



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**Antônio Arthur Cavalcanti de Miranda Coelho**

GERENCIAMENTO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS: PROCESSO DE FABRICAÇÃO,  
MOVIMENTAÇÃO E MONTAGEM DOS DEGRAUS E VIGAS JACARÉ

**RECIFE**

**2013**

**Antônio Arthur Cavalcanti de Miranda Coelho**

GERENCIAMENTO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS: PROCESSO DE FABRICAÇÃO,  
MOVIMENTAÇÃO E MONTAGEM DOS DEGRAUS E VIGAS JACARÉ

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial  
para a obtenção do título de  
graduação, pelo Curso de  
Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Pernambuco.

Orientador: Prof. Dr. José Jeferson do Rego Silva

**RECIFE**

**2013**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

C672g Coelho, Antônio Arthur Cavalcanti de Miranda.

Gerenciamento de peças pré-moldadas, processo de fabricação, movimentação e montagem dos degraus e vigas Jacaré / Antônio Arthur Cavalcanti de Miranda Coelho. – Recife: O Autor, 2013.

61 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Prof. Dr. José Jeferson do Rego Silva.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Departamento de Engenharia Civil, 2013.

GERENCIAMENTO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS: PROCESSO DE FABRICAÇÃO,  
MOVIMENTAÇÃO E MONTAGEM DOS DEGRAUS E VIGAS JACARÉ

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial  
para a obtenção do título de  
graduação, pelo Curso de  
Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Pernambuco.

Comissão Examinadora:

---

Professor Dr. José Jeferson do Rego Silva (UFPE)  
(Orientador)

---

Prof. Tibério Wanderley Correia de Oliveira Andrade (UFPE)  
(Membro Interno)

---

Ms. Engenheira Civil Marília Dantas  
(Membro Externo)

Dedico este trabalho, a todos aqueles que me ajudaram a realizar este projeto. Ao meu pai, Pedro Celso de Miranda Coelho, e minha mãe, Maria das Graças Cavalcanti de Miranda Coelho, que estiveram sempre ao meu lado me apoiando e me dando força.

## AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a minha família, em especial meu pai, Pedro Celso de Miranda Coelho, e minha mãe Maria das Graças Cavalcanti de Miranda Coelho, pelo esforço e dedicação em toda trajetória de minha vida, que me trouxe até aqui.

Agradeço também a todas aquelas pessoas que colaboraram para elaboração desse estudo. E dentre essas pessoas prestarei, através de poucas palavras, os mais sinceros agradecimentos:

1. Ao professor Dr. Jose Jeferson do Rego silva, orientador deste trabalho, pelos seus conhecimentos, sua atenção e sua boa vontade em contribuir na realização deste estudo;
2. A Sr.<sup>a</sup> Ana Carolina Pedrosa, gerente de Engenharia da obra, por permitir a realização deste trabalho;
3. Ao Engenheiro Civil, do setor de engenharia e projetos da obra, Rodrigo de Souza Amorim, por intermediar a autorização para realizar o trabalho, assim como, viabilizar as informações passadas pelos funcionários;
4. Aos funcionários da Obra que me receberam em seus setores para prestação das valiosas informações que serviram de dados para o presente trabalho. São elas: (Donato Sampaio, José Valmir, Luis Rocha, Imidio Cassemiro, Marília Dantas, Ayla Souza, Macel Wallace, Dayana Florentino, Gabriella Autran, José Carlos, Alexandre Gonçalves, Rafael Saraiva, Ricardo Henrique, Fábio Couto, Wanderson Freitas, Bruno Henrique, Almir Figueiredo, Luiz Fontes, Fábio encarregado).

## **MENSAGEM INICIAL:**

“ Em engenharia não existem soluções prontas para vencer a batalha entre custos e benefícios. Somente um bom planejamento, baseado nas necessidades específicas de cada obra, na sua localização e nos recursos disponíveis para sua execução é que se pode definir a melhor alternativa”.

(Portal do Concreto - por DinamicSite 2005-2006)

*“A arte da vida consiste em fazer da vida uma obra de arte”*

**MAHATMA GANDHI**

## **RESUMO:**

O trabalho visa falar sobre o gerenciamento do sistema construtivo utilizando peças pré-moldadas, mais especificamente, os degraus e as vigas jacaré. Para isso, detalharam-se todas as fases do processo necessário para realização desse sistema, que são: fabricação, movimentação e montagem. A primeira fase é a fabricação, cuja característica principal é produzir o maior número de peças em menos tempo, com qualidade e eficiência. A segunda fase é a de movimentação, a qual necessita ter uma quantidade de equipamentos, viáveis para atender o deslocamento das peças, que são levadas para estoque e para montagem. Na fase de montagem é fundamental que se faça um estudo prévio para que se possa viabilizar os equipamentos e os profissionais envolvidos. Todo conteúdo da dissertação baseou-se no método do estudo de caso: na Arena Pernambuco. Além das fases do sistema, o conteúdo ainda contempla informações como: importância do sistema construtivo adotado, conceitos de peças pré-moldadas e pré-fabricadas, matéria prima necessária para a fabricação das peças, conceitos fundamentais de vigas jacaré e degraus, equipamentos de montagem, detalhes específicos para montagem e resultados relevantes para um gerenciamento eficiente de obras conduzidas em sistema de peças pré-moldadas.

Palavras Chaves: Pré-moldado, Vigas Jacaré, Degraus, Gerenciamento.

## **ABSTRACT**

The paper aims to discuss the management of building system using pre-molded parts, more specifically, the steps and the beams alligator. For this reason, detailed up all the process stairs required for completion of this system are: manufacturing, handling and assembling. The first stage is the production, whose main characteristic is to produce as many parts in less time, quality and efficiency. The second phase is the drive, which needs to have a number or equipment viable to attempt the displacement of the parts which are taken for storage and assembly. During assembly is essential a preliminary study for the equipment and may enable the professionals involved. All contents of this dissertation was involved the method of case study: in Arena Pernambuco. In addition to the phases of the system, the content also includes information such as: the importance of constructive system adopted, concepts of precast and prefabricated primary material required for the manufacture of parts, fundamental concepts of alligator beams and stairs, assembly equipment, specific details on mounting and relevant results to the efficient management of system works conducted in precast.

**Key Words:** Pre-cast, beams Alligator, Stairs, Management

## LISTA DE FIGURAS:

Figura 1: Divisão da Arena por Setores .....	3
Figura 2: Divisão das arquibancadas por pavimento.....	4
Figura 3: Pontos de Fixação nos degraus para os inserts .....	17
Figura 4: Inserts TS (esquerda), TSA (direita) .....	18
Figura 5: Inserts TS e TSA.....	18
Figura 6: Insert TS-S .....	18
Figura 7: Insert TS-BOLT .....	18
Figura 8: Insert TSL .....	19
Figura 9: Plano de rigger dos degraus inferior .....	42
Figura 10: Plano de rigger dos degraus do 1º pavimento.....	42
Figura 11: Plano de rigger dos degraus do 2º pavimento.....	43
Figura 12: Vista em planta dos pontos de pega no degrau. ....	43
Figura 13: Plano de rigger dos degraus superiores.....	44
Figura 14: Plano de rigger das vigas inferiores. ....	44
Figura 15: Plano de rigger dos degraus superiores.....	45
Figura 16: Medidas dos cabos para içamento.....	45

## **LISTA DE TABELAS:**

Tabela 1: Distribuição dos Degraus por Pavimento e Setor .....	11
Tabela 2: Distribuição das Vigas Jacaré por setor e pavimento .....	12
Tabela 3: Traço do Concreto Auto-Adensável .....	13
Tabela 4: Mão de obra em cada serviço por mês .....	30
Tabela 5: Leituras pluviométricas em um ano.....	40
Tabela 6: Cronograma do avanço físico na montagem .....	46
Tabela 7: Distribuição das equipes de montagem .....	50

## LISTA DE IMAGENS:

Imagem 1: Conexão entre vigas jacarés .....	12
Imagem 2: Área de fabricação dos pré-moldados no canteiro de obra .....	22
Imagem 3: Armação das peças .....	23
Imagem 4: Montagem das fôrmas metálicas.....	43
Imagem 5: Ajuste da fôrma .....	24
Imagem 6: Consolidação fôrma e armação .....	25
Imagem 7: Travamento da fôrma .....	25
Imagem 8: Desforma da peça .....	26
Imagem 9: Retirada da peça da fôrma.....	49
Imagem 10: Transporte da peça para estoque .....	31
Imagem 11: Movimentação das peças no pátio.....	51
Imagem 12: Carregamento da carreta.....	32
Imagem 13: Percurso da central para o campo.....	34
Imagem 14: Percurso da central para o estoque noroeste.....	34
Imagem 15: Percurso do estoque noroeste para o campo.....	35
Imagem 16: Guindastes na movimentação em estoque.....	36

## LISTA DE GRÁFICO:

Gráfico 1: Degraus fabricados pela empresa 3 .....	28
Gráfico 2: Quantidade de peças fabricadas por mês.....	28
Gráfico 3: Quantidade de carretas por mês: .....	33
Gráfico 4: Quantidade de guindastes para movimentação por mês.....	36
Gráfico 5: Velocidade dos ventos por hora em uma semana .....	40
Gráfico 6: Guindaste para montagem por mês .....	49
Gráfico 7: Produtividade das fôrmas por mês .....	52
Gráfico 8: Produtividade de armação por mês .....	53
Gráfico 9: Quantidade de peça em estoque por dia .....	57
Gráfico 10: Comparativo entre os guindastes totais envolvidos na obra e os do sistema de pré-moldado .....	58

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**km**- quilômetro (unidade de medida)

**m**- metro ( unidade de medida)

**MPa**- Mega Pascal (unidade de peso)

**ABNT/ NBR**- Associação Brasileira de Normas Técnicas

**CAA**- Concreto Auto- adensável

**CPII-F-32**- Cimento Portland de classe 2, com adição de filer e resistência de 32 Mpa

**mm**- milímetro ( unidade de medida)

**kg**- quilograma ( unidade de peso)

**m<sup>3</sup>**- metro cúbico ( unidade de volume)

**m<sup>2</sup>**- metro quadrado ( unidade de área)

**s**- segundos ( unidade de tempo)

**Hh**- Hora Homem (unidade de tempo)

## Sumário

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1-OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2-OBJETIVO ESPECÍFICO.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3-JUSTIFICATIVAS .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4- MÉTODOS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.1- ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 2: CONCEITOS DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS E PRÉ-FÁBRICADAS .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1- VANTAGENS E DESVANTAGENS .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1- DO SISTEMA PRÉ-MOLDADO PARA O CONVENCIONAL .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2- DO SISTEMA PRÉ-MOLDADO PARA O PRÉ-FABRICADO .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 3: PEÇAS DE ESTUDO.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1-DEGRAUS .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2- VIGAS JACARÉ.....</b>	<b>11</b>
<b>3.3- MATÉRIA PRIMA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.1-CONCRETO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.1.1-CIMENTO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.1.2-AREIA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.1.3-BRITA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.1.4-ADITIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.1.5-ÁGUA.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.2-AÇO .....</b>	<b>16</b>

3.3.3-DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS PARA AS PEÇAS .....	17
3.3.3.1- DISPOSITIVOS DE IÇAMENTO .....	17
3.3.3.2-EQUIPAMENTOS DE MOVIMENTAÇÃO .....	20
3.3.3.3-FÔRMAS .....	21
<b>CAPÍTULO 4: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS PEÇAS .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1-PROCEDIMENTOS .....</b>	<b>23</b>
4.1.1- ESCOLHA DAS PEÇAS PARA FABRICAÇÃO .....	23
4.1.2- ARMAÇÃO DAS PEÇAS .....	23
4.1.3-FORMAS DAS PEÇAS .....	23
4.1.4- CONSOLIDAÇÃO ENTRE FÔRMA E ARMAÇÃO .....	24
4.1.5- CONCRETAGEM DAS PEÇAS .....	25
4.1.6-DESFORMA DAS PEÇAS .....	26
4.2-CONTROLE DE QUALIDADE .....	26
4.3-ESTRATÉGIA DE FABRICAÇÃO .....	27
4.4-PRODUTIVIDADE.....	28
4.5-MÃO DE OBRA .....	29
<b>CAPÍTULO 5: PROCESSO DE MOVIMENTAÇÃO DAS PEÇAS .....</b>	<b>31</b>
5.1-PEÇAS PRÉ-MOLDADAS .....	31
5.2PEÇAS PRÉ-FABRICADAS.....	31
5.3-ASPECTOS RELEVANTES.....	32
5.3.1-VEÍCULOS DE TRANSPORTES .....	32
5.3.2PERCURSO DE MOVIMENTAÇÃO .....	33
5.3.3-ESTOCAGEM DAS PEÇAS .....	35

5.3.4-GUINDASTES DO PROCESSO:.....	35
<b>CAPÍTULO 6: PROCESSO DE MONTAGEM DAS PEÇAS .....</b>	<b>37</b>
6.1-ESTUDOS PRELIMINARES PARA A MONTAGEM.....	37
6.2-PONTOS DE ANÁLISE .....	38
6.2.1-ALTURAS .....	38
6.2.2-CARGAS .....	38
6.2.3-MELHORAMENTO DO SOLO .....	39
6.2.4-CLIMA .....	39
6.2.5-PLANOS DE RIGGING .....	41
6.2.5.1- MONTAGEM DOS DEGRAUS NA ARQUIBANCADA INFERIOR.....	42
6.2.5.2- MONTAGEM DOS DEGRAUS NO 1º PAVIMENTO .....	42
6.2.5.3- MONTAGEM DOS DEGRAUS NO 2º PAVIMENTO .....	43
6.2.5.4- MONTAGEM DOS DEGRAUS NA ARQUIBANCADA SUPERIOR.....	44
6.2.5.5-MONTAGEM DA VIGA JACARÉ NA ARQUIBANCADA INFERIOR.....	44
6.2.5.6-MONTAGEM DA VIGA JACARÉ NA AQRUIBANCADA SUPERIOR .....	45
6.3-CRONOGRAMA DE AVANÇO FÍSICO NA MONTAGEM .....	46
6.4-GUINDASTES ENVOLVIDOS .....	49
6.5-PRODUTIVIDADE.....	49
<b>CAPÍTULO 7: RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
7.1- INDICADORES PRODUTIVOS .....	50
7.1.1- PRODUTIVIDADE DE FÔRMA.....	51
7.1.2-PRODUTIVIDADE DE ARMAÇÃO .....	53
7.2-INDICADORES FINANCEIROS.....	54

<b>7.3- INDICADORES DE QUALIDADE.....</b>	<b>55</b>
<b>7.4- INDICADORES PRODUTIVOS, FINANCEIROS E QUALITATIVOS.....</b>	<b>56</b>
<b>7.4.1- TEMPO DE PEÇA EM ESTOQUE.....</b>	<b>56</b>
<b>7.4.2-QUANTIDADES DE GUINDASTES .....</b>	<b>58</b>
<b>CAPÍTULO 8: CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>60</b>

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

A construção civil é um termo da engenharia civil que foi originado de uma época em que só existiam apenas duas classificações para a engenharia, sendo elas: civis e militares, cujo conhecimento, por exemplo, de engenharia militar, era destinada apenas aos militares e a engenharia civil destinada aos demais cidadãos. “A construção, em seus vários segmentos, está inserida na cultura geral dos povos: na história, economia, arquitetura, política e sociologia. Ela estabelece o nexo entre a criatividade do arquiteto e os modelos práticos em que o pensamento adquire forma, consistência e espaço. Os avanços são lentos, às vezes extemporâneos, mas invariavelmente obedecem ao influxo dos grandes movimentos econômicos e históricos, sejam coletivos envolvendo comunidades inteiras, sejam mais específicos de menor abrangência social”. (LEONARDI).

O sistema de peças pré-moldadas foi iniciado por volta de 1904, pelo arquiteto inglês John Brodie, na Inglaterra, com a fabricação de painéis usados nas fachadas de edificações. Por volta de 1940 e 1950, o uso desse sistema foi intensificado, pois era um período de pós guerra onde era necessária a reconstrução rápida das cidades. No Brasil, o uso desse sistema deu-se em 1925 na fabricação de estacas para fundação e por volta de 1980 e 1990 que começou a ampliar os tipos de peças pré-moldadas. Esse sistema construtivo será o principal enfoque neste estudo.

Com o passar do tempo, a revolução tecnológica no mundo proporcionou melhorias na área da construção civil, tais como: equipamentos mais eficientes (gruas, caminhões, guindastes, betoneiras, elevadores, etc), materiais de melhor qualidade, otimização no processo construtivo e softwares cada vez mais precisos. Com isso, as obras (pontes, viadutos, estádios, barragens, etc) puderam ter seu tempo de execução reduzido, ganharam mais segurança e conforto e redução nos custos, entretanto é importante que haja um estudo prévio de cada obra, realizando um planejamento para que se tenha um gerenciamento eficiente.

## 1.1- OBJETIVO GERAL

De uma forma ampla o trabalho aborda o gerenciamento da utilização do sistema construtivo em pré-moldado nas obras de construção civil. No conteúdo são abordadas as suas vantagens e desvantagens perante o sistema construtivo feito in loco, além de fazer uma comparação entre a fabricação das peças do canteiro de obra com as de uma fábrica.

Também são analisados, os aspectos relevantes (tempo e custo) para que os sistemas de pré-moldado, ainda pouco usado nas obras, sejam mais eficientes, principalmente em obras mais pesadas (shoppings, supermercados, pontes, viadutos, estádios de futebol, hospitais barragens, entre outros) e a abordagem da utilização de equipamentos e matérias primas neste sistema.

## 1.2- OBJETIVO ESPECÍFICO

O enfoque do trabalho está no gerenciamento de peças específicas, como degraus e vigas jacaré, utilizando o sistema de pré-moldado e pré-fabricado em estádios de futebol. São abordadas as funções e características dessas peças, assim como suas vantagens e desvantagens. Esse gerenciamento das peças é relativo: á matéria prima utilizada, aos equipamentos fundamentais e ás etapas do processo de fabricação, movimentação e montagem.

## 1.3- JUSTIFICATIVAS

Devido ao crescimento na construção civil nos últimos anos, a necessidade de construir aumentou. Para isso os construtores procuram terminar as obras em um menor tempo, atrelada a uma boa qualidade e um baixo custo. Com isso, é fundamental que haja um gerenciamento da obra eficiente. Diante deste cenário, uma solução propícia para alguns casos é o uso do sistema pré-moldado que, se realizada uma análise prévia de custo e tempo, poderá se observar as vantagens e desvantagens que esse sistema trás.

É importante analisar em todos os processos de uma obra, o custo/benefício que os mesmos irão acarretar, para então avaliar a viabilidade de um sistema construtivo. Além da

análise financeira, é ideal que haja uma preocupação com a qualidade do produto oferecido e as formas como são controlados. Nos estudos de cada processo é importante que se verifique: a mão de obra utilizada, os equipamentos necessários e os requisitos para cada atividade.

Diante deste crescimento construtivo, atrelados às otimizações nos custos e tempo das atividades, o sistema de pré-moldados surge como uma possível solução. Por ainda ser encarado como um caráter inovador perante os construtores e ter poucas literaturas falando sobre o sistema, faz-se necessário a pesquisa sobre dados relativos aos pré-moldados.

## 1.4- MÉTODOS

O método utilizado para entender a concepção de gerenciamento do sistema pré-moldado, foi baseado em um estudo de caso de um estádio de futebol, Arena Pernambuco. Todas as informações e dados coletados nas fases do sistema pré-moldado foram medidas e acompanhadas pelos engenheiros responsáveis. Além disso, foram utilizadas literaturas disponíveis e alguns especialistas.

### 1.4.1- ESTUDO DE CASO:

A Arena Pernambuco foi construída no município de São Lourenço da Mata, pela Construtora Noberto Odebrecht S.A. Todas as arquibancadas da Arena, as peças foram produzidas pelo sistema de pré-moldado ou pré-fabricado. As mesmas apresentavam a seguinte divisão: por níveis (Pavimento Térreo, 1º pavimento, 2º pavimento, Pavimento superior); por setor (Sul, Sudeste, Sudoeste, Leste 1, Leste 2, Oeste 1, Oeste 2, Nordeste, Noroeste, Norte). Abaixo segue uma imagem para melhor ilustrar este esquema:

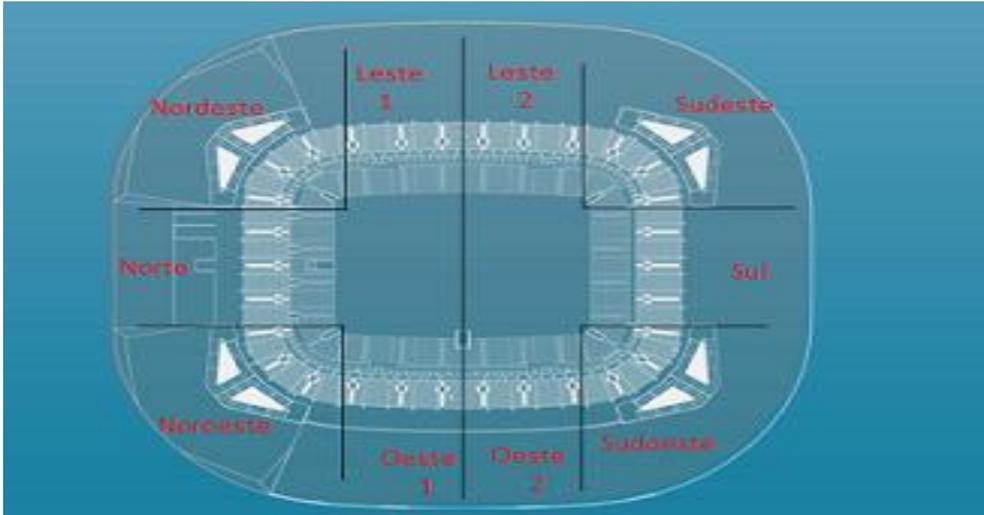


Figura 1: Divisão da Arena por Setores

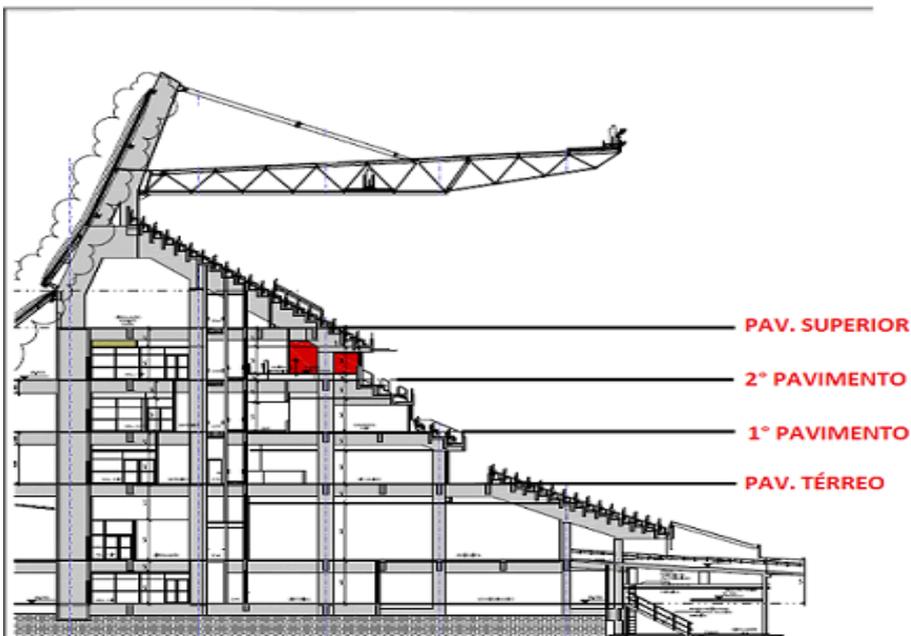


Figura 2: Divisão das arquibancadas por pavimento

O primeiro passo do processo era a fabricação das peças, para isto, houve uma central de fabricação de pré-moldados que era controlada pela empresa 1<sup>1</sup> específica para essa atividade. Uma vantagem que se encontrava no canteiro era que existia uma central de concreto na obra, assim como uma ampla área de estocagem para armazenamento das matérias-primas. Nesta mesma fase, cabia à construtora<sup>2</sup> responsável pelo gerenciamento do processo, o controle de qualidade das peças, assim como cabia a uma empresa 2<sup>3</sup>, realizar o controle tecnológico de

<sup>1</sup> Empresa contratada pela construtora para fabricação das peças no canteiro de obra.

<sup>2</sup> Construtora responsável pela obra como um todo.

<sup>3</sup> Empresa que prestava serviço à construtora no controle tecnológico dos materiais.

material. No decorrer da obra, para atender o planejamento houve a necessidade de fabricar os degraus (que eram em maior quantidade) em uma fábrica externa (peças pré-fabricadas), realizadas pela empresa 3<sup>4</sup>.

O segundo passo dado, foi a movimentação das peças, que em certos momentos foram necessários executar essa atividade, da seguinte maneira: movimentação das peças depois de fabricadas, transporte das peças para estoque, transporte de peças para centro do campo e movimentação das peças para a montagem. Para toda essa atividade existiam equipamentos específicos para se executar, tais como pórticos, carretas e guindastes.

O terceiro e último passo, era a fase de montagem, no qual eram requeridos equipamentos mais sofisticados, uma maior segurança e pessoas capacitadas para realizar esta atividade.

---

<sup>4</sup> Empresa responsável pela fabricação das peças pré-fabricadas.

## **CAPÍTULO 2: CONCEITOS DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS E PRÉ-FABRICADAS**

“O uso de concreto pré-moldado é amplamente relacionado a uma forma de construir econômica, durável, estruturalmente segura e com versatilidade arquitetônica. A indústria de pré-fabricados está continuamente fazendo esforços para atender as demandas da sociedade, como por exemplo: economia, eficiência, desempenho técnico, segurança, condições favoráveis de trabalho e de sustentabilidade. A evolução construtiva das atividades da engenharia civil nas próximas décadas será influenciada pelo desenvolvimento do processo de informação, pela comunicação global, pela industrialização e pela automação. Já existe bastante desta realidade sendo implementada na Europa. Entretanto, há muito mais para ser implementado, especialmente com respeito à eficiência dos processos construtivos atuais, desde o projeto até o seu acabamento. Para se mudar a base produtiva na construção civil, com uso intensivo da força de trabalho, para um modelo mais moderno como a pré-fabricação, envolveria a aplicação de uma filosofia industrial ao longo de todo o processo construtivo. A pré-fabricação das estruturas de concreto é um processo industrializado com grande potencial para o futuro. Todavia, geralmente a pré-fabricação ainda é vista por projetistas inexperientes como se fosse apenas uma variante técnica das construções de concreto moldadas no local. Nesse caso, a pré-fabricação significa apenas que partes da edificação são pré-moldadas em usinas fora do canteiro, para serem montadas depois na obra, como se o conceito inicial de uma estrutura moldada no local fosse obtido novamente. Esse ponto de vista é completamente errôneo. Todo sistema construtivo tem suas próprias características, as quais para uma maior ou menor influência no layout da estrutura, largura do vão, sistemas de estabilidade, etc. Para conseguir melhores resultados o projeto deveria, desde o início, respeitar as demandas específicas e particulares estruturais dos sistemas construtivos pré-moldados” (VAN,2002)

De acordo com a norma brasileira (NBR 9062), as definições são as seguintes:

### **PRÉ-MOLDADO:**

Elemento que é executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade, conforme 12.3 (que diz: Os elementos produzidos em condições menos rigorosas de controle de qualidade e classificados como pré-moldados devem ser inspecionados individualmente ou por lotes, através de inspetores do próprio construtor, da fiscalização do proprietário ou de organizações especializadas, dispensando-se a existência de laboratório e demais instalações congêneres próprias.).

### **PRÉ-FABRICADO:**

Elemento pré-moldado, executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade, conforme 12.2(que diz: Os elementos produzidos em usina ou instalações analogamente adequadas aos recursos para produção e que disponham de pessoal, organização de laboratório e demais instalações permanentes para o controle de qualidade, devidamente inspecionada pela fiscalização)

## **2.1- VANTAGENS E DESVANTAGENS**

### **2.1.1- DO SISTEMA PRÉ-MOLDADO PARA O CONVENCIONAL**

- **VANTAGENS**
  1. Diminuição de desperdício na execução;
  2. Melhor conforto térmico-acústico;
  3. Menos passível de falhas;
  4. Menor consumo de forma e escoramento;
  5. Reduz o prazo de execução, conseqüentemente a entrega da obra;
  6. Elimina ou reduz o uso de madeira na obra.

- DESVANTAGENS

1. Necessidade de equipamentos e veículos específicos para movimentação das cargas;
2. O custo geralmente é um pouco mais elevado;
3. Necessidade de uma mão de obra mais especializada;
4. Tratamento adequado nas formas;
5. Projetos mais específicos e detalhados;
6. Necessidade de uma área no canteiro de obra, para estocagem das peças;
7. Exige uma maior do setor de qualidade das peças;
8. Diminui o tempo de cura do concreto;
9. Fundamental ter um controle tecnológico diário no canteiro de obra;

## **2.1.2- DO SISTEMA PRÉ-MOLDADO PARA O PRÉ-FABRICADO**

### **PRÉ-MOLDADO**

- ✓ VANTAGENS

1. Acelera a produtividade;
2. Reduz a perda de material;
3. Menor necessidade de escoramento em relação ao sistema convencional.

- ✓ DESVANTAGENS

1. Necessidade de veículos para transportar as peças internamente no canteiro.
2. Necessidade de equipamentos especiais para movimentação das peças.
3. Necessidade de espaço no canteiro, para estocagem.

## **PRÉ-FABRICADO**

### ✓ VANTAGENS

1. Maior controle tecnológico das peças;
2. Quantidade reduzida de formas;
3. Fabricação de peças mais robustas;

### ✓ DESVANTAGENS

1. Um custo mais elevado;
2. Necessidade de fretes, para transporte da fábrica para obra;
3. Veículos de transportes específicos;
4. Poucas fábricas no mercado com qualidade para este tipo de operação.

## CAPÍTULO 3: PEÇAS DE ESTUDO

As arquibancadas são estruturas composta de degraus, vigas e pilares, as quais podem ser feitas de madeira, concreto armado (podem ser pré-moldadas ou feitas in loco <sup>5</sup>) e estruturas metálicas. Geralmente essas estruturas são utilizadas em teatros, estádios, autódromos, para receber o público destes locais. Na arena os pilares foram feitos in loco e os degraus e vigas jacarés em sistema pré-moldado.

### 3.1-DEGRAUS

Os degraus são colocados entre duas vigas Jacaré, para dar estabilidade na estrutura, servir como patamar de apoio para circulação de pessoas na arquibancada e fixação das cadeiras para o público. Os degraus são dimensionados para resistir aos esforços solicitantes. Para isso eles podem ser feitos de concreto armado <sup>6</sup>, perfil metálico ou de madeira.

Na obra da Arena, os degraus foram feitos de peças pré-moldadas e pré-fabricadas, para dar agilidade e acelerar o processo, já que havia 1915 peças. Esses degraus foram projetados por uma empresa <sup>4</sup>, que dimensionou as peças conforme a concepção de pré-moldado. Diante disso, os projetos elaborados visavam atender alguns aspectos relevantes para que o sistema funcionasse. Exemplo:

1. Uso de dispositivos colocados na estrutura da peça, para haver o deslocamento horizontal e vertical da mesma.
2. Pequena variação no tamanho das peças: largura, comprimento e espessura, pois otimizava na fabricação das formas metálicas.
3. Dimensionamento para esforços concentrados nas peças, devido às tensões nos cabos que serviam para movimentar a peça.
4. Dimensionamento de degraus, com pequenas cargas e pouca diferença no peso, pois otimizaria nos custos com guindaste de montagem.

---

<sup>5</sup> Estrutura de concreto armado feita no local exato de utilização.

<sup>6</sup> Material da construção civil, composto por concreto (resistente a compressão) e aço (resistente a tração)

<sup>7</sup> Empresa responsável pela elaboração de todos os projetos estruturais de peças pré-moldadas.

Os degraus da arena foram distribuídos em todos os setores e níveis da arquibancada. Para ter um melhor entendimento, a seguir temos uma tabela mostrando como foi dividido:

Tabela 1: Distribuição dos Degraus por Pavimento e Setor

Setor:	Arquibancada Inferior	1° Pavimento	2° Pavimento	Arquibancada Superior
SUL	95			125
SUDESTE	70	12	10	93
SUDOESTE	70	12	10	93
LESTE 1	65	10	10	74
LESTE 2	66	10	10	74
OESTE 1	65	10	10	74
OESTE 2	65	10	10	74
NORDESTE	70	12	10	93
NOROESTE	70	12	10	93
NORTE	193			125

Ao todo foram 1915 degraus

### 3.2- VIGAS JACARÉ

As vigas jacaré são peças feitas de concreto armado, fabricadas pelo sistema de pré-moldado e que servem para composição de uma arquibancada. São elas que recebem os esforços dos degraus e transmitem para os pilares. Elas podem apresentar diversos tamanhos e formatos.

Na Arena, as vigas jacaré eram todas pré-moldadas e foram usadas nas arquibancadas inferiores e superiores de todos os setores. Assim como os degraus, as vigas também foram dimensionadas pela empresa 4, que usou no sistema inserts metálicos para a conexão de duas vigas. Os inserts eram concretados juntos com as vigas e na hora da montagem eram fixadas.



Imagem 1: Conexão entre vigas jacarés

Abaixo temos a distribuição das vigas por setor e pavimento.

Tabela 2: Distribuição das Vigas Jacaré por setor e pavimento

Setor:	Arquibancada Inferior	Arquibancada Superior
SUL	16	16
SUDESTE	14	14
SUDOESTE	14	14
LESTE 1	12	14
LESTE 2	12	14
OESTE 1	12	14
OESTE 2	12	14
NORDESTE	14	14
NOROESTE	14	14
NORTE	24	16

Ao todo foram 280 vigas jacaré

### 3.3 MATÉRIA PRIMA

#### 3.3.1- CONCRETO

O concreto (composto de cimento, areia, brita, água e aditivo) que foi destinado para as peças pré-moldadas correspondeu a aproximadamente 14% de todo o concreto da obra. Por apresentar peças com taxas de aço altíssimas e locais de difícil vibração, o concreto utilizado nas peças pré-moldadas, foi o concreto auto-adensável, que por estudos tecnológicos comprovou-se que seria o mais ideal para o uso dessas peças e, com isso, evitaria possíveis problemas nas mesmas.

O CAA apresenta características fundamentais que solucionavam os problemas encontrados se relacionado ao concreto convencional, tais como: grande fluidez, alta trabalhabilidade, preenchimento completo dos vazios nas fôrmas, evita segregação e a exsudação<sup>8</sup>. Em contrapartida este tipo de concreto tinha um consumo maior de cimento, conseqüentemente um custo maior, relativo à matéria prima, porém em se tratando de mão de obra seus custos eram superiormente mais baixos. Podemos concluir que as maiores vantagens em se tratando do uso do CAA, eram:

- ✓ Facilidade de uso em peças robustas (vigas e degraus);
- ✓ Redução de Mão de Obra, durante o processo de concretagem;
- ✓ Maior durabilidade das peças;
- ✓ Melhora o acabamento das superfícies das peças;
- ✓ Eliminação de ruído na fabricação (retirada do uso de vibrador);
- ✓ Redução no período de fabricação;

### **Traço do Concreto Auto Adensável**

O traço (quantidade de todos os componentes do concreto) para um m<sup>3</sup> de concreto foi elaborado pela empresa 2, para isso, foram realizados os ensaios necessários, para se chegar ao quantitativo de cada componente, de tal forma que atendessem a resistência à compressão solicitada em projeto.

Tabela 3: Traço do Concreto Auto-Adensável

Cimento	Areia	Brita	Água	Aditivo
1	1,362	1,448	0,4	0,007
kg	kg	kg	kg	ml

#### 3.3.1.1- CIMENTO:

O fornecimento de cimento era concedido por uma empresa, que abastecia a obra através do cimento em pó, sendo transportado em caminhões-silos<sup>9</sup>. Ao chegar à obra, o

<sup>8</sup> Ocorre em função da complexidade das fôrmas, que impedem ou dificultam o deslocamento do concreto.

<sup>9</sup> Caminhões que carregam silos, para transporte de mercadorias em grãos.

cimento em pó era retirado do caminhão através de bombas de sucção e armazenado nos silos da central de concreto (a qual se encontrava instalada dentro do próprio canteiro de obra). O cimento fornecido era do tipo CII-F-32, cujas características são: tem entre 6 a 10% de adição de fíler calcário, apresentam grande aplicabilidade e não é recomendado para regiões agressivas.

### 3.3.1.2- AREIA

Areia é um material de origem mineral finamente dividido em grânulos, composta basicamente de dióxido de silício, com 0,063 a 2 mm. Forma-se à superfície da Terra pela fragmentação das rochas por erosão, por ação do vento ou da água. Através de processos de sedimentação pode ser transformada em arenito. É utilizada nas obras de engenharia civil, em aterros, execução de argamassas, concretos e também na fabricação de vidros. O tamanho de seus grãos tem importância nas características dos materiais que a utilizam como componente.

### 3.3.1.3- BRITA

Material classificado como agregado de origem artificial, de tamanho graúdo. Tendo como área fonte as pedreiras, que exploram rochas cristalinas com solos pouco espessos de cobertura, no estado físico sem muita alteração, de preferência aquela contendo rochas quartzo – feldspáticas como os granitos, gnaisses. Porém, às vezes, rochas como o basalto e calcários microcristalinos, também são explorados para essa finalidade.

A textura da rocha fonte deve ser coesa e não muito grossa, com baixa porosidade, ausência de plano de fraqueza ou estrutura isotrópica. Não é recomendável utilizar rochas xistosas, com acamamento, foliações finas, micro fraturas.

### 3.3.1.4- ADITIVO

O aditivo usado no traço do concreto foi: Viscocrete 5800 FTN

#### 1. Descrição:

É um aditivo superplastificante de pega normal de terceira geração, para concreto com alta resistência inicial, concreto de alto desempenho (CAD) e concreto auto-adensável (CAA). Possui um composto químico que controla a incorporação de ar, permitindo obter concretos com maior uniformidade de mistura reduzindo a variação de ar incorporado na mistura. Atende aos requisitos da norma EB 1763 (Tipo SP).

#### 2. Vantagens

Atua por diferentes mecanismos, através dos efeitos de adsorção superficial e separação esférica nas partículas do cimento, e no processo de hidratação. As seguintes propriedades são obtidas:

- ✓ Forte comportamento auto-compactante;
- ✓ Extremo poder redutor de água, resultando em altas resistências à compressão;
- ✓ Excelente fluidez, resultando em grandes reduções nos custos de lançamento e adensamento do concreto;
- ✓ Reduz retrações e fissuras no concreto;
- ✓ Reduz a taxa de carbonatação do concreto;
- ✓ Concreto fluido com mínimo fator a/c sem segregação e exsudação;
- ✓ Melhora a aderência e a textura da superfície do concreto;
- ✓ Aumenta o módulo de elasticidade;
- ✓ Aumenta a impermeabilidade e a durabilidade do concreto;
- ✓ Não contém adição de cloretos

### 3.3.1.5- ÁGUA

A quantidade de água necessária à mistura nos traços de concretos depende da umidade natural contida na areia e por isso se faz necessário a sua determinação ou proceder ao ajuste experimental até a obtenção da quantidade de água ideal para o traço. Não devemos esquecer que a água é um dos principais elementos a ser analisado em uma construção, tendo em vista a sua importância neste contexto.

### 3.3.2- AÇO

As peças pré-moldadas, são feitas de concreto armado, na qual tem como um dos principais componentes o aço. Este componente apresenta como função principal: resistir a esforços de tração das peças. Os aços eram fornecidos pela empresa Gerdau, que detinha sua fábrica a aproximadamente 40 km da obra. Com isso, havia a facilidade para atender a demanda.

Os vergalhões de aço utilizado nas peças pré-moldadas foram os CA-50 e CA-60. Segundo a NBR 7480/2007, a principal diferença entre CA-50 e CA-60, é a resistência característica de escoamento, o primeiro tem 500 MPa e o segundo tem 600 MPa. Outra diferença é de que o aço CA-60 apresenta menores diâmetros nominais enquanto que o aço CA-50 é de maiores diâmetros. Os diâmetros nominais (bitola), usados nas peças foram: 5.0mm (único do tipo CA-60), 6.3mm, 8.0mm, 10.0mm, 12.5mm, 16.0mm, 20.0mm, 25.0mm, 32.0mm.

A quantidade total de aço utilizada nas peças pré-moldadas foram de 1.234.105 kg, correspondente a 13,73% de todo aço utilizado na obra. As peças apresentaram uma variação de consumo de aço por m<sup>3</sup> de concreto, nos degraus essas taxas variaram de 63 kg/m<sup>3</sup> até 245 kg/m<sup>3</sup>, já nas vigas jacaré essas taxas variaram de 101 kg/m<sup>3</sup> até 370 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.3.3- DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS PARA AS PEÇAS

#### 3.3.3.1- DISPOSITIVOS DE IÇAMENTO

Os dispositivos utilizados no içamento são inserts que servem para o içamento das peças pré-moldadas que eram fornecidos pela empresa 5<sup>10</sup>(uma empresa localizada em São Paulo) e tem o intuito de dar simplificação da produção, qualidade total, precisão e velocidade na montagem do sistema. Abaixo uma figura que mostra estes dispositivos.

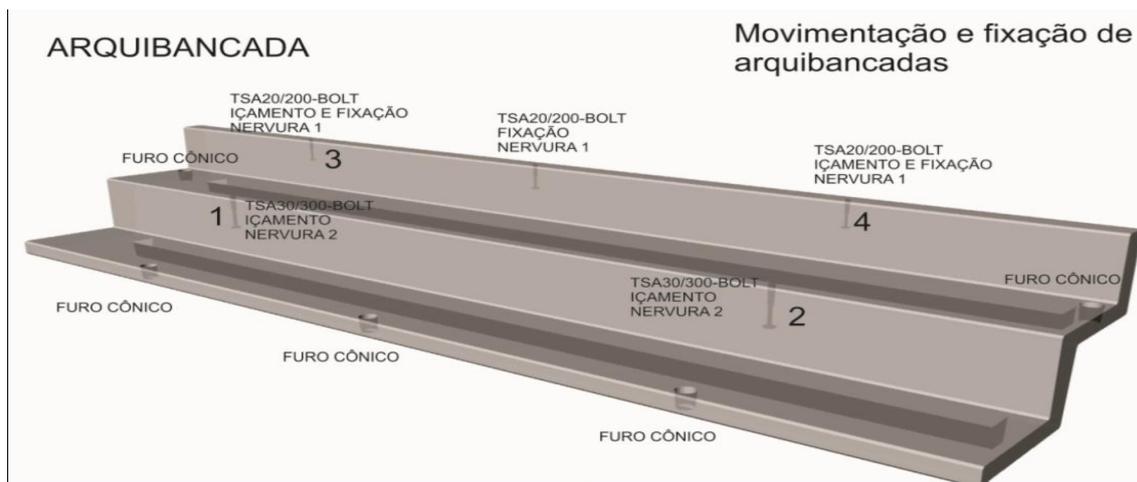


Figura 3: Pontos de Fixação nos degraus para os inserts

Nos degraus foram usados nove tipos diferentes de inserts enquanto que nas vigas jacaré foram dois tipos, dos quais cada um tinham diferentes características, essa variedade facilidade na variação de movimentação das peças : Foram eles:

<sup>10</sup> Empresa fornecedora dos inserts metálicos.

## 1. TS-S-25/500 e TSA-BOLT-24/250

Foi utilizado nos degraus e nas vigas jacaré, pois as mesmas eram produzidas na horizontal e tinham que ser levantadas para a posição vertical, então era importante o uso desse dispositivo. Abaixo está configuração clássica ilustrada nas figuras:

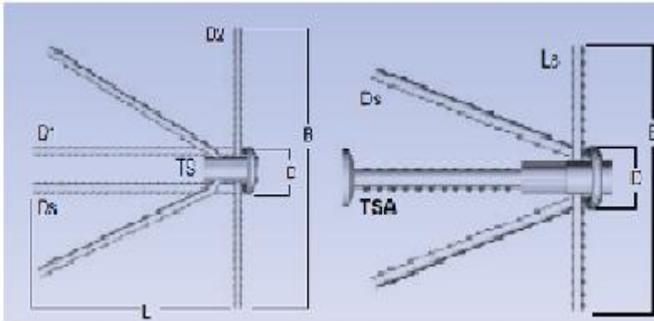


Figura 4: Inserts TS (esquerda), TSA (direita)

Inserto	Código	Carga de Trabalho	B (mm)	D (mm)	Ds - D1 - D2 CA50 (mm)	L - LS (mm)
	10	0,5	300	20	6	200
	12	1,2	400	24	6	200
07 TS	16	1,5	500	32	8	250
07 TSA	20	2,0	600	40	10	300
	24	3,0	700	48	12	450
	30	5,0	800	64	16	600

Figura 5: Inserts TS (simbologia em verde) e TSA (simbologia em vermelho)

A terminologia “S” e “BOLT”, são devido aos seus formatos, abaixo temos imagens destes dois tipos:

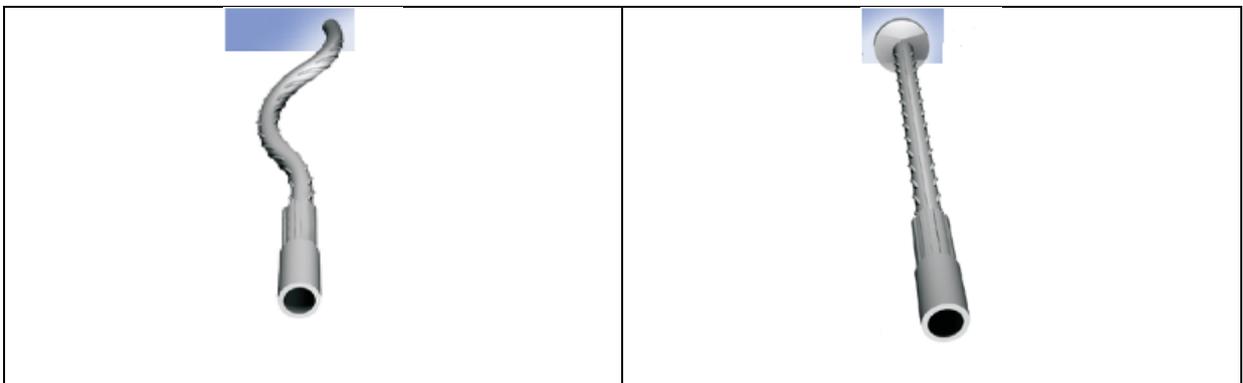
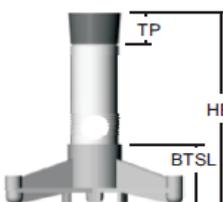


Figura 6: Insert TS-S

Figura 7: Insert TS-BOLT

## 2. TSL-24/110

Desenvolvido para movimentação de peças produzidas na horizontal, o TSL é indicado para içamentos de até 3 ton por ponto, sempre considerando os fatores de agravamento de carga.



Inserto	Código	Carga (toneladas)	Ø Externo (mm)	H do TSA (mm)	CA50 (mm)
	16	1,5	22.2	Sob Encomenda	12.7
07 TSL	20	2,0	28.5	Sob Encomenda	16.0
	24	3,0	31.7	Sob Encomenda	16.0

Figura 8: Insert TSL

## 3. LIFT 5T e LIFT 7,5T

Para a escolha de um lift, é importante levar em consideração:

- Peso próprio do elemento incluindo a umidade;
- Repartição do peso eventualmente assimétrica - Formas assimétricas;
- Suspensão estaticamente incerta;
- Tração através de múltiplos cabos;
- Tração inclinada para os casos de levantamento produzidos na horizontal;
- Efeito de sucção entre o elemento e a forma;
- Resistência do concreto na idade da movimentação;
- Valores secundários de segurança e vento;

Outros inserts importantes são os chumbadores, são barras de aço de 25 mm de diâmetro, que são roscada em uma das extremidades e tem comprimentos variados. Os mesmos são colocados nos degraus. Abaixo temos os tipos de chumbadores utilizados (24 é o diâmetro e os outros valores são os comprimentos utilizados).

4. **CHUMBADOR TJM 24/140**
5. **CHUMBADOR TJM 24/450**
6. **CHUMBADOR TJM 24/600**
7. **CHUMBADOR TJM 24/800**

### 3.3.3.2- EQUIPAMENTOS DE MOVIMENTAÇÃO

A movimentação é um fator imprescindível quando se trata de trabalhar com peças pré-moldadas e pré-fabricadas, visto que é fundamental nas três fases do processo.

Durante toda a execução da obra, foram necessários:

- 2- PÓRTICOS DE 32 T
- 7 - CARRETAS
- 10- GUINDASTES

Todos esses equipamentos foram divididos basicamente da seguinte maneira:

- Fabricação  
2-Pórtico
  
- Movimentação  
7- Carretas  
8-Guindastes
  
- Montagem  
3- Guindastes

### 3.3.3.3- FÔRMAS

Quando se trata de fôrmas para peças pré-moldadas, é fundamental que elas sejam metálicas, pois há um uso repetitivo das mesmas, assim como proporciona um melhor acabamento das peças. Para fabricar as fôrmas, observou se alguns aspectos relevantes:

1. Tamanho das peças (verificando a variação nas dimensões);
2. Quantidade possível de reutilização de cada tipo;
3. Peso das formas;
4. Travamento das formas;

Diante de toda essa análise, verificou-se que seriam necessários 27 tipos de fôrmas diferentes para os degraus e seis fôrmas (quatro horizontal e duas vertical) para as vigas jacaré.

## CAPÍTULO 4: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS PEÇAS

A fabricação das peças pré-moldadas, eram realizadas pela empresa 1, que ficava alocada em uma área no canteiro de obra destinada exclusivamente para fabricar todos os degraus e vigas jacaré. Essa área tinha aproximadamente 45600 m<sup>2</sup>, que correspondia a 11% do canteiro. Era constituída de central de armação, central de concreto, um administrativo, espaço para estocagem das peças finalizadas e uma pista de concretagem das peças. A imagem abaixo mostra toda essa área destinada no processo de fabricação.



Imagem 2: Área de fabricação dos pré-moldados no canteiro de obra.

Antes mesmo de se iniciar o processo de fabricação é de suma importância ter as matérias primas já disponíveis e estocadas para atender à produção planejada para o dia. Para entender como funcionava todo o processo de fabricação, é fundamental destacar alguns pontos relevantes, tais como:

1. O procedimento de funcionamento de cada etapa;
2. Estratégia de fabricação;
3. Mão de obra;
4. Produtividade;

## 4.1- PROCEDIMENTOS

### 4.1.1- ESCOLHA DAS PEÇAS PARA FABRICAÇÃO

As escolhas das peças que seriam fabricadas eram feitas baseando-se no planejamento da obra, o qual atendia aos avanços físicos das estruturas in loco, que tinha a seguinte sequência: Sul, Sudeste, Sudoeste, Leste, Oeste, Nordeste, Noroeste e Norte. Para atender o prazo e tendo uma fabricação eficiente, tinha-se como meta de fabricar 13 degraus e duas vigas jacaré por dia. A fabricação de cada setor se dava na produção dos degraus de baixo para os de cima de uma arquibancada.

### 4.1.2- ARMAÇÃO DAS PEÇAS

As peças eram armadas, na própria central de armação que ficava a 50m da pista de concretagem. Devido a grande concentração de aço, as peças eram montadas horizontalmente, facilitando o trabalho, pois as mesmas apresentavam grandes pesos, depois de montadas.



Imagem 3: Armação das peças

### 4.1.3- FÔRMAS DAS PEÇAS:

As fôrmas ficavam distribuídas ao lado da pista de concretagem e de acordo com a tipologia dos degraus para fabricação, eram usadas as formas necessárias. Na Imagem 02, pode-se observar que as formas poderiam fabricar várias peças, com espessuras diferentes, devido ao ajuste que as mesmas tinham na base.

Nesta fase era fundamental a aplicação dos desmoldantes, nas superfícies das formas, pois melhorava a aparência da superfície do concreto, aumenta a durabilidade da estrutura e aumenta a vida útil das formas (evitando com isso o trabalho de limpeza das formas).



Imagem 4: Montagem das fôrmas metálicas



Imagem 5: Ajuste da fôrma

#### 4.1.4- CONSOLIDAÇÃO ENTRE FÔRMA E ARMAÇÃO

Após a armação das peças, as mesmas eram levadas para pista de concretagem e colocadas dentro das formas. Nesta fase havia a colocação dos espaçadores plásticos<sup>11</sup> em toda região de contato da forma com armação. Quando era inviável o uso desses espaçadores, a solução era usar isopor. Depois da armação posicionada corretamente dentro da fôrma, a mesma era fechada completamente.

É importante que haja o auxílio de caminhões munck<sup>12</sup>, os quais servem para movimentar a estrutura armada e as formas para encaixar, pois em ambos os casos são estruturas pesadas.

---

<sup>11</sup> Peças de plástico que serve para distanciar a armaduras da face externa da peça.

<sup>12</sup> Caminhão que tem um dispositivo tipo munk, para içamento de peças pesadas.



Imagem 6: Consolidação fôrma e armação

Após a consolidação é necessário que se faça o travamento das formas na face superior (de acordo com sua espessura necessária) e em toda superfície da peça. Este travamento é importante, pois garante que a estrutura fique imóvel na hora da concretagem.



Imagem 7: Travamento da fôrma

#### 4.1.5- CONCRETAGEM DAS PEÇAS

Esta fase inicia-se quando o concreto depois de solicitado para a central, geralmente uma quantidade correspondente ao volume da peça mais um folga (de 10% devido à perda residual na hora da concretagem). O concreto vinha da central para a pista de concretagem em caminhões betoneiras<sup>13</sup>, que despejavam o mesmo dentro das fôrmas. Por se trabalhar com concreto auto adensável, não era necessário a utilização de vibradores<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> Caminhões específicos para o transporte de concreto dosado em central.

<sup>14</sup> Dispositivo elétrico, que serve para adensar o concreto na hora da concretagem.

#### 4.1.6- DESFORMA DAS PEÇAS

As desformas das peças ocorriam sempre quando a resistência á compressão do concreto atingia o valor de 15 MPa, os corpos de prova <sup>15</sup>eram ensaiados entre 12 e 24 horas após a concretagem, na central da empresa 2, localizada dentro do próprio canteiro de obra.



Imagem 8: Desforma da peça

#### 4.2- CONTROLE DE QUALIDADE

Todas as peças passavam pela aprovação do setor da qualidade, que tinha como objetivo maior, acompanhar de perto todas as etapas de fabricação das peças, fiscalizando os procedimentos, para verificar se estavam fazendo corretamente. Para que todas as etapas fossem fiscalizadas de forma correta, a qualidade precisava em algumas situações do apoio da topografia. Existia-se um checklist<sup>16</sup>, em que se conferia em cada fase da fabricação, os requisitos necessários, que eram os seguintes:

- Alinhamento das faces externas das peças, nivelamento, posicionamento de embutidos, posicionamento de ferragem, prumo, geometria da peça.
- Armação: (Posições, bitolas, ferros de espera, espaçamento, transpasse, recobrimento, quantidade, alinhamento, emendas, limpeza).
- Formas e vedação: (Dimensional, fixação, vedação, prumo, alinhamento, travamento, aplicação de desmoldante e limpeza).

<sup>15</sup> Peças de concreto moldadas em forma cilíndrica padronizada, para ensaios de resistência a compressão.

<sup>16</sup> Lista de verificação que é elaborada para verificar os requisitos das atividades já efetuadas e as que ainda a serão feitas.

- Embutidos / Inserts: (Tipo, quantidade, posição, locação, fixação, proteção e limpeza).
- Preparação das Juntas de Construção: (Aplicação de desmoldante retardador na superfície da forma nas áreas onde deverá ser realizado tratamento rugoso).
- Limpeza Geral e Condições para Lançamento: (Remoção de materiais soltos como pregos, arames, pedaços de madeira, argila, ausência de água / Equipamentos, iluminação, transporte do concreto, vibradores, altura de lançamento, acesso, pessoal habilitado)

Com todos os requisitos aprovados pela equipe da qualidade, a peça enfim, era conduzida para a próxima fase do processo de pré-moldado: montagem.

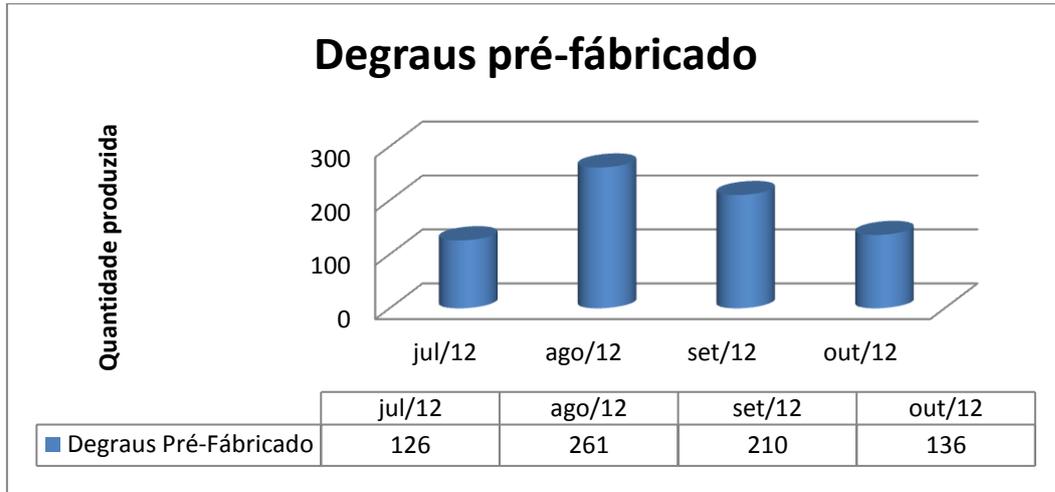
#### 4.3- ESTRATÉGIA DE FABRICAÇÃO

Durante a execução da obra, houve uma antecipação na data de entrega de obra de oito meses e, com isso foi necessário uma mudança de estratégia na fabricação das peças pré-moldadas, para que pudesse atender esse novo prazo.

Diante desse novo cenário, o gerenciamento da fabricação das peças, teve que ser acelerado. A empresa 3 foi escolhida para fabricar alguns degraus das arquibancadas do 1º pavimento, 2º pavimento e superior, em paralelo a fabricação da empresa 1, no canteiro de obra.

A fábrica da empresa 3, fica localizada em Salvador- Bahia, distante 800 km do canteiro de obra. Ela foi responsável por fabricar 38,28% de todos os degraus da Arena. Foram disponibilizadas algumas formas que já se tinham, as quais foram levadas para a respectiva fábrica. Além das formas, foi necessário que um fiscal da construtora, fosse até a fábrica da empresa 3, fiscalizar a qualidade das peças, controlar os materiais e instruir os funcionários no procedimento padrão da empresa. Esse processo começou em julho/2012 e terminou em outubro/2012 e teve o seguinte comportamento.

Gráfico 1: Degraus fabricados pela empresa 3:

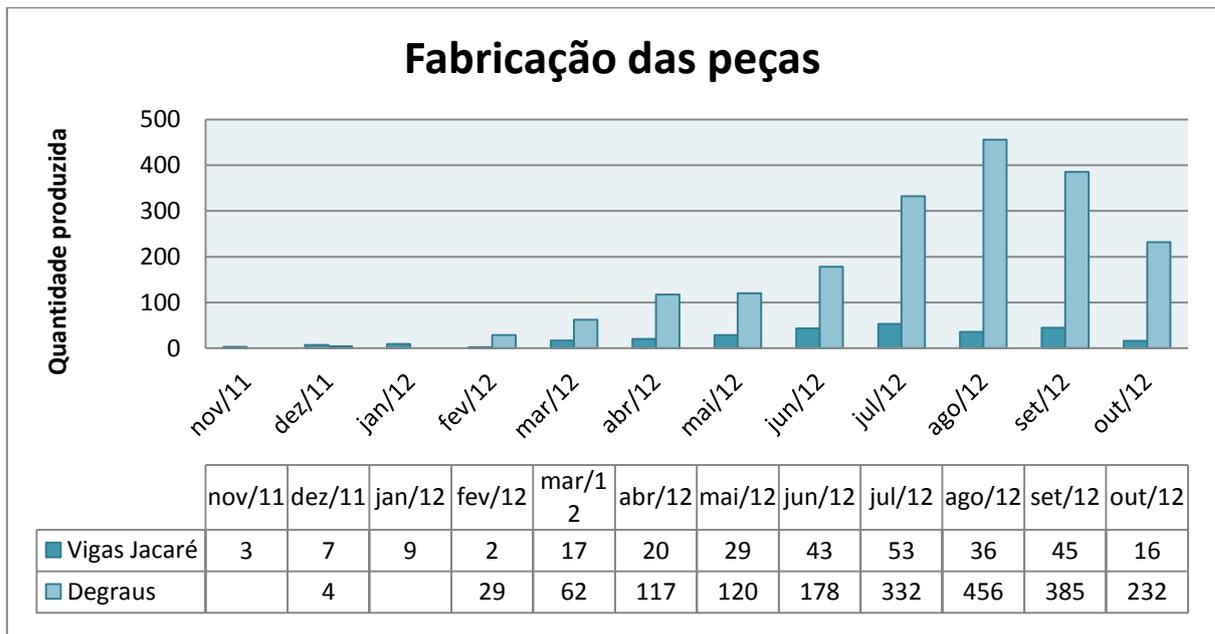


Ao todo foram 733 degraus pré-fabricados.

#### 4.4- PRODUTIVIDADE:

Ao longo dos 12 meses de fabricação das peças pré-moldadas, a quantidade produzida foi variando de acordo com cada mês. Isso porque, à medida que iria sendo executada a obra, via-se a necessidade de fabricar mais peças por mês, para que pudesse atender o prazo de entrega. Abaixo temos o comportamento de fabricação dos degraus (tanto pré-moldado quando pré-fabricado) e vigas jacaré:

Gráfico 2: Quantidade de peças fabricadas por mês



## PONTOS ANALISADOS

- Observa-se que foi fundamental priorizar a fabricação das vigas jacaré, pois seriam as primeiras peças a serem montadas;
- No mês de julho/2012, há uma crescente produção de degraus, um aumento de mais de 50% de produção, isto devido as primeiras peças da empresa 3, começarem a ser entregues;
- A produção das vigas jacaré teve um crescimento gradativo entre abril/2012 e junho/2012 e depois um caimento gradativo até setembro/2012;
- Do mês de fevereiro/2012 até o final, a produção de degraus sempre foi superior a de vigas jacaré, pois os mesmo eram mais rápidos.

### 4.5- MÃO DE OBRA

Durante todo o processo de fabricação, foi necessário a formação de frentes de serviços que trabalhasse para que todas as fases de fabricação funcionassem em paralelo. Esses serviços foram de fôrma e armação. As equipes eram formadas por encarregado geral, encarregado de turma, armadores, carpinteiros e ajudantes.

Para atender as metas de fabricação fornecida pela equipe de planejamento da obra, o quantitativo mensal de funcionários variavam a cada mês, por isso durante dez meses da obra as quantidades foram diferentes. Abaixo temos a distribuição das equipes em cada serviço formadas em cada mês.

Tabela 4: Mão de obra em cada serviço por mês

	Jan 2012	Fev 2012	Mar 2012	Abr 2012	Mai 2012	Jun 2012	Jul 2012	Ago 2012	Set 2012	Out 2012
<b>Serviço de Forma</b>										
Encarregados	1	1	1	1	3	3	3	3	3	1
Encarregado de Turma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carpinteiros	2	2	5	6	8	12	20	22	17	6
Ajudantes	5	5	20	20	23	21	35	12	15	4
<b>Serviço de Armação</b>										
Encarregados	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Encarregado de Turma	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Armadores	13	13	25	27	28	45	64	54	56	14
Ajudantes	7	7	21	28	39	29	35	14	15	8

#### Dados do Serviço de FÔRMA

1. Produção Total: Pré-Moldado: **73.102,9 m<sup>2</sup>** Pré- Fabricado: **39.792,1 m<sup>2</sup>**
2. Maior Produção: mês de Julho/2012→ **14.201,8 m<sup>2</sup>**
3. Relação Média de Profissional/ Ajudante: **1,1**
4. Índice Hora Homem/m<sup>2</sup> do encarregado: **0,06**
5. Índice Hora Homem/m<sup>2</sup> do carpinteiro: **0,33**
6. Índice Hora Homem/m<sup>2</sup> do ajudante: **0,35**

#### Dados do Serviço de ARMAÇÃO

1. Produção Total: Pré-Moldado: **810.885,2 kg** Pré- Fabricado: **360.337 kg**
2. Maior Produção: mês de Julho/2012→ **150.116 kg**
3. Relação Média de Profissional/ Ajudante: **2,5**
4. Índice Hora Homem/kg do encarregado: **0,0**
5. Índice Hora Homem/kg do armador: **0,09**
6. Índice Hora Homem/kg do ajudante: **0,04**

## CAPÍTULO 5: PROCESSO DE MOVIMENTAÇÃO DAS PEÇAS

### 5.1- PEÇAS PRÉ-MOLDADAS

A movimentação das peças era iniciada na central de pré-moldado. Quando a peça atingia a resistência a compressão de 30 Mpa nos degraus e 21 MPa nas vigas jacaré (valores estabelecido pelo projetista), os quais geralmente eram obtidos depois de 2 ou 3 dias da data de concretagem. A movimentação consistia basicamente no içamento da peça pronta, retirada da forma e colocação em cima das carretas, as quais seguiriam para estoque.



Imagem 9: Retirada da peça da fôrma



Imagem 10: Transporte da peça para estoque

As peças saiam do estoque e seguiam para centro do campo, onde iriam ser montadas, apenas quando havia necessidades.

### 5.2- PEÇAS PRÉ-FABRICADAS

Nas peças pré-fabricadas a movimentação acontece dentro da própria fábrica, através de pórticos, que retiram as mesmas das formas e as colocam em estoque ou em cima da própria carreta. As carretas transportavam até dois degraus ao mesmo tempo, atendendo a capacidade de carga das mesmas e levavam um dia para chegar até o canteiro. Temos imagens a seguir mostrando de fato, o procedimento de carregamento na fábrica.



Imagem 11: Movimentação das peças no pátio



Imagem 12: Carregamento da carreta

### 5.3- ASPECTOS RELEVANTES:

Durante todo o processo de movimentação é importante destacar pontos relevantes para que o gerenciamento dos pré-moldados e pré-fabricados se torne eficiente, dentre esses destacamos:

#### 5.3.1- VEÍCULOS DE TRANSPORTES:

Os veículos movimentavam as peças dentro canteiro, nos seguintes percursos:

1. Central de pré-moldado -> Estoque;
2. Central de pré-moldado -> Centro do campo;
3. Estoque -> Centro do campo.

A demanda de transporte de peças variava mês a mês, dependendo da produção das peças e da montagem, por isso a quantidade de carretas no canteiro mudava todo mês. Temos a seguir as especificações das carretas utilizadas:

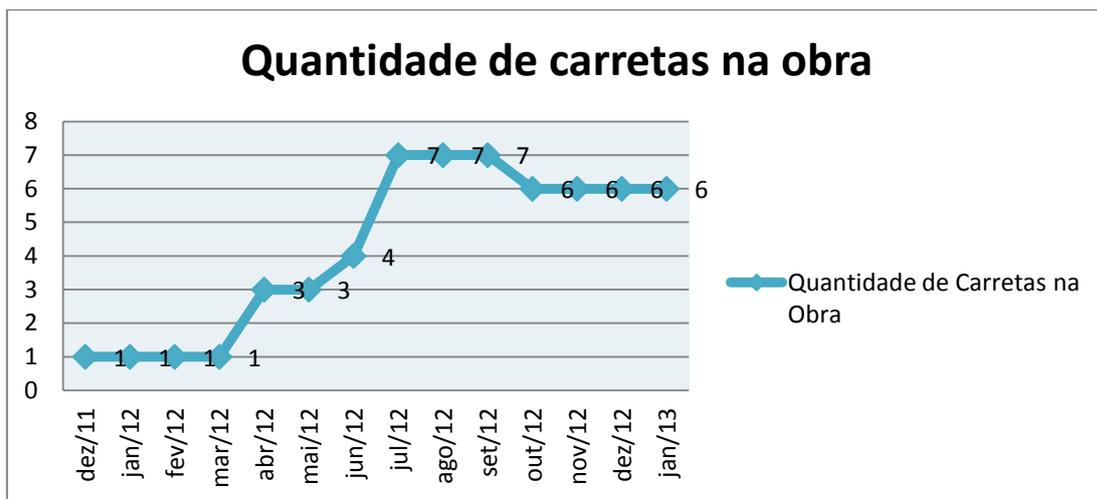
- 1 unidade-CARRETA PRANCHA SCANIA P-420
- 2 unidades-CARRETA PRANCHA NL10 VOLVO TRUCK
- 2 unidades-CARRETA PRANCHA LS-2638 M. BENZ TRUCK

1 unidades-CARRETA PRANCHA LS-2635 M. BENZ TRUCK

1 unidade - CAVALO MECANICO VW 26.390

Abaixo pode-se observar no gráfico, o quantitativo mensal das carretas voltadas para movimentação das peças na obra:

Gráfico 3: Quantidade de carretas por mês:



No gráfico, observa-se que nos meses de julho/2012 a setembro/2012, foi o período em que teve a maior quantidade de carretas disponível na obra. Isso ocorreu porque foi o período que começaram a chegar as peças pré-fabricadas, conseqüentemente a demanda de transporte para as mesmas aumentou.

### 5.3.2- PERCURSOS DE MOVIMENTAÇÃO

Ocorreram dois percursos de movimentação das peças no canteiro de obra: O primeiro foi na fase inicial de movimentação dos pré-moldados, em que as peças eram levadas diretamente do estoque da central para o centro de campo; o segundo, foi a partir de maio/2012, as peças eram primeiramente levadas para o estoque no noroeste e posteriormente para o campo.

## 1° Situação



Imagem 13: Percurso da central para o campo

Nesta situação, a distância média percorrida pelas carretas era cerca de 1250m. Foram transportadas nesse percurso aproximadamente 270 peças (entre vigas e degraus).

## 2° Situação

### 1° ETAPA



Imagem 14: Percurso da central para o estoque noroeste.

A distância percorrida nesta etapa era de cerca de 1150m. No estoque do noroeste, uma das vantagens para movimentar as peças era de que as carretas tinham espaço para fazer manobras, além disso, lá as peças ficavam distribuídas entre “ruas”, as quais deixavam as peças separadas por setor e pavimento, deixando assim o estoque mais organizado.

## 2º ETAPA



Imagem 15: Percurso do estoque noroeste para o campo

Nesta 2º etapa, as peças eram levadas para o centro do campo. A distância média desse trecho era de 860m.

### **5.3.3- ESTOCAGEM DAS PEÇAS**

A estocagem é a fase em que as peças ficam armazenadas durante certo intervalo de tempo, que é entre a fabricação e a montagem. Para amortecer o volume de peças pré-moldadas e pré-fabricadas, era necessário uma área (de preferência no canteiro de obra), destinada para essa finalidade. É imprescindível ter espaço suficiente para movimentação dos guindastes e das carretas.

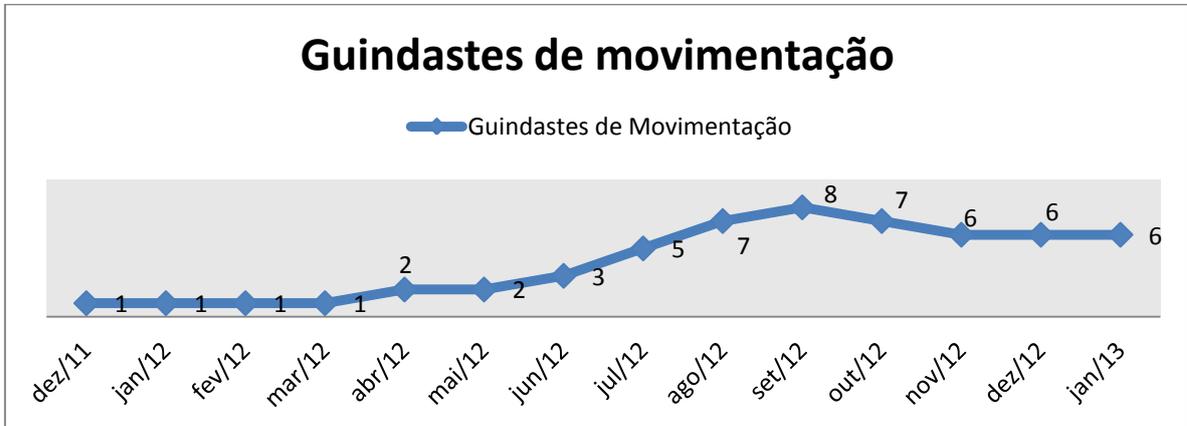
Na obra existiram dois locais onde a armazenagem de peças ocorreu. O primeiro local usado para estoque foi uma área dentro da própria central de pré-moldado, utilizada nos quatro primeiros meses de fabricação. O outro local foi no estacionamento do noroeste, que ficou pronto depois e tinha área de 37.500 m<sup>2</sup>, ou seja, de maior capacidade de estocagem e manuseio.

### **5.3.4- GUINDASTES DO PROCESSO**

Os guindastes destinados para as movimentações das peças eram localizados nas centrais de estocagem e no centro do campo. Na fase inicial, quando se estocavam as peças na própria central de pré-moldado, os guindastes de movimentação tinham duas utilidades: a primeira era de deslocar a peça fabricada para a área de estoque e a segunda era de colocar as peças em cima das carretas que as levariam a montagem. Na outra fase, existiam guindastes na central de pré-moldado, colocando as peças produzidas em cima das carretas e guindastes no estoque do setor noroeste, para descarregar as peças oriundas da central e também para carregar as que iriam ser montadas.

Durante do esse processo de montagem, a demanda de guindaste destinada para essa atividade variou com o tempo. Abaixo temos um gráfico mostrando as quantidades por mês.

Gráfico 4: Quantidade de guindastes para movimentação por mês



Os guindastes que fizeram esta atividade foram:

- Guindaste 70 toneladas
- Guindaste RT 600 (60 toneladas)
- Guindaste QY70V 70 toneladas
- Guindaste Rodoviário 220 toneladas
- Guindaste XCMG QY 100 toneladas
- Guindaste XCMG QY 70 tonelada



Imagem 16: Guindastes na movimentação em estoque.

## **CAPÍTULO 6: PROCESSO DE MONTAGEM DAS PEÇAS**

Na fase de montagem, é fundamental que haja um estudo sobre as possibilidades para que o içamento das peças seja feito de forma econômica e viável. Para isso é importante analisar os pontos críticos do processo. Para que seja econômico são necessários guindastes, que geralmente são alugados e que gera um custo elevado na obra. Por isso é importante que se tenha o maior aproveitamento possível em menor tempo, além do que para tornar viável, são importantes que se verifiquem alguns aspectos para a montagem, tais como: clima da região, solo do local, cargas de montagem, altura de montagem, acesso à obra e ação do vento.

Outro ponto observado nesta fase é a necessidade de haver profissionais especializados para elaborar planos de rigging e para coletar informações sobre: pluviometria da região, estudo geotécnico do solo, capacidade de carga dos guindastes, leituras de equipamentos dos ventos, entre outras informações essenciais. Diante das situações vistas acima, observa-se que a elaboração desta etapa, pode vir a comprometer a segurança e o custo da obra, se não tratada corretamente.

Na obra da Arena foi necessário haver estudos preliminares, para analisar a viabilidade no processo de montagem. No estudo básico da obra, foram coletadas as informações essenciais para que a obra fosse executada de forma segura. Adiante temos detalhado os estudos e a informações.

### **6.1- ESTUDOS PRELIMINARES PARA A MONTAGEM**

O estudo de montagem inicia-se avaliando os possíveis guindastes que serão utilizados para atender a esta fase. Os aspectos analisados são: capacidade de carga, disponibilidade do equipamento, custo do aluguel, tempo necessário para utilização e quantidade.

Na Arena, o estudo foi desenvolvido, com cinco empresas brasileiras, com especialidades no processo. São elas: Saraiva, Locar, Bezerra, IV, Makro e 3Z. Um dos fatores que influenciou bastante na escolha foi o custo de mobilização e desmobilização das máquinas, que dependia da distância (sede ao canteiro) de transporte das máquinas.

No estudo estimava-se que a montagem de uma peça duraria em média 35 á 60 minutos, o que daria no final do dia uma produção de aproximadamente de 8 á 10 peças montadas. Diante disso, pelo planejamento inicial, no qual considerava 12 meses para a fase de montagem, só seria necessário o aluguel de apenas um guindaste para atender a demanda.

## 6.2- PONTOS DE ANÁLISE:

### 6.2.1- ALTURAS

As peças eram montadas em quatro níveis da arquibancada: Inferior, 1º pavimento, 2º pavimento e superior. Como os guindastes estavam posicionados no campo, eles ficavam na cota 29,20, porém em cada nível a altura era variada, pois dependia da cota de cada degrau e essa variação de cota era dada em projeto. Abaixo as cotas de cada pavimento.

Arquibancada Inferior: Degraus da Cota **30,70** até **36,53**.

Arquibancada do 1º pavimento: Degraus da cota **40,50** até **41,57**

Arquibancada do 1º pavimento: Degraus da cota **40,50** até **41,57**

Arquibancada do 2º pavimento: Degraus da cota **44,92** até **50,38**

Arquibanca Superior: Degraus da cota **49,34** até **60,84**

Diante desses valores, observa-se que as alturas de içamento das peças variaram de 1,5 m (primeiro degrau da arquibancada) até 31,64m (ultimo degrau da arquibancada) em todos os setores da Arena.

### 6.2.2- CARGAS

A carga de uma peça é uma característica essencial para se realizar o plano de rigging, pois com esse dado pode-se determinar a priori, qual a capacidade mínima que o guindaste deve ter para que haja a montagem. Vale salientar que vai depender também da altura de montagem e do raio.

Na montagem, as cargas variavam de acordo com as peças. Nos degraus essas cargas variaram de 1,25 t até 27,5 t, já nas vigas jacaré essa variação foi de 5,35 t até 24,35 ton.

### **6.2.3- MELHORAMENTO DO SOLO**

Durante o processo de montagem das peças, tanto na área interna do campo quanto pela área externa, foi necessário haver melhoramentos no solo, para que o mesmo suportasse as cargas transmitidas pelos guindastes. Para essa solução, o projeto usou uma camada de 40 cm de BGS (Brita graduada simples), é uma mistura composta com metade agregado graúdo<sup>17</sup> e metade pó de pedra<sup>18</sup>.

### **6.2.4- CLIMA**

O clima de São Lourenço da Mata é o tropical, do tipo As'. Com temperatura média anual de aproximadamente 24,5°C. No verão, as temperaturas ficam altas, as máximas oscilam entre 27°C e 32°C, com mínimas entre 19°C e 22°C. No inverno, as temperaturas ficam amenas, com máximas entre 23°C e 28°C, e mínimas entre 15°C e 20°C, com bastante chuva. Em alguns dias do ano, pode ocorrer a formação de nevoeiros fortes, que é bastante comum na cidade.

Na obra havia um aparelho instalado, para fazer leituras de pluviometria e velocidade dos ventos. Em dias de chuvas intensas e ventos acima de 10 m/s, não poderia haver montagem das peças. Por isso este aparelho fazia leituras da velocidade dos ventos a cada 15 minutos e o índice pluviométrico todos os dias. Abaixo temos um gráfico mostrando a leitura dos ventos a cada 15 minutos em 6 dias.

---

<sup>17</sup> Material utilizado em uma mistura que tem mais de 95% retidos na peneira 4,8mm

<sup>18</sup> Material proveniente do calcário calcítico com granulometria até 4,0mm



## 6.2.5- PLANOS DE RIGGING

O plano de rigging é o planejamento formalizado de uma movimentação de cargas com guindaste móvel, visando à otimização dos recursos aplicados na operação (equipamentos, acessórios e outros) para se evitar acidentes e perdas de tempo. Ele indica, por meio do estudo da carga a ser içada, das máquinas disponíveis, dos acessórios, condições do solo e ação do vento, quais as melhores soluções para fazer um içamento seguro e eficiente. O plano é geralmente elaborado por um profissional com conhecimento na área de movimentação de cargas e é de grande valia para as empresas do ramo.

### **-Informações importantes que devem estar contida no plano de rigging.**

- Altura de içamento;
- Raio;
- Tipo de guindaste;
- Carga de movimentação (capacidade);
- Cargas transmitidas ao solo;
- Desenhos indicando o posicionamento adequado do guindaste;
- As movimentações necessárias;
- Comprimento dos cabos de aço;
- Contrapeso padrão;
- Contrapeso da adicional;
- Ângulo da lança;
- Peso do Moitão;
- Peso da Bola

### **- Os planos de rigging mais relevantes na montagem das peças.**

### 6.2.5.1- MONTAGEM DOS DEGRAUS NA ARQUIBANCADA INFERIOR

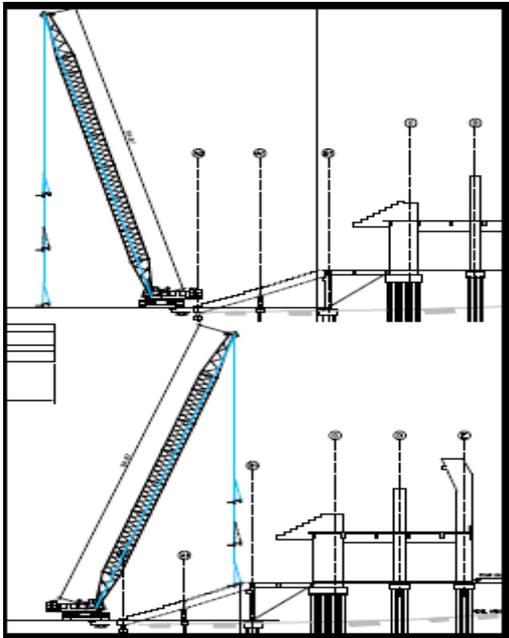


Figura 9: Plano de rigger dos degraus inferior

Esse plano foi feito para montagem dos degraus (D1112 e D1113) do setor sul, a qual apresentou um ângulo de movimentação de  $75,3^\circ$ , um raio de operação de 25 metros e um peso total de içamento de 14,6 toneladas. Foi realizado pelo guindaste, Terex/American HC165.

### 6.2.5.2- MONTAGEM DOS DEGRAUS NO 1º PAVIMENTO

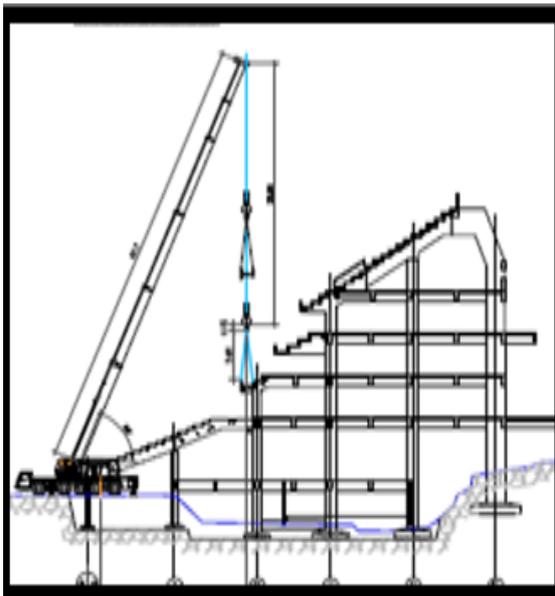


Figura 10: Plano de rigger dos degraus do 1º pavimento

Esse plano foi feito para montagem dos degraus do 1º pavimento do setor leste 1, a qual apresentou um ângulo de movimentação de  $68^\circ$ , um raio de operação de 16 metros e um peso total de içamento de 20,3 toneladas. Foi realizado pelo guindaste Liebherr modelo: LTM 1220-5.2, cuja capacidade é de 220 toneladas.

### 6.2.5.3- MONTAGEM DOS DEGRAUS NO 2º PAVIMENTO

Para esse plano de rigging, foi utilizado com o guindaste de 220 toneladas (modelo: LTM1220 -5.2 LIEBHERR), que tinha um comprimento de lança de 42,0 m e um ângulo de 65°. O mesmo ficou posicionado no eixo 16 (setor leste 2), na parte interna do campo e serviu para montar o degrau 4406 que pesava 8,45 t e estava na cota 49,34.

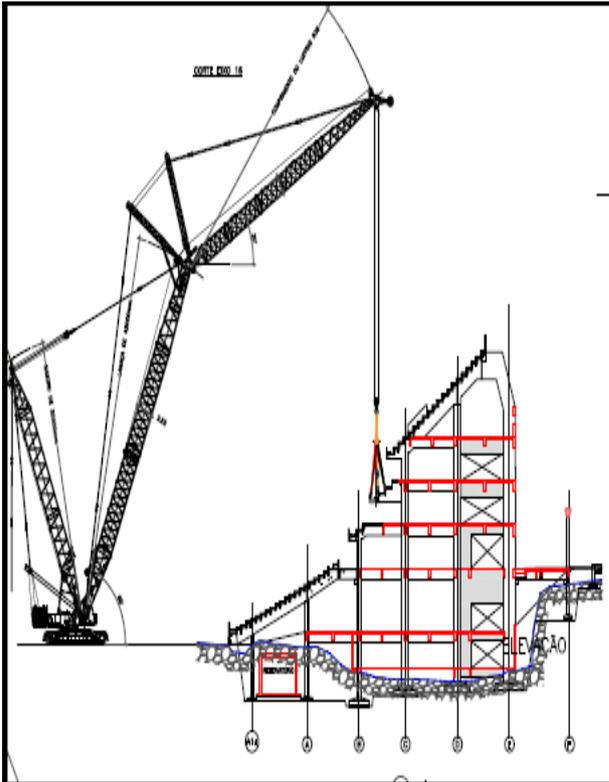


Figura 11: Plano de rigging dos degraus do 2º pavimento

Na imagem ao lado, observa-se o posicionamento da montagem do degrau na estrutura.

Na imagem abaixo, observa-se os quatro pontos de pega, necessários para distribuir o peso da peça e a mesma se mantenha equilibrada e com isso o guindaste faça o içamento correto. Observou-se que na imagem há números simbolizando os dispositivos usado:

01 => Esticador 02 => Cabos;  
03 => Balacim; 05 => Manilhas

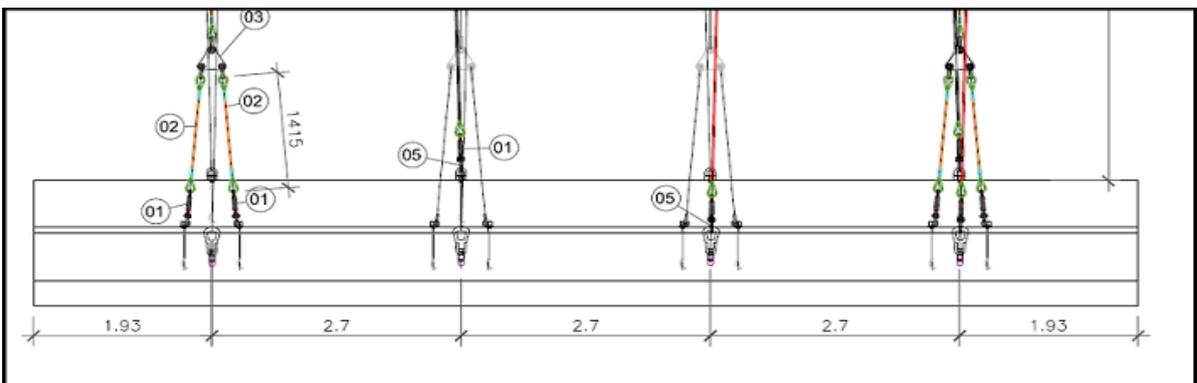


Figura 12: Vista em planta dos pontos de pega no degrau.

#### 6.2.5.4- MONTAGEM DOS DEGRAUS NA ARQUIBANCADA SUPERIOR

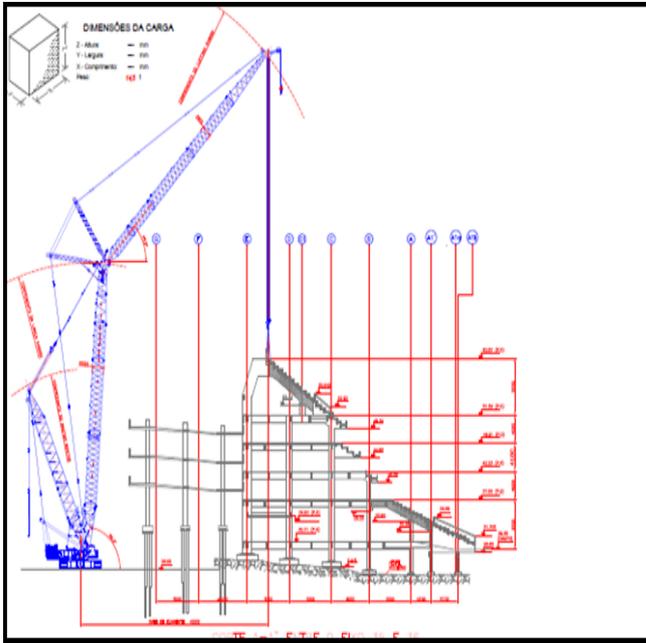


Figura 13: Plano de rigger dos degraus superiores

Ao lado, apresenta-se uma imagem de um plano de rigging da montagem do último degrau da arquibancada superior (estava localizado na cota 60,84), o mesmo foi içado pela parte externa da arena e pesava 11,93 ton.

#### 6.2.5.5-MONTAGEM DA VIGA JACARÉ NA ARQUIBANCADA INFERIOR

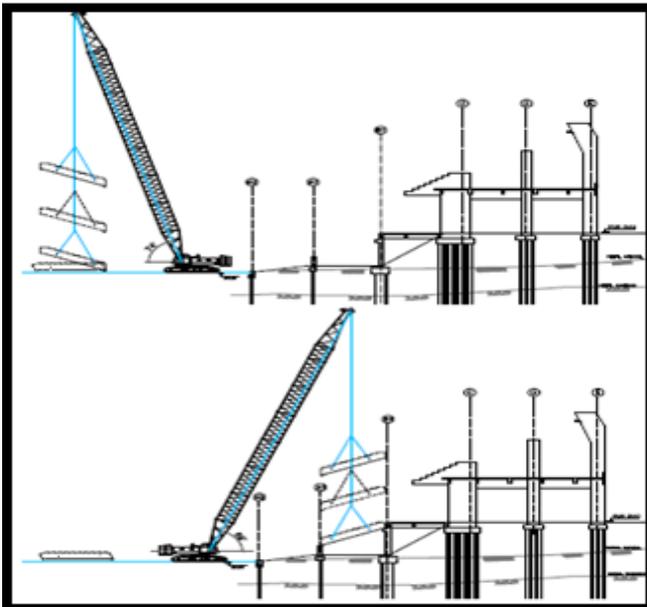


Figura 14: Plano de rigger das vigas inferiores.

Esse plano foi feito para montagem das vigas Jacaré (VJ 1113 e VJ 1114) do setor sul, a qual apresentou um ângulo de movimentação de  $69^\circ$ , um raio de operação de 19,4 metros e um peso total de içamento de 19,3 toneladas. Foi realizado pelo guindaste, Terex/American HC165.

### 6.2.5.6-MONTAGEM DA VIGA JACARÉ NA AQRUIBANCADA SUPERIOR

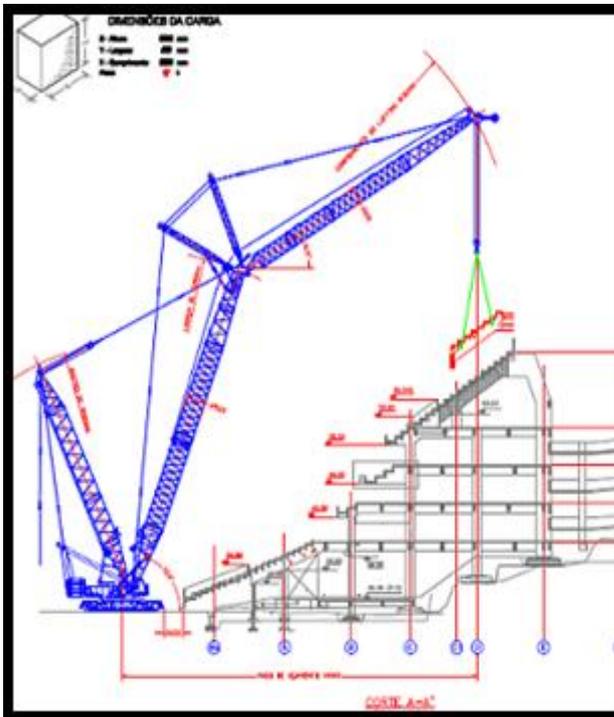


Figura 15: Plano de rigging dos degraus superiores

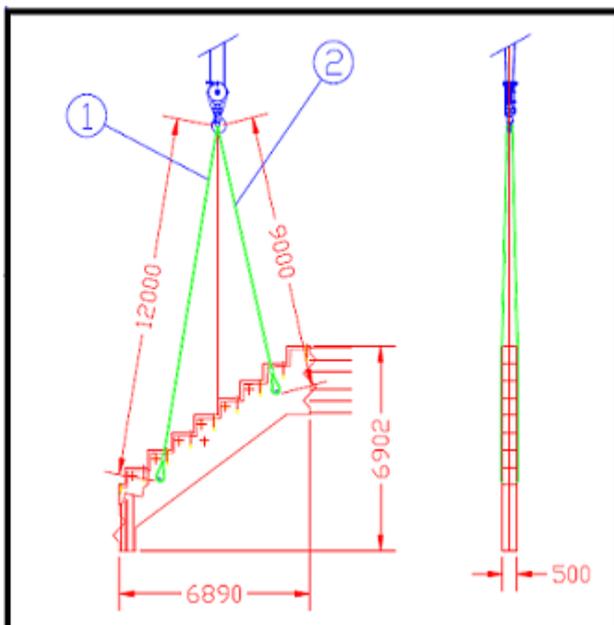


Figura 16: Medidas dos cabos para içamento

Ao lado apresenta-se a montagem de uma viga jacaré do setor sudeste. No plano de rigging o guindaste utilizado foi o Monitowoc 16000 da Saraiva, que precisou de 42,0 m de lança, ângulo de 70°, 205 t de contrapeso e transmitiu 405 Kpa para o solo. A viga pesava 17 t e foi montada entre as cotas 60,87 e 53,23.

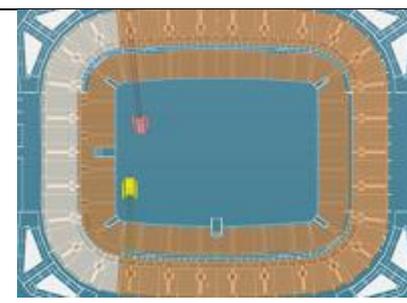
Ao lado na Figura 16, mostra-se o detalhe da viga, assim como as dimensões dos cabos utilizados para o içamento. O cabo 1, apresentava uma capacidade de 68 kg e o cabo 2 de 53 kg.

### 6.3- CRONOGRAMA DE AVANÇO FÍSICO NA MONTAGEM

A fase de montagem iniciou-se em abril de 2012 pela arquibancada inferior do setor sul e terminou na primeira semana de fevereiro de 2013, na arquibanca superior do setor norte. Durante esse período o avanço da montagem foi baseado nos avanços físicos das estruturas in loco (vigas, pilares e laje) e essa evolução de montagem ocorreu da seguinte forma:

Tabela 6: Cronograma do avanço físico na montagem

CROQUI	SETOR/ NÍVEL	TEMPO DE MONTAGEM
	Montagem da Arquibancada inferior <b>Setor Sul</b>	144 DIAS
	Montagem da Arquibanca Inferior <b>Setor Sudeste e Sudoeste</b>	235 DIAS
	Montagem da Arquibanca Inferior <b>Setor Leste 2 e Oeste 2</b>	73 DIAS
	Montagem da Arquibanca Inferior <b>Setor Leste 1 e Oeste 1</b>	186 DIAS

	<p>Montagem da Arquibanca Inferior</p> <p><b>Setor Nordeste e Noroeste</b></p>	<p>154 DIAS</p>
	<p>Montagem da Arquibancada inferior</p> <p><b>Setor Norte</b></p>	<p>157 DIAS</p>
	<p>Montagem da Arquibancada Superior</p> <p><b>Setor Sul</b></p>	<p>160 DIAS</p>
	<p>Montagem da Arquibanca Superior</p> <p><b>Setor Sudeste e Sudoeste</b></p>	<p>128 DIAS</p>
	<p>Montagem da Arquibanca Superior</p> <p><b>Setor Leste 2 e Oeste 2</b></p>	<p>130 DIAS</p>
	<p>Montagem da Arquibanca Superior</p> <p><b>Setor Leste 1 e Oeste 1</b></p>	<p>98 DIAS</p>

	<p>Montagem da Arquibanca Superior <b>Setor Nordeste e Noroeste</b></p>	<p>88 DIAS</p>
	<p>Montagem da Arquibancada Superior <b>Setor Norte</b></p>	<p>49 DIAS</p>

#### PONTOS OBSERVADOS:

- As montagens dos degraus dos 1º e 2º pavimento, não entraram no cronograma acima citado, pois os mesmos foram feitos em paralelo às situações acima;
- Verifica-se no cronograma, que no início os tempos de duração chegaram há 235 dias, devido as interferências encontradas nos setores sudeste e sudoeste. Por outro lado, observa-se um período de 49 dias no setor norte superior, que precisou de uma montagem acelerada, para atender o prazo final de montagem da obra.

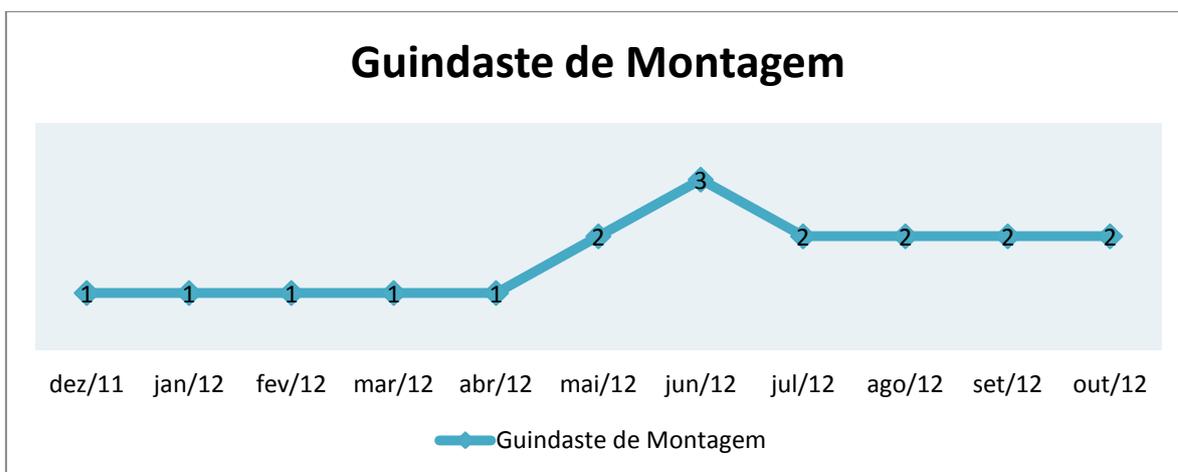
#### INTERFERÊNCIAS DE MONTAGEM

1. Falta de área para montar as peças;
2. Falta de peças prontas;
3. Espera para retirada de escoramentos das estruturas in loco;
4. Falta de espaço físico para movimentação dos guindastes;
5. Prioridades em outros serviços;
6. Excesso de chuva em alguns dias;
7. Falta de inserts metálicos;
8. Regiões em que o solo não suporta as cargas transmitidas;
9. Guindastes em manutenção.

## 6.4- GUINDASTES ENVOLVIDOS

Os guindastes são os principais equipamentos para a montagem das peças pré-moldadas. São eles que fazem a movimentação dos elementos, para as áreas de aplicação. No período de montagem das peças, as quantidades de guindaste voltadas para essa atividade variaram de acordo com o mês. Abaixo temos um gráfico mostrando essa quantidade x mês:

Gráfico 6: Guindaste para montagem por mês



Conforme verificado nos capítulos anteriores, os meses de junho, julho e agosto, foram os de maior pico tanto na fabricação, quanto na movimentação. Por isso no mês de julho/2012, a quantidade de guindaste para montagem obteve um ápice de três, foram eles: Guindaste LTM 1220 de 240 t, guindastes 500 t e 440 t com esteira.

## 6.5- PRODUTIVIDADE

Assim como na fabricação, as equipes de montagem recebiam metas mensais para montar as peças. Para isso havia três equipes trabalhando neste processo eram duas voltadas para a montagem de andaimes e uma apoiando o içamento da peça.

A equipe de montagem dos andaimes era importante, pois os andaimes serviam para apoiar as vigas jacaré no encaixe com os pilares. A equipe que dava apoio ao içamento das

peças faziam os seguintes serviços: ajustes (cortar uma parte da peça ou grautear <sup>19</sup>os vazios) no encaixe dos degraus com as vigas jacaré, entre um degrau e outro ou entre um pilar e uma viga jacaré. Além desse serviço a equipe de apoio ainda auxiliava no içamento das peças, com cordas suspensas orientando as mesmas ao local de encaixe. A tabela a seguir mostra como foram divididas as equipes:

Tabela 7: Distribuição das equipes de montagem

Equipes	Quantidade	Funcionários
Montagem de Andaime	2	Encarregado Geral
	16	Montadores
Apoio no Içamento das peças	1	Encarregado Geral
	6	Ajudantes

## CAPÍTULO 7: RESULTADOS

### 7.1- INDICADORES DE PRODUTIVIDADE

De acordo com ROCHA(2003, p.2),

A produtividade é mensurada através de índices obtidos da razão entre uma determinada quantidade física de produção e o tempo de duração do trabalho para realizá-la. Os índices de produtividade são utilizados para o controle de eficiência, através da comparação de valores referenciais. A importância dos indicadores de produtividade ajuda a manter os custos mais baixos e estimar os planejamentos de obras futuras. Os parâmetros medidos são vitais para a melhoria do processo

<sup>19</sup> É a colocação do graute (material de elevada resistência).

### 7.1.1- PRODUTIVIDADE NA MONTAGEM DAS FÔRMAS

Durante o processo de fabricação das peças pré-moldadas e pré fabricadas, foram medidas as quantidades que um homem, em uma hora de trabalho leva para produzir um m<sup>2</sup> de forma. Para isso foi necessário contabilizar a quantidade total de funcionários envolvidos, a quantidade total de horas trabalhadas na atividade e a quantidade total de formas fabricadas, que era contabilizado mensalmente.

Os índices foram medidos durante dez meses do processo, por engenheiros responsáveis pela fabricação das peças. Os valores da relação são calculados pela seguinte

equação:  $I \left( \frac{Hh}{M^2} \right) = \sum \frac{(Hn+He)*ni}{AT}$ , onde :

Hn= Horário Normal de trabalho no mês;

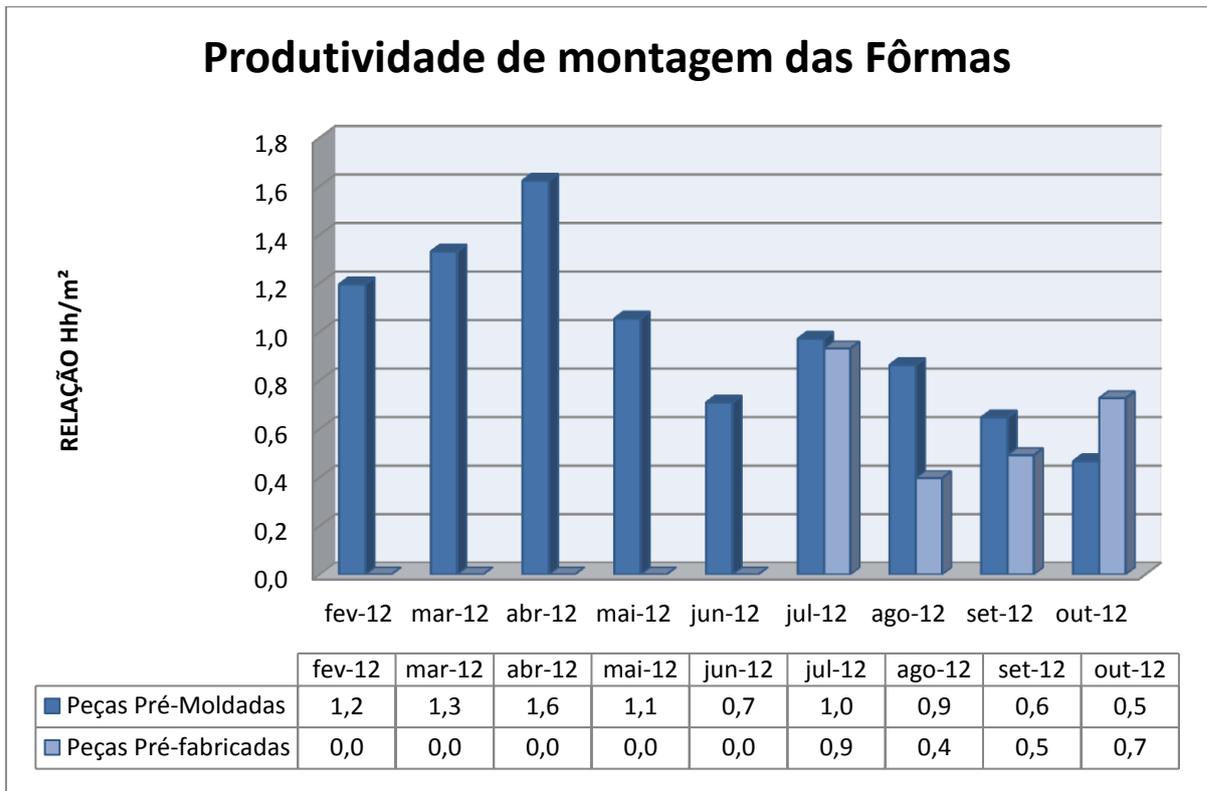
He= Hora extra de Trabalho no mês;

Ni= Número de funcionários de cada classe (Encarregado, Carpinteiro e Ajudante);

AT= área total de forma fabricada no mês.

Abaixo o gráfico mostra os valores medidos em cada mês nas peças pré-fabricadas e pré-armadas.

Gráfico 7: Produtividade de montagem das fôrmas por mês



O índice médio obtido foi de 0,8 Hh/m<sup>2</sup>. De acordo com NAKAMURA(2003) os índices trabalhados por outras empresas do ramo de formas metálicas, atentando que cada qual trabalha com pesos de fôrmas diferentes, são de:

Mills=0,6 Hh/m<sup>2</sup>

SH forma= 0,3Hh/m<sup>2</sup>

Loguel= 1,2 Hh/m<sup>2</sup>

Pashal= 1,5 Hh/m<sup>2</sup>

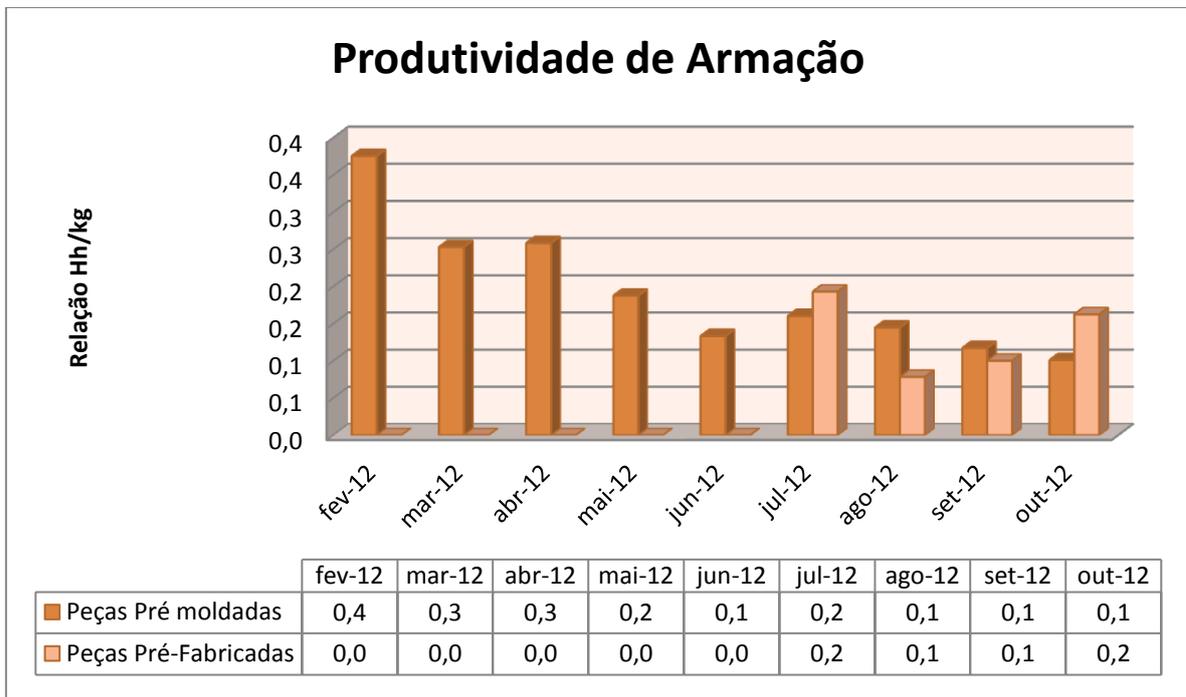
Conclui-se que o índice obtido na Arena é bom, pois quando comparado com os das empresas é coerente e aceitável.

## 7.1.2-PRODUTIVIDADE DE MONTAGEM DAS ARMAÇÕES

Essa produtividade também ocorreu na fase de fabricação das peças pré-moldadas e pré-fabricadas. Neste caso foram medidas as quantidades que um homem, em uma hora de trabalho leva para cortar e armar a estrutura em peso de aço. Para isso foi necessário contabilizar a quantidade total de funcionários envolvidos, a quantidade total de horas trabalhadas na atividade e o peso total (kg) armado, os quais eram contabilizados mensalmente.

Assim como nas formas, os índices foram calculados durante um período de dez meses, através da seguinte fórmula:  $I\left(\frac{Hh}{kg}\right) = \sum \frac{(Hn+He)*ni}{PT}$ , onde a única diferença é a incógnita PT= Peso total em kg armado no mês.

Gráfico 8: Produtividade de armação por mês



No gráfico, o índice médio de produtividade calculado, chegou a 0,175 Hh/kg, isso contempla os serviços de toda equipe de armação. De acordo com SANTOS (2009), este índice podem ser 0,24 Hh/kg para os armadores e 0,26 Hh/kg para os ajudantes, o TCPO 13

(2009) considera 0,24 Hh/kg para armadores e 0,14 Hh/kg para ajudantes e ARAUJO (2000), considera para vigas um índice médio de 0,10 Hh/kg.

## 7.2-INDICADORES FINANCEIROS

Um dos assuntos mais relevantes na construção civil é o custo, por isso a importância que haja um acompanhamento em cada processo da obra, para ter o controle financeiro de cada atividade. Para isso é importante ter dados relevantes de cada processo.

No gerenciamento dos pré-moldados são considerados diversos fatores financeiros, considerando-se os requisitos envolvidos em cada fase. Para avaliar o percentual de importância em cada fase. Foram levados em consideração, os seguintes requisitos:

1. Mão de obra (direta e indireta);
2. Aluguel dos equipamentos;
3. Matéria-prima;
4. Acessórios das peças;

Calculando o custo total do sistema e verificando as parcelas percentuais que cada fase influencia para o total, obtiveram-se os seguintes valores:

- Fabricação: 78 %
- Movimentação: 12%
- Montagem: 10%

Então conclui que é na fase de fabricação onde está a maior parcela financeira do sistema como um todo. Como não foi encontrado nas literaturas, valores para comparação, pode considerar esses dados para orçamentos de obras futuras.

### 7.3- INDICADORES DE QUALIDADE:

A utilização de indicadores de qualidade é de fundamental importância para as empresas de construção civil avaliar a qualidade dos produtos fabricados em suas obras, bem como, retroalimentar o processo, no que diz respeito à concepção de projetos futuros.

Um indicador medido na obra referente à qualidade foi o acompanhamento da qualidade das peças depois de fabricada. Como visto anteriormente, todas as peças tinham um controle na fabricação baseado em um checklist, voltado para qualidade das peças. Então após a finalização de fabricação de todas as peças, que duraram 12 meses (novembro/2011 até outubro/2012), calculou-se o índice qualitativo, da seguinte maneira:

$$I(\%) = \frac{NL}{2195} * 100$$
, onde NL= número de peça não liberadas para montagem e 2195 é quantidade total de peças.

Então foi contabilizado que existiram 26 peças (11 vigas e 15 degraus) que inicialmente tiveram alguns tipos de problemas, mas que foram consertados e liberados para montagem. Esses problemas foram:

1. Quebra da peça na hora da desforma;
2. Falha de concretagem, deixando os aços expostos;
3. Resistência do concreto à compressão não obtida;
4. Aparecimento de fissuras após a desforma;

Diante desse valor, chegamos a um índice qualitativo das peças igual há  $I= 1,18\%$ . Por não serem encontradas referências literárias relativas ao resultado encontrado, conclui-se que valor obtido foi muito bom, se comparado ao volume total de peças fabricadas. Então pode-se dizer que o controle de qualidade era bem feita e muito eficiente.

## 7.4- INDICADORES PRODUTIVO, FINANCEIRO E QUALITATIVO

### 7.4.1- TEMPO DE PEÇA EM ESTOQUE

Um dos indicadores, que contempla os três pontos principais de um gerenciamento de qualidade, foi medido após a finalização das montagens de todas as peças. Esse índice calculado trata-se do tempo que uma peça passa em estoque.

A nível produtivo, esses valores são essências, pois podem limitar sua fabricação, porque pode haver casos em que haja espaços físicos suficientes para armazenar as peças fabricadas. A nível financeiro, um maior tempo de uma peça em estoque, pode gerar maiores custos para obra, pois com a utilização do sistema pré moldado, o conceito principal é investir um pouco mais na fabricação para ganhar com o tempo de execução. Por isso que é fundamental que após as peças serem fabricadas, as mesmas sigam para a montagem. A nível qualitativo, as peças podem sofrer maiores desgastes quando ficam em estoque, pois geralmente, elas ficam empilhadas, são mudadas de lugar, ficam expostas sofrendo ação de sol e chuva e tudo isso pode causar perda na qualidade da peça.

Na obra, construiu-se um gráfico, calculando-se o tempo da peça em estoque, da seguinte maneira:  $TE (dias) = DM - DF$ , onde:

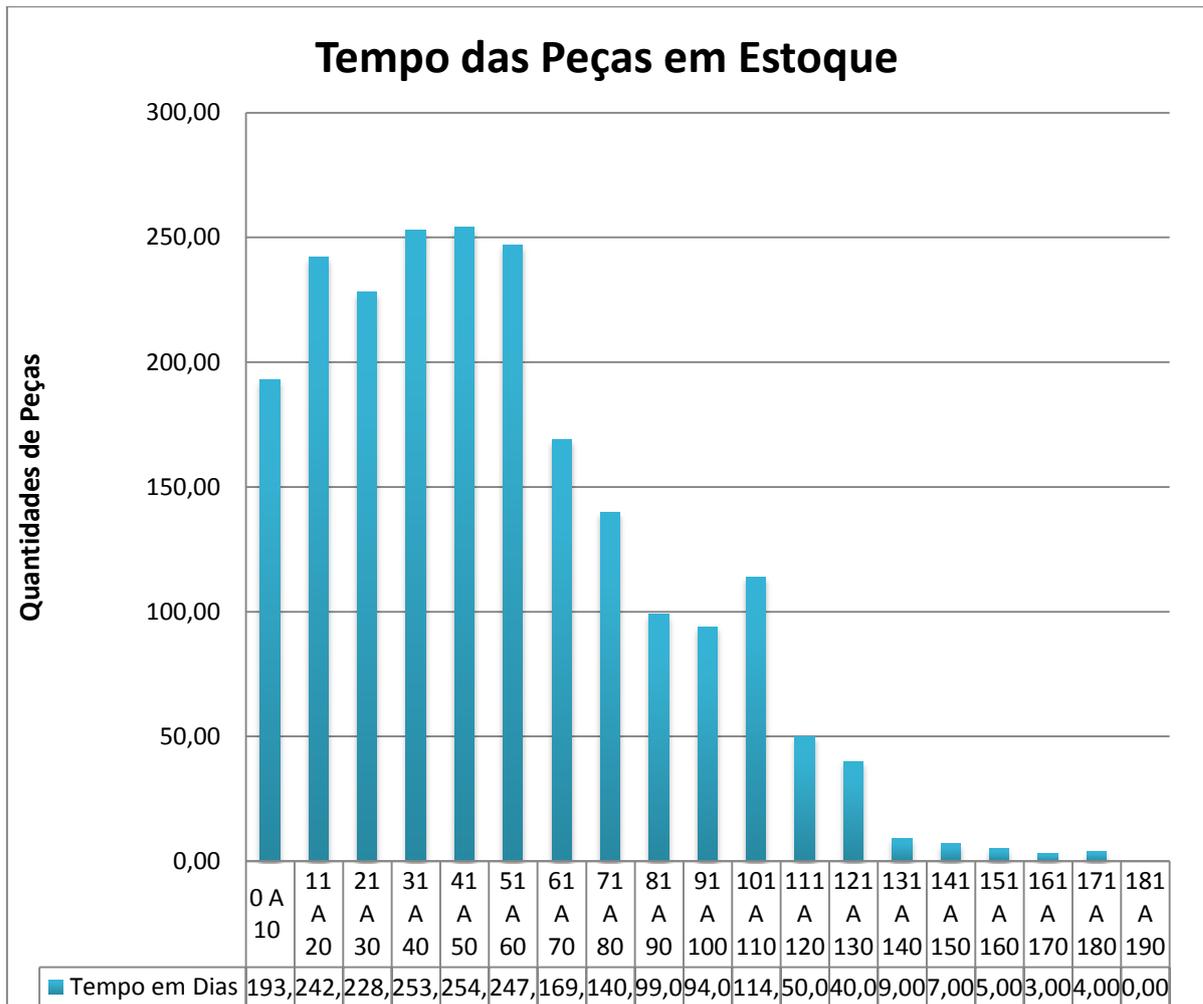
TE= Tempo em Estoque

DM= Dia da peça Montada

DF= Dia da peça Fabricada

Os valores encontrados tiveram uma enorme variação. Para facilitar a elaboração do resultado, agruparam-se os tempos de dez em dez dias e com isso contabilizaram-se as peças em estoque naquele intervalo. Vejamos o gráfico abaixo.

Gráfico 9: Quantidade de peça em estoque por dia



A partir do gráfico, podemos então calcular o tempo de estoque médio (*TEM*). Considerando cada intervalo um peso, por exemplo: 0 a 10 dias= peso 1; 11 a 20 dias= peso 2; e assim sucessivamente. Podemos calcular da seguinte maneira.

$$TEM = \frac{\sum_{i=1}^{i=18} (Pi * NP_i)}{\sum NP}$$

onde:  $P_i$  = Peso do intervalo,  $NP_i$  = Número de peças estocadas naquele intervalo.

Após calcular esta média ponderada, o peso obtido foi igual a 6, correspondente ao intervalo de 51 a 60 dias. Mesmo não existindo dados para comparecer este valor, o mesmo é bastante relevante para outras obras.

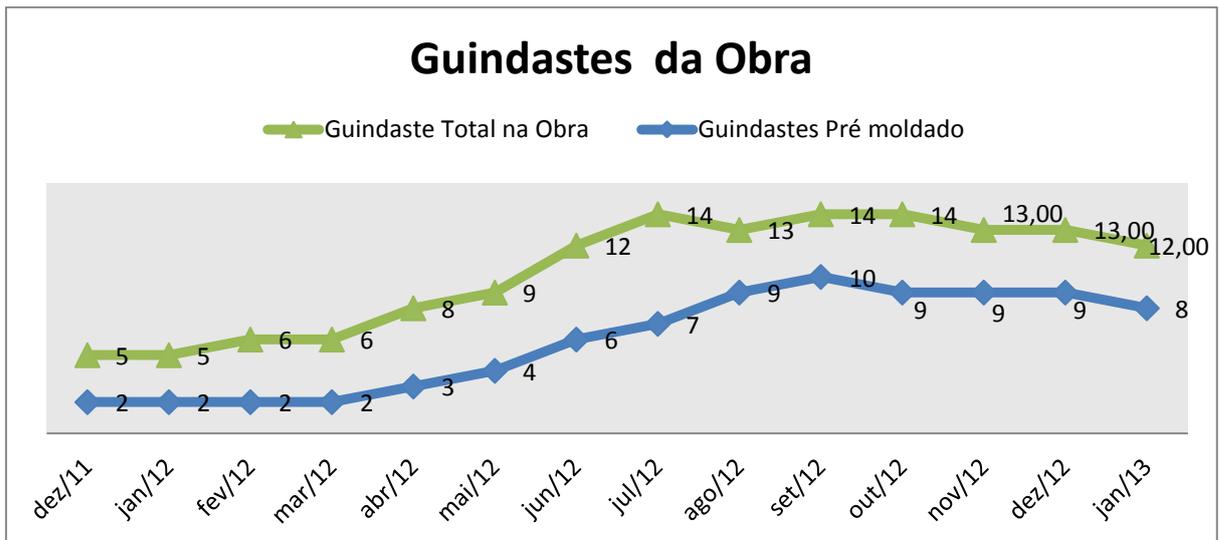
## 7.4.2-QUANTIDADES DE GUINDASTES

O guindaste é o principal equipamento, para que o sistema de construção em pré-moldado funcione. O mesmo está presente nas três fases do processo.

Esta análise é importante, pois contribui e influencia em todos três indicadores, da seguinte forma: Uma maior quantidade de guindaste pode acelerar a fase de montagem, porém é necessário que as fases de fabricação e movimentação acompanhem o mesmo ritmo da montagem. Esse aumento pode gerar maiores custos mensal na obra, em compensação o tempo do sistema pré-moldado pode reduzir, abrindo espaço na obra, para outras atividades. Outro ponto positivo é a melhoria na qualidade sistema, pois pode acarretar na redução do tempo da peça em estoque e reduz o desgaste diário dos guindastes.

No caso da Arena, os guindastes serviram para várias atividades. Então verificou-se o interesse em medir a quantidade de guindastes que ficariam voltados para atender os pré-moldados. Este valor só foi medido após o término da atividade. Foi necessário contabilizar primeiramente todos os guindastes disponíveis mês a mês presentes dentro da obra, para então separar quais estavam voltados só para os pré-moldados. Abaixo distribuição dos valores medidos:

Gráfico 10: Comparativo entre os guindastes totais envolvidos na obra e os do sistema de pré-moldado



Em síntese, pode-se afirmar que em média 49% dos guindastes utilizados por mês na obra era destinado à atividade de pré-moldado.

## CAPÍTULO 8: CONCLUSÃO

Diante do aquecimento da construção civil, ficou evidenciado a necessidade de se acelerar o tempo de construção de uma obra. Para isso sistemas alternativos começaram a surgir, de tal forma que reduzisse o prazo e proporcionasse mais qualidade ao produto final. O sistema de pré-moldado foi um dos que surgiram para revolucionar o mercado da construção civil.

Para ter domínio da obra, é fundamental que haja o gerenciamento do sistema construtivo, que se baseia em planejar inicialmente as atividades, organizar as tarefas de cada colaborador e executar as atividades conforme planejado. Para isso é importante ter dados para que o gerente (engenheiro) conduza o sistema de forma a torna-los o mais eficiente.

Com a análise realizada nas três principais fases do sistema, pode-se afirmar que para ter um bom gerenciamento de peças pré-moldadas é fundamental primeiramente haver um estudo prévio na logística do sistema, controlar a qualidade na fabricação das peças, dimensionar a quantidade de guindastes e carretas que serão envolvidos, reservar uma área no próprio canteiro para amortecer as peças fabricadas até serem montadas, planejar as produções mensais de fabricação-montagem e distribuir com eficiência a mão de obra necessária. Além disso, é primordial saber tomar decisões quando surgem imprevistos na obra, pois uma decisão tomada errada pode provocar em maus resultados no final.

Então após haver o planejamento das atividades necessárias no sistema adotado, dividir as tarefas baseando-se nos dados analisados e havendo o acompanhamento de cada fase, observando os pontos críticos e solucionando os problemas, pode-se concluir que o sistema apresentara resultados positivos e conseqüentemente um gerenciamento eficiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, L. O. de C. **Método Para a Previsão e Controle da Produtividade da Mão de Obra na Execução de Fôrmas, Armação, Concretagem e Alvenaria**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, USP, São Paulo. BORGES

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (1985). NBR-9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro. ABNT.

AUGUSTO, Luiz Augusto C. Muniz de Aragão Filho- “**Agregados**”, notas de aula do Instituto Militar de Engenharia, Retirado de:

<http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/conc02.pdf> Acesso em: 04/06/2013

BORGES, Tiago Borges Iglesias- “**Sistemas construtivos em concreto pré-moldado**”, (Trabalho de conclusão de curso no curso de engenharia civil na Universidade Anhembí Morumbi), São Paulo, 2006, Retirado de: <http://engenharia.anhembibr.com.br/tcc-06/civil-33.pdf> Acesso em: 15/11/2012

CHIOSSI, Nivaldo José (1979). Geologia aplicada à Engenharia; 2ª ed.; pp. 103 – 110. OLIVEIRA, A. M. S. e BRITO, S. N. A. (2002). Geologia de Engenharia, 1ª ed., 3ª reimpressão, São Paulo. p. 331.

FILHO, Antônio Filho Neto- “**Água como material de construção**”, fórum da construção, Retirado de:

<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=31&Cod=266> Acesso em: 22/05/2013

KHAILIL, Mounir. **Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações**, 1ª edição. São Paulo, Editora Rima, 2000.

LEONARDI, Retirado de: <http://www.leonardi.com.br/historico-pre-fabricado.html> Acesso: 12/05/2013

MARQUES, Fernanda- **“Indicadores de Desempenho: Uma análise nas empresas de construção civil do município de João Pessoa-PB”**, (Tese de pós-graduação, na UFPB), João Pessoa, 2007.

NAKAMURA, Juliana- **“Dez opções para moldar o concreto”**, revista Técnica 79, 2003, Retirado de:

[http://pcc2435.pcc.usp.br/textos%20t%C3%A9cnicos/estrutura/Artigo\\_Techne\\_Formas.pdf](http://pcc2435.pcc.usp.br/textos%20t%C3%A9cnicos/estrutura/Artigo_Techne_Formas.pdf)

Acesso em: 7/05/2013

ROCHA, Ricardo Rocha de Oliveira- **“Repetição e produtividade da construção civil: estudo da execução de estruturas de edifícios”**, Cascavel no Paraná, p.2-8, 1997, Retirado de: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997\\_T3309.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997_T3309.PDF) Acesso em: 12/05/2013.

SANTOS, Jaima- **“Avaliação dos Consumos orçados e reais da mão de obra de processos críticos para uma obra de edificação de pequeno porte”**, (Trabalho de conclusão de curso em engenharia civil, na Universidade Federal de Bahia), Salvador, 2009

TCPO 13: Tabela de Composição de Preço para Orçamento. Edição nº13, São Paulo, PINI, 2009.

VAN, Arnold- **“Manual de sistemas pré-fabricados de concreto”**, 2002, São Paulo, Retirado de: <http://www.ceset.unicamp.br/~cicolin/ST%20725%20A/mpf.pdf>