figura 21: Detalhe de armadura e alça para painel da empresa B
Fonte: Autoria Própria.

Observa-se que o comprimento das barras é elevado como forma de prevenir problemas no momento da desforma e do transporte da peça, que de acordo com declaração do engenheiro responsável pela empresa B são comuns nestas placas e que serão abordados em seção do capítulo posterior.

5.3 ATENDIMENTO ÀS NORMAS TÉCNICAS: CLASSE DO CONCRETO E COBRIMENTO DA ARMADURA

Sobre o terceiro ponto a ser verificado, o atendimento das recomendações de norma para a classe do concreto e para o cobrimento da armadura, usou-se as prescrições contidas na NBR 9062 (ABNT, 2006), e na NBR 6118 (ABNT, 2014) para efeito de comparações com a prática das empresas.

Na NBR 6118 (ABNT, 2014), encontram-se as sugestões para a classe de concreto utilizada em elementos estruturais de concreto armado de acordo com a agressividade do meio em que se encontra a estrutura. Essa classe de agressividade do meio pode ser avaliada conforme as condições de exposição da estrutura ou de suas partes conforme a Figura 22.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe 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.

Figura 22: Classificação da agressividade do meio em que se encontra a estrutura
Fonte: Adaptado de (ABNT, 2014).

Para cada classe de agressividade ambiental, existe uma classe de resistência do concreto utilizado e um fator água/cimento correspondente, como constata a Figura 23.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS

1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Figura 23: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental com a resistência mínima do concreto e o fator água/cimento
Fonte: Adaptado de (ABNT, 2014).

As placas fabricadas pelas empresas visitadas são predominantemente utilizadas em zonas urbanas ou industriais. Para as zonas urbanas a agressividade do meio é dita moderada e a classe é a II, com risco pequeno de deterioração da estrutura, conforme explicitado na Figura 21. Enquanto que para as zonas industriais, em que o risco de deterioração da estrutura é grande por haver a possibilidade de existir

ambientes quimicamente agressivos, a classe de agressividade é a III.

Isso significa que, para a zona urbana (classe II de agressividade), considerando concreto armado a relação água/cimento deve ser menor ou igual a 0,60 e para a zona industrial (classe III de agressividade do meio), a relação água/cimento deve ser menor ou igual a 0,55 considerando elementos estruturais em concreto armado.

Com relação à resistência a compressão mínima do concreto, considerando a utilização de concreto armado convencional, para a classe de agressividade II (ambiente urbano), a classe de concreto maior ou igual a C25, que significa que a resistência a compressão mínima (f_{ck}) deve ser de 25 MPa. Já para a classe de agressividade III (ambiente industrial), esse valor deve ser maior ou igual a C30, ou seja, a resistência a compressão mínima do concreto deve ser de 30 MPa.

Os engenheiros responsáveis pela produção de painéis de vedação na empresa A, relataram que o concreto empregado é o auto adensável, pois apresenta grande fluidez e alta trabalhabilidade com resistência a compressão mínima do concreto (f_{ck}) igual a 25 Mpa, o que atende aos requisitos da norma caso essas placas forem utilizadas em um ambiente urbano, em um edifício, por exemplo.

Enquanto que se a utilização das placas for em zonas industriais, com classe de agressividade ambiental forte, correspondente à classe III, a classe de concreto não seria respeitada pois deveria ser maior ou igual a C30 ($f_{ck} = 30$ MPa).

Já na empresa B, o concreto utilizado é o convencional usinado, sendo necessária a vibração do concreto após o lançamento direto do caminhão betoneira. A vibração é feita sob a supervisão de um dos funcionários, que verifica se tudo está ocorrendo de acordo com o planejado. A resistência à compressão do concreto produzido em fábrica é de 20 MPa, que não atende as especificações da norma, que deveria ser de no mínimo 25 MPa, para ambientes urbanos e 30 MPa para ambientes industriais.

A NBR 9062 (ABNT, 2006), especifica ainda os cobrimentos mínimos necessários para a proteção da armadura do elemento, sendo que este requisito também depende da classe de agressividade do meio e do tipo de elemento considerado.

As especificações dessa norma dizem que para peças de concreto com f_{ck} mínimo de 25 MPa e consumo mínimo de 400 kg de cimento por metro cúbico de concreto e fator água/cimento menor ou igual a 0,45, qualquer que seja a armadura (de distribuição, de montagem, de ligação, estribos) o cobrimento mínimo deve ser o disposto na Tabela 1.

Tabela 1: Cobrimentos mínimos das armaduras de peças de concreto pré-moldado

Descrição do meio	Cobramento mínimo necessário
Não Agressivo	Valores da Figura 23
Medianamente Agressivo e úmido (banheiros, cozinhas, lavanderias)	Valores expostos na Figura 23 acrescidos de 0,5 cm
Elemento em contato com o solo	2,5 cm
Fortemente Agressivo	3,5 cm
Elemento resistente ao fogo	Ver NBR 5627/1980

Fonte: Adaptado de NBR 9062 (ABNT, 2006)

Tipos de elementos pré-fabricados	Localização	
	No interior de edifícios	Ao ar livre
Lajes, mesas das vias T, placas de vedação não estruturais e elementos construtivos sujeitos a cargas até 3 kN/m ²	1,0	11,5
Vigas, pilares, arco, nervuras das vigas T e placas de vedação estruturais	1,5	2,0

Figura 24: Cobramento mínimo para placas de concreto pré-moldado.

Fonte: Adaptado de NBR 9062 (ABNT, 2006).

No entanto, ressalva-se que o valor do cobramento mínimo para lajes, mesas das vigas T, placas de vedação não estruturais e elementos construtivos sujeitos a cargas de até 3 kN/m², ao ar livre, deve ser de no mínimo 1,5 cm e não 11,5 cm, como descrito na NBR 9062 (ABNT, 2006) e presente na Figura 24.

A norma ressalta ainda que para os meios fortemente agressivos, quando o cobramento total for maior que 6 cm deve-se usar armadura de pele. Outra observação importante colocada pela NBR 9062 (ABNT, 2006) é que caso haja a previsão de revestimento posterior do concreto, com argamassa de espessura mínima de 1,0 cm, os cobrimentos anteriormente indicados podem ser reduzidos em 0,5 cm.

Já para concretos com resistência característica f_{ck} inferior a 25 MPa ou consumo menor que 400 kg de cimento por m³, assim como em elementos não caracterizados como pré-fabricados, aplica-se o determinado na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Na primeira empresa visitada, a empresa A, o cobrimento adotado é de 2,0 cm para placas com 10 cm de espessura e que portanto não atende as requisições de norma para cobrimento mínimo, já que para placas de vedação em meio medianamente agressivo o cobrimento mínimo de armadura é de 2,5 cm no interior de edifícios e 3,0 cm para placas ao ar livre, conforme a Tabela 1 e a Figura 24 informam, para ambiente medianamente agressivo.

Outro fato observado é que o cobrimento adotado pelas empresas estudadas não muda de acordo com o local de utilização das placas, se o meio é agressivo ou não. O cobrimento adotado pela empresa A é garantido através dos espaçadores utilizados na armadura em malha, visualizados na Figura 25.



Figura 25: Espaçadores colocados na armadura para garantir o cobrimento mínimo necessário às armaduras.
Fonte: Autoria Própria.

Na empresa B, o cobrimento utilizado é de aproximadamente 2,0 cm nos locais onde estão as treliças de reforço e 2,5 cm ao longo da malha, segundo entrevista realizada com o responsável pela execução das placas. Estes valores estão parcialmente em concordância com o que a NBR 9062 (ABNT, 2006) recomenda, que seria 2,5 cm no cobrimento de toda a armadura, para ambiente medianamente agressivo, como o urbano por exemplo.

No entanto, nas armaduras observadas nesta fábrica não constatou-se a utilização de espaçadores que garantam esse cobrimento, como demonstrado na Figura 26 e na Figura 27.

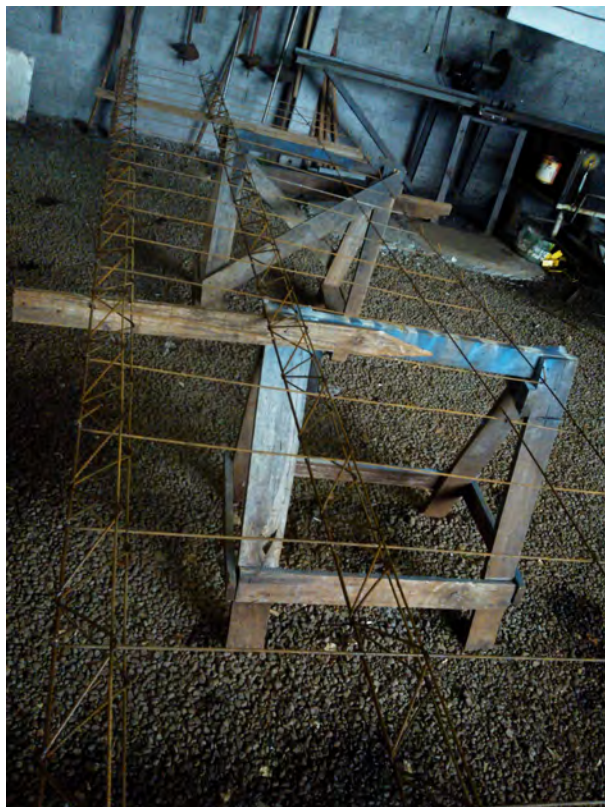


Figura 26: Local de preparação da armadura utilizada na empresa B
Fonte: Autoria Própria.



Figura 27: Armadura pronta para ser colocada na fôrma para concretagem na empresa B, sem espaçadores
Fonte: Autoria Própria.

6 SOBRE OS MATERIAIS E FABRICAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

Os materiais utilizados na fabricação de qualquer elemento estrutural pré-fabricado de concreto armado são os mesmos utilizados na execução de qualquer elemento estrutural moldado *in loco*, porém, na fabricação de painéis pré-moldados há frequentemente a utilização de materiais especiais, incluindo agregados expostos, adições de materiais, aditivos e revestimentos que conferem à placa uma melhor aparência estética (ACI, 1993).

Entretanto, como a execução de elementos pré-moldados quase que em sua totalidade se dá em locais apropriados, os materiais utilizados são de boa qualidade e respeitam as requisições de suas normas específicas na maioria das vezes.

Nesta etapa da pesquisa verificou-se em estudo de campo realizado, em síntese, todo o processo executivo de uma placa pré-moldada de concreto armado desde o feitiço da armadura até a desmoldagem, em que se abordaram principalmente os seguintes pontos:

- (a) Concordância dos procedimentos relativos aos materiais e ao processo executivo dos painéis com os requisitos normativos;
- (b) Conformidade dos processos de desmoldagem, armazenamento e transporte das placas pré-moldadas com as normas específicas.

No primeiro item analisado, abordou-se basicamente: local de armazenamento dos materiais necessários ao preparo do concreto e da armadura, controle e garantia da resistência do concreto, análise da preparação dos moldes, do procedimento de lançamento do concreto e da cura.

Enquanto que, no segundo item será verificado se a atuação nas fases de desmoldagem, armazenamento e transporte é adequada para que se garanta a integridade das peças, de acordo com o recomendado por norma técnica.

6.1 CONFORMIDADE AOS REQUISITOS NORMATIVOS DOS PROCEDIMENTOS RELATIVOS À EXECUÇÃO

Quanto ao primeiro tópico verificado nesta fase, o armazenamento e a qualidade dos materiais que compõe o concreto, na empresa A, constatou-se que há um engenheiro civil responsável pela produção do concreto e pela própria concretagem dos elementos pré-moldados, que costuma verificar também a armazenagem dos materiais necessários.

A figura 27 mostra o local onde é produzido o concreto na empresa A, sendo que a mesma possui uma mini central preparadora de concreto, que garante maior confiabilidade ao concreto produzido.



Figura 28: Local de preparação do concreto utilizado na pré-moldagem da empresa A
Fonte: Autoria Própria.

O armazenamento dos materiais necessários a produção do concreto na empresa A é feito próximo ao local de sua preparação. A areia localiza-se em um local parcialmente aberto, sem estar totalmente protegido de fatores como intempéries, materiais orgânicos presentes no chão do local, dentre outros.

Já o cimento é estocado em um local coberto, com os sacos empilhados

em paletes que protegem da umidade que possa afetá-lo. Os agregados graúdos utilizados também ficam guardados em local próximo à mini central para que se possa agilizar o processo de produção do concreto.

Ademais, como cita o PCI (2010), a água utilizada na preparação do concreto, deve estar limpa e livre de óleos, sais, ácidos e outras substâncias prejudiciais se for de uma fonte de água não potável. Estes aspectos são garantidos na produção do concreto da empresa A, visto que a água utilizada é potável.

A empresa B utiliza somente concreto usinado, que provavelmente tem um controle de qualidade garantido sob todos os aspectos. Este concreto é verificado logo que chega na fábrica por um funcionário orientado a garantir que volume solicitado foi entregue corretamente e se o mesmo está sendo adensado de forma correta.

O concreto utilizado na empresa B, logo que chega é lançado nos moldes pelo próprio caminhão betoneira, sendo que são necessários dois funcionários presentes neste momento, um para o espalhamento do concreto na fôrma e outro para ir adensando-o. O local de concretagem é apresentado na Figura 29.



Figura 29: Localização das fôrmas utilizadas na empresa B
Fonte: Autoria Própria.

No que se refere a resistência mecânica, a NBR 9062 (ABNT, 2006), orienta que o concreto nos elementos pré-moldados tenham um *fck* (resistência característica do concreto à compressão) maior ou igual a 15 MPa e os elementos pré-fabricados um *fck* mínimo igual a 18 MPa, sendo o mesmo valor que o utilizado em projeto.

Geralmente, o f_{ck} do concreto empregado nestas placas é de 25 MPa e sua constituição é de cimento, areia e agregados normais (usualmente, agregados com dimensão máxima de 20 mm), com relação água/cimento que varia entre 0,50 e 0,55. Entretanto, recomenda-se que o concreto com essa resistência característica seja utilizado somente em edificações com altura equivalente a um prédio de até dez pavimentos (SILVA, 2009).

A especificação de projeto da empresa A dizia que a resistência característica do concreto à compressão utilizado na produção das placas deve ser de no mínimo 25 Mpa, o que segundo entrevista com o engenheiro responsável é atendido com facilidade pela utilização da dosadora e que está em conformidade com o que diz a NBR 9062 (ABNT, 2006).

Já na empresa B, é requerido à dosadora que o concreto utilizado para a execução de todas as peças pré-moldadas, tenha uma resistência característica à compressão de 20 MPa, que atende a NBR 9062 (ABNT, 2006).

A NBR 9062 (ABNT, 2006), salienta ainda que quanto a preparação do concreto, devem-se atender os dispostos na NBR 6118 (ABNT, 2014) e que para peças pré-moldadas, não é permitido o amassamento manual do concreto. Sendo assim, tanto a empresa A quanto a empresa B atendem o requisito de norma, já que são produzidas por centrais produtoras de concreto.

Como cita a NBR 9062 (ABNT, 2006), no momento de fabricação de qualquer elemento pré-moldado os encarregados de produção devem estar de posse de manuais técnicos, desenvolvidos pela empresa, que apresentem especificações quanto as fôrmas (montagem, desmontagem, limpeza), quanto a armadura utilizada (manuseio, transporte, armazenamento, diâmetros das barras de aço e dos pinos utilizados para dobramento), quanto aos procedimentos relativos ao concreto (dosagem, amassamento, consistência, transporte, lançamento, adensamento e cura), também quanto ao manuseio dos elementos, levando em consideração a utilização de cabos e outros equipamentos de suspensão, os métodos de empilhamento e armazenamento, segurança dos profissionais envolvidos e outras especificações que a empresa achar necessário.

Na empresa A, a concretagem das placas pré-moldadas de vedação é normalmente realizada conjuntamente à execução de outras peças, como cálices, pilares e vigas, e não há distinção da dosagem do concreto de acordo com a peça a ser fabricada.

Já na empresa B, as peças são executadas de acordo com a demanda de produção exigida, sendo que é costumeiro que se executem as placas pré-moldadas por obra a ser realizada. Ou seja, assim que o concreto usinado chega, o caminhão betoneira lança-o em todas as fôrmas para que se concretem todas as peças necessárias por obra a ser executada.

Em nenhuma das duas fábricas utilizadas como objeto de estudo, os responsáveis pela execução de painéis ficam de posse de manuais que os auxiliem, como requisitado pela norma e muitas vezes, nem o projeto é estudado, já que as placas têm em sua maioria, a mesma armadura e as mesmas dimensões, contando apenas com a experiência dos responsáveis pela execução.

A Figura 30 mostra o momento da concretagem de duas placas na empresa A, onde já haviam sido executados pilares e cálices pré-moldados.



Figura 30: Momento da concretagem de placa pré-moldada de vedação pela empresa A

Fonte: Autoria Própria.

No que diz respeito aos moldes a NBR 9062 ABNT (2006), diz que a fôrma utilizada pode ser composta de aço, alumínio, concreto ou madeira, revestidos ou não de chapas metálicas, fibra, plástico ou outros materiais, desde que atendam todas as

especificações de norma.

Sobre a armadura utilizada em qualquer elemento estrutural, as recomendações de dimensionamento, espaçamento entre barras, dobramento, fixação e emendas, ficam a cargo da NBR 6118 (ABNT, 2014), que não desfruta de informações quanto as armaduras do tipo malha, utilizada nos painéis pré-moldados.

O manuseio e transporte das armaduras pré-montadas devem ser feitos através de dispositivos que assegurem sua integridade e mantenham a posição e o alinhamento das barras que a compõem e que a resguardem de danos como ruptura dos vínculos de posicionamento, segundo cita a NBR 9062 (ABNT, 2006).

A recomendação para o armazenamento de armaduras prontas é evitar formar acumulação em pilhas que possam deteriorá-las. Tanto na empresa A quanto na B, o transporte das armaduras é feito pelos próprios funcionários que as montam. Eles então a colocam em um local qualquer no barracão até o instante em que as posicionam no molde para a realização da concretagem, como mostrado na Figura 31.



(a) Empresa A

(b) Empresa B

Figura 31: Armazenagem de painéis pré-moldados de concreto armado nas empresas estudadas

Fonte: A autoria Própria.

A escolha do material do molde é feita, geralmente, pela viabilidade do seu reaproveitamento, o que garante uma economia significativa nos custos de produção de elementos pré-moldados em geral e também pelas dimensões dos elementos e pela resistência que a mesma deve ter para suportar o concreto e a armadura (SILVA, 2003).

Ainda sobre os moldes utilizados na fabricação das placas, a NBR 9062 (ABNT, 2006), recomenda que no caso da necessidade de utilização de produtos para a facilitação da desmoldagem, estes devem ser colocados antes da instalação da

armadura e não devem exercer nenhuma ação sobre o concreto e sobre a armadura utilizadas. Caso ocorra a contaminação de algum material (concreto ou aço) com o desmoldante, deve se fazer a substituição do mesmo.

As fôrmas utilizadas na empresa A, são metálicas e tem capacidade para a fabricação de duas placas por vez e são ajustadas de tamanho de acordo com a necessidade. As placas concretadas no momento do estudo de campo possui 9,54 m de comprimento, espessura de 0,10 m e altura de 1,50 m, e seriam utilizadas na vedação de um barracão industrial, conforme mostra a Figura 32.



Figura 32: Fôrma utilizada na execução de placas de vedação na empresa A

Fonte: Autoria Própria.

Na empresa B, a fôrma utilizada é semelhante à da empresa A, sendo possível o ajuste de acordo com o tamanho da placa a ser fabricada como observado na Figura 33.



Figura 33: Fôrma utilizada na execução de placas de vedação na empresa B
Fonte: Autoria Própria.

Outro ponto abordado pela norma brasileira de pré-moldados, a NBR 9062, é que após a concretagem da peça, a mesma não deve ficar exposta, visto que algumas situações podem gerar patologias, por exemplo, chuva forte, mudanças bruscas de temperatura, vibrações ou choques, agentes químicos, dentre outros (ABNT, 2014).

Em nenhuma das duas empresas visitadas (A e B), observou-se a exposição das placas já executadas, em consequência do tipo de fôrma utilizada e pelo local onde ficaram posicionadas (dentro dos barracões) no tempo de cura do concreto. Logo após a cura do concreto, há a desmoldagem dos painéis.

A cura do concreto deve ser feita de modo que se evite a secagem brusca da placa, mantendo-a umedecida, para que a hidratação do cimento ocorra de forma completa e não gere fissuras (ABNT, 2006).

Na empresa A a desmoldagem do painel é feita após a cura do concreto, que segundo conversa com o responsável ocorre menos de 48 horas após a execução das mesmas. Porém a placa concretada durante a visita de estudo de campo, seria desmoldada após aproximadamente 72 horas após a concretagem por se tratar de uma peça de grandes dimensões (1,50 m de altura; 9,54 m de comprimento e 0,10 m de espessura).

Na empresa B a desmoldagem dos painéis é feita geralmente 48 horas após concretagem, sendo que assim como na empresa A não ocorre nenhum processo de umidificação no processo de cura com o objetivo de evitar a hidratação acelerada do cimento que gera fissuras na superfície da placa.

6.2 MANUSEIO, ARMAZENAGEM E TRANSPORTE

A norma que estabelece parâmetros para estas fases da fabricação de produtos pré-moldados, é também a NBR 9062 (ABNT, 2006) conjuntamente com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

O manuseio de peças pré-moldadas frequentemente é feito por máquinas apropriadas nos pontos de suspensão definidos em projeto, evitando movimentos abruptos e impactos contra a peça, como no caso da empresa B, que usa um pórtico para içamento e desmoldagem, como mostra a Figura 34.



Figura 34: Pórtico utilizado para a suspensão de peças pré-moldadas na empresa B
Fonte: Autoria Própria.

Na fase de manuseio e desmoldagem, devem ser considerados os seguintes aspectos: orientação do elemento, coeficientes de impacto, número e localização dos equipamentos de manuseio e peso do elemento. Nessa etapa, os painéis que forem desmoldados por suas bordas são sujeitos à flexão e os pontos de desmoldagem (por onde serão retiradas as placas de sua fôrma) devem ser colocados em locais que permitam manter as tensões dos componentes dentro dos limites admissíveis e para assegurar um alinhamento adequado à peça, uma vez que esta será levantada (PCI, 2010).

Outra recomendação do *PCI Design Handbook* é que os componentes projetados para ter geometria assimétrica ou seções salientes se utilizem de pontos de elevação suplementares e linhas de elevação auxiliares durante o seu manuseamento, como mostra a Figura 35 (PCI, 2010).

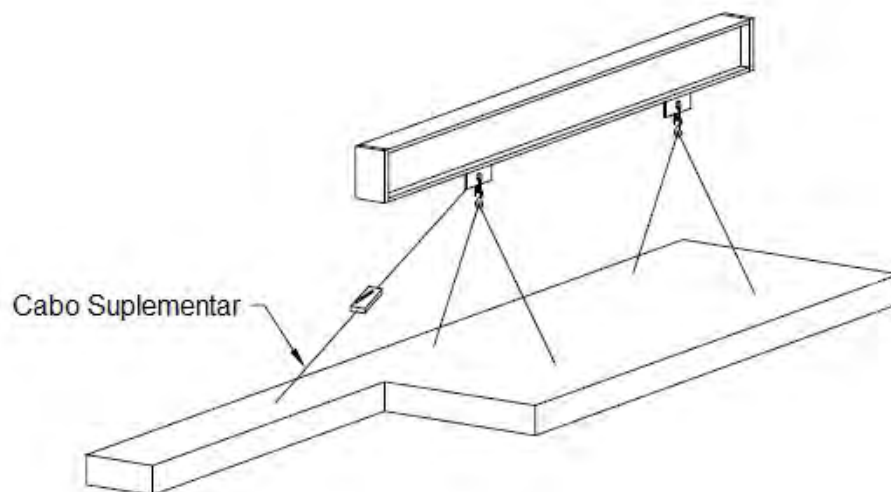


Figura 35: Exemplo de colocação de cabo suplementar para o levantamento de placa de concreto pré-moldado
Fonte: Adaptado de (PCI, 2010)

Quando os painéis são desmoldados através de ganchos e cabos em suas bordas, alguns cuidados devem ser tomados para que não haja estilhaçamento da borda ao longo da qual ocorre o levantamento, visto que esses elementos, nesta condição, estão sujeitos à esforços de flexão (CASTILHO, 1998).

O *PCI Design and Handbook*, (PCI, 2010), elaborou uma tabela que demonstra as equações que descrevem os momentos fletores atuantes nas placas para diferentes situações. Como tanto na empresa A quanto na B, o modo de içamento das placas é através de duas alças na borda, nas Figuras 36 e 37 estão demonstrados os momentos atuantes para este caso e quais as distâncias devem ser consideradas, de acordo com o PCI (2010).

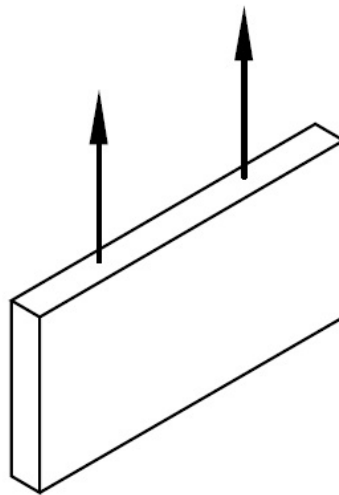


Figura 36: Método de içamento da placa por duas alças
 Fonte: Adaptado de (PCI, 2010)

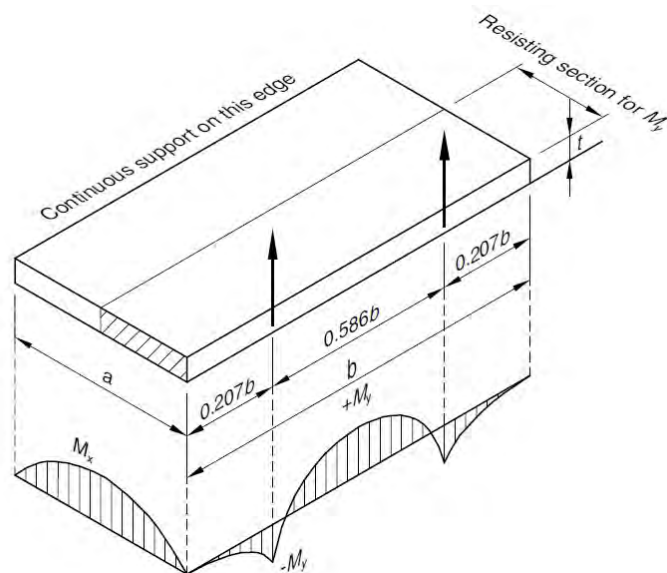


Figura 37: Momento fletor causado pela elevação considerando uma borda, com dois pontos de içamento.
 Fonte: Adaptado de (PCI, 2010)

Ainda de acordo com o PCI (2010), os momentos máximos solicitantes que aparecerão nessa peça, podem ser calculados, levando em conta a tensão atuante na placa e suas dimensões geométricas. Desta forma, o momento máximo resistente na seção, na direção x é

$$M_x = wa^2/8 \quad (4)$$

e o momento máximo em y é

$$-M_y = +M_y = 0,0107wab^2 \quad (5)$$

Onde:

M_x : Momento atuante na direção x [kNm];

M_y : Momento atuante na direção y, resistido pela seção de comprimento $a/2$ [kNm];

w : Unidade de força por área (Tensão) [kN/m²];

a : Comprimento da placa na direção x [m];

b : Comprimento da placa na direção y [m];

Após a desforma dos elementos necessários, nas duas empresas visitadas, um caminhão já é acionada para que leve as peças ao seu local definitivo, ou seja, o tempo de armazenamento das placas é relativamente pequeno.

A Figura 38 demonstra o modo de armazenagem na empresa A, em que as placas ficam empilhadas até que o equipamento façam o seu içamento e transporte até o local definitivo.



Figura 38: Armazenamento de painéis pré-moldados na empresa A

Fonte: Autoria Própria.

Quanto ao armazenamento a NBR 9062 (ABNT, 2006) recomenda que seja feito sobre dispositivos de apoio macios, que não danifiquem os elementos, como cavaletes colocados em terreno plano e firme e que se forem formadas pilhas, sejam intercalados os apoios para evitar contato nas superfícies de concreto.

As duas empresas estudadas, armazenam os painéis conforme a Figura 38, sem cavaletes e nenhum outro dispositivo de apoio. Ademais, as placas são apoiadas umas sobre as outras, facilitando para que ocorram danos nas mesmas.

Sobre o transporte deste tipo de elemento, o *PCI Design Handbook*, (PCI, 2010) diz que o método utilizado para o transporte pode afetar o projeto estrutural por causa de restrições de tamanho, limitações de peso e efeitos dinâmicos impostas pelas condições da estrada. Isto é, dependendo da imposição de tamanho do veículo onde serão transportadas, bem como pelas condições das estradas as placas podem sofrer modificações em sua estrutura em vista de se adequar à estas condições.

O mesmo manual salienta que o método de transporte deve ser verificado pela empresa para que haja apoios que consigam conservar-se durante toda a fase de transporte, como exemplo, a figura 38 demonstra o melhor modo de transporte de placas de vedação e de paredes de concreto pré-moldadas, com as placas inclinadas e apoiadas em cavaletes.

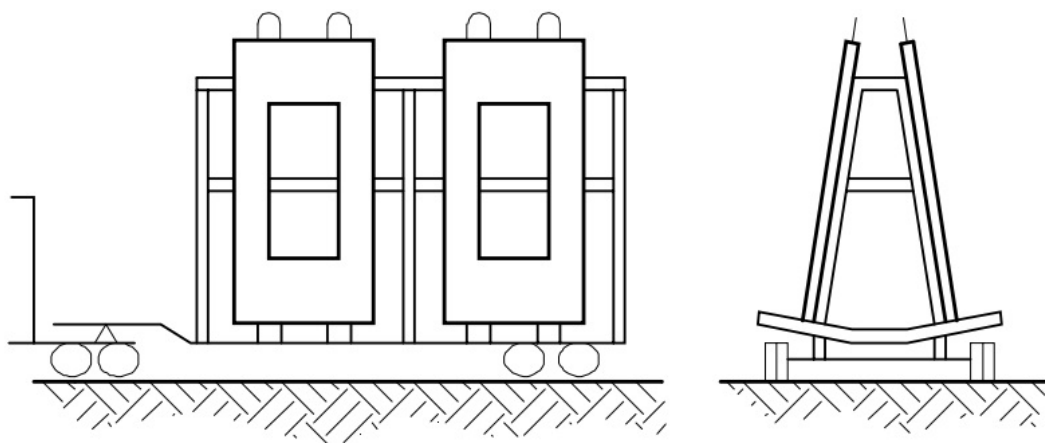


Figura 39: Modo de transporte de placas indicado pelo *PCI Design Handbook*
Fonte: Adaptado de (PCI, 2010).

O transporte feito pela empresa A e pela empresa B está de acordo com o que recomenda tanto o PCI (2010) quanto a ABNT (2006) no que diz respeito à colocação sob cavaletes para o transporte, porém, nenhuma das duas intercala com apoios o empilhamento dos painéis para evitar danos na face de concreto das placas.

O resultado do mau gerenciamento destas fases é a deterioração das faces das placas, quebras nas bordas, além de outros defeitos que podem tornar o elemento com baixa qualidade no produto final e ainda facilitar o aparecimento de patologias.

6.3 PATOLOGIAS EM PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO ARMADO E SUAS CAUSAS

Após os estudos de normas técnicas e o estudo de campo realizados, notou-se uma carência de aspectos e requisitos voltados ao dimensionamento e execução dos painéis pré-moldados de concreto armado utilizado como vedação vertical.

Com isso, as empresas não conseguem chegar a um padrão de projeto, da maneira que ocorre no caso de outros elementos como vigas, pilares e lajes, por exemplo. Esta dificuldade gera problemas em todo o funcionamento das empresas que fabricam este tipo de peça.

O resultado desta falta de informações apropriadas é o aparecimento de imperfeições que vão desde patologias leves à patologias consideradas graves, comprometendo a usabilidade e a qualidade da peça e até mesmo a segurança das pessoas que as fabricam e dos usuários da estrutura final.

Conforme cita Moreira (2009) nas estruturas de concreto pré-moldado e nas estruturas de concreto convencional, é considerável a presença de manifestações patológicas, em menores proporções, porém não menos importantes, pois qualquer patologia pode provocar avarias relevantes à edificação.

Nos painéis de vedação pré-moldados, as patologias mais encontradas são as fissuras e manchas. Milani *et al.* (2012) demonstrou algumas destas fissuras em painéis de vedação, como ilustra a Figura 40.



Figura 40: Fissuras provenientes do processo executivo das placas de vedação

Fonte: Adaptado de (MILANI *et al.*, 2012).

Ainda de acordo com Milani *et al.* (2012), essas fissuras ocorrem podem ocorrer pelo tipo inadequado de cimento utilizado e pelo método utilizado para a cura do concreto. As fissuras observadas tem como principais causas o pouco tempo de cura e a exposição ao sol logo após a desmoldagem das peças. Essa exposição combinada com a cura não terminada, faz com que a hidratação do cimento ocorra rapidamente e aí aparecem estes tipos de danos.

No estudo de caso realizado, deparou-se ainda, com a diversidade de coloração e com manchas nos painéis pré-moldados de vedação. Este tipo de patologia ocorre principalmente pela limpeza inadequada das fôrmas, pelo método inadequado de aplicação dos desmoldantes e pela mistura do concreto (MILANI *et al.*, 2012).

Esse tipo de patologia pode ser prejudicial especialmente se a fachada da edificação onde for utilizada não vá receber posterior acabamento, gerando um desconforto visual aos usuários bem como um mau aspecto à edificação. A Figura 41 ilustra a diferenciação de cores entre as placas utilizadas na vedação de uma edificação, pela empresa B.



Figura 41: Discrepância de coloração e manchas nos painéis pré-moldados de vedação da empresa B
Fonte: Autoria Própria.

Nas placas fabricadas pela empresa B ainda, foram notadas trincas de diversos tamanhos em peças que ainda seriam utilizadas e algumas placas com trincas de tal tamanho que foram dispensadas, como mostra a Figura 42.



Figura 42: Trincas em placa pré-moldada de vedação
Fonte: Autoria Própria.

Como constata-se no detalhe da Figura 43, a placa tornou-se inutilizável e a causa provável foi o mau dimensionamento das alças de levantamento o que gerou um grande esforço de flexão solicitante na placa, levando-a à ruína.



Figura 43: Placa inutilizada por patologias oriundas do mau dimensionamento dos sistemas de elevação
Fonte: Autoria Própria.

Outra dano grave encontrado em estudo de campo realizado, foi a ruptura de uma das barras que compunham as alças de içamento de um dos painéis no momento de colocação no seu local definitivo. Este rompimento foi devido ao mau dimensionamento destas alças, bem como da falta de cuidado no momento da concretagem para que estas continuassem em sua posição original. A Figura 44 mostra o resultado desta ruptura da alça de elevação do painel.



Figura 44: Ruptura da alça de içamento de uma placa pré-moldada da empresa B
Fonte: Autoria Própria.

Este tipo de patologia grave, além de causar prejuízo de todas as formas à empresa, causa ainda insegurança aos funcionários e usuários deste tipo de estrutura. Nota-se o quão imprescindível é a utilização das normatizações em todos os procedimentos relativos à estruturas pré-moldadas.

7 CONCLUSÃO

A análise de conformidade às normas técnicas das atividades relativas às placas de vedação pré-moldadas estruturou-se em um estudo detalhado das normas técnicas vigentes, bem como de manuais que dessem parâmetros úteis ao dimensionamento e à execução destes elementos.

No que diz respeito às normas brasileiras, foram estudadas a NBR 9062/2001 (ABNT, 2006), que explana sobre os procedimentos referentes à estruturas pré-moldadas e pré-fabricadas e também a NBR 6118/2014 (ABNT, 2014) que traz diretrizes sobre o dimensionamento e o projeto de estruturas de concreto.

No entanto, observou-se que em nenhuma das duas normas brasileiras são encontrados dados aprofundados que possam ser utilizados pelas empresas para trazer maior eficácia e segurança na fabricação de painéis pré-fabricados.

Além disto, constatou-se neste estudo, que as normas são contraditórias em vários aspectos instrutivos, que acabam confundido os projetistas de estruturas pré-moldadas.

Buscou-se então documentos internacionais que dessem maior embasamento teórico pra se fazer o confronto com o que estava sendo praticado pelas empresas fabricantes de pré-moldados na região Sudoeste do Paraná, de forma a auxiliar no melhoramento dos procedimentos adotados pelas instituições fabricantes.

Os documentos mais relevantes encontrados foram o manual de projeto para estruturas pré-moldadas e protendidas, do “*Precast and Prestressed Concrete Institute*” dos Estados Unidos e o guia de projeto para painéis de vedação pré-moldados do “*American Concrete Institute*”.

O primeiro documento traz informações sobre o dimensionamento de todos os elementos pré-moldados (vigas, pilares, lajes, elementos de fundação e painéis de vedação), porém seu foco maior é no mercado nacional americano e por isso algumas informações não traduzem a realidade do mercado produtor de pré-moldados nacional.

Já o segundo guia traz, assim como a NBR 9062/2001 (ABNT, 2006), maiores informações referentes aos procedimentos executivos das placas pré-moldadas.

Com o estudo de normas e manuais feitos, partiu-se para o estudo de campo, que foi realizado em duas empresas distintas. Este estudo focou em angariar informações construtivas que pudessem ser comparadas às requeridas por normas.

Entretanto, pelas normas brasileiras serem muito vagas em relação ao tema, não é possível exigir grande controle no dimensionamento e execução dos painéis, das empresas que o fabricam.

Constatou-se, através deste estudo, que nenhuma das duas empresas visitadas faz o uso de normas ou manuais no dimensionamento de placas de vedação. Este fato deve-se principalmente à carência de informações encontradas nestes instrumentos informativos, que faz com que haja dificuldade das empresas em chegar a um padrão de projeto e também pela pouca relevância à estabilidade estrutural alcançada pelos painéis de vedação.

O uso das normas técnicas é limitado pelas empresas também no que diz respeito ao dimensionamento das alças içadoras e nos métodos executivos destas peças pré-moldadas.

Estes fatos podem ser verificados pela grande ocorrência de patologias que vão desde as mais simples, como manchas e fissuras às mais graves como colapso total das placas e ruptura das alças que elevam a peça ao seu local definitivo.

REFERÊNCIAS

ABCIC, Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. **Tendências do Setor de pré-fabricados: Expansão e crescimento sustentado**. Brasil: Anuário 2012, 2012.

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Industrialização na construção civil com pré-fabricados de concreto**. Brasil: [s.n.], Dez. 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/noticias/industrializacao-na-construcao-civil-com-pre-fabricados-de-concreto-abcp-e-abcic-oferecem-curso-para-capacitar-arquitetos-engenheiros-e-estudantes.VSqkD_nF_ik>. Acesso em: 11 abr. 2015.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto e execução de obras de concreto armado - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ACI, American Concrete Institute. **Guide for Precast Concrete Wall Panels 533R-1**. USA: ACI, 1993.

BROWN, Steve. **New Dallas museum constructed with head-turning design**. Dallas, EUA: [s.n.], Jun. 2011. Disponível em: <<http://www.dallasnews.com/business/columnists/steve-brown/20110616-new-dallas-museum-constructed-with-head-turning-design.ece>>. Acesso em: 21 abr. 2015.

CASSOL PRÉ-FABRICADOS. **Painéis Alveolares**. Brasil: [s.n.], Set. 2014. Disponível em: <<http://www2.cassol.ind.br/paineis-alveolares/>>. Acesso em: 21 abr. 2015.

CASTILHO, Vanessa Cristina de. **Análise estrutural de painéis de concreto pré-moldado considerando a interação com a estrutura principal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) — Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1998.

CIOCCHI, Luiz. **As vantagens dos painéis de concreto industrializados**. Brasil: [s.n.], Jul. 2003. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/as-vantagens-dos-paineis-de-concreto-industrializados-80193-1.aspx>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Paulo: EESC-USP, 2000. 441 p.

FARIA, Renato. **Sistemas Construtivos Industrializados ganham força com expansão do segmento residencial econômico**. Brasil: [s.n.], Jul. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/136/artigo286523-1.aspx>>. Acesso em: 11 abr. 2015.

FORMOSO, Carlos T.; CESARE, Cláudia M. De; LANTELME, Elvira M. V.; SOIBELMAN, Lucio. As perdas na construção civil: Conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor. **Egatea: Revista da Escola de Engenharia**, v. 25, n. 3, p. 53, 1997.

FREITAS, Harisson Silva; LIMA, Maria Cristina Vidigal de; CASTILHO, Vanessa Cristina de. Análise numérica do comportamento de painéis pré-moldados de fechamento e suas ligações em edificações de pequena altura: Estudo de caso. **Revista Ciência e Engenharia**, v. 21, n. 2, p. 10, 2012.

FREITAS, Otávio Pedreira de. Painéis de concreto pré-moldados e soluções complementares para o segmento econômico. 2011.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1994.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Painéis nervurados pré-fabricados de concreto armado para paredes - DPB**. São Paulo: IPT, 2014.

KRICHELS, Jennifer. **MORPHOSIS MUSEUM OF NATURE & SCIENCE FACADE: GATE PRECAST**. Dallas, EUA: [s.n.], Set. 2011. Disponível em: <<http://blog.archpaper.com/2011/09/morphosis-museum-of-nature-science-facade-gate-precast/>>. Acesso em: 21 abr. 2015.

MELO, Carlos Eduardo Emrich. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. São Paulo: Munte Construções industrializadas and Pini, 2004.

MILANI, Cleovir José; BOESING, Rodrigo; PHILLIPSEN, Rogério Alberto; MIOTTI, Luiz Antônio. Processo produtivo de elementos pré-moldados de concreto armado: Detecção de manifestações patológicas. **Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo, USP**, v. 15, 2012.

MODULAR ENGENHARIA. **Fortgreen-Unidade Paçandú**. Brasil: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://www.modularenharia.com.br/index.php?pg=obras\cod=34\obra=fortgreen—unidade-paicandu>>. Acesso em: 23 abr. 2015.

MOREIRA, Kirke Andrew Wrubel. **Estudo das manifestações patológicas na produção de pré-fabricados de concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.

MOUNTAIN VIEW PRE-CAST CONCRETE. **Sandwich Pre-Cast Panels**. Canadá: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.mountainviewprecast.ca/products.php>>. Acesso em: 23 abr. 2015.

ORDÓÑEZ, José Fernandez. **Pré-Fabricación: Teoría y Práctica**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974.

PAULA, Gisandra Faria de. **Interação entre painéis pré-moldados de concreto e a estrutura principal por meio de modelos numéricos em elementos finitos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2007.

PCI, Precast/Prestressed Concrete Institute. **PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete**. Chicago, USA: PCI, 2010. 656 p.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Precast Concrete**. EUA: [s.n.], Jan. 2011. Disponível em: <<http://www.cement.org/think-harder-concrete-/homes/building-systems-/pre-cast>>. Acesso em: 21 abr. 2015.

REVISTA ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO WEB. **Fachadas pré-fabricadas agilizam a obra**. Brasil: [s.n.], Dez. 2011. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/fachadas-pre-fabricadas-agilizam-a-obra_7040_0_1>. Acesso em: 11 abr. 2015.

SERRA, Sheyla M B; FERREIA, Marcelo A; PIGOZZO, Bruno N. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. 1. ed. São Carlos, SP: 1o Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado, 2005.

SILVA, Fernando Benigno da. Painéis estruturais pré-moldados de concreto armado. **Revista Técnica**, n. 149, p. 10, Agosto 2009.

SILVA, Fernando Benigno da. **Painéis estruturais pré-moldados maciços de concreto armado para execução de paredes**. Brasil: [s.n.], Dez. 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/180/paineis-estruturais-pre-moldados-macicos-de-concreto-armado-para-execucao-de-286898-1.aspx>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

SILVA, Maristela Gomes da. **Manual da Construção em Aço: Painéis de vedação**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia/ Centro Brasileiro de Construção em Aço, 2003.

VASCONCELOS, Augusto C. **O concreto no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 2002.