

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**Melissa Vanzella**

**NÃO CONFORMIDADES EM PRÉ-MOLDADOS DE  
CONCRETO: COMPARAÇÃO ENTRE DUAS EMPRESAS  
FORNECEDORAS DE UM EMPREENDIMENTO**

Avaliador:
Defesa: dia __/__/2016 às _____ horas
Local: UFRGS / Engenharia Nova Oswaldo Aranha, 99, sala 304
<b>Anotações com sugestões para qualificar o trabalho são bem- vindas. O aluno fará as correções e lhe passará a versão final do trabalho, se for de seu interesse.</b>

Porto Alegre  
junho 2016

**MELISSA VANZELLA**

**NÃO CONFORMIDADES EM PRÉ-MOLDADOS DE  
CONCRETO: COMPARAÇÃO ENTRE DUAS EMPRESAS  
FORNECEDORAS DE UM EMPREENDIMENTO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil

**Orientador: Ruy Alberto Cremonini**

Porto Alegre  
junho 2016

**MELISSA VANZELLA**

**NÃO CONFORMIDADES EM PRÉ-MOLDADOS DE  
CONCRETO: COMPARAÇÃO ENTRE DUAS EMPRESAS  
FORNECEDORAS DE UM EMPREENDIMENTO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 20 de junho de 2016

Prof. Ruy Alberto Cremonini  
Dr. pela Universidade de São Paulo  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Ana Luiza Raabe Abitante (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho a minha avó, Ana, que sempre me apoiou e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação esteve ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Ruy Cremonini pelo apoio, pelos comentários e correções, sempre muito pertinentes, e pela disponibilidade ao longo deste trabalho.

Agradeço aos professores da Escola de Engenharia pelo empenho com que conduzem os alunos durante essa jornada. Seus ensinamentos e experiências foram essenciais para formar a base que me possibilitou concluir essa etapa.

Agradeço ao colega Dyetry Miranda pelo conhecimento compartilhado e pelas discussões sempre muito produtivas, que me ajudaram não apenas na realização desse trabalho, como também no meu desenvolvimento enquanto estagiária.

Agradeço ao mestre João Reis pelo apoio e pela confiança oferecidos, além das valiosas lições diárias em obra, que certamente levarei por toda minha vida profissional.

Agradeço, por fim, mas não menos importante, aos meus amigos pela paciência e compreensão com minha ausência, principalmente durante o período final da graduação. Em especial, agradeço ao grande amigo Ivan Pinto pelo apoio indispensável à conclusão dessa etapa.

A mão queimada ensina melhor. Depois disso o conselho  
sobre o fogo chega ao coração.

*J.R.R. Tolkien, em O Senhor dos Anéis*

## RESUMO

Este trabalho versa sobre a comparação, quanto a incidência de não conformidades, entre pré-moldados utilizados em um empreendimento comercial e fabricados por dois tipos de fábrica: uma fixa e outra móvel. A partir da revisão da literatura que aborda esse tipo de elemento estrutural, identificou-se os defeitos mais relevantes e os critérios para sua avaliação, bem como limites de tolerância e os classificou quanto à ocorrência e à importância. Com base nas características dos defeitos e em sua classificação, elaborou-se um procedimento para inspeção de pré-moldados, que se aplicou às lajes, vigas e pilares produzidos entre fevereiro e maio pelos dois fornecedores. Analisou-se os dados obtidos da inspeção e se comparou a incidência dos defeitos nos pré-moldados por tipo de elemento estrutural e por fornecedor. Dessa comparação, identificou-se os tipos de defeitos mais presentes em cada elemento e nas unidades de cada fabricante, esse último, para diferentes cenários: a partir de todos os defeitos avaliados, eliminando-se defeitos influenciados por características típicas de cada elemento e eliminando-se os defeitos causados pelo não cumprimento de especificações do projeto. Dessa forma, pode-se verificar se os defeitos apresentados pelos pré-moldados foram resultados do processo produtivo ou das características próprias dos elementos. Ainda, verificou-se que, para o último cenário de comparação, os dois métodos de produção apresentam praticamente a mesma proporção de defeitos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de etapas do trabalho .....	16
Figura 2 – Exemplo de estrutura em esqueleto .....	22
Figura 3 – Seções transversais mais utilizadas em vigas .....	24
Figura 4 – Exemplo de painéis de seção TT com e sem capa estrutural .....	24
Figura 5 – Empreendimento onde o estudo foi realizado .....	34
Figura 6 – Exemplo de pilares da edificação .....	35
Figura 7 – Exemplos de vigas da edificação .....	37
Figura 8 – Exemplo de lajes da edificação .....	38
Figura 9 – Exemplo de quebras em pré-moldados .....	42
Figura 10 – Exemplo de armadura exposta .....	42
Figura 11 – Escoamento das alças de içamento .....	43
Figura 12 – Regularidade das bordas .....	47
Figura 13 – Bolhas superficiais em pré-moldados .....	48
Figura 14 – Ninhos de concretagem em pré-moldados .....	48
Figura 15 – Exemplo de juntas de forma e superfícies irregulares .....	49
Figura 16 – Fissuras em pré-moldados .....	50
Figura 17 – Reparos em pré-moldado .....	51
Figura 18 – Manchas presentes em pré-moldados .....	52
Figura 19 – Incidência de defeitos críticos .....	56
Figura 20 – Incidência de defeitos graves .....	57
Figura 21 – Incidência de defeitos toleráveis .....	58
Figura 22 – Incidência de defeitos toleráveis (continuação) .....	59



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tolerâncias de fabricação para elementos pré-moldados .....	33
Quadro 2 – Resumo dos defeitos estudados .....	53
Quadro 3 – Resumo dos defeitos identificados por elemento estrutural .....	55
Quadro 4 – Proporção de defeitos por classe e elemento estrutural .....	56
Quadro 5 – Resumo dos defeitos identificados por fabricante .....	60
Quadro 6 – Proporção de defeitos por classe e fabricante .....	60
Quadro 7 – Proporção de defeitos por classe e fabricante excluindo a influência do tipo de elemento .....	61
Quadro 8 – Proporção de defeitos por classe e fabricante excluindo a influência do tipo de elemento e do posicionamento dos dispositivos de manuseio .....	62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	14
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	14
<b>2.2.1 Objetivo principal</b> .....	14
<b>2.2.2 Objetivos secundários</b> .....	14
2.3 PRESSUPOSTO .....	15
2.4 PREMISA .....	15
2.5 DELIMITAÇÕES .....	15
2.6 LIMITAÇÕES .....	15
2.7 DELINEAMENTO .....	15
<b>3 PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO</b> .....	18
3.1 DEFINIÇÕES .....	19
<b>3.1.1 Pré-moldados de fábrica</b> .....	19
<b>3.1.2 Pré-moldados de canteiro</b> .....	19
3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE PRÉ-MOLDADOS .....	20
<b>3.2.1 Vantagens</b> .....	20
<b>3.2.2 Desvantagens</b> .....	21
3.3 PROJETO DE PRÉ-MOLDADOS .....	21
3.4 SISTEMAS ESTRUTURAIS EM ESQUELETO .....	22
<b>3.4.1 Pilares</b> .....	23
<b>3.4.2 Vigas</b> .....	23
<b>3.4.3 Lajes</b> .....	24
3.5 PRODUÇÃO DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS .....	25
<b>4 GESTÃO DE QUALIDADE</b> .....	27
4.1 QUALIDADE NO PRODUTO .....	27
4.2 DEFEITOS .....	28
4.3 INSPEÇÃO .....	29
4.4 ACEITAÇÃO E REJEIÇÃO .....	30
4.5 INSPEÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS .....	31
<b>5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA</b> .....	34
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	34
<b>5.1.1 Componentes da edificação</b> .....	35

5.1.1.1 Pilares .....	35
5.1.1.2 Vigas .....	36
5.1.1.3 Lajes .....	37
<b>5.1.2 Produção de pré-moldados .....</b>	<b>38</b>
5.1.2.1 Na fábrica .....	39
5.1.2.2 No canteiro de obras .....	40
<b>5.2 PRINCIPAIS DEFEITOS EM PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO .....</b>	<b>41</b>
<b>5.2.1 Integridade estrutural .....</b>	<b>41</b>
5.2.1.1 Partes quebradas .....	41
5.2.1.2 Armadura exposta .....	42
5.2.1.3 Escoamento dos dispositivos de içamento .....	43
<b>5.2.2 Tolerâncias de fabricação .....</b>	<b>43</b>
5.2.2.1 Detalhes da peça com dimensões fora das tolerâncias .....	44
5.2.2.2 Deformações excessivas .....	44
<b>5.2.3 Tolerância de posicionamento .....</b>	<b>45</b>
5.2.3.1 Insertos posicionados fora da tolerância .....	45
5.2.3.2 Dispositivos de manuseio posicionados fora da tolerância .....	46
<b>5.2.4 Acabamento superficial .....</b>	<b>46</b>
5.2.4.1 Bordas irregulares .....	46
5.2.4.2 Presença de bolhas .....	47
5.2.4.3 Presença de ninhos de concretagem .....	48
5.2.4.4 Juntas de forma visíveis ou superfícies irregulares .....	49
5.2.4.5 Presença de manchas de oxidação .....	49
5.2.4.6 Presença de fissuras .....	49
5.2.4.7 Presença de reparos visíveis .....	50
5.2.4.8 Diferenças de cor ou textura .....	51
5.2.4.9 Presença de outras manchas .....	51
<b>5.2.5 Resumo dos defeitos em pré-moldados .....</b>	<b>52</b>
<b>5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS DEFEITOS .....</b>	<b>53</b>
<b>5.3.1 Inspeção em canteiro de obras .....</b>	<b>53</b>
<b>5.3.2 Análise dos registros de inspeção .....</b>	<b>54</b>
5.3.2.1 Por elemento estrutural .....	55
5.3.2.2 Por fabricante .....	60
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>63</b>

REFERÊNCIAS .....	65
APÊNDICE A .....	67
APÊNDICE B .....	69



## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, dentro de um cenário de escassez de mão de obra, baixas produtividade e qualidade dos serviços, aliado à necessidade de racionalizar recursos, a industrialização se faz cada vez mais presente na construção civil brasileira. Nesse contexto, a indústria de pré-fabricados cresce ano após ano, levando construtoras e empresas de Engenharia a adotarem os pré-fabricados para os mais diversos tipos de empreendimento (UM NOVO...<sup>1</sup>, 2013).

Em relação ao emprego de pré-fabricados de concreto, os setores da construção civil líderes no País, no último ano, são os de *shopping centers*, de indústrias e de varejo (DESEMPENHO..., 2015), o que condiz com a necessidade de que as obras sejam rápidas, uma vez que esses empreendimentos possuem alto investimento e esperam retorno rápido desse.

A principal razão desse crescimento da indústria de pré-fabricados e da diversificação do seu uso na construção civil está nos benefícios proporcionados por esse sistema construtivo, que se caracteriza pela produção prévia dos elementos estruturais de concreto e posterior montagem em suas posições definitivas. Esses benefícios são vistos, principalmente, em questões relacionadas à resistência, durabilidade e precisão dimensional, além de prazos e redução de custos (UM NOVO...<sup>2</sup>, 2013).

Cabe ressaltar que, desde que executados em conformidade com as normas vigentes, as características de resistência e durabilidade dos pré-fabricados podem ser até superiores às de elementos moldados no local. Destaca-se ainda que, a redução de custos de fabricação com o uso de pré-fabricados está relacionada ao prazo de execução, cuja possibilidade de cumprimento é maior para esse sistema construtivo.

Como consequência da expansão das empresas desse setor, torna-se cada vez mais importante uma avaliação dos fornecedores de pré-fabricados de concreto antes da contratação, o que pode ser feito verificando-se os trabalhos anteriores dessas empresas, atentando

---

<sup>1</sup> Entrevista de Aguinaldo Mafra Jr. concedida à Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto.

<sup>2</sup> Idem.

principalmente se os serviços foram executados dentro do prazo estimado e com a qualidade exigida (MARIANE, 2015).

Assim como a avaliação das possíveis fornecedoras de pré-fabricados antes da contratação é importante, também o *feedback* dos serviços prestados pela empresa contratada, tanto para essa, como para o setor responsável por sua contratação, é fundamental. Isso possibilita o crescimento dessa empresa, através da identificação de oportunidades de melhorias no processo produtivo a partir da avaliação dos clientes, bem como o aumento de informação disponível aos possíveis clientes para análise de fornecedores.

Uma dentre as maneiras de realizar essa avaliação da empresa fornecedora é analisar as peças por ela produzidas através de inspeção, verificando a existência de não conformidades. Dessa forma, a proposta deste trabalho é a avaliação de duas empresas fornecedoras de pré-fabricados de concreto, através de uma comparação entre elas no que diz respeito à ocorrência de defeitos em elementos que compõem a estrutura de um *shopping center* em construção na região metropolitana de Porto Alegre.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: analisando os pré-moldados através de inspeção final, qual empresa fornecedora apresenta maior incidência de defeitos: a instalada no canteiro de obras ou a com sede própria?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal do trabalho é a realização de um estudo comparativo, no canteiro de obras, da incidência de defeitos em elementos estruturais pré-moldados de concreto produzidos por empresas de diferentes características, a partir da inspeção das peças por elas produzidas.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários são:

- a) elaboração de um procedimento para avaliação das peças pré-moldadas;
- b) identificação das não conformidades que ocorrem com maior frequência.



## 2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que as empresas seguem as recomendações e atendem as exigências do projeto, bem como da norma técnica brasileira de pré-moldados: NBR 9062/2006 em seu processo produtivo.

## 2.4 PREMISSA

Ao se considerar que não conformidades nos elementos pré-moldados podem ser prejudiciais ao desempenho da edificação e que é de interesse de fornecedores obter o *feedback* de sua produção, assim como de compradores em atestar a qualidade do produto adquirido, esse trabalho tem por premissa que é necessária a inspeção das peças pré-moldadas no canteiro de obras.

## 2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a peças pré-moldadas de concreto que compõem a estrutura de um *shopping center* na cidade de Canoas, RS.

## 2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

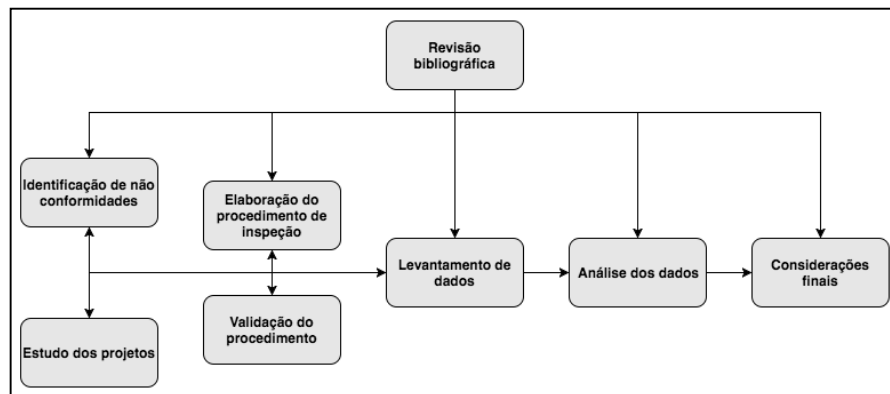
- a) a consideração de peças produzidas por duas empresas;
- b) a verificação das peças no canteiro de obras;
- c) a consideração somente das peças produzidas durante o período de coleta de dados estabelecido no cronograma de pesquisa;
- d) a coleta de dados feita em um período de tempo compatível com a realização do trabalho.

## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1:

- a) revisão da literatura;
- b) estudo dos projetos estruturais da edificação;
- c) identificação de não conformidades relevantes ao estudo;
- d) elaboração e validação de um procedimento para a inspeção dos pré-fabricados;
- e) levantamento de dados;
- f) análise dos dados;
- g) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama de etapas do trabalho



(fonte: elaborada pela autora)

A primeira etapa, de **revisão da literatura**, foi desenvolvida na etapa preliminar do trabalho, sendo constituída de uma pesquisa bibliográfica, principalmente referente a estruturas pré-fabricadas de concreto e gestão de qualidade, com o propósito de obter uma compreensão acerca do tema proposto, através de consulta a normas e bibliografia técnica. Após, a revisão de literatura continuou, ao longo de todo o trabalho, como forma de fornecer o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

A etapa seguinte foi dedicada ao **estudo e compreensão dos projetos**, com a identificação das características e particularidades dos elementos estruturais que constituem a edificação. Paralelamente, através de revisão da bibliografia e contato com profissionais da área, foram **identificadas as não conformidades** mais relevantes em pré-moldados de concreto armado.

Em seguida, baseado nas características e necessidades identificadas na etapa anterior, foi elaborado um **procedimento de inspeção**, que foi **validado** antes de ser utilizado no canteiro de obras como guia para a identificação das não conformidades durante o **levantamento de dados**.

Após, foi feita a **análise dos dados** obtidos no canteiro de obras, buscando se identificar os defeitos e a frequência com que incidem nos pré-moldados, conforme sua importância e o processo produtivo a que se refere. Por fim, na última etapa, foram feitas as **considerações finais**, em que, a partir dos resultados obtidos na etapa anterior, se identificou onde se apresenta a maior incidência de defeitos nas peças pré-moldadas de concreto, concluindo o trabalho.

### 3 PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

“A produção de componentes construtivos para edificações pode acontecer de três formas distintas: artesanal, tradicional ou industrializada.” (DI PIETRO, 2002, p. 1). Enquanto a produção artesanal emprega métodos e processos intuitivos, geralmente incorporados de usos e costumes regionais, a produção tradicional utiliza métodos e processos normalizados. Já a produção industrializada segue um estágio mais avançado, fazendo uso de técnicas de fabricação em série, racionalização e otimização de custos (DI PIETRO, 2002).

A construção civil é considerada uma indústria atrasada em relação aos outros ramos industriais e as razões disso são a baixa produtividade, o desperdício de materiais e o pouco controle da qualidade por ela apresentados (EL DEBS, 2000).

A forma mais efetiva de industrialização da construção, segundo Van Acker (2002), é transferir o trabalho realizado em canteiros de obras para fábricas, uma vez que a produção nessas possibilita, entre outros benefícios, maior eficiência e racionalização nos processos de produção e maior controle de qualidade.

Nesse sentido, afirma-se que uma alternativa para buscar a redução do atraso na indústria da construção civil é através da utilização de elementos pré-moldados de concreto, devido às características de economia, durabilidade, segurança estrutural e versatilidade arquitetônica relacionadas ao uso de concreto pré-moldado em edificações (VAN ACKER, 2002; EL DEBS, 2000).

O campo de aplicação do concreto pré-moldado se estende desde as edificações até as construções pesadas e as obras de infraestrutura, abrangendo praticamente toda a construção civil. Nas edificações, pode ser empregado tanto em edifícios comerciais, industriais e habitacionais, como em hospitais, terminais rodoviários, etc. (EL DEBS, 2000).

### 3.1 DEFINIÇÕES

A norma NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) define e distingue elementos pré-moldados de pré-fabricados da seguinte maneira:

- a) elemento pré-moldado é o executado fora de seu local de utilização na estrutura e, posteriormente, montado;
- b) elemento pré-fabricado é o executado industrialmente, em condições mais rigorosas de controle de qualidade.

Com relação à diferença entre pré-moldados e pré-fabricados, El Debs (2000, p. 11) acrescenta:

Como se depreende dessas definições, a industrialização das construções, a pré-fabricação e a pré-moldagem são conceitos distintos, ainda que relacionados entre si. A grosso modo, pode-se dizer que a 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.

Ainda, El Debs (2000) classifica os elementos pré-moldados quanto ao seu local de produção, podendo ser de fábrica ou de canteiro, conforme segue.

#### 3.1.1 Pré-moldados de fábrica

Os pré-moldados de fábrica são os executados em instalações permanentes e distantes das obras (EL DEBS, 2000). El Debs (2000) ainda considera que, apesar da vantagem de maior industrialização dos processos que envolvem esse método de fabricação, o transporte da fábrica até a obra pode ser mais difícil ou mesmo influenciar no custo.

#### 3.1.2 Pré-moldados de canteiro

El Debs (2000) classifica os pré-moldados de canteiro como aqueles executados em instalações temporárias próximas às obras. Apesar de ter como vantagens as facilidades com transporte, já que a distância é menor, e a isenção de impostos desses produtos, a produtividade tende a ser menor, devido à menor capacidade de produção (EL DEBS, 2000).

Os elementos estruturais analisados nesse trabalho serão produzidos por duas empresas com características distintas: uma instalada no canteiro de obras e outra em fábrica própria. Além disso, esses elementos também possuem projeto exclusivo para o empreendimento, ou seja, sua fabricação será única. Essas características fazem com que as peças sejam consideradas como elementos estruturais de **concreto pré-moldado** e assim serão referidas ao longo do trabalho.

## 3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE PRÉ-MOLDADOS

O uso de pré-moldados em edificações, em comparação ao sistema convencional de construção, com estruturas moldadas *in loco*, apresenta algumas vantagens, bem como desvantagens. Essas são apresentadas nos próximos itens.

### 3.2.1 Vantagens

As vantagens do uso de pré-moldados estão na facilidade da produção de seus elementos, com execução de partes da estrutura fora de seu local definitivo (EL DEBS, 2000). O autor ainda destaca que, para produções em série, as vantagens seriam de possibilitar melhor aproveitamento dos materiais, maior produtividade da mão-de-obra e maior controle de qualidade.

Van Acker (2002) considera que o uso de pré-moldados de concreto apresenta muitas vantagens, dentre elas:

- a) produtos feitos em fábricas: o que agrega características da indústria ao processo produtivo, como racionalização de processos, especialização da mão de obra e controle de qualidade;
- b) otimização no uso dos materiais: o que confere aos pré-moldados maior potencial econômico, desempenho estrutural e durabilidade que o sistema convencional de construção;
- c) menor tempo de construção: uma vez que se pode trabalhar em várias fases da construção simultaneamente;
- d) qualidade: por ser um produto de características industriais, passa por um controle de qualidade maior que o moldado *in loco*;
- e) eficiência estrutural: oferecendo recursos como vãos grandes e redução da altura efetiva;

- f) construção menos agressiva ao meio ambiente: com menor desperdício de materiais, redução de energia e reciclagem do desperdício de concreto.

Quanto aos itens citados como vantagens do uso de pré-moldados pelo autor, considera-se que essas são, na verdade, potenciais vantagens, uma vez que não são inerentes a esse sistema construtivo, podendo ser obtidas desde que todas as suas etapas sejam bem executadas.

Ainda, Di Pietro (2002) defende que, para a pré-fabricação de elementos de concreto, os investimentos necessários em equipamentos, mão-de-obra e matéria prima não são muito elevados, justamente pela simplicidade e rapidez de sua produção, que é similar à de elementos moldados no local. O autor também destaca que os componentes construtivos pré-moldados podem, em alguns casos, representar um ganho relativo em material e mão-de-obra em comparação aos componentes moldados no local.

### 3.2.2 Desvantagens

As possíveis desvantagens do uso de pré-moldados estão nas limitações do transporte e da montagem dos elementos, por serem necessários equipamentos especiais para realizá-los de maneira adequada. Ainda, as ligações entre os elementos podem se tornar caras e difíceis de usar, dependendo do seu tipo (EL DEBS, 2000).

## 3.3 PROJETO DE PRÉ-MOLDADOS

El Debs (2000) defende que os projetos de estruturas de concreto pré-moldado e de estruturas de concreto moldado *in loco* diferem em razão da necessidade de se considerar no cálculo estrutural as situações de manuseio, transporte, armazenagem e montagem, que podem ser mais desfavoráveis que a situação definitiva, e o comportamento estrutural das ligações entre os elementos.

Assim, o autor ainda afirma (EL DEBS, 2000, p. 24):

Os sistemas estruturais devem ser concebidos tendo em vista os aspectos construtivos e os aspectos estruturais. No caso das estruturas de concreto pré-moldado, muitas vezes, os aspectos construtivos preponderam sobre os aspectos estruturais. Por essa razão, nos sistemas estruturais de concreto pré-moldado, muitas vezes, são privilegiadas as facilidades de manuseio e transporte dos elementos pré-moldados e as facilidades de montagem e execução das ligações destes elementos para formar a estrutura.

Outro aspecto a ser levado em conta no projeto de estruturas de concreto pré-moldado é a padronização que, segundo Van Acker (2002), possibilita melhor qualidade, confiabilidade, custos mais baixos e uma execução mais rápida, devido à repetitividade das tarefas e a experiência a essa associada. O autor ainda destaca (VAN ACKER, 2002, p. 8) que “A padronização de produtos e processos é amplamente difundida na pré-fabricação.”, sendo adotada através de variações de seções transversais apropriadas para cada componente.

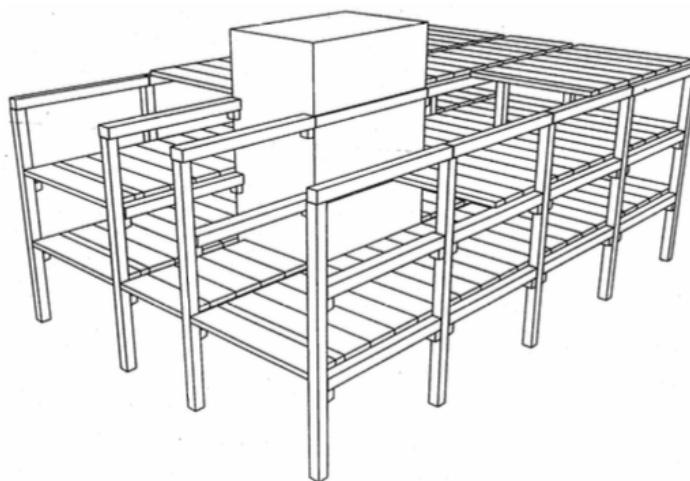
El Debs (2000) e Van Acker (2002) destacam que para estruturas pré-moldadas, os sistemas estruturais em esqueleto são o mais comumente empregados.

### 3.4 SISTEMAS ESTRUTURAIS EM ESQUELETO

Sistemas estruturais em esqueleto são constituídos de pilares, vigas e lajes de diferentes formatos e tamanhos combinados, geralmente empregados em edifícios com alturas médias e baixas. Esse sistema é apropriado para construções em que seja necessário o uso de grandes vãos e de espaços abertos sem a interferência de paredes, tais como indústrias, *shopping centers*, estacionamentos e centros esportivos (VAN ACKER, 2002).

Estruturas em esqueleto são as mais arquitetônica e estruturalmente exigentes, uma vez que seus sistemas estruturais podem possuir grandes vãos e reduzidos tamanhos de elementos de contraventamento e alturas de vigas (ELLIOT; COLIN, 2013). Um exemplo de estrutura em esqueleto está na figura 2.

Figura 2 – Exemplo de estrutura em esqueleto



(fonte: VAN ACKER, 2002, p. 12)



Os elementos que compõem esse sistema estrutural geralmente possuem as seguintes características: os pilares são retangulares, com comprimento de um ou mais pavimentos, enquanto as vigas são, normalmente, em formato retangular, L ou T invertido, com apoios simples e conectadas aos pilares em seu topo ou sobre os consolos com chumbadores. Por sua vez, os pisos são formados por lajes que podem ou não receber uma capa de concreto moldado no local para sua solidarização (VAN ACKER, 2002). A seguir, são apresentadas mais características dos principais elementos que compõem esse sistema estrutural.

### 3.4.1 Pilares

Os pilares normalmente são de concreto armado, sendo usado concreto protendido para casos em que se tenha momento fletor elevado. Diversas são as formas e dimensões em que são produzidos, destacando-se as seções transversais quadradas e retangulares como as mais utilizadas, podendo ser vazadas ou não (EL DEBS, 2000).

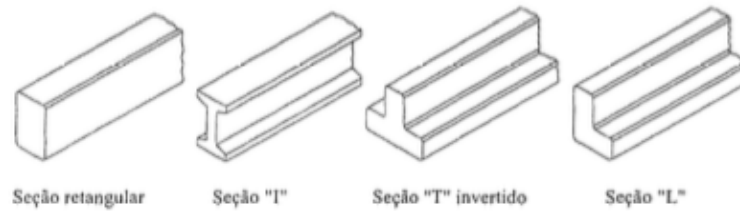
Em razão do manuseio e da acomodação das ligações entre pilares e vigas, Van Acker (2002) indica que a seção transversal mínima deve ser de 30 cm, apesar de a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) permitir o uso de seções transversais mínimas de 19 cm ou 360 cm<sup>2</sup>. Além disso, podem ser fabricados como uma peça contínua, sem juntas, para comprimentos máximos da ordem de 20 m (EL DEBS, 2000; VAN ACKER, 2002).

Como parte do travamento da estrutura, os pilares podem ser engastados na fundação. A superfície de contato do pilar com o bloco de fundação pode ser lisa ou rugosa, dependendo da forma de solidarização utilizada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

### 3.4.2 Vigas

Os tipos mais comuns de vigas para esse tipo de estrutura são as vigas em forma de “L” e “T” invertido, que proporcionam apoio para as lajes com redução da espessura total do sistema de piso, podendo ter a mesma largura do pilar ou menor (VAN ACKER, 2002). Essas e outras seções transversais mais comuns estão na figura 3.

Figura 3 – Seções transversais mais utilizadas em vigas



(fonte: EL DEBS, 2000, p. 252)

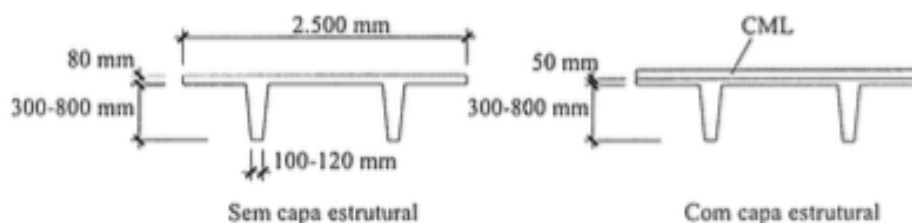
As vigas podem ser simplesmente apoiadas, conectadas através de chumbadores nos topos de pilares ou sobre os consolos, ou ainda ficarem embutidas através de ligações desenvolvidas especialmente para isso (VAN ACKER, 2002).

### 3.4.3 Lajes

Os sistemas pré-moldados para pisos são de diversos tipos, podendo-se destacar como principais as lajes alveolares, os painéis nervurados protendidos, as lajes maciças, as placas (ou painéis) pré-moldadas e as lajes com vigotas (VAN ACKER, 2002).

Esses elementos podem ser com ou sem capa de concreto moldado no local, sendo, para o primeiro caso, classificados como elementos compostos (EL DEBS, 2000). No caso de pisos com capeamento de concreto moldado no local, os painéis são produzidos com esperas de armadura, que serão cobertas pela capa de concreto moldado no local, para assegurar a aderência do concreto ao painel. Além disso, essa armadura ainda fornece maior resistência aos elementos em seu transporte e instalação (VAN ACKER, 2002). Exemplo de placas de pisos com e sem capeamento em concreto moldado no local, está na figura 4.

Figura 4 – Exemplo de painéis de seção TT com e sem capa estrutural



(fonte: EL DEBS, 2000, p. 254)

### 3.5 PRODUÇÃO DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

Organizações similares a de fábricas em geral podem ser consideradas para a produção de elementos pré-moldados de concreto, uma vez que essa envolve um conjunto de operações que necessitam planejamento e otimização do projeto, além de adequado dimensionamento das instalações físicas (EL DEBS, 2000).

El Debs (2000) classifica as fábricas de pré-moldados em fixas, semifixas e móveis. As fábricas fixas são as instaladas por tempo indeterminado e que podem obter com maior facilidade um grau de industrialização do seu produto. Já as semifixas são instaladas para atender a determinadas situações, portanto, por um tempo determinado, o que limita os investimentos para a melhoria dos processos produtivos. Por fim, as fábricas móveis são aquelas instaladas nos canteiros de obras e, dessa forma, atendem apenas esse empreendimento.

O local da produção dos pré-moldados é um aspecto a ser considerado para a viabilidade da utilização de pré-moldados em uma edificação. Assim como aspectos financeiros, técnicos e operacionais também devem ser levados em conta (NASCIMENTO NETO et al., 2010). Segundo Ewerthon Bonetti<sup>3</sup>, há sentido em fazer a fábrica de pré-moldados dentro do canteiro, caso seja avaliado que essa solução tenha um alto índice de produtividade (MARIANE, 2015).

No sentido da produção de pré-moldados de concreto, essa pode ser dividida em três etapas: atividades preliminares, execução propriamente dita e atividades posteriores. As atividades preliminares correspondem à preparação dos materiais; a execução propriamente dita envolve a preparação da forma e da armadura, a moldagem, a cura do concreto e a desmoldagem; já as atividades posteriores compreendem o transporte para a área de armazenamento, os acabamentos e o armazenamento (EL DEBS, 2000).

Para a execução de pré-moldados em conformidade com as especificações de projeto, deve-se observar as recomendações das normas técnicas pertinentes e manuais técnicos de procedimentos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006). A seguir, são apresentadas algumas recomendações da norma brasileira de pré-moldados, a NBR 9062:

---

<sup>3</sup> Diretor técnico da Gafisa, em entrevista à revista Construção Mercado em junho de 2015.

projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, que influenciam na qualidade do produto final:

- a) as formas devem ser adaptadas às formas e dimensões das peças pré-moldadas, além de ser limpas antes de cada utilização e estar livres de substâncias que possam aderir à superfície dos elementos de concreto;
- b) a armadura deve ser posicionada no interior da forma, garantindo a tolerância mínima para o cobrimento e que sua posição durante o lançamento do concreto permaneça a indicada em projeto, o que pode ser feito com arames de aço e espaçadores plásticos, de concreto ou de argamassa;
- c) os insertos devem ser ancorados no concreto, para que garantam a resistência aos esforços previstos, podendo ser colocados antes do lançamento do concreto ou após o endurecimento;
- d) o concreto, caso não seja auto adensável, deve ser adensado durante ou imediatamente após seu lançamento, tomando-se as precauções necessárias para que não haja segregação dos materiais;
- e) a superfície deve ser mantida úmida ou coberta com uma película impermeável para proteção contra secagem prematura enquanto não atingir endurecimento satisfatório.

## 4 GESTÃO DE QUALIDADE

A gestão de qualidade na aquisição de materiais e produtos em uma empresa construtora envolve diferentes setores, como os de projeto, suprimentos e obras, que devem trabalhar de forma integrada para que a qualidade dos produtos adquiridos seja satisfatória para os clientes (SOUZA; MEKBEKIAN, 1996).

Segundo os autores (SOUZA; MEKBEKIAN, 1996, p. 15), a qualidade na aquisição deve ser composta pelos seguintes elementos:

- a) especificações técnicas para a compra;
- b) controle de recebimento em obra;
- c) orientações para o armazenamento;
- d) seleção e avaliação de fornecedores.

Ainda, é importante que a especificação se dê durante a fase de projeto, servindo de suporte para a aquisição dos materiais pelo departamento de suprimentos. Assim, os registros de qualidade são obtidos a partir do controle de recebimento do material adquirido e entregue em obra, sendo esses registros considerados uma ferramenta importante para a qualificação de fornecedores e retroalimentação do sistema (SOUZA; MEKBEKIAN, 1996).

### 4.1 QUALIDADE NO PRODUTO

Qualidade é um termo de domínio público, que faz parte do cotidiano das pessoas, empregado nas mais variadas situações, nem sempre em contextos bem definidos ou situações bem particulares, e, portanto, de difícil conceituação (PALADINI, 2009).

Dentre as muitas definições de qualidade, destaca-se a de Ambrozewicz (2003), que a caracteriza como o conjunto de atributos ou elementos que constituem um produto. Ainda, o autor afirma que, para se alcançá-la, é preciso focar as atividades produtivas no atendimento ao consumidor, uma vez que o uso que esse dará ao produto é o que determinará suas

características, que não necessariamente são objetivas, mensuráveis ou perfeitamente caracterizadas.

Paladini (2009) indica que a avaliação da qualidade de um produto pelo cliente ocorre em dois momentos. No primeiro, é visto o produto em sua totalidade, seguido de um momento em que passa a se deter nos detalhes, considerando aspectos específicos que compõem o produto.

## 4.2 DEFEITOS

Defeitos são definidos pela NBR 5426 – “Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985b) como a falta de conformidade a qualquer requisito especificado ao produto e os classifica em crítico, grave e tolerável. Defeito crítico é o capaz de produzir condições perigosas ou inseguras para quem o usa, também sendo aquele que pode impedir o funcionamento ou desempenho de alguma função importante do produto. Já o grave é considerado não crítico, mas que pode resultar em falha ou reduzir a utilidade do produto para o fim a que se destina. Enquanto o tolerável é o que não reduz a utilidade do produto para seu fim, nem influi substancialmente no seu uso efetivo. Essa classificação será a adotada ao longo do trabalho para os defeitos.

Em função da quantidade de defeitos que apresentam, a NBR 5426 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985b) classifica as unidades de produtos em defeituosa crítica, defeituosa grave e defeituosa tolerável conforme segue:

- a) defeituosa crítica: aquela que contém um ou mais defeitos críticos, podendo conter defeitos toleráveis e graves;
- b) defeituosa grave: é a que contém um ou mais defeitos graves, podendo conter defeitos toleráveis, mas não críticos;
- c) defeituosa tolerável: é a que contém um ou mais defeitos toleráveis e não contém defeitos graves nem críticos.

Já Paladini (2009) afirma que alguns defeitos requerem mais recursos e atenção, devendo ser analisados com maior cuidado e rapidez, classificando-os de dois modos: quanto à ocorrência e quanto à sua importância. Em relação à ocorrência, os defeitos são classificados conforme a que se referem: ao acabamento e à aparência ou às suas características funcionais. A primeira classificação diz respeito aos defeitos no exterior do produto e seu aspecto geral, o que nem sempre inviabiliza o uso do produto. Já a segunda classificação está relacionada à operação do

produto, com defeitos que impeçam ou prejudiquem sensivelmente seu funcionamento, impedindo, assim, seu uso (PALADINI, 2009). Quanto à importância, Paladini (2009) classifica os defeitos de maneira similar à da NBR 5426, mudando apenas a nomenclatura. Para o autor, os defeitos podem ser críticos, maiores ou menores, esses últimos também chamados apenas de irregularidades.

### 4.3 INSPEÇÃO

Souza e Mekbekian (1996) sugerem que o controle de recebimento de materiais e produtos siga as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) voltadas às especificações desses, através da inspeção por amostragem estatística, com critérios de aceitação e rejeição por elas definidos.

A maioria dos componentes da construção possui especificações regulamentadas pela ABNT em suas normas. No entanto, algumas dessas normas possuem detalhes demais, que dificultam seu uso rotineiro na empresa, outras exigem verificações difíceis de ser executadas em obra ou, ainda, podem ser simples e genéricas demais. Devido a isso, a empresa construtora tem a liberdade de criar suas próprias especificações, desde que essas sejam desenvolvidas com base nas normas técnicas, brasileiras ou internacionais, na bibliografia relativa ao assunto e na experiência dos técnicos das diversas áreas da empresa (SOUZA; MEKBEKIAN, 1996).

De acordo com a NBR 5425 – “Guia para inspeção por amostragem no controle e certificação de qualidade” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985a, p. 3), a inspeção consiste nos processos necessários para verificar se as características da unidade de produto estão de acordo com as especificações técnicas e visa:

- a) separar as unidades de produto aceitáveis das não aceitáveis;
- b) avaliar o grau de conformidade ou não conformidade com os requisitos estabelecidos;
- c) fazer chegar o mais breve possível aos responsáveis (chefias de produção, diretoria, etc.) relatórios apontando as deficiências observadas;
- d) assegurar que os requisitos desejados de qualidade foram atendidos.

A NBR 5425 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985a, p. 3) considera “[...] dois tipos de inspeção quanto à quantidade a ser inspecionada: inspeção 100%

---

Não conformidades em pré-moldados de concreto: comparação entre duas empresas fornecedoras de um empreendimento.

ou inspeção por amostragem.”. O primeiro consiste na inspeção de todas as unidades do produto, sendo recomendável para características de qualidade críticas. Já no segundo, é selecionada aleatoriamente uma amostra para inspeção de uma ou mais características de qualidade, tendo como vantagem ser mais rápida e econômica.

Quanto aos métodos de inspeção, a NBR 5425 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985a) identifica a inspeção por atributos e a inspeção por variáveis. A inspeção por atributos se dá pela verificação da presença ou ausência de uma determinada característica qualitativa em cada unidade de produto da amostra e pela contagem do número de unidades inspecionadas identificadas com essa característica. A inspeção por variáveis é usada quando as características de qualidade são expressas em termos de quantidades ou em termos mensuráveis, tendo como resultado o grau de conformidade da unidade de produto analisado.

#### 4.4 ACEITAÇÃO E REJEIÇÃO

O recebimento e controle de materiais e produtos em obra que assegure o atendimento dos requisitos especificados para esses deve ter como referência a nota fiscal do produto, a especificação de inspeção elaborada para o produto a ser recebido e o pedido de compra. Além disso, é preciso que fornecedores e obra cumpram com suas responsabilidades: o primeiro provendo produto aceitável e o segundo realizando sua conferência no ato do recebimento conforme as especificações previamente estabelecidas para esse (SOUZA; MEKBEKIAN, 1996).

De acordo com os autores, a partir da conferência de qualidade do material com base na sua especificação de inspeção, existem três situações possíveis:

- a) aceitação total: ocorre quando não há problemas e o material é recebido;
- b) recusa total: é informada a ocorrência de problemas ao engenheiro, que analisa os motivos para a recusa do material e autoriza sua devolução;
- c) recusa parcial: a ocorrência de problemas é informada ao responsável técnico e esse analisa os motivos para a recusa parcial do material e autoriza a devolução de parte do material, acompanhado da nota de devolução do mesmo.

As normas ABNT referentes a cada componente já possuem os critérios de aceitação e rejeição determinados a partir do seu plano de amostragem para inspeção por amostragem



estatística. Caso não se queira fazer uso desses planos de amostragem, a empresa pode criar seus próprios, através da norma NBR 5426. Essa norma contém tabelados os planos de amostragem em função de algumas características, como tamanho do lote e Nível de Qualidade Aceitável (NQA) (SOUZA, MEKBEKIAN, 1996).

Uma vez que o estudo tem como proposta apenas comparar dois métodos de produção de elementos pré-moldados quanto à incidência de não conformidades, não serão feitas considerações sobre aceitação e rejeição dos elementos analisados. Para que se pudesse aceitar ou rejeitar as unidades inspecionadas se fazia necessário o acordo prévio entre as empresas produtoras e os responsáveis pela obra das características esperadas dos produtos.

#### 4.5 INSPEÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS

O fabricante e o contratante são responsáveis pela qualidade no processo de fabricação das unidades pré-moldadas. Na fábrica, controles de qualidade rigorosos devem ser mantidos para garantir que os elementos pré-moldados sejam produzidos de acordo com as normas e especificações e devem portar, ao sair da fábrica, documentos que certifiquem isso. No canteiro de obras, os elementos devem ser inspecionados para sua aceitação e os itens a serem verificados incluem: integridade estrutural, tolerância dimensional e acabamento superficial (HONG KONG, 2003).

A norma NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 37), em seu item 12.1.5, considera que:

Na inspeção e no controle da qualidade dos elementos, devem ser utilizados as especificações e os métodos de ensaios das Normas Brasileiras pertinentes. Na eventual falta dessas normas, permite-se que seja aprovada a metodologia a ser adotada, de comum acordo entre o proprietário e o fabricante ou a fiscalização e o construtor.

Para elementos pré-moldados, essa norma ainda indica que esses devem ser inspecionados individualmente ou por lotes e estabelece os requisitos mínimos de controle de qualidade e inspeção dos produtos acabados, através das seguintes verificações:

- a) do atendimento das condições especificadas para o levantamento e o manuseio adequados dos elementos;
- b) das condições de armazenamento;

- c) das dimensões dos elementos, dos insertos, dos recortes e das saliências, observando suas tolerâncias;
- d) da existência de falhas ou defeitos relativos à concretagem;
- e) da presença de fissuras;
- f) da sua aparência quanto a rebarbas, cantos quebrados, lascas ou defeitos semelhantes;
- g) da aparência do elemento quanto à cor e textura;
- h) quanto às tolerâncias em relação a distorções, não linearidades, flechas e contraflechas.

O *Manual of Quality Control for Plants and Production of Structural Precast Concrete Structures* (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999), manual do PCI (*Precast/Prestressed Concrete Institute*) sugere que, como os aspectos estéticos são, geralmente, subjetivos, as superfícies acabadas devem ser avaliadas em comparação com os padrões especificados em projeto e amostras. Ainda, os elementos de concreto pré-moldado, com relação às dimensões, devem estar dentro das tolerâncias especificadas em norma ou no projeto.

Tolerâncias são variações permitidas em relação aos exatos requisitos de projeto e devem ser estabelecidas por considerações econômicas e práticas de produção, além de requisitos funcionais e estéticos (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999).

Uma observação importante é a de que as tolerâncias devem ser consideradas guias para um intervalo de aceitação e não limites para rejeição, de modo que, caso as tolerâncias sejam excedidas, a unidade pode ser aceita desde que sua integridade estrutural não seja afetada, ou que possa ser reparada de modo a alcançar os limites de tolerância sem que seja comprometida estruturalmente, ou ainda, que o restante da estrutura possa ser adaptado para alcançar os requisitos estruturais (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999).

Uma certa quantidade de reparos nas unidades produzidas pode ser esperada, sendo necessários mão de obra especializada e cuidados especiais na seleção e preparo dos materiais para garantir que a área reparada esteja em conformidade com as exigências estruturais, de durabilidade, de serviço e estéticas (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999).

Ainda, a NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) admite a utilização de elementos fora das tolerâncias definidas em norma, desde que o responsável pelo projeto estrutural ateste que, em tais circunstâncias, o desempenho estrutural ou a durabilidade da edificação não sejam comprometidos. Essa norma determina os valores máximos aceitos para desvios nos elementos produzidos, os quais serão utilizados como referência nesse estudo, conforme quadro 1.

Quadro 1 – Tolerâncias de fabricação para elementos pré-moldados

Grupo de elementos pré-moldados	Seção ou dimensão		Tolerância
Pilares, vigas, pórticos e elementos lineares	Comprimento	$L \leq 5$ m	+/- 10 mm
		$5 \text{ m} < L \leq 10$ m	+/- 15 mm
		$L > 10$ m	+/- 20 mm
	Seção transversal		- 5 mm e + 10 mm
	Distorção		+/- 5 mm
Linearidade		+/- L/1000	
Painéis, lajes, escadas, e elementos em placa	Comprimento	$L \leq 5$ m	+/- 10 mm
		$5 \text{ m} < L \leq 10$ m	+/- 15 mm
		$L > 10$ m	+/- 20 mm
	Espessura		- 5 mm, + 10 mm
	Planicidade	$L \leq 5$ m	+/- 3mm
		$L > 5$ m	+/- L/1000
	Distorção:	Largura ou altura $\leq 1$ m	+/- 3 mm cada 30cm
Largura ou altura $> 1$ m		+/- 10 mm	
Linearidade		+/- L/1000	
Telhas e/ou elementos delgados	Comprimento	$L \leq 5$ m	+/- 10 mm
		$5 \text{ m} < L \leq 10$ m	+/- 15 mm
		$L > 10$ m	+/- 20 mm
	Espessura	$e \leq 50$ mm	- 1 mm e + 5 mm
		$e > 50$ mm	- 3 mm e + 5 mm
Distorção		+/- 5 mm	
Linearidade		+/- L/1000	
Estacas	Comprimento		+/- L/300
	Seção transversal (ou diâmetro)		+/- 5%
	Espessura da parede para seções vazadas		+13 / -6 mm
	Linearidade		+/- L/1000

onde: L é o comprimento do elemento pré-moldado.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 7)

## 5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Nesse capítulo, são apresentadas as etapas que compõem a base do desenvolvimento desse estudo. Primeiramente, são caracterizados os elementos pré-moldados que compõem o empreendimento e seu processo produtivo. A seguir, são descritos os principais defeitos que podem ser identificados nesses elementos. Por fim, é apresentado o método adotado para sua inspeção.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Os pré-moldados analisados nesse estudo serão utilizados na construção de um *shopping center* na região metropolitana de Porto Alegre, empreendimento esse de, aproximadamente, 120.000 m<sup>2</sup> de área construída, composto de 4 pavimentos, com mezaninos e áreas intermediários. A estrutura é constituída de pilares, vigas, lajes, escadas e painéis de fachada pré-moldados. Para suprir essa demanda de peças, duas empresas fornecem os pré-moldados: uma fábrica instalada no próprio canteiro de obras e uma indústria com sede na cidade de Porto Alegre. Na figura 5 consta uma foto do empreendimento.

Figura 5 – Empreendimento onde o estudo foi realizado



(fonte: do empreendimento)

## 5.1.1 Componentes da edificação

Para esse estudo, os componentes da estrutura considerados são os pilares, as vigas e as lajes. A seguir, tem-se as características desses.

### 5.1.1.1 Pilares

O empreendimento objeto desse estudo é composto de, aproximadamente, 620 pilares. Os pilares possuem seções transversais retangulares de 50 X 50 cm e 50 X 70 cm, variando em altura de 6,5 m a 29 m, com até 14 consolos por pilar para suporte das vigas. A ligação dos pilares com a fundação é feita através do embutimento, conforme o projeto, de parte do pilar com superfície rugosa no cálice dos blocos de fundação, gerando um engaste.

O projeto de pilares contém, aproximadamente, 400 tipos diferentes, sendo que, em torno de 80% dos pilares que compõem a edificação são peças únicas. Ainda, o projeto indica a posição das alças de saque, para sua retirada da forma e transporte, do furo para içamento e dos apoios de estocagem, detalhes da solidarização dos pilares com a fundação, que deve ser feita através de graute de resistência à compressão superior a 25 MPa, bem como a resistência à compressão do concreto (fck) aos 28 dias dos pilares, podendo ser de 30 MPa ou 45 MPa. Alguns pilares da estrutura estão representados na figura 6.

Figura 6 – Exemplo de pilares da edificação



(fonte: do empreendimento)

Os pilares são produzidos fora do canteiro de obras, em uma indústria de pré-moldados, a partir do cronograma de montagem e transportados até a obra. A produção diária de pilares está entre 5 e 10 unidades, correspondendo também ao número médio de unidades montadas diariamente no canteiro de obras, de maneira que seu armazenamento no canteiro, quando necessário, se dá por curto período de tempo.

O transporte dos pilares é feito da fábrica à obra com o uso de carretas, que transportam até dois pilares por vez, sendo esses, geralmente, descarregados por um guindaste e armazenados próximos ao local em que serão montados. Antes de serem montados, a equipe de topografia realiza a conferência de alinhamento, dimensões e posição dos consolos.

A montagem então procede com o içamento do pilar por guindaste, preso por um pino no furo de içamento e seu posicionamento sobre o cálice do bloco. O prumo e o alinhamento no local são então conferidos e corrigidos antes que seja feito o lançamento de graute para a solidarização do pilar com a fundação.

#### 5.1.1.2 Vigas

A edificação estudada possui em torno de 2200 vigas, com aproximadamente, 500 tipos diferentes, de forma que 10% das vigas são peças únicas. Dentre os tipos de vigas que se repetem, apenas 5 desses apresentam mais de 30 unidades cada, enquanto os demais tipos possuem poucas unidades repetidas. As vigas atingem comprimento de até 14 m, com seções dos tipos retangular, trapezoidal, “T”, “T” invertido, “L” e “U” invertido. Os projetos de vigas contêm detalhes de montagem e estocagem, posição de alças de içamento, sobrecarga, e específica resistência à compressão ( $f_{ck}$ ) aos 28 dias de 30 MPa. Na figura 7 são apresentados alguns exemplos de vigas em estoque no canteiro de obras.

Figura 7 – Exemplos de vigas da edificação



(fonte: do empreendimento)

As vigas são produzidas por uma fábrica de pré-moldados instalada no canteiro de obras. Entre 10 e 15 unidades são produzidas diariamente, das quais apenas de 5 a 10 são montadas, enquanto as restantes ficam armazenadas. Geralmente, as vigas são transportadas, após sua desforma, da área de produção para uma área de estoque, geralmente próximo a seu local de utilização na estrutura.

Para a montagem, as vigas são içadas por um guindaste através de suas alças de içamento e posicionadas no consolo do pilar. A ligação da viga com o pilar é então realizada por dois montadores em uma plataforma de trabalho aéreo (PTA). As vigas podem ser apenas apoiadas ou embutidas no consolo do pilar, ou ainda engastadas através de inserto metálico.

#### 5.1.1.3 Lajes

O sistema de pisos da edificação é composto de, aproximadamente, 4500 painéis de laje, de 260 tipos diferentes, com comprimento de até 13 m e do tipo “T” ou “TT” (também conhecida como “ $\pi$ ”). As lajes são estruturas mistas, com capeamento moldado no local, que também serve de solidarização da estrutura.

Os projetos de lajes, assim como os de vigas, contem detalhes de montagem e estocagem, posição de alças de içamento, sobrecarga, além de especificar a resistência à compressão (fck) aos 28 dias de 30 MPa. A figura 8 apresenta alguns exemplos de lajes da edificação, estocadas no canteiro de obras.

Figura 8 – Exemplo de lajes da edificação



(fonte: do empreendimento)

As lajes são produzidas no canteiro de obra pela mesma empresa que produz as vigas. Como esses elementos possuem uma repetitividade maior que os pilares e vigas, consegue-se alcançar uma produção diária entre 30 a 35 unidades. A produtividade da montagem das lajes, por sua vez, é bastante menor que sua fabricação, de modo que grande parte delas é mantida em estoque no canteiro de obras.

A montagem das lajes é feita da mesma maneira que as vigas, a diferença está nas ligações, onde as lajes ficam apoiadas sobre as vigas. A execução da capa de concreto moldado no local, posteriormente, solidariza as lajes entre si e entre o restante da estrutura.

### **5.1.2 Produção dos pré-moldados**

Os pré-moldados de concreto para esse empreendimento começaram a ser fabricados no canteiro de obras em agosto de 2015 e, inicialmente, a proposta era que todas as peças fossem produzidas somente por essa empresa. No entanto, observou-se que sua produção estava muito abaixo do esperado para o cumprimento dos prazos estabelecidos no cronograma de execução da estrutura. Dessa forma, optou-se por fabricar apenas lajes e vigas no canteiro de obras e a fabricação dos pilares foi então transferida para a outra fábrica, com sede na cidade vizinha, tendo início em outubro de 2015.

Até o presente momento, a produção dessas peças está em torno de 70% concluída. Mensalmente, são produzidos, em média, 36 pilares, 180 vigas e 360 lajes, de forma que se



espera que sua produção seja concluída em um total de 11 meses. De maneira a diferenciar as empresas e sua respectiva produção, a empresa instalada fora do canteiro de obras será chamada de fábrica, embora as duas sejam fábricas de pré-moldados contratadas pelo empreendimento. A sequência de produção em cada uma das empresas é descrita a seguir.

#### 5.1.2.1 Na fábrica

A rotina de produção na fábrica começa com a revisão das formas, que devem ser reformadas a cada tipo diferente de pilar, o que ocorre com bastante frequência, uma vez que a repetitividade das unidades é baixa. Com a forma pronta, a armação, que foi montada previamente, é posicionada dentro da forma. Essa preparação é realizada para 4 a 6 unidades que, após, serão concretadas em sequência.

A fábrica possui uma central de concreto em suas instalações, com capacidade de 1 m<sup>3</sup> por betonada. O concreto usinado é transportado dessa central, em uma caçamba, para onde será feita a concretagem com o uso de uma ponte rolante suspensa. A concretagem é feita então com o escoamento do concreto para as formas e vibrado manualmente com o uso de vibrador de imersão. Após, a cura é feita com aspersão de vapor d'água sobre as peças cobertas com lona até sua desforma, geralmente após um dia.

Para cada 50 m<sup>3</sup> de concreto produzidos na central, corpos de prova são moldados e ensaiados quanto à resistência à compressão, em laboratório próprio instalado na fábrica. O primeiro ensaio é realizado após 20 h, em que o concreto deve atingir a resistência mínima de 10 MPa, para que possa ser feita a desforma. O outro ensaio é realizado aos 28 dias, onde se espera que o concreto atinja a resistência de 30 MPa ou 45 MPa, conforme projeto.

Na fábrica, não é realizado ensaio para verificar a resistência do concreto para montagem das peças. Segundo a empresa, esse ensaio não é executado porque não faz parte da rotina da fábrica, cuja maior parte da produção não é realizada sob encomenda, ficando, geralmente, estocada até a idade do segundo ensaio. Apesar da não realização de tal ensaio, os registros recebidos do laboratório, indicam que a resistência do concreto atingida a 28 dias é, em média, 10 MPa superior à de projeto. Independente disso, a NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) indica que deve ser feita a verificação de resistência do concreto para o içamento e manuseio dos pré-moldados.

Após a desforma, dá-se o acabamento superficial, onde são feitos os reparos, caso necessário, o apicoamento da superfície onde se tem ligação com outros elementos e o polimento do restante dessa. Como a produção dos pilares é feita sob demanda, depois de prontos, esses são transportados à obra.

Na fábrica, além do controle tecnológico do concreto, outras verificações de qualidade são feitas ao longo da produção e registradas em fichas de qualidade, são elas: conferência e liberação das formas e armaduras e inspeção dos pilares após desforma.

#### 5.1.2.2 No canteiro de obras

No canteiro de obras, a sequência de produção possui algumas diferenças em relação à produção na fábrica, principalmente no que diz respeito à concretagem das peças, onde é usado concreto usinado de concreteira. Os caminhões de concreto são recebidos em obra e, para que sejam liberados para concretagem, são feitos o ensaio do abatimento do tronco de cone e a moldagem dos corpos de prova para todos os lotes de concreto, cada um correspondendo a um caminhão. Posteriormente, os corpos de prova são rompidos para determinar a resistência à compressão, nas idades de 20 h, 7 dias e 28 dias. Todo o controle tecnológico do concreto é realizado por um laboratório especializado, também instalado no canteiro de obras.

Outra diferença em relação à produção na fábrica está nas formas. Como a repetitividade dos tipos produzidos no canteiro é consideravelmente maior que os da fábrica, a necessidade de reforma das formas é bastante menor. Assim, as formas são conferidas apenas depois de confeccionadas, por uma equipe de topografia da obra, e reutilizadas quantas vezes for necessário.

As armaduras são confeccionadas e inspecionadas antes de serem dispostas nas formas. As vigas e lajes são então concretadas uma a uma, conforme sua liberação para concretagem, diferente do processo realizado na fábrica com os pilares. Essa é realizada com o concreto lançado diretamente da calha do caminhão betoneira e vibrado com vibrador manual de imersão. Por fim, a cura é realizada com aspersão de água sobre as peças até o dia seguinte.

Da mesma maneira que na fábrica, a desforma é feita quando o concreto atinge a resistência mínima de 10 MPa após 20 h, confirmada através de ensaio realizado pelo laboratório responsável. As peças que serão montadas em seguida e necessitam reparos são reparadas

antes da sua montagem. As demais são transportadas ao estoque e seus reparos, caso necessário, são executados conforme disponibilidade da equipe responsável. Esse transporte é feito a uma distância máxima de 250 m dentro do canteiro de obras em uma carreta, com o limite de duas vigas ou quatro lajes empilhadas, auxiliado por um guindaste para a movimentação das peças.

## 5.2 PRINCIPAIS DEFEITOS EM PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

Através de revisão bibliográfica, consulta a engenheiros com experiência em estruturas de concreto armado e aos responsáveis pelas duas empresas fabricantes de pré-moldados para esse empreendimento, foi possível identificar as principais não conformidades a que os elementos pré-moldados estão sujeitos, bem como a importância de cada uma. As não conformidades estão agrupadas conforme a que se referem: integridade estrutural, tolerância dimensional, tolerância de posicionamento e acabamento superficial.

### 5.2.1 Integridade estrutural

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), em seu item sobre o desempenho em serviço da estrutura estabelece que essa não pode apresentar danos que comprometam parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada. Dessa forma, defeitos que fazem parte dessa categoria são classificados como críticos. A seguir tem-se uma breve descrição desses.

#### 5.2.1.1 Partes quebradas

Moreira (2009) afirma que quebras tem origem em problemas na desmoldagem, podendo ocorrer pela utilização de desmoldante incompatível com a forma. Para Terzian (2005), as quebras podem se originar quando do saque de peças sem que o concreto tenha atingido a resistência ao manuseio. Nesse caso, as peças devem ser condenadas e inutilizadas. A figura 9 apresenta um exemplo de quebra em uma viga.

Figura 9 – Exemplo de quebras em pré-moldados



(fonte: do empreendimento)

#### 5.2.1.2 Armadura exposta

Segundo El Debs (2000), o cobrimento tem a finalidade de proteger a armadura e de garantir a transferência de tensões destas para o concreto. Caso o cobrimento da armadura seja muito reduzido, a transferência das tensões pode não ser adequada. Ainda, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) salienta que a durabilidade da estrutura é altamente dependente, entre outras características, da espessura de cobrimento e recomenda um valor mínimo para o cobrimento da armadura em função da classe de agressividade do ambiente. Um exemplo de armadura exposta está na figura 10.

Figura 10 – Exemplo de armadura exposta



(fonte: do empreendimento)

### 5.2.1.3 Escoamento dos dispositivos de içamento

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) considera alças e pinos de içamento como ligações temporárias com os equipamentos de manuseio e montagem das peças, funcionando à tração na parte externa e ao cisalhamento por aderência na parte interna. Ainda, a norma recomenda que se deve observar o ângulo e posicionamento das alças, para que sejam executados conforme projeto, de maneira a trabalharem sob a força de tração.

Outra recomendação importante dessa norma é que as alças devem ter capacidade de carga verificada para que não ocorra a ruptura por falta de ancoragem no concreto ou por escoamento do aço da alça. Já a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) destaca que, com o aumento da resistência característica à compressão do concreto, o modo de falha é o escoamento do aço da alça de içamento. A figura 11 mostra uma laje em produção, com as alças de içamento em perfeito estado, e uma laje cujas alças de içamento sofreram escoamento.

Figura 11 – Escoamento das alças de içamento



(fonte: do empreendimento)

## 5.2.2 Tolerâncias de fabricação

Segundo Van Acker (2002), pré-moldados de concreto apresentam diferenças entre as dimensões especificadas e executadas. Essas variações sempre existirão, por isso devem ser admitidas e previstas no projeto, sendo essencial discutir as tolerâncias com os fabricantes de pré-moldados. Essas tolerâncias incluem variações dimensionais dos produtos, superfícies não lineares ou não planas, falta de ortogonalidade da seção transversal, variações na curvatura, etc.

Especificações de projeto podem requerer pequenos limites de tolerância, ou permitir maiores, dependendo dos detalhes da construção e das ligações com outros materiais. As estruturas devem ser projetadas de modo a permitir a máxima variação dimensional (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999).

#### 5.2.2.1 Detalhes da peça com dimensões fora das tolerâncias

Para esse estudo, só serão consideradas as dimensões dos detalhes dos pré-moldados, como consolos e aberturas nas peças. Não serão verificadas as dimensões propriamente ditas das peças, como comprimento e seção transversal, uma vez que tais dimensões, quando fora dos limites, são identificadas durante a montagem com mais facilidade. Assim, em razão desses defeitos influenciarem em ligações estruturais ou instalações futuras, serão considerados graves.

Os valores de tolerância para as dimensões desses detalhes não são especificados na NBR 9062, conforme quadro 1 apresentado. Dessa forma, como uma maneira de se adotar valores de tolerâncias mais conservadores, para esse estudo, foram considerados os menores valores de tolerância que constam nesse quadro, correspondendo àqueles para a seção transversal: - 5 mm e + 10 mm, invertidos para o caso de aberturas nas peças.

#### 5.2.2.2 Deformações excessivas

O manual do PCI (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999) recomenda que sejam estabelecidas tolerâncias para deformações como empenamento, curvatura e esquadro, por essas exercerem um efeito importante nos encontros das peças tanto individualmente como vistas no conjunto. Ainda, esse manual recomenda que essas tolerâncias não sejam muito restritivas, por acabarem não sendo viáveis. Como, dentre essas deformações a mais facilmente percebida pelos usuários é a curvatura excessiva, essa será considerada um defeito grave, enquanto os demais, toleráveis.

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) em seu quadro de tolerância de fabricação para pré-moldados especifica limites para algumas deformações excessivas, por ela chamadas de planicidade, distorção e linearidade. Como a norma não esclarece nem as características que esses defeitos apresentam, nem a maneira de medi-los, essas tolerâncias não serão consideradas e serão utilizados aqueles de outras normas e manuais que se considerou melhor descritos.

Empenamento é uma variação da planicidade da peça em que um dos seus cantos não se encontra no mesmo plano dos demais. O empenamento de uma peça depende, principalmente, de sua espessura e sua capacidade de resistir à flexão (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999). Para o empenamento, o manual do PCI indica que esse deve ser medido nas extremidades sempre em relação ao canto adjacente mais próximo, não devendo ultrapassar 1,5 mm a cada 300 mm de distância desse canto.

A curvatura excessiva é uma condição em que a porção central da peça não se encontra no mesmo plano das extremidades, sendo também dependente da espessura e da capacidade de resistir à flexão da peça (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999). A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) limita esse deslocamento visível em elementos estruturais a 1/250 de seu comprimento.

O esquadro diz respeito ao ângulo interno entre duas faces que, a menos que esteja definido contrário em projeto, deve ser de 90°, sendo permitido desvios de  $\pm 3$  mm a cada 2 m entre as medidas das duas diagonais da peça ou  $\pm 13$  mm, o que for maior. Peças fora de esquadro podem dificultar o ajuste de peças adjacentes (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999). Não há tolerâncias quanto ao esquadro estabelecidas na norma brasileira de pré-moldados.

### **5.2.3 Tolerância de posicionamento**

A tolerância de posicionamento está relacionada aos elementos inseridos nas peças pré-moldadas. A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) recomenda que os projetos de pré-moldados contenham detalhes desses elementos, indicando sua posição e as respectivas tolerâncias. Como o posicionamento fora dos limites de tolerância desses está relacionado ao não cumprimento das especificações de projeto, será considerado como um defeito grave.

#### **5.2.3.1 Insertos**

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) indica que na fabricação dos pré-moldados deve ser respeitada a tolerância de locação dos insertos, que é de  $\pm 15$  mm.

#### 5.2.3.2 Dispositivos de manuseio

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) determina que devem ser obedecidas as especificações de projeto para os dispositivos de içamento. Segundo essa, os projetos devem incluir detalhamento do sistema de içamento, com descrição de seu tipo, posição e ancoragem.

Ainda, essa norma recomenda que a posição das alças de içamento deve ser verificada no controle de qualidade, mas não determina valores de tolerância para o posicionamento desses dispositivos. Por outro lado, o manual do PCI (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999) recomenda uma tolerância de  $\pm 75$  mm para dispositivos de manuseio.

### 5.2.4 Acabamento superficial

Terzian (2005) recomenda que a aparência das peças deve ser controlada durante todo o processo de produção de pré-moldados, devendo ser observados, entre outros, aspectos como regularidade das bordas, quantidade de bolhas, manchas e fissuras. O manual do PCI (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999) indica que a superfície acabada deve ser avaliada a partir de comparações com os requisitos de projeto ou modelos.

A seguir são descritas as principais não conformidades presentes na superfície dos pré-moldados. Uma vez que os pré-moldados desse estudo não são elementos de concreto aparente, não havendo muita exigência em seu acabamento, tais não conformidades serão consideradas como defeitos toleráveis exceto a presença de ninhos de concretagem, de fissuras e de manchas de oxidação, consideradas graves.

#### 5.2.4.1 Bordas irregulares

Recomenda-se que todas as bordas dos pré-moldados não sejam produzidas em cantos vivos, mas que tenham um chanfro, uma vez que esses cantos lascam com facilidade durante o manuseio das peças. Além disso, essas bordas são mais frágeis devido à dificuldade de lançamento do concreto e da maior ocorrência de vazios pela dificuldade de adensamento (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999).

A regularidade das bordas foi classificada conforme a quantidade que apresenta bom acabamento, com chanfros devidamente executados ou sem partes lascadas ou irregulares,



com as seguintes notas: 10, quando a maioria das bordas da peça apresenta bom acabamento, 5, para quantidades iguais de bordas de acabamento bom e ruim, e 0, para maioria de bordas de acabamento ruim. Na figura 12, são apresentados exemplos de bordas com acabamento bom, à esquerda, e ruim, à direita.

Figura 12 – Regularidade das bordas



(fonte: do empreendimento)

#### 5.2.4.2 Presença de bolhas

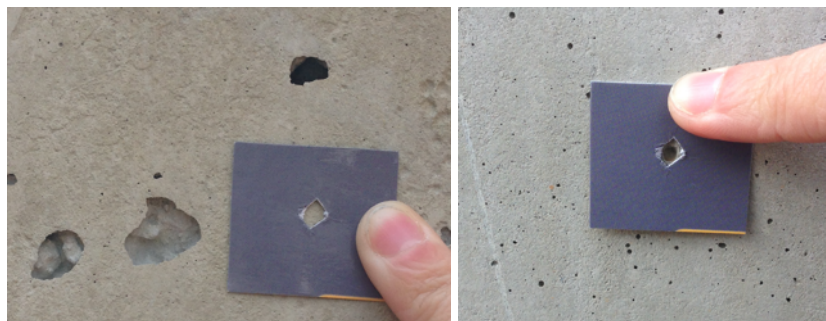
Segundo Moreira (2009), bolhas podem ser caminho para a penetração, para o interior do concreto até a armadura de umidade, água e gases, o que pode comprometer a estrutura com o tempo, além de serem facilmente visíveis, caso o concreto seja aparente. O motivo do surgimento das bolhas está na dificuldade de se expulsar a água e o ar do interior do concreto, que acabam por se deslocar para próximo das paredes das formas.

Assim, as maneiras de se evitar a presença de bolhas na superfície das peças são impedir seu surgimento ou facilitar sua expulsão. Nesse sentido, Terzian (2005) destaca que o adensamento do concreto tem como finalidade acomodar o concreto na forma e retirar as bolhas de ar de seu interior.

Para esse estudo, a superfície dos pré-moldados foi avaliada apenas como contendo ou não bolhas, sem se preocupar com a área de superfície da peça que essas representam. Apenas para registro, a presença de bolhas foi separada por tamanho, tendo se arbitrado que aquelas

que excedem ou se inserem em uma área cujo lado possui 5 mm, são consideradas bolhas grandes. O tamanho das bolhas foi medido com um gabarito, conforme figura 13, e a classificação é feita considerando a presença de bolhas grandes ou de bolhas pequenas, caso se perceba que essas são maioria, podendo inclusive ser classificado nas duas categorias.

Figura 13 – Bolhas superficiais em pré-moldados



(fonte: do empreendimento)

#### 5.2.4.3 Presença de ninhos de concretagem

A NBR 14391 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) indica que devem ser tomados os cuidados necessários para que não sejam formados ninhos de concretagem nem que haja segregação dos materiais, como evitar a vibração muito demorada ou repetida em um mesmo local. Segundo Andrade e da Costa e Silva (2005), dependendo da magnitude da falha de concretagem, o comportamento mecânico pode ser comprometido e a durabilidade do concreto reduzida pela maior exposição aos agentes agressivos. Um exemplo de segregação do concreto está na figura 14.

Figura 14 – Ninhos de concretagem em pré-moldados



(fonte: do empreendimento)

#### 5.2.4.4 Juntas de forma visíveis ou superfícies irregulares

Juntas de forma visíveis ou superfícies irregulares são inconformidades que aparecem devido a problemas relativos à conservação da superfície da forma em contato com o concreto ou a problemas de alinhamento dessas. Essas características requerem maior atenção em estruturas de concreto aparente. A foto a seguir, figura 15, apresenta um elemento pré-moldado com ambos os defeitos.

Figura 15 – Exemplo de juntas de forma e superfícies irregulares



(fonte: do empreendimento)

#### 5.2.4.5 Presença de manchas de oxidação

Manchas de oxidação podem ocorrer por contaminantes nos agregados ou ainda pedaços de arame deixados dentro das formas e devem ser removidos da superfície o mais cedo possível. Em casos mais graves, porém não tão comuns, as manchas podem indicar a corrosão da armadura, que pode ser identificada com suas demais características, fissuração e lascamentos, derivadas do fenômeno (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999). Como a ocorrência desse tipo de defeito foi muito baixa na obra, não possui registros fotográficos que a representem bem.

#### 5.2.4.6 Presença de fissuras

Fissuras ocorrem em pré-moldados principalmente por má execução da cura, originadas, quando da retração do concreto, dos vazios formados pela evaporação excessiva da água.

Outra possível causa de fissuras é a utilização de materiais que não promovam boa aderência ao concreto (MOREIRA, 2009).

As fissuras geradas pela cura mal executada abrem espaço para a penetração de agentes agressivos, o que reduz a durabilidade da estrutura (ANDRADE; COSTA E SILVA, 2005). A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) indica o controle da fissuração como medida para se evitar a lixiviação do concreto e a despassivação das armaduras por ação de cloretos ou por carbonatação. Ainda, essa norma estabelece a abertura máxima das fissuras como 0,3 mm, relacionada a um ambiente de classe de agressividade (CAA) II, conforme adotado no projeto. A figura 16 apresenta um elemento pré-moldado com uma série de fissuras em sua superfície.

Figura 16 – Fissuras em pré-moldados



(fonte: do empreendimento)

#### 5.2.4.7 Presença de reparos visíveis

Caso seja necessário executar reparos nos pré-moldados, os métodos utilizados para tal devem garantir que a área reparada atenderá as exigências para a peça. Algumas variações de cor entre a área reparada e a superfície original podem ser esperadas, devido à diferença de idade e das condições de cura (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999). Uma peça com reparo recém executado está representada na figura 17.

Figura 17 – Reparos em pré-moldado



(fonte: do empreendimento)

#### 5.2.4.8 Diferenças de cor ou textura

Algumas áreas podem apresentar diferenças de cor e textura, devido a vários fatores, entre eles a qualidade e a altura de lançamento do concreto, a forma das peças, o estado das formas e até o efeito da gravidade, que faz com que a face inferior se apresente mais uniforme que a superior (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999).

Essas características são bastante difíceis de serem controladas durante a produção das peças, por dependerem de muitos fatores. Por isso, no caso de estruturas de concreto aparente, o manual do PCI (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1999) estabelece que é razoável que as peças, quando montadas, não tenham diferenças de cor ou textura perceptíveis com relação a suas vizinhas.

#### 5.2.4.9 Presença de outras manchas

As peças pré-moldadas podem apresentar outras manchas além das de oxidação anteriormente citadas. Dentre elas, destaca-se as causadas pelo uso de alguns produtos aplicados na superfície da forma, com a finalidade de evitar a aderência do concreto e facilitar a retirada da peça pré-moldada TERZIAN (2005).

No mercado, muitos são os produtos denominados desmoldantes, com diversas matérias-primas. Para reduzir os custos de produção, algumas empresas aplicam desmoldantes de baixo custo, que podem provocar manchas escuras nos pré-moldados, por possuírem muitas impurezas (MOREIRA, 2009). A figura 18 apresenta um exemplo de peça com esse tipo de manchas.

Figura 18 – Manchas presentes em pré-moldados



(fonte: do empreendimento)

### **5.2.5 Resumo dos defeitos em pré-moldados**

Para facilitar a compreensão da classificação adotada para os defeitos, o quadro 2 apresenta um resumo dos defeitos, classificados por importância e ocorrência, bem como método de inspeção.

Quadro 2 – Resumo dos defeitos estudados

NÃO CONFORMIDADE	OCORRÊNCIA	IMPORTÂNCIA	MÉTODO DE INSPEÇÃO
Partes quebradas	integridade estrutural	crítico	visual
Armadura exposta	integridade estrutural	crítico	visual
Escoamento dos dispositivos de içamento	integridade estrutural	crítico	visual
Dimensões dos detalhes fora da tolerância	tolerância dimensional	grave	medição
Deformações excessivas	tolerância dimensional	grave	visual e medição
Insertos fora dos limites	tolerância de posicionamento	grave	medição
Dispositivos de manuseio fora dos limites	tolerância de posicionamento	grave	medição
Bordas irregulares - 10	acabamento superficial	tolerável	comparação visual
Bordas irregulares - 5	acabamento superficial	tolerável	comparação visual
Bordas irregulares - 0	acabamento superficial	tolerável	comparação visual
Presença de bolhas - GRANDES	acabamento superficial	tolerável	comparação visual
Presença de bolhas - PEQUENAS	acabamento superficial	tolerável	comparação visual
Ninhos de concretagem	acabamento superficial	grave	visual
Juntas de forma visíveis ou superfícies irregulares	acabamento superficial	tolerável	visual
Manchas de oxidação	acabamento superficial	grave	visual
Fissuras	acabamento superficial	grave	visual
Reparos visíveis	acabamento superficial	tolerável	visual
Diferenças de cor ou textura	acabamento superficial	tolerável	comparação visual
Outras manchas	acabamento superficial	tolerável	visual

(fonte: elaborado pela autora)

### 5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS DEFEITOS

A identificação da ocorrência de defeitos nos pré-moldados foi feita através de inspeção das peças prontas para montagem. A inspeção por si só gera apenas informações a respeito de uma peça isolada. Para se ter um entendimento maior da ocorrência de determinado defeito, é preciso que os itens que compõem a inspeção sejam registrados, analisados e interpretados. A seguir, tem-se os métodos utilizados nesse estudo para registro e análise da inspeção dos dados da inspeção.

#### 5.3.1 Inspeção em canteiro de obras

A partir da definição dos defeitos a que os pré-moldados de concreto estão sujeitos, foi elaborada uma ficha de verificação, contendo todos os itens a serem analisados na inspeção. Essa ficha de verificação se encontra no apêndice A.

A primeira parte da ficha de verificação contém um quadro onde devem ser preenchidas as informações referentes à peça inspecionada: nome, que se refere ao nome que a peça possui em projeto; tipo, podendo ser pilar, viga ou laje; data de fabricação; data de inspeção; inspetor, campo esse adicionado, porque, em certo momento, houve interesse por parte da

gerenciadora do empreendimento em utilizar essa ficha em seu controle de qualidade, mas acabou por não ser utilizada; fabricante e identificação de reparo, esse último item para caso o fabricante tenha executado algum reparo na peça e o tenha documentado.

Em seguida, a ficha apresenta um *checklist* de inspeção, com os defeitos divididos conforme a classificação em 5.2. Cada item do *checklist* deve ser preenchido com “sim” ou “não”, onde um “sim” significa que a peça possui o defeito a que se refere. A exceção está no item referente à regularidade das bordas, em que essas são classificadas por notas: 10, 5 e 0, conforme descrito em 5.2.4.1.

Em geral, a inspeção foi feita visualmente, uma vez que a maioria das verificações envolvem comparações de padrões. Os padrões usados para comparação são os descritos em 5.2. No entanto, itens que envolvem as dimensões de detalhes das peças e o posicionamento de insertos e dispositivos de manuseio devem ser medidos com instrumento adequado, no caso, uma trena, com precisão de 1 mm. Ainda, os itens que se referem ao esquadro, à curvatura e ao empenamento, são medidos, também com trena de precisão 1 mm, conforme o descrito no item 5.2.2.2, apenas se, após verificação visual, aparentarem não estar em conformidade.

Quanto à amostragem dos elementos pré-moldados, entende-se que não faz sentido usar os planos de amostragem contidos na NBR 5426, uma vez que esses estão diretamente ligados ao tamanho do lote, que, para esse caso, é composto de poucas unidades, já que a repetitividade dos tipos é, no geral, baixa, o que acabaria resultando em inspeções totais de lote. Nesse sentido, a divisão que se adota é apenas quanto ao tipo de elemento: pilar, viga e laje e, para se manter o caráter aleatório, foi feita a inspeção de algumas unidades de um tipo de elemento por dia, sem ordem definida, tendo apenas como restrição que peças estocadas em pilhas não são avaliadas, pelas dificuldades de acesso, como se pode observar na figura 8.

### **5.3.2 Análise dos registros de inspeção**

Ao longo do estudo, obteve-se registros de inspeção de 28 pilares, 79 vigas e 106 lajes, todos produzidos entre os meses de fevereiro a abril, representando, respectivamente, 28%, 18% e 12% dessa produção. Esses dados foram analisados estatisticamente, dentro do possível, considerando o tamanho da amostra, conforme descrito a seguir.



Para a análise dos dados registrados, foi montada uma planilha em que as duas primeiras colunas representam, respectivamente, a data de fabricação e o tipo de elemento. O restante das colunas representa cada um dos itens verificados. Os dados de inspeção foram registrados na planilha de forma binária: 1, para a presença da não conformidade, e 0, caso essa não esteja presente. Ao final, foi feita a soma dos registros, que indica a quantidade de itens não conformes presentes em cada peça. A planilha, com os dados registrados, está no Apêndice B, dividida por elemento.

A análise dos dados foi feita sempre em relação ao tipo de peça analisada, uma vez que, por conta das particularidades de cada tipo, esses podem apresentar defeitos diferentes, mesmo sendo produzidos pela mesma empresa. Após, foram feitas análises com relação a cada uma das empresas de modo a compará-las.

### 5.3.2.1 Por elemento estrutural

Para cada elemento estrutural foram determinadas a quantidade média de defeitos por peça, a incidência de cada uma das não conformidades estudadas e também com relação à sua classe, conforme seguem.

Quadro 3 – Resumo dos defeitos identificados por elemento estrutural

TOTAL DE PEÇAS POR ELEMENTO ESTRUTURAL				
TIPO	TOTAL	DEFEITOS	MÉDIA	MEDIANA
Laje	106	448	4,23	4
Viga	79	419	5,30	6
Pilar	28	159	5,68	5,5

(fonte: elaborado pela autora)

A quantidade média de defeitos por peça, no quadro 3, foi determinada pela razão entre o número total de defeitos e a quantidade de peças inspecionadas, esse quadro resumo também apresenta as respectivas mediana e moda. A partir desse, pode-se afirmar que, entre os elementos estruturais estudados, quanto à incidência de defeitos, não há diferença perceptível, uma vez que os três apresentam em torno de 4 a 6 defeitos por unidade, em média. Ainda, a quantidade de defeitos mais frequente, para lajes, vigas e pilares é de 4, 6 e 5 defeitos por unidade, respectivamente.

Com relação à classificação dos defeitos adotada em 5.2, a incidência de cada classe de defeitos para cada tipo de elemento estrutural foi determinada a partir da razão dos defeitos pertencentes a cada uma dessas pelo total de defeitos, conforme apresentado no quadro 4.

Quadro 4 – Proporção de defeitos por classe e elemento estrutural

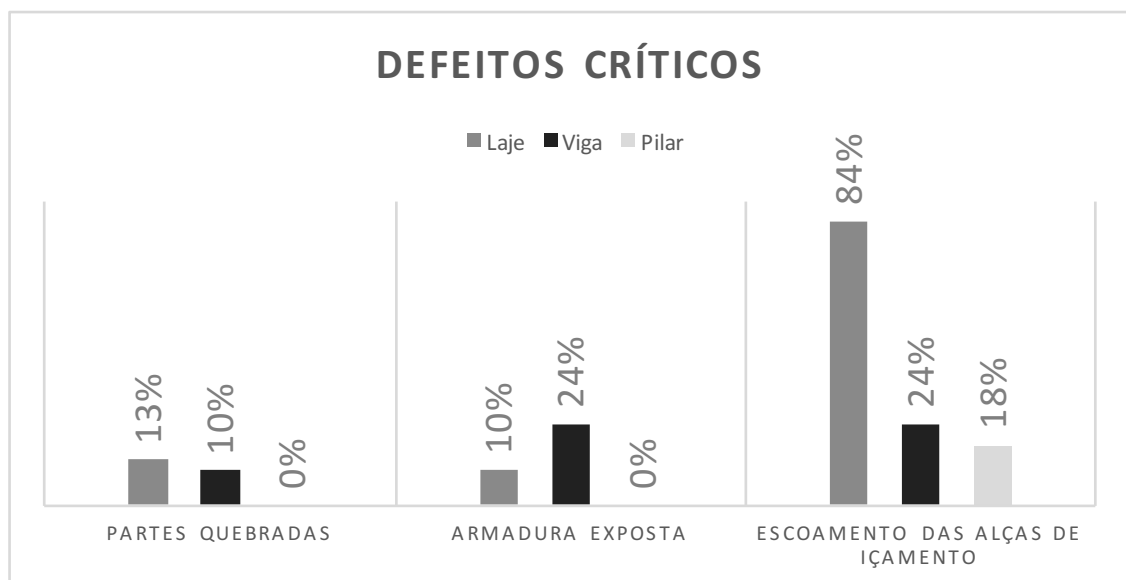
CLASSE DE DEFEITO POR ELEMENTO ESTRUTURAL				
TIPO	TOTAL	CRÍTICOS	GRAVES	TOLERÁVEIS
Laje	448	25%	23%	52%
Viga	419	11%	25%	64%
Pilar	159	3%	26%	71%

(fonte: elaborado pela autora)

Dessa proporção, percebe-se que, dos defeitos identificados nas peças, tanto para pilares, como vigas e lajes, a maioria é composto de defeitos toleráveis. Além disso, a quantidade de defeitos graves é praticamente a mesma para os três elementos estruturais. Por outro lado, vê-se que a proporção de defeitos críticos em pilares é muito menor que a dos demais, sendo que as lajes apresentam a maior proporção desse tipo de defeito.

Ao se analisar cada um dos defeitos estudados, se vê que, em muitos casos, esses incidem com frequências bastante diferentes em cada elemento. A seguir, as figuras 19 a 21 apresentam, para cada classe de defeitos, a incidência por tipo e por elemento estrutural.

Figura 19 – Incidência de defeitos críticos



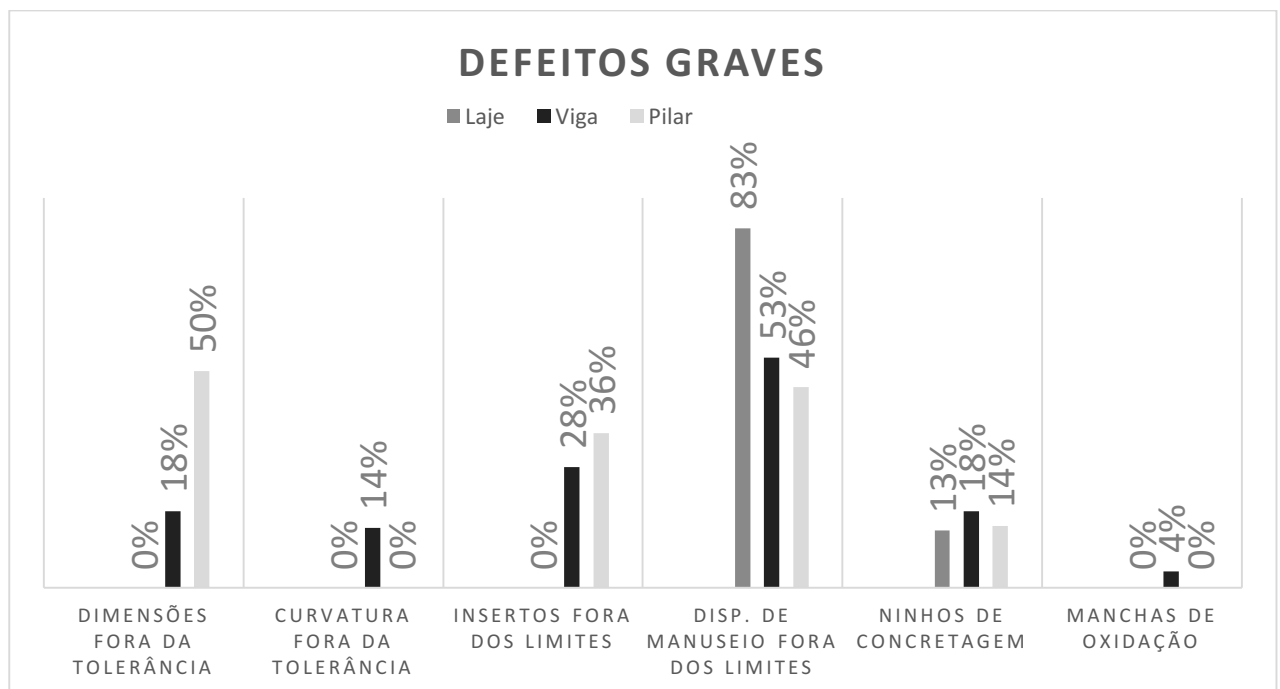
(fonte: elaborada pela autora)

Do gráfico da figura 19, vê-se que, dentre os defeitos críticos, o mais preocupante é o escoamento das alças de içamento, principalmente nas lajes, incidindo em 84% das peças inspecionadas. A principal causa que se atribui à ocorrência desse defeito é a falha na colocação da armadura, como se vê no gráfico 20, de incidência dos defeitos graves.

Outro problema decorrente desse defeito está no fato de não ser possível executar reparos nas alças, representando um risco à segurança também durante a montagem, onde serão mais solicitadas. Diferente disso, a existência de armadura exposta e de partes quebradas nas peças, desde que devidamente reparadas antes de sua montagem não interferem no desempenho estrutural.

Ainda, nota-se que os pilares não apresentam nem partes quebradas, nem armadura exposta. Isso se deve à inspeção mais rigorosa realizada na fábrica após sua desforma. As peças que apresentam tais defeitos são identificadas e, geralmente, reparadas antes de transportadas para o canteiro.

Figura 20 – Incidência de defeitos graves



(fonte: elaborada pela autora)

Com relação aos defeitos graves, o gráfico da figura 20 mostra que a presença de ninhos de concretagem é praticamente a mesma entre os três elementos e relativamente baixa, entre 13%

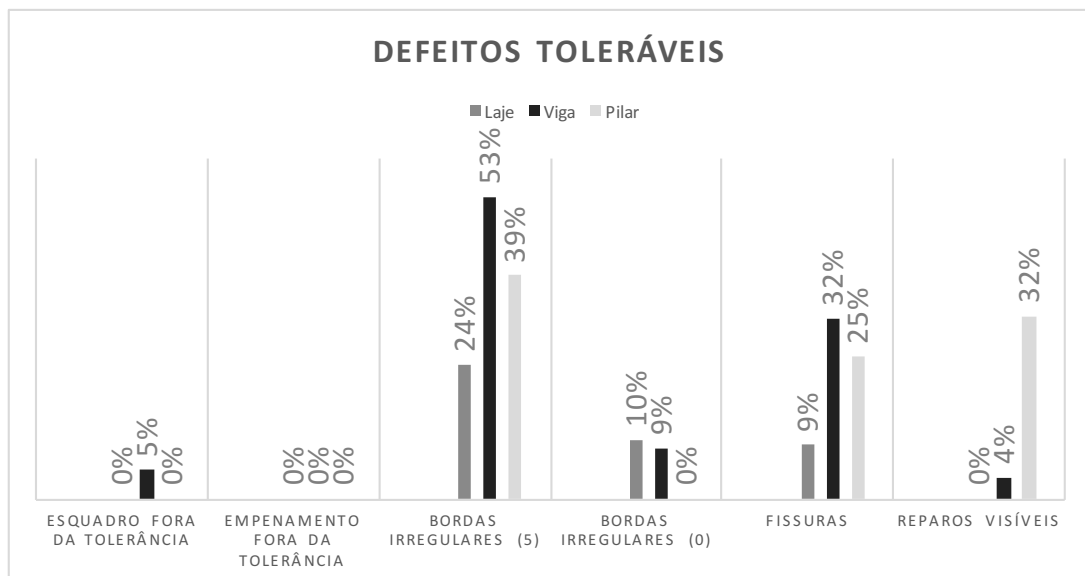
e 18%. Além disso, vê-se que manchas de oxidação são bastante raras, sendo encontradas, apenas em 4% das vigas inspecionadas. Outro defeito encontrado apenas nas vigas é a deformação excessiva em sua curvatura, presente em 14% das unidades inspecionadas, cujo principal impacto na estrutura está no nivelamento das lajes após sua montagem, que deve ser corrigido com uma espessura maior de capa, durante a solidarização.

Nos pilares, é visível uma maior incidência de dimensões dos detalhes fora dos limites de tolerância, fato que ocorre em razão desses elementos possuírem mais detalhes que os demais, com pelo menos um console por peça. De maneira similar, não foram registrados insertos mal posicionados em lajes, porque esses estão presentes em apenas poucas unidades dessas.

O principal defeito considerado grave encontrado nas peças foi o mau posicionamento dos dispositivos de manuseio. Vigas e pilares o apresentaram em praticamente metade de suas unidades inspecionadas, enquanto as lajes em 83%. Para as lajes, nota-se que essa proporção é próxima à de escoamento das alças de içamento, do que se cogita a possibilidade desses dois defeitos estarem relacionados.

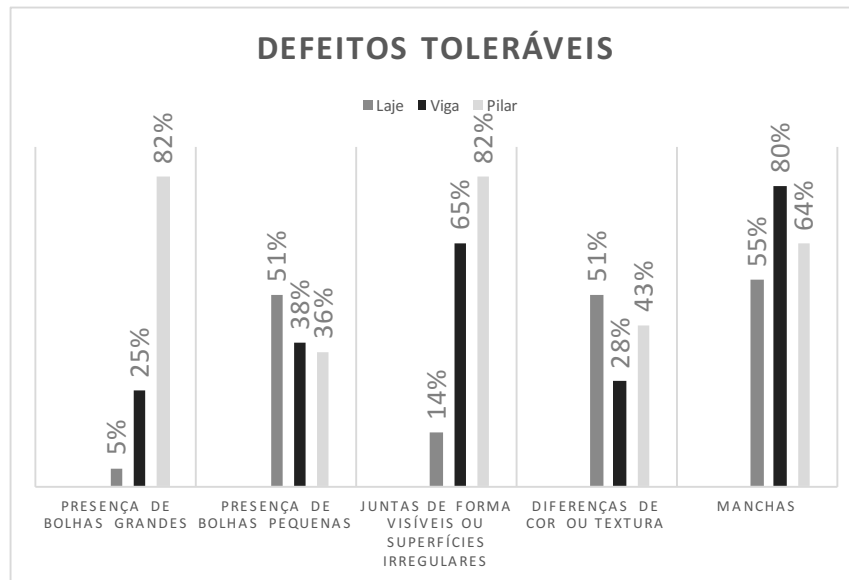
Os defeitos classificados como toleráveis são apresentados nas figuras 21 e 22.

Figura 21 – Incidência de defeitos toleráveis



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 22 – Incidência de defeitos toleráveis (continuação)



(fonte: elaborada pela autora)

Defeitos como empenamento, peças fora de esquadro e bordas muito irregulares, praticamente não foram encontrados, de maneira que acabaram por não ser considerados relevantes. A presença de fissuras é mais frequente em vigas, atingindo 1/3 das unidades inspecionadas, ainda que estejam presentes em 1/4 dos pilares.

As vigas e lajes praticamente não apresentam reparos visíveis, enquanto os pilares os tem em 32% das unidades inspecionadas, apesar de não se encontrar nenhum registro de reparo. A maior proporção de reparos em pilares se dá devido aos reparos serem executados ainda em fábrica, antes do transporte ao canteiro.

Alguns defeitos de ordem estética, como bordas de regularidade mediana, presença de bolhas pequenas e diferenças de cor ou textura, tem uma incidência maior, com alguma variação entre os elementos, com seu máximo em torno de 50% das unidades. Possivelmente aparecem por não se ter maiores exigências quanto à aparência das peças, uma vez que a estrutura não é de concreto aparente.

Outros defeitos, também de ordem estética, chamam mais atenção ou por serem encontrados em muitas unidades, ou por se encontrarem em quantidades muito diferentes para cada elemento. No primeiro caso, tem-se as manchas, presentes, principalmente, nas laterais das peças, de onde se supõe que ocorram devido ao desmoldante aplicado, que foram observadas em mais da metade das unidades inspecionadas para os três elementos, chegando a 80% nas

vigas. Já o segundo caso se refere às juntas de formas visíveis e às superfícies irregulares, encontradas em maior frequência nas vigas e pilares, com 65% e 82%, respectivamente, o que se deve à menor repetitividade desses elementos em relação às lajes, além da maior necessidade de emendas nos pilares por conta de seu comprimento. Por fim, a presença de bolhas grandes é visível em 82% dos pilares, enquanto para vigas e lajes esse defeito não é muito notado.

### 5.3.2.2 Por fabricante

O objetivo desse estudo é comparar as duas empresas fabricantes e, por consequência, seus métodos produtivos, no que diz respeito aos defeitos de suas peças produzidas. Tecnicamente, essa comparação não seria possível, já que as duas empresas fabricam produtos diferentes: uma lajes e vigas e a outra, pilares. No entanto, para essa comparação, considerou-se que as duas produzem o mesmo produto: pré-moldados de concreto.

Dessa forma, identificou-se os defeitos encontrados nos pré-moldados de cada empresa, conforme quadro 5, e a proporção por classe de defeito, no quadro 6, de maneira semelhante a feita no item 5.3.2.1.

Quadro 5 – Resumo dos defeitos identificados por fabricante

POR EMPRESA FABRICANTE				
TIPO DE EMPRESA FABRICANTE	TOTAL DE ELEMENTOS PRODUZIDOS	NÚMERO DE DEFEITOS	MÉDIA	MEDIANA
Canteiro	185	867	4,69	4
Fábrica	28	159	5,68	5,5

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 6 – Proporção de defeitos por classe e fabricante

TIPO DE EMPRESA FABRICANTE	TOTAL DE DEFEITOS	CLASSES DE DEFEITO		
		CRÍTICOS	GRAVES	TOLERÁVEIS
Canteiro	867	18%	24%	58%
Fábrica	159	3%	26%	71%

(fonte: elaborado pela autora)

Ao se comparar as duas empresas, a empresa com sede própria apresenta, em média, mais defeitos que a instalada no canteiro de obra. Essa comparação, isolada é bastante simplista, principalmente porque existe uma disparidade na quantidade de exemplares inspecionados, sendo as da fábrica bastante menores que as do canteiro. Já ao se comparar por classe de

defeito, vê-se que a maior diferença está na proporção de defeitos críticos, que é bastante maior nas unidades fabricadas no canteiro de obra.

Em razão das características de cada peça, que podem resultar em maior incidência de alguns defeitos em determinados elementos e, para tentar compensar o fato de as duas empresas não fabricarem os mesmos elementos, decidiu-se comparar os dois fabricantes quanto à classe dos defeitos, conforme quadro 7, eliminando os seguintes defeitos: as dimensões fora de tolerância, que aparecem mais em pilares, por esses possuírem mais detalhes; os insertos mal posicionados, já que as lajes não os possuem em projeto; os reparos visíveis, que são sempre executados em pilares antes de serem enviados ao canteiro, enquanto nas lajes e vigas podem ser executados antes da montagem; e a presença de juntas de forma e superfícies irregulares, uma vez que as formas de laje não necessitam de emendas, além de sua maior repetitividade.

Quadro 7 – Proporção de defeitos por classe e fabricante excluindo a influência do tipo de elemento

TIPO DE EMPRESA FABRICANTE	TOTAL DE DEFEITOS	CLASSES DE DEFEITO		
		CRÍTICOS	GRAVES	TOLERÁVEIS
Canteiro	762	21,0%	22,6%	56,4%
Fábrica	103	4,9%	16,5%	78,6%

(fonte: elaborado pela autora)

Ao se excluir os defeitos que são influenciados pelo tipo de elemento pré-moldado, o número total de defeitos passa de 867 para 762 e 159 para 103, respectivamente, para produção em canteiro e em fábrica. A proporção de defeitos por classe nos pré-moldados do canteiro variou pouco em relação à anterior, o que mostra que, para esse fornecedor, a incidência de defeitos não está relacionada às características de cada peça. Tal variação, por outro lado, é mais perceptível nos pré-moldados de fábrica, em que a frequência de defeitos graves reduziu quase à metade, o que indica que a incidência de defeitos nessas unidades pode ter relação com suas particularidades de projeto.

Baseado nessas análises, nota-se que a produção em fábrica apresenta uma proporção de defeitos críticos e graves menor e maior de defeitos toleráveis, portanto aceitáveis, que a produção no canteiro. Contudo, uma discussão válida seria a de se examinar a produção no canteiro com o defeito de posicionamento das alças de içamento corrigido, uma vez que foi proposto que o escoamento dessas alças poderia ser causado por esse defeito.

Considerando que, ao se corrigir o posicionamento das alças de içamento, que pode ser feito de maneira simples, apenas seguindo orientação de projeto, também se eliminaria o escoamento dessas, para as unidades produzidas no canteiro se reduziria a pouco menos de 10% a incidência de defeitos críticos, conforme quadro 8.

Quadro 8 – Proporção de defeitos por classe e fabricante excluindo a influência do tipo de elemento e do posicionamento dos dispositivos de manuseio

TIPO DE EMPRESA FABRICANTE	TOTAL DE DEFEITOS	CLASSES DE DEFEITO		
		CRÍTICOS	GRAVES	TOLERÁVEIS
Canteiro	524	9,9%	8,0%	82,1%
Fábrica	90	5,6%	4,4%	90,0%

(fonte: elaborado pela autora)

Por fim, a proporção de defeitos para cada classe, para as unidades produzidas no canteiro se aproxima da encontrada nas unidades inspecionadas para produção em fábrica. Para efeito de comparação, isso indica que, para essa produção, não há grande diferença entre canteiro e fábrica quanto aos defeitos encontrados, ainda que a incidência de defeitos em nenhuma das duas possa ser considerada satisfatória. Além disso, aponta o posicionamento dos dispositivos de manuseio fora dos limites de tolerância como o defeito de maior relevância para a qualidade dos pré-moldados fabricados no canteiro.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil, por apresentar, em geral, pouco controle de qualidade em sua produção, entre outras características, é considerada atrasada em relação às demais indústrias. O uso de pré-moldados de concreto na construção se destaca como uma das formas de industrialização da construção, com a transferência do trabalho realizado no canteiro de obras para fábricas. Por questões econômicas, essas fábricas podem ser fixas, com instalações próprias, ou móveis, instaladas dentro do canteiro de obras.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo principal uma avaliação comparativa da incidência de defeitos em pré-moldados empregados em uma edificação comercial e produzidos em uma fábrica fixa e em outra móvel. Para que se pudesse realizar essa comparação, primeiramente foram identificadas as não conformidades a que os pré-moldados poderiam estar sujeitos, e essas classificadas conforme a que se referem e à importância. Em seguida, como instrumento para identificação dessas, foi elaborado um procedimento de inspeção para esses elementos.

O procedimento de inspeção elaborado foi aplicado para pilares, vigas e lajes, os dois primeiros produzidos no canteiro de obras e o último em fábrica com sede própria na cidade vizinha. Parte da produção dos meses de fevereiro a abril do presente ano foi inspecionada e os registros de inspeção armazenados em uma planilha eletrônica. A partir desses registros, se identificou, para cada elemento estrutural a frequência com que cada defeito foi encontrado.

Os dois fabricantes foram comparados pela frequência de ocorrência de defeitos críticos, graves e toleráveis, de onde se obteve que, em relação ao primeiro e ao segundo desses, as unidades produzidas na fábrica apresentaram, respectivamente, menor incidência e incidência praticamente igual que os pré-moldados fabricados no canteiro, conforme o quadro 6. Quando essa análise foi feita eliminando-se os defeitos influenciados pelas particularidades de cada elemento, observou-se que a presença de defeitos é influenciada por essas características apenas na produção em fábrica.

Ainda, se observou que as peças produzidas no canteiro de obras apresentavam uma frequência alta de escoamento das alças de içamento, fazendo com que a proporção de

---

Não conformidades em pré-moldados de concreto: comparação entre duas empresas fornecedoras de um empreendimento.

defeitos considerados críticos fosse maior que nas produzidas em fábrica. Quanto a esse defeito, foi levantada a hipótese que estaria relacionado ao posicionamento dos dispositivos de manuseio fora dos limites especificados, uma vez que os dois ocorrem praticamente com a mesma frequência. Ao se eliminar esses defeitos da análise, percebe-se que as unidades produzidas em canteiro apresentam proporção de defeitos similar à das unidades da fábrica, mostrando que se poderia obter um ganho de qualidade na produção ao se corrigir o posicionamento desses dispositivos.

De um modo geral, foi observado que a alta incidência de defeitos, tanto na produção em canteiro como na fábrica, ocorre, principalmente, porque o controle de qualidade ao longo do processo produtivo não é devidamente executado. Em alguns casos isso é resultado de descaso, o que se percebe pelo não cumprimento do projeto. Em outros ainda, é consequência da falta de definição por parte da contratante da qualidade esperada no produto adquirido, o que acaba por não exigir do fabricante maior rigor no controle de sua produção.

Ao longo desse trabalho, foram observadas algumas deficiências da NBR 9062. Primeiramente, essa é bastante genérica quanto às características de qualidade esperadas dos pré-moldados, indicando apenas os itens que deveriam ser verificados ao longo do processo produtivo. Além disso, a norma apresenta valores de tolerância dimensional na fabricação para algumas características dos pré-moldados, mas não especifica como medi-las.

Quanto a essas deficiências, seria importante que essa norma estabelecesse de modo mais objetivo e concreto tanto as características esperadas no produto final, como a forma de inspeção dessas. Dessa maneira, essas passam a ser incorporadas na produção dos pré-moldados e deixam de ser de responsabilidade da contratante as especificar, salvo em situações que exigem maior rigor, o que representaria um ganho de qualidade no produto. Ainda, ao se definir de maneira mais clara os aspectos de inspeção, a identificação de não conformidades é mais acurada, impedindo ou reduzindo a propagação de problemas, gerando retrabalhos, que podem implicar em maiores custos e maior tempo para a execução.

Como sugestão de estudos futuros, propõe-se que sejam estudadas uma quantidade maior de fabricantes, de preferência que produzam o mesmo tipo de elementos, de maneira que as unidades avaliadas não sejam influenciadas por suas particularidades de projeto. Ainda, sugere-se que, o mesmo seja feito, para produção em fábrica, com elementos padronizados, ou pré-fabricados de concreto.



## REFERÊNCIAS

- AMBROZEWICZ, P. H. L. **Qualidade na prática**: conceitos e ferramentas. Curitiba: CNI/SENAI, 2003.
- ANDRADE, T.; DA COSTA E SILVA, A. J. Patologia das Estruturas. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 953-983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5425**: guia para inspeção por amostragem no controle e certificação de qualidade. Rio de Janeiro, 1985a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5426**: planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro, 1985b.
- \_\_\_\_\_. **NBR 14391**: execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- DESEMPENHO e expectativas da indústria de pré-fabricados de concreto. **CONCRETO & Construções**. São Paulo, n. 80, p. 102-104, out.-dez. 2015.
- DI PIETRO, J. E. Critérios para otimização da produção e controle de qualidade para elementos pré-fabricados em concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: ABEPRO, 2002. p. 1-6. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002\\_TR21\\_1323.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR21_1323.pdf)> . Acesso em: 29 fev. 2016
- EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. 1. ed. São Carlos: EESC-USP, 2000.
- ELLIOT, K. S.; COLIN, K. J. **Multi-storey precast concrete framed structures**. 2. ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2013.
- HONG KONG. Buildings Department. **Code of Practice for Precast Concrete Construction**. Hong Kong, 2003. Disponível em: <<http://www.bd.gov.hk/english/documents/code/cppcc2003.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2015.
- MARIANE, A. Capacidade de produção pode ser obstáculo. **Construção Mercado**: negócios de incorporação e construção. São Paulo, n. 167, p. 84-85, jun. 2015.
- MOREIRA, K. A. W. **Estudo das Manifestações Patológicas na Produção de Pré-fabricados de Concreto**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- NASCIMENTO NETO, S. R.; SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A. Logística no transporte e montagem de estruturas pré-moldadas de concreto. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO

PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO, SUSTENTÁVEL, 4., 2010, Faro. **Anais eletrônicos...** Faro: PLURIS, 2010. Não paginado. Disponível em: <<http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper262.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2015.

PALADINI, E. P. **Gestão estratégica da qualidade: princípios, métodos e processos**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. **Manual for Quality Control for Plants and Production of Structural Precast Concrete Produtos**. 4th ed. Chicago, IL, 1999.

SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras**. São Paulo: PINI, 1996.

TERZIAN, P. Concreto para Estruturas Pré-fabricadas. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1363-1389.

UM NOVO rumo para a construção industrializada. **Informativo Abcic**. São Paulo, p.12-13, abr. 2013. Disponível em: <[http://www.abcic.org.br/Informativo/informativo\\_dez13.pdf](http://www.abcic.org.br/Informativo/informativo_dez13.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2015.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002.

## **APÊNDICE A – Ficha de verificação dos pré-moldados**

<b>CHECKLIST INSPEÇÃO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS</b>
---

Identificação da peça:	Tipo:
Data de fabricação:	Data inspeção:
Empresa:	Inspetor:
Identificação de reparo:	
Tipo: _____	
Local: _____	

Item	Descrição	Status
<b>A</b>	<b>INTEGRIDADE ESTRUTURAL</b>	
A.1	Existem partes quebradas.	
A.2	Existe armadura exposta.	
A.3	Ocorreu escoamento das alças de içamento.	
<b>B</b>	<b>TOLERÂNCIA DIMENSIONAL</b>	
B.1	A peça possui detalhes (console, aberturas, etc.) e as dimensões desses estão fora dos valores de tolerância. Caso estejam, especificar: _____	
B.2	A peça está fora dos limites de tolerância para o esquadro.	
B.3	A curvatura da peça está fora dos limites de tolerância.	
B.4	O empenamento da peça está fora dos limites de tolerância.	
<b>C</b>	<b>TOLERÂNCIA DE POSICIONAMENTO</b>	
C.1	Os insertos estão posicionados fora dos limites de tolerância	
C.2	Dispositivos para manuseio estão posicionados fora dos limites de tolerância.	
<b>D</b>	<b>ACABAMENTO SUPERFICIAL</b>	
D.1	Regularidade das bordas. Classificar em nota:        ( ) 10        ( ) 5        ( ) 0	
D.2	Existem bolhas. Descrição: _____ Classificar conforme diâmetro:        ( ) pequenas        ( ) grandes	
D.3	Existem pontos de segregação do concreto. Descrição: _____	
D.4	Existem juntas de forma visíveis ou superfícies irregulares.	
D.5	Existem manchas de ferrugem. Descrição: _____	
D.6	Existem fissuras maiores que 3 mm. Descrição: _____	
D.7	Existem reparos visíveis. Descrição: _____	
D.8	É possível identificar diferenças de cor/textura. Descrição: _____	
D.9	Existem manchas que não sejam de ferrugem. Descrição: _____	

## **APÊNDICE B – Planilha de registro de inspeção**



**DADOS LEVANTADOS ATRAVÉS DO CHECKLIST DE INSPEÇÃO DEFEITOS**

EMPRESA	DATA FABRICAÇÃO	TIPO	Paredes quebradas/temperatura exposta	Ecoamento das alças de fôrmo	Dimensões fora da tolerância	Estrutura fora da tolerância	Curvatura fora da tolerância	Empenamento fora da tolerância	Inertes fora dos limites	Disp. de material fora dos limites	Bordas irregulares	0	Presença de bolhas		Ninhos de concretagem	Manchas de ferrugem	Fissuras	Reparos visíveis	Diferenças de cor ou textura	Manchas		TOTAL	
													GRANDES	PEQUENAS						Presença	Manchas		
FÁBRICA	09/02/16	PILAR		1	1						1	1										7	
FÁBRICA	09/02/16	PILAR		1	1				1	1	1	1						1					9
FÁBRICA	11/02/16	PILAR																					4
FÁBRICA	15/02/16	PILAR		1														1					5
FÁBRICA	17/02/16	PILAR							1														5
FÁBRICA	18/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	19/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	29/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	29/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	29/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	01/02/16	PILAR																					7
FÁBRICA	01/02/16	PILAR																					7
FÁBRICA	02/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	14/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	16/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	17/02/16	PILAR																					4
FÁBRICA	18/02/16	PILAR																					4
FÁBRICA	18/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	18/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	21/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	21/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	22/02/16	PILAR																					7
FÁBRICA	23/02/16	PILAR																					7
FÁBRICA	23/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	31/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	31/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	04/02/16	PILAR																					7
FÁBRICA	06/02/16	PILAR																					7
FÁBRICA	07/02/16	PILAR																					7
FÁBRICA	07/02/16	PILAR																					7
FÁBRICA	11/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	11/02/16	PILAR																					6
FÁBRICA	13/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	13/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	19/02/16	PILAR																					5
FÁBRICA	28/02/16	PILAR																					5

Não conformidades em pré-moldados de concreto: comparação entre duas empresas fornecedoras de um empreendimento.



DADOS LEVANTADOS ATRAVÉS DO CHECKLIST DE INSPEÇÃO DEFEITOS

EMPRESA	DATA FABRICAÇÃO	TIPO	Paredes quebradas	Formadura exposta	Escamamento das alças de ligação	Dimensões fora da tolerância	Estrado fora da tolerância	Curvatura fora da tolerância	Empacamento fora da tolerância	Inertes fora dos limites	Dia. de manuseio fora dos limites	Bordas irregulares		Ninhos de concretagem	Manchas de ferrugem	Fisuras	Reparos visíveis	Diferença de cor ou textura	Manchas		TOTAL	
												5	0						Presença de bolhas GRANDES	PEQUENAS		Manchas de ferrugem
CANTIERO	04/03/16	VIGA		1		1					1	1	1							1	6	
CANTIERO	07/03/16	VIGA		1		1					1	1	1								1	6
CANTIERO	10/03/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	10/03/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	14/03/16	VIGA		1				1					1								1	6
CANTIERO	21/03/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	28/03/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	30/03/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	01/04/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	05/04/16	VIGA		1				1					1								1	6
CANTIERO	06/04/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	08/04/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	20/04/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	27/04/16	VIGA		1								1	1								1	6
CANTIERO	03/02/16	VIGA		1		1						1	1								1	7
CANTIERO	05/02/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	10/02/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	29/02/16	VIGA		1				1				1	1								1	7
CANTIERO	03/03/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	09/03/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	24/03/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	30/03/16	VIGA		1		1						1	1								1	7
CANTIERO	01/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	01/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	04/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	05/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	05/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	05/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	06/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	12/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	13/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	15/04/16	VIGA		1		1						1	1								1	7
CANTIERO	26/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	29/04/16	VIGA		1								1	1								1	7
CANTIERO	22/02/16	VIGA		1								1	1								1	8
CANTIERO	04/03/16	VIGA		1								1	1								1	8
CANTIERO	18/03/16	VIGA		1								1	1								1	8
CANTIERO	13/04/16	VIGA		1								1	1								1	8
CANTIERO	20/04/16	VIGA		1								1	1								1	8

Não conformidades em pré-moldados de concreto: comparação entre duas empresas fornecedoras de um empreendimento.

DADOS ELVANTADOS ATRAVÉS DO CHECKLIST DE INSPEÇÃO

EMPRESA	DATA FABRICAÇÃO	TIPO	Partes quebradas/madureza exposta	Escamento das alças de ligamento	Dimensões fora da tolerância	Esquadro fora da tolerância	Curvatura fora da tolerância	Empenamento fora da tolerância	Inserdos fora dos limites	Disp. de manuseio fora dos limites	Bordas irregulares		Nimbos de concretagem	Manchas de ferrugem	Fisuras	Reparos visíveis	Diferenças de cor ou textura	Manchas		TOTAL
											5	0						Presença de bolhas GRANDES	PEQUENAS	
CANTERO	01/02/16	LAJE		1						1							1	1	1	5
CANTERO	01/02/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	03/02/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	04/02/16	LAJE		1						1								1	1	3
CANTERO	04/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	04/02/16	LAJE	1	1						1								1	1	4
CANTERO	04/02/16	LAJE		1						1			1					1	1	4
CANTERO	05/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	09/02/16	LAJE	1	1						1								1	1	3
CANTERO	09/02/16	LAJE		1						1								1	1	3
CANTERO	09/02/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	10/02/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	10/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	12/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	12/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	12/02/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	15/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	16/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	17/02/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	18/02/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	18/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	19/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	23/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	24/02/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	25/02/16	LAJE	1	1						1								1	1	5
CANTERO	26/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	29/02/16	LAJE		1						1								1	1	3
CANTERO	29/02/16	LAJE	1	1						1								1	1	2
CANTERO	29/02/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	01/03/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	02/03/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	02/03/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	02/03/16	LAJE	1	1						1								1	1	2
CANTERO	03/03/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	03/03/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	07/03/16	LAJE		1						1								1	1	3
CANTERO	07/03/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	07/03/16	LAJE	1	1						1								1	1	5
CANTERO	08/03/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	08/03/16	LAJE	1	1						1								1	1	4
CANTERO	09/03/16	LAJE		1						1								1	1	3
CANTERO	09/03/16	LAJE	1	1						1								1	1	4
CANTERO	14/03/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	15/03/16	LAJE	1	1						1								1	1	5
CANTERO	15/03/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	16/03/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	16/03/16	LAJE	1	1						1								1	1	4
CANTERO	17/03/16	LAJE		1						1								1	1	4
CANTERO	18/03/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	18/03/16	LAJE		1						1								1	1	5
CANTERO	18/03/16	LAJE		1						1								1	1	2
CANTERO	21/03/16	LAJE		1						1								1	1	4

EMPRESA	DATA FABRICAÇÃO	TIPO	Paredes quebradas	Amidura exposta	Escamamento das alças de aperto	Dimensões fora da tolerância	Estrutura fora da tolerância	Curvatura fora da tolerância	Emparramento fora da tolerância	Insetos fora dos limites	Diss. de injeção fora dos limites	Bordas irregulares		PRESENÇA DE BOIAS GRANDES	PRESENÇA DE BOIAS PEQUENAS	Ninhos de concretagem	Manchas de ferrugem	Fissuras	Reparos visíveis	Diferenças de cor ou textura	Manchas Presença	TOTAL
												5	0									
CANTERO	21/02/16	LAJE	1		1								0	1				1				5
CANTERO	27/02/16	LAJE									1		1			1						4
CANTERO	27/02/16	LAJE									1					1						4
CANTERO	23/02/16	LAJE			1						1											5
CANTERO	23/02/16	LAJE									1											5
CANTERO	23/02/16	LAJE	1										1									3
CANTERO	24/02/16	LAJE	1																			4
CANTERO	24/02/16	LAJE			1																	5
CANTERO	24/02/16	LAJE			1																	5
CANTERO	28/02/16	LAJE			1																	5
CANTERO	28/02/16	LAJE			1																	5
CANTERO	28/02/16	LAJE			1																	5
CANTERO	29/02/16	LAJE			1																	5
CANTERO	30/02/16	LAJE	1																			5
CANTERO	31/02/16	LAJE			1																	4
CANTERO	01/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	04/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	04/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	07/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	07/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	08/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	08/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	08/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	11/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	11/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	12/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	12/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	13/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	14/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	14/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	15/04/16	LAJE	1		1																	5
CANTERO	15/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	15/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	15/04/16	LAJE			1																	3
CANTERO	18/04/16	LAJE	1																			4
CANTERO	18/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	18/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	19/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	19/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	19/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	20/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	20/04/16	LAJE	1																			5
CANTERO	20/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	22/04/16	LAJE			1																	3
CANTERO	25/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	25/04/16	LAJE	1																			4
CANTERO	25/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	25/04/16	LAJE			1																	5
CANTERO	25/04/16	LAJE			1																	3
CANTERO	27/04/16	LAJE			1																	3
CANTERO	27/04/16	LAJE			1																	4
CANTERO	28/04/16	LAJE	1																			4
CANTERO	29/04/16	LAJE			1																	4

Não conformidades em pré-moldados de concreto: comparação entre duas empresas fornecedoras de um empreendimento.