

**SAMUEL LERMEN SULZBACH**

**SISTEMA CONSTRUTIVO PAREDE DE CONCRETO:  
COMPARATIVO ENTRE PRÉ-FABRICAÇÃO EMOLDAGEM  
*IN LOCO***

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: Luis Carlos Bonin**

Porto Alegre

Junho 2015

**SAMUEL LERMEN SULZBACH**

**SISTEMA CONSTRUTIVO PAREDE DE CONCRETO:  
COMPARATIVO ENTRE PRÉ-FABRICAÇÃO EMOLDAGEM  
*IN LOCO***

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/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2015

Prof. Luis Carlos Bonin  
Mestre pelo PPGEC/UFRGS  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Dra. pelo PPGA/UFRGS  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Eng.Nei Ricardo Vaske (UFRGS)**  
Doutor pelo PPGEC/UFRGS

**Eng.Lucília Maria Silveira Bernardino da Silva (UFRGS)**  
Mestre pelo PPGEC/UFRGS

**Prof.Luis Carlos Bonin (UFRGS)**  
Mestre pelo PPGEC/UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, João Carlos e Maria Salete, que sempre me apoiaram e incentivaram durante o período do meu Curso de Graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. LuisCarlos Bonin pela orientação dedicada a realização do presente trabalho. Agradeço pelo conhecimento transmitido, pelas instruções passadas, pelo tempo dedicado ao trabalho. Agradeço pela atenção, pela compreensão e pela disponibilidade.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Civil pelo conhecimento adquirido ao longo do curso de graduação.

Agradeço a meus pais, João Carlos e Maria Salete, pela educação e pelas condições de estudo que sempre tive. Agradeço por sempre estarem ao meu lado, apoiando e incentivando.

Agradeço a minha irmã, Carolina, pela parceria e pelo incentivo.

Agradeço a minha namorada, Micheli, pelo carinho e pelo amor recebido, e pela compreensão com o tempo dedicado à graduação.

Agradeço a todos meus familiares e amigos, que mesmo sem participar diretamente da formação acadêmica, sempre estiveram presentes na minha vida.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.

*Albert Einstein*

## RESUMO

Este trabalho versa sobre a comparação, quanto aos sistemas construtivos, de paredes de concreto moldadas *in loco* e pré-fabricadas. Os sistemas de parede de concreto são caracterizados pela alta produtividade, pela produção em grande escala e pela tendência de industrialização do processo construtivo. A partir de revisão bibliográfica, foram descritos os sistemas, caracterizando-os e identificando aspectos relevantes para cada método construtivo. Na segunda parte do trabalho, foram identificadas e analisadas as diferenças entre os sistemas. A análise fragmenta-se em tópicos gerais e itens específicos para a comparação, de forma a evidenciar as etapas do processo afetadas pelas variações de cada sistema. São apontadas as diferenças entre os sistemas, em cada item identificado, e na relação dos itens entre si. Em seguida, foram elaborados quadros comparativos entre os sistemas, contendo informações relevantes para identificação da melhor alternativa de construção. Os quadros síntese apresentam resultados satisfatórios na comparação dos sistemas quanto ao processo executivo. Verificou-se que ambos os sistemas são evoluções tecnológicas em relação à construção convencional: a pré-fabricação apresenta características de industrialização no processo, enquanto a moldagem *in loco* apresenta características de industrialização mescladas a características do sistema tradicional.

Palavras-chave: Paredes de concreto moldadas *in loco*. Paredes de concreto pré-fabricadas.  
Paredes de concreto pré-moldadas. Comparativo entre paredes de concreto.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Diagrama de relação das etapas da pesquisa.....	11
Figura 2 –Paredes de concreto.....	13
Figura 3 – Canteiro de obras de conjunto habitacional.....	14
Figura 4 –Transporte interno de insumos: malha de aço.....	22
Figura 5 –Paredes de concreto pré-moldadas.....	23
Figura 6 – Ilustração do sistema de paredes de concreto.....	25
Figura 7 –Fábrica de elementos pré-moldados.....	27
Figura 8 –Transporte de elementos pré-fabricados feito por meio rodoviário.....	30
Figura 9 – Elementos pré-moldados de grandes dimensões.....	30
Figura 10 –Descarga de elementos pré-fabricados.....	31
Figura 11 –Montagem com grua.....	35
Figura 12 – Montagem com pórtico rolante.....	35
Figura 13 –Escoramento de painéis de paredes de concreto.....	36
Figura 14 –Sistema de fôrmas de alumínio.....	38
Figura 15 – Armaduras e sistemas complementares fixados.....	39
Figura 16 –Instalações elétricas e caixilhos.....	40
Figura 17 –Instalações hidrossanitárias.....	40
Figura 18 – Sequência executiva no canteiro.....	43
Figura 19 –Sistema de fôrmas de aço.....	47
Figura 20 –Parede de concreto pré-fabricada inutilizável devido ao transporte.....	49
Figura 21 – Canteiro com pré-moldados organizados.....	50
Figura 22 –Fôrmas de grandes dimensões movimentadas com guindaste.....	52
Figura 23 –Atividades manuais caracterizam o sistema de moldagem <i>in loco</i> .....	53
Figura 24 – Montagem de parede de concreto pré-moldada com grua.....	54
Figura 25 –Reprovação no serviço de concretagem.....	55
Figura 26 –Equipamento utilizado apenas para descarga e armazenamento.....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –Equipamentos de movimentação interna.....	33
Quadro 2 –Equipamentos de montagem.....	34
Quadro 3 –Comparativo Projeto e Planejamento.....	48
Quadro 4 –Comparativo Logística de Movimentação.....	51
Quadro 5 –Comparativo Execução no Canteiro.....	55
Quadro 6 –Comparativo Produtividade.....	57
Quadro 7 – Quadro comparativo entre sistemas pré-moldado e moldado <i>in loco</i> .....	58



## **LISTA DE SIGLAS**

ABCI – Associação Brasileira da Construção Industrializada

ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre

IBTS – Instituto Brasileiro de Telas Soldadas

SINAT – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>08</b>
<b>2DIRETRIZES DA PESQUISA.....</b>	<b>10</b>
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	10
<b>2.2.1 Objetivo principal.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2 Objetivo secundário.....</b>	<b>10</b>
2.3PREMISSA .....	10
2.4DELIMITAÇÕES .....	11
2.5LIMITAÇÕES .....	11
2.6DELINEAMENTO .....	11
<b>3 SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO.....</b>	<b>13</b>
3.1 SISTEMA PAREDES DE CONCRETO.....	13
3.2 PROJETO E PLANEJAMENTO.....	15
3.3 CANTEIRODE OBRAS.....	17
3.4 PRODUTIVIDADE .....	18
3.5 EXECUÇÃO NO CANTEIRO.....	20
3.6 LOGÍSTICA DE MOVIMENTAÇÃO.....	21
<b>4 PAREDES DE CONCRETO PRÉ-FABRICADAS.....</b>	<b>23</b>
4.1 PROJETO E PLANEJAMENTO.....	24
4.2 FABRICAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS .....	26
4.3 LOGÍSTICA DE TRANSPORTE.....	28
4.4 EQUIPAMENTOSDE MOVIMENTAÇÃO E MONTAGEM.....	31
4.5 MONTAGEM DE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS.....	34
<b>5PAREDES DE CONCRETO MOLDADASIN LOCO.....</b>	<b>37</b>
5.1 FÔRMAS .....	38
5.2 ARMADURA .....	39
5.3 SISTEMAS COMPLEMENTARES .....	39
5.4 CONCRETO .....	41
5.5 PROJETO E PLANEJAMENTO.....	41
5.6 EXECUÇÃO NO CANTEIRO.....	42
5.7 LOGÍSTICA DE MOVIMENTAÇÃO.....	44
<b>6 ANÁLISE COMPARATIVA.....</b>	<b>45</b>
6.1 PROJETO E PLANEJAMENTO.....	46

6.2 LOGÍSTICA DE MOVIMENTAÇÃO.....	48
6.3EXECUÇÃO NO CANTEIRO.....	51
6.4PRODUTIVIDADE.....	56
6.5QUADRO SÍNTESE COMPARATIVO.....	57
<b>7CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>59</b>
REFERÊNCIAS.....	61

## 1 INTRODUÇÃO

O atual cenário da construção civil, incentivado por grandes investimentos e financiamentos do Governo Federal, mostra um grande crescimento do setor, aliado ao desenvolvimento social e econômico do País. O volume de construções atinge altos índices na história recente e instiga uma reflexão do setor como um todo.

Os programas habitacionais criados pelo Governo Federal, especialmente os focados no acesso à moradia, utilizam-se das paredes de concreto para a construção. As características deste tipo de construção, como grande volume de unidades e necessidade de pequenos prazos, favorece a utilização do sistema. Verifica-se também a utilização do sistema de paredes de concreto para habitações de padrão de qualidade superior, e até mesmo para grandes edifícios residenciais e comerciais.

Entretanto, como destaca Eastman et. al (2014), observa-se uma estagnação da produtividade na indústria da construção civil e os padrões construtivos de décadas atrás já não são mais suficientes para atender um consumidor cada vez mais exigente. Por sua vez, as construtoras mobilizam-se para otimizar custos e prazos visando buscar um bom posicionamento dentro do mercado de alta concorrência existente. Alternativas diversas surgem num cenário competitivo que se move rumo à inovação de seus processos e tendência de racionalização, dentre elas o sistema construtivo de paredes de concreto. Para alcançar os objetivos desejados, são necessários processos executivos com procedimentos de serviços e padronização, que originam um processo cíclico e de ritmo controlado.

Aliando produção em alta escala e a industrialização do processo construtivo, tem-se como resultado uma alta produtividade dos sistemas de parede de concreto. As atividades dentro do canteiro de obras são minimizadas progressivamente de forma contínua e gradual, em relação à construção convencional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA et al., 1986).

Grandes setores produtores de insumos da construção civil, como o aço e o cimento, fomentaram o desenvolvimento de estudos referentes à inovação tecnológica. Portanto, os estudos foram focados, claramente, na utilização dos insumos dos investidores. O

desenvolvimento de pesquisa, inovação, tecnologias e diretrizes foi direcionado ao concreto armado.

A utilização do concreto armado para execução de obras com paredes de concreto foi alvo das primeiras diretrizes do SINAT<sup>1</sup>. Verifica-se, portanto, um claro direcionamento do setor para o emprego dos painéis portantes nas edificações. As duas primeiras diretrizes, voltadas para a moldagem *in loco* e para a utilização de painéis pré-moldados, reforçam a importância das paredes de concreto como sistema construtivo. Recentemente, a Associação Brasileira de Cimento Portland, a Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Concretagem e o Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, publicaram diversas coletâneas direcionadas para a construção com paredes de concreto moldadas *in loco* (Coletânea de Ativos 2007-2008; 2008-2009; 2009-2010; e 2011-2013).

Desde 2012, após a publicação da NBR 16055 – Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações – Requisitos e Procedimentos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), a indústria da construção civil passou a ter uma normativa para execução de paredes de concreto *in loco*. Este sistema construtivo, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland et al. (2008, p. 10), “[...] oferece as vantagens da produção em alta escala sem perda de qualidade [...]”. Frente a esse sistema de moldagem *in loco*, existe a possibilidade de se utilizarem paredes de concreto pré-fabricadas. Ambos possuem características semelhantes de otimização do processo construtivo, como a velocidade de execução e controle de qualidade, aliados à industrialização do processo e sua consequente redução de consumos e resíduos.

A definição da utilização de cada sistema, de sua viabilidade, de suas vantagens e de produtividade, é objeto de estudo do presente trabalho. Com foco no apoio à decisão de empresas de construção, o trabalho procura evidenciar as diferenças entre os sistemas construtivos de paredes de concreto. O julgamento dos sistemas não será realizado no trabalho, deixando a cargo dos empreendedores a definição de utilização pelo sistema mais adequado a cada empresa e cada empreendimento.

---

<sup>1</sup>SINAT: “Sistema de cobertura nacional, de Avaliação Técnica de produtos inovadores empregados em edifícios, particularmente habitacionais, obras de saneamento e de infra-estrutura de transportes, baseado no conceito de desempenho”. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/sites/default/files/Projeto%20%20-%20SINAT-%20CBIC.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2015.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

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

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

Caracterizados os processos construtivos do sistema parede de concreto, quais as principais diferenças entre os sistemas moldado *in loco* e pré-moldado?

### **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 criação de quadros comparativos das principais diferenças dos ciclos produtivos dos sistemas parede de concreto – moldado *in loco* e pré-fabricado – para apoio à decisão de empresas de construção.

#### **2.2.2 Objetivo secundário**

O objetivo secundário do trabalho é a descrição e caracterização dos sistemas parede de concreto – moldado *in loco* e pré-moldado.

### **2.3 PREMISSA**

O trabalho tem por premissa que o sistema de paredes de concreto é uma alternativa às construções convencionais.

## 2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a comparação dos sistemas de paredes portantes de concreto com função estrutural e de vedação – moldado *in loco* e pré-fabricado – entre si.

## 2.5 LIMITAÇÕES

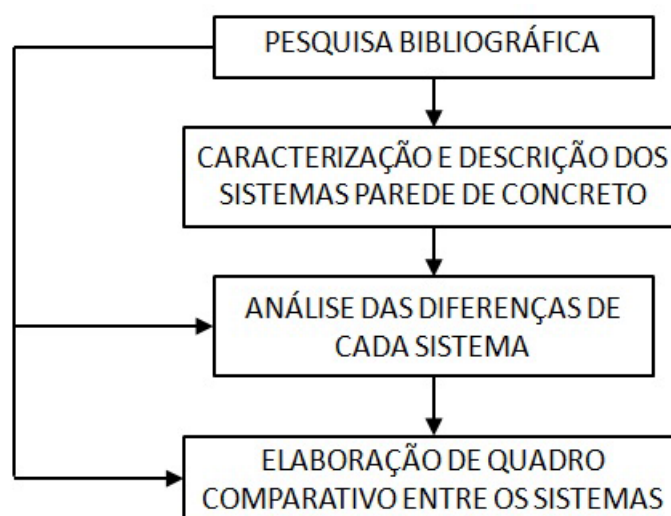
O presente trabalho limita-se à análise do ciclo produtivo dos sistemas de paredes de concreto. Os sistemas não serão avaliados em relação a custos.

## 2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas representadas na Figura 1 e que são descritas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização e descrição dos sistemas parede de concreto;
- c) análise das diferenças de cada sistema;
- d) elaboração de quadro comparativo entre os sistemas.

Figura 1 – Diagrama de relação das etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

A pesquisa bibliográfica é norteadora para elaboração do trabalho. É mantida em paralelo às etapas subsequentes e é por meio da bibliografia que se conseguem as informações necessárias para dar o embasamento adequado aos conceitos estudados. Através da pesquisa, buscam-se as definições dos sistemas e suas características.

As diferenças dos sistemas serão analisadas, após levantamento, dentro das limitações do trabalho, para identificar como cada sistema se comporta. As variáveis serão avaliadas de modo que possa se estabelecer uma caracterização dos sistemas e de forma que se possam relacionar as variáveis de cada sistema em função das etapas executivas.

A finalização do trabalho se dará com a execução de quadros comparativos dos sistemas, dentre as variáveis identificadas, evidenciando os pontos que devem ser considerados para a correta opção por cada sistema, no que diz respeito às características de execução de um empreendimento com determinado sistema de paredes de concreto.



### 3 SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO PORTANTE

#### 3.1 SISTEMA PAREDES DE CONCRETO

Parede de concreto é um sistema caracterizado por ter as funções de estrutura e de vedação num único elemento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008). O sistema exige alta capacitação dos envolvidos em sua execução, independente da alternativa construtiva adotada. As paredes de concreto podem ser executadas de diferentes formas, atingindo sempre às exigências do sistema: estrutura portante e painel de vedação, como pode ser visto na Figura 2.

Figura2 – Paredes de concreto



(fonte: material não publicado<sup>2</sup>)

---

<sup>2</sup>Apresentação de Arnaldo Wendler no Workshop Paredes de Concreto, promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland, em 21 de outubro de 2014, em parceria com Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, e Comunidade da Construção.

É um sistema indicado para produção em grande escala, como pode ser visto na Figura 3, e alto índice de repetitividade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008). Possui como grande trunfo os curtos e produtivos ciclos, que permitem uma rápida execução de um grande número de unidades, remetendo a um sistema industrial de produção.

Figura3 – Canteiro de obras de conjunto habitacional



(fonte: material não publicado<sup>3</sup>)

O desenvolvimento da racionalização desencadeou uma produção por sistemas mais industrializados. É um processo que minimiza as atividades no canteiro de obras, progressivamente, e que possui um período de mudanças contínuas e gradativas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA et al., 1986).

Verifica-se que componentes complementares necessários para finalização de uma unidade, como caixilhos e instalações hidrossanitárias, elétricas e de gás, podem ser incorporadas às

---

<sup>3</sup>Apresentação de João Batista Rodrigues da Silva no Workshop Paredes de Concreto, promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland, em 21 de outubro de 2014, em parceria com Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, e Comunidade da Construção.

paredes de concreto, evidenciando o conceito de industrialização da construção no sistema (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

Dentre os métodos de execução do sistema, temos um grande diferencial: a moldagem *in loco* e a utilização de paredes pré-moldadas. Temos, portanto, dois métodos executivos que serão descritos: pré-fabricação e moldagem *in loco*. Os ciclos produtivos considerados envolvem desde a concepção do projeto, incluindo todo o planejamento, até a conclusão das paredes de concreto em si, considerando todas as etapas intrínsecas ao processo executivo dos sistemas.

### 3.2 PROJETO E PLANEJAMENTO

Os projetos são fundamentais para concepção do empreendimento e sequência executiva. De acordo com a Coletânea de Ativos 2011-2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013, p. 8), fica explícito que “a etapa de projeto é a mais importante do ciclo de produção de paredes de concreto [...]. Para isso, não há espaço para decisões em obra e o projeto deve estar totalmente definido.”

A compatibilização de projetos, necessária e importante em sistemas convencionais, torna-se imprescindível para as paredes de concreto, e deve possuir uma única linguagem técnica para facilitar a execução do projeto e evitar mal entendidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

Esta compatibilização se dá, atualmente, de forma segmentada tanto nos processos de implantação como na elaboração dos projetos. Um fator agravante dessa constatação é que os registros estão isolados e em meio físico – papel – portanto, são fontes de erros e omissões, que geram transtornos ao processo executivo. Dentre os principais entraves, estão o atraso de obra e os custos imprevistos (EASTMAN et al., 2014).

No sentido inverso à concepção de projetos estruturais, de canteiro e de logística, os projetos arquitetônicos e complementares são privilegiados pela padronização e repetição de tipologias. A aprovação e liberação legal destes projetos também são facilitados pela repetição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

Além da compatibilização dos projetos, se faz necessária a correta comunicação entre as áreas da cadeia produtiva. A utilização de sistemas diferentes de armazenamento da informação

gera uma incompatibilidade de compilação dos dados, impedindo que essa informação variada seja entendida por todos. Com o conhecimento de todas informações simultaneamente, seria possível compartilhar dados com maior clareza e velocidade (EASTMAN et al., 2014).

A Coletânea de Ativos 2011-2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013) recomenda o início dos projetos a partir da escolha de um dos sistemas construtivos, apesar de a concepção de um projeto por um sistema não implicar diretamente na impossibilidade de execução do projeto com outra alternativa executiva.

A gestão de projetos deve englobar, no mínimo, algumas diretrizes básicas para um bom desenvolvimento. Conforme a Coletânea de Ativos 2011-2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013), devem ser planejados:

- a) alinhamento de paredes;
- b) padronização de vãos;
- c) modulação compatível com dimensões disponíveis no mercado;
- d) repetição de tipologias;
- e) definição de sistemas complementares e auxiliares;
- f) padronização das soluções;
- g) atendimento às normas de segurança.

Com o atendimento dos itens mencionados acima, a Coletânea de Ativos 2009-2010 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2010) menciona que serão obtidos:

- a) racionalização no trabalho;
- b) redução do risco de erros;
- c) maior produtividade;
- d) mais qualidade.

Em contrapartida, impactos negativos surgem como consequência da negligência dos mesmos itens. Novamente, segundo a Coletânea de Ativos 2009-2010 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2010), a negligência dos referidos itens leva a:

- a) indefinições, dúvidas e decisões tomadas por funcionários não qualificados;

- b) demora para execução do serviço;
- c) possibilidade de erros;
- d) dificuldade na conferência.

### 3.3 CANTEIRO DE OBRAS

A organização de um canteiro de obras e o planejamento das atividades a serem desenvolvidas podem determinar o bom andamento de uma obra. O canteiro é tratado como uma fábrica de construção, o que transforma a concepção acerca do mesmo, antes visto como provisório (CORSINI, 2012). A execução de paredes de concreto, com relação ao canteiro de obras, pode oscilar entre dois pontos distintos: da produção artesanal à fabricação mecanizada (EL DEBS, 2000).

A coleta de informações para elaboração de projeto de canteiro deve contemplar o sistema executivo, os volumes de insumos e suas condições de armazenamento, a sequência cronológica de execução, os equipamentos de movimentação e as rotas internas de transporte (BARTH, 2007; CORSINI, 2012).

Em diversos casos, o canteiro de obra é limitador da tecnologia adotada. Os sistemas de transporte e manuseio, bem como de montagem, preponderam sobre os aspectos estruturais na concepção do projeto. (EL DEBS, 2000).

A localização de equipamentos deve buscar o seu melhor aproveitamento, a fim de se evitar períodos ociosos entre operações, e devem ser pensados em função da logística da obra (CORSINI, 2012). O transporte interno pode gerar uma situação de dependência para a construção, e a correta distribuição dos elementos armazenados – que ocupam grandes áreas – deve ser considerada (EL DEBS, 2000). Os mecanismos de transporte devem ter fácil acesso às zonas de armazenamento e descarga (BARTH, 2007).

Dentre os itens críticos de um canteiro de obras, Corsini (2012) destaca a organização de materiais e transporte interno, tanto horizontal como vertical. A limpeza do canteiro é uma das características de um sistema de construção industrializada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA et al., 1986).

### 3.4 PRODUTIVIDADE

Segundo a Coletânea de Ativos 2007-2008 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008, p. 6), “PAREDE DE CONCRETO é um sistema construtivo racionalizado, que oferece as vantagens da produção em alta escala sem perda de qualidade [...]”.

O sistema de paredes de concreto utiliza um conceito de industrialização como norteador: a produção em grande escala de produtos iguais, repetitivamente. O grande número de unidades executadas em pequenos períodos, a sequência executiva e a padronização do produto final são características do sistema e que remetem ao processo industrial de produção. Nessas mesmas condições, qualquer interrupção da cadeia produtiva acarreta prejuízos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

A mecanização e modulação das construções, aliadas, conferem um tom sistêmico às paredes de concreto, que, conforme dito anteriormente, utiliza-se de conceitos de industrialização para atingir altos níveis produtivos. Esta aliança leva a uma diferente abordagem da utilização da mão de obra na construção, desvinculando os operários de suas antigas funções e, após treinamento, reinsere-os na obra. Estes conhecem e são capazes de executar diversas atividades no canteiro, que devem ser rigorosamente conferidas para liberações, pois retrabalhos são complexos e onerosos. A etapa construtiva desempenha papel fundamental com relação ao cronograma de obra, onde devem ser seguidos rigorosamente os prazos definidos e um eventual atraso implica diretamente em retardamento nas entregas das unidades, pois não é revertido como em outros métodos construtivos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

Componentes pré-fabricados fora do canteiro de obras são executados com condições mais favoráveis – fábrica e equipamentos especializados –. As construtoras incorporaram esses elementos ao planejamento, adicionando os custos dos pré-fabricados e eliminando custos de produção no canteiro. Com vistas a essa avaliação econômica, a produtividade no canteiro de obras aparentemente aumenta, mas sem uma comprovação estimada (EASTMAN et al., 2014).

O sistema permite a pré-produção de elementos complementares às paredes de concreto. Instalações hidrossanitárias e elétricas, esquadrias e caixilhos são introduzidos no sistema.

Esta pré-execução enquadra-se no conceito de industrialização da construção, difundido no sistema de paredes de concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

É importante salientar que o cumprimento de prazos só é possível a partir da clareza com que estes foram assimilados pelos funcionários responsáveis pela execução. Atrasos devido à improdutividade da mão de obra não são recuperados, pois a execução depende da simultaneidade da mão de obra alinhada com materiais e equipamentos. Em caso de atrasos em função do trabalho humano, equipamentos e materiais ficarão ociosos no canteiro (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al. (2013) recomenda que sejam definidas estratégias de produção no canteiro, que considere:

- a) dimensionamento e produtividade de equipes;
- b) sequência executiva;
- c) transportes internos de insumos e/ou componentes pré-executados;
- d) equipamentos e ferramentas.

A Coletânea de Ativos 2011-2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013) considera que toda infraestrutura necessária para a produção esteja prevista e corretamente dimensionada para otimização do sistema, que se assemelha ao de uma indústria. As instalações de canteiro, locais de armazenamento, centrais de abastecimento e a cadeia de suprimentos interna à obra devem ser corretamente planejadas (CORSINI, 2012).

A produtividade das construções com paredes de concreto depende muito do fornecimento de insumos. Os prazos, quantidades e qualidade dos insumos devem ser rigorosamente estipulados e controlados. Os contratos com fornecedores devem prever estas especificidades, e as operações de transportes até a obra devem ser cumpridas com entregas parciais programadas. É importante que todos os envolvidos na cadeia de suprimentos tenham estes conceitos bem definidos e difundidos entre si, inclusive a definição de comunicação entre as partes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

Por outro lado, Eastman et. al (2014), lembram que a produção no canteiro de obras não obteve melhoras significativas apenas com o incremento de novos equipamentos, e a

qualificação da mão de obra passa a ser imprescindível para retomar bons índices de produtividade.

### 3.5 EXECUÇÃO NO CANTEIRO

A produtividade das equipes de obra é elevada com base no conceito de aprendizagem e de repetição, em que curvas genéricas mostram um maior rendimento a partir de determinado número de repetições de um mesmo processo, desde que esse processo não seja interrompido. Um diferencial para o ganho de produtividade é a possibilidade de transferência de equipes no canteiro sem perdas nos resultados, dadas as diversas frentes de trabalho idênticas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

É indispensável um planejamento do método executivo, de modo que seja definida a sequência executiva mais adequada levando em consideração as restrições do canteiro de obras. Esse estudo de viabilidade técnica e cronologia da obra evita situações críticas durante o processo executivo. Ademais, é necessária uma verificação das fundações executadas anteriormente quanto à sua precisão em relação ao projeto (EL DEBS, 2000).

A utilização da mão de obra deve ser repensada no sistema de paredes de concreto. Enquanto na construção tradicional os operários possuem funções específicas – e, não raro, nenhum conhecimento de outras funções – no canteiro, no sistema de paredes de concreto os funcionários, conhecem e trabalham em todos os setores de produção. O trabalhador deve ser qualificado para tal e ter ciência das necessidades de ritmo de produção, para potencializar o processo construtivo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

Cada elemento a ser montado possui particularidades bem caracterizadas. A montagem do sistema construtivo de paredes de concreto necessita de prévio escoramento, e inclui a montagem das lajes após a montagem das paredes, repetidamente para cada pavimento (EL DEBS, 2000).

O montador é um profissional que conhece todas as atividades envolvidas e pode executar todas, independente do sistema construtivo adotado dentre as paredes de concreto. Nitidamente, cada montador terá mais facilidade com determinada atividade, e deverão ser formadas equipes de trabalho organizadas conforme as particularidades de cada funcionário.



O grande trunfo do montador para o canteiro de obras é o conhecimento de toda a cadeia produtiva, podendo identificar excentricidades de execução por outros funcionários em tempo hábil para correção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

Ainda que os montadores sejam treinados e capacitados para a execução dos serviços, se faz necessária uma fiscalização ampla e minuciosa dos pontos de trabalho. O concreto é um material de excelente qualidade, mas retrabalhos em concreto são demorados e geram um custo indesejado. Os retrabalhos devem ser evitados, pois causam um atraso na linha de produção do sistema, irreversível devido ao alto ritmo produtivo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

### 3.6 LOGÍSTICA DE MOVIMENTAÇÃO

Segundo Blanco (2012), equipamentos e máquinas são instrumentos estratégicos para otimizar os prazos de execução de um empreendimento. O acompanhamento de um cronograma depende, muitas vezes, da correta utilização do maquinário, e a própria elaboração do cronograma de obras deve levar em consideração a disponibilidade de equipamentos.

É importante ressaltar que equipamentos são concepções mecânicas de atividades humanas, portanto toda mecanização deve ser comparada ao trabalho manual, respeitando as limitações de cada.

As soluções adotadas possuem particularidades e as especificações detalhadas de cada uma devem ser consideradas ainda na fase de projeto. A escolha pela mecanização faz parte da avaliação do gestor de obras, em que pese o real potencial de melhora nos transportes internos aliado ao custo, observado na Figura 4 (BLANCO, 2012).

Figura4 – Transporte interno de insumos: malha de aço



(fonte: material não publicado<sup>4</sup>)

Há uma tendência de investimentos em tecnologias que aumentem a produção nos canteiros. Os tempos gastos com transportes de insumos não são produtivos, portanto uma velocidade maior nos transportes internos eleva a produção em obra. A utilização de equipamentos de transporte se faz cada vez mais presente na construção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

Na literatura, encontra-se, em El Debs (2000) e na Coletânea de Ativos 2011-2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013), exemplos de meios de transporte horizontais e verticais, ou de movimentos associados:

- a) grua;
- b) elevador cremalheira;
- c) plataforma cremalheira;
- d) manipulador telescópico;
- e) pórtico rolante;
- f) carrinho de rolamento;
- g) ponte rolante;
- h) monotrilha.

---

<sup>4</sup>Apresentação de João Batista Rodrigues da Silva no Workshop Paredes de Concreto, promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland, em 21 de outubro de 2014, em parceria com Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, e Comunidade da Construção.

## 4 PAREDES DE CONCRETO PRÉ-FABRICADAS

Em 1986 já havia registros de que “[...] o sistema pré-fabricado tem avançado muito no Brasil, havendo porém muito terreno a percorrer. Os avanços já obtidos refletem, de certa forma seu potencial.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA et al., 1986, p. 19). Segundo Acker (2002), “essa solução pode ser considerada como uma forma industrializada de paredes moldadas no local[...]”.

Figura5 – Paredes de concreto pré-moldadas



(fonte: Revista Técnica<sup>5</sup>)

Elementos pré-fabricados em concreto são, segundo a NBR 9062 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), executados com alto nível de controle executivo e tecnológico em indústrias, independentemente do local da fábrica: externa à obra ou inserida no canteiro.

---

<sup>5</sup>SILVA, F. B. Painéis estruturais pré-moldados maciços de concreto armado para execução de paredes. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, n. 180, dezembro 2011. Não paginado. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/180/painéis-estruturais-pre-moldados-macicos-de-concreto-armado-para-execucao-de-286898-1.aspx>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

A utilização de estruturas pré-fabricadas tem suas principais vantagens ligadas à execução dos elementos fora do local de aplicação, tanto pela facilidade e qualidade da produção, quanto pela diminuição de vícios construtivos (EL DEBS, 2000). A maior velocidade de execução da obra compensa o custo geralmente mais elevado em comparação a peças moldadas no canteiro (LOTURCO, 2005). Reduz-se ainda o risco de atrasos na execução devido a intempéries e imprevistos de obra (BARTH, 2007).

A produção de elementos pré-fabricados utilizando a automação alimentada pelo modelo de informação tem atingido sucesso em sua aplicação. Tornou-se prática corrente no mercado a partir da aplicação dos conhecimentos inseridos no modelo devido a sua representação precisa para a produção. Uma vez modelado, equipamentos interligados podem produzir elementos pré-moldados por meio da automação (EASTMAN et al., 2014).

Em contrapartida, o transporte dos elementos, para o canteiro e internamente para os locais de utilização, e as ligações entre peças são os principais entraves executivos (EL DEBS, 2000).

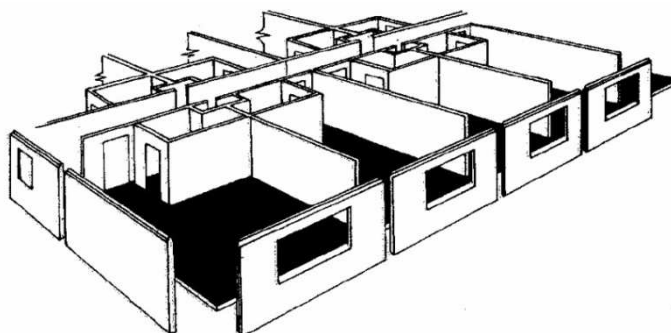
#### 4.1 PROJETO E PLANEJAMENTO

O dimensionamento das estruturas de concreto pré-fabricadas deve contemplar, além da análise estrutural, as ligações entre elementos na estrutura final e as situações transitórias de transporte e armazenamento das peças. Essas duas especificidades exigem um maior cuidado de projeto, pois os elementos estarão sujeitos a diferentes solicitações, que podem ser mais críticas se comparadas à utilização final (EL DEBS, 2000).

Segundo El Debs (2000), os sistemas de dimensionamento estrutural de estruturas moldadas *in loco* podem não ser aplicáveis às estruturas pré-fabricadas, devido, principalmente, aos aspectos construtivos específicos do sistema.

O projeto de estruturas pré-fabricadas tende a condicionar o projeto arquitetônico, devido às suas limitações de execução, ilustrado na Figura 6. O estudo das interfaces dos elementos, partes constituintes e complementares, deve ser definido visando à integração destes (BARTH, 2007). Essas interfaces não podem ser alteradas nas etapas de execução, sendo, portanto, de solução mais complexa se comparadas ao concreto *in loco* (LOTURCO, 2005).

Figura6 – Ilustração do sistema de paredes de concreto



(fonte: ACKER, 2002, p. [98])

Estruturas ligadas por articulações possuem pouca capacidade de redistribuição de esforços. Ligações rígidas aproximam o comportamento dos elementos pré-fabricados aos de uma estrutura moldada *in loco*, mas são mais difíceis, demoradas e caras de se executar (EL DEBS, 2000).

O projeto arquitetônico deve prever a utilização do sistema pré-fabricado para melhor aproveitamento de suas vantagens. Isso torna os projetos mais onerosos e demorados, pois requer maior planejamento e detalhamentos. Entretanto, contrariando tais recomendações, os pré-fabricados são amplamente utilizados em projetos concebidos para outro sistema construtivo (EL DEBS, 2000).

Desenvolver um modelo computadorizado, englobando projetos e demais informações relevantes, é uma maneira de dar suporte para a produção. Esta modelagem da informação da construção contém geometria e dados, facilitando o processo de projeto e construção (EASTMAN et al., 2014).

A seguir, serão citadas diretrizes para execução de projeto com vistas ao aperfeiçoamento do sistema construtivo com elementos pré-fabricados. El Debs (2000) destaca que estas diretrizes não precisam, necessariamente, ser seguidas nem definidas como objetivo do projeto, mas servem para elucidar os conceitos envolvidos.

Os projetos complementares devem ser compatibilizados e considerados para a concepção do projeto estrutural. Modificações e adaptações em períodos de execução não são assimiladas pelo sistema pré-fabricado, e devem ser evitadas ao máximo. Um bom projeto de estrutura com elementos fabricados de concreto potencializa a racionalização de insumos de sistemas

complementares, como instalações hidrossanitárias, elétricas e de condicionamento de ar (EL DEBS, 2000).

A implantação da modelagem da informação na construção torna possível a coordenação simultânea de projetos de diferentes finalidades num nível superior à compatibilização feita apenas com desenhos. Há um maior controle de modificações, resultando em menos tempo de projeto (EASTMAN et al., 2014).

Como forma de redução de prazos de montagem, deve-se minimizar o número de ligações entre elementos. Para tal, pode-se diminuir o número de elementos, havendo, portanto, menos ligações. Além de reduzir o número de elementos, deve-se evitar também a sua variabilidade, o que não necessariamente implica em restringir a arquitetura final de projeto. Estruturas de múltipla função são exemplos bem desenvolvidos da otimização do processo construtivo, pois são produzidas em escala maior para aproveitamento variável (EL DEBS, 2000).

A tecnologia de modelagem – para análise, compatibilização e produção – se caracteriza pela definição de componentes. Estes componentes são denominados objetos, bem definidos e associáveis entre si, com base em suas características, restrições, requisitos e liberações. A informação deve ser completa, sem lacunas em aberto, e de modo que todas as visualizações possíveis do modelo estejam ligadas a qualquer alteração nos objetos (EASTMAN et al., 2014).

A redução do número de elementos, e conseqüentemente das ligações, implica num maior volume das peças, e maior peso associado. E esta é uma característica que pode ser limitadora para execução, portanto paradoxal. Cabem ao projetista a definição das prioridades e o levantamento das características dos elementos. Ainda sobre o peso dos elementos, é importante ressaltar que estes sejam suportados pelos mecanismos de transporte, e preferencialmente uniformes, para evitar o desperdício de grandes equipamentos com pequenas peças (EL DEBS, 2000).

## 4.2 FABRICAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS

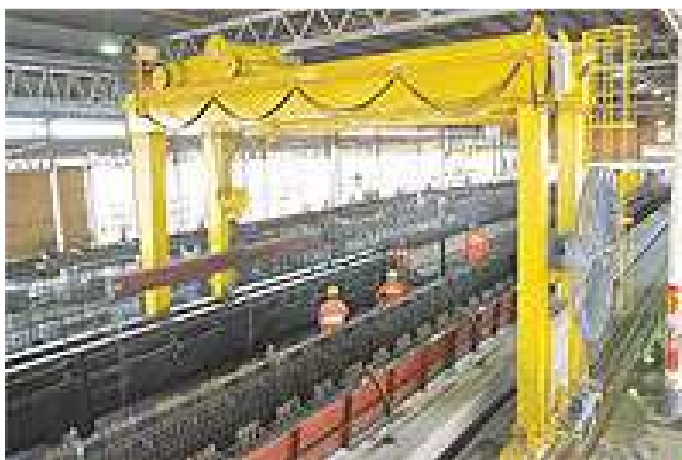
A execução de elementos de concreto pré-fabricados deve seguir especificações e procedimentos de execução. A NBR 9062 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto

Pré-Moldado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) estabelece os principais insumos e serviços a serem controlados:

- a) formas: montagem, desforma e limpeza;
- b) armadura: dobra, armazenamento e estado superficial;
- c) concreto: dosagem, trabalhabilidade, lançamento e adensamento;
- d) protensão e pré-tracionamento;
- e) elementos de concreto: equipamentos, transporte interno e armazenamento;
- f) tolerâncias.

“Os processos de fabricação dos [...] [elementos] podem variar em função do grau de mecanização do fabricante [...]” (BARTH, 2007, p. 184). E El Debs (2000), classifica as fábricas como de produção artesanal, de média mecanização, de alta mecanização e automatizada, distintas por seus procedimentos de execução e disponibilidade de equipamentos.

Figura7 – Fábrica de elementos pré-moldados



(fonte: Revista Técnica<sup>6</sup>)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006), define ainda, por meio da NBR 9062, que a resistência característica mínima dos elementos pré-fabricados é de 18MPa, e deve ser

---

<sup>6</sup>TAMAKI, L. Estação de fábrica. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, n. 160, julho 2010. Não paginado. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/160/estacao-de-fabrica-em-novo-hamburgo-no-rio-grande-286717-1.aspx>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

compatível com a resistência de projeto. Os elementos devem ser identificados, por lotes ou individualmente, de acordo com a necessidade ou variabilidade das peças.

### 4.3 LOGÍSTICA DE TRANSPORTE

Para que o transporte dos elementos seja satisfatório, é preciso que estes cheguem ao local de utilização com as características necessárias de projeto. Entretanto, durante as situações transitórias, as peças estão sujeitas a esforços diferentes dos usuais na estrutura. Essas diferenças podem ser críticas, se consideradas intensidade e variação de sentido (EL DEBS, 2000).

A movimentação das peças gera cargas dinâmicas e conseqüente aumento de tensões, devendo-se conhecer os pontos críticos e sensíveis a estas tensões (BARTH, 2007). Comumente, são necessários reforços em aberturas de caixilhos e passagem de tubulações para atendimento das solicitações transitórias (EL DEBS, 2000).

A infraestrutura, veículos e equipamentos são fatores limitantes ao transporte dos elementos de concreto, principalmente em função das dimensões das peças. O peso destas já não é mais entrave devido ao alto potencial de elevação de cargas de equipamentos atuais (BARTH, 2007). As dimensões dos painéis podem atingir até 14m de comprimento e 4,5m de altura, resultando em painéis de até 63m<sup>2</sup> (ACKER, 2002).

O transporte interno à fábrica é geralmente feito por equipamentos simples e funcionais, baseados em trilhos e rolamentos. Estes equipamentos devem atender às demandas de moldagem e desmoldagem, transporte interno e armazenamento (EL DEBS, 2000; BARTH, 2007).

Os modais de transporte externo, da fábrica ao canteiro, são diversos, mas no Brasil utiliza-se basicamente o sistema rodoviário em detrimento do transporte ferroviário e hidroviário. Esse modal tem por restrição a dimensão das vias e dos veículos, o que condiciona o dimensionamento das peças. Importante salientar que os elementos devem ser transportados conforme as orientações de armazenamento. Os custos envolvidos nas operações de transporte externo são estimados entre 5% e 15% do custo total (EL DEBS, 2000).



O transporte dos elementos pré-moldados deve ser previamente estudado em função das dimensões das peças. Devem ser analisadas as situações do entorno do canteiro de obras – acesso, portões e intensidade de fluxo – e a situação das vias entre a fábrica e o canteiro. Para estas análises externas ao canteiro, deve ser consultado o Plano Diretor de cada município, onde constam as diretrizes e normas para execução das vias urbanas, e as Normas para o Projeto de Estradas de Rodagem, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER<sup>7</sup> que definem os parâmetros para estradas.

O Plano Diretor de Porto Alegre classifica as vias em categorias, e estabelece suas dimensões e características. Os gabaritos das vias variam de 12,5m a 30m, e em vias expressas são utilizadas as definições do DNER. O raio mínimo de vias urbanas em Porto Alegre é de 7,5m, e novamente, em vias expressas são adotados os critérios do DNER (PORTO ALEGRE, 2010).

De acordo com o DNER, os raios mínimos de curvatura horizontal para estradas variam de 30m para estradas de Classe III montanhosas a 340m para as de Classe I planas. As faixas de domínio, que englobam as faixas de rolamento, canteiros e acostamentos, variam de 30m para estradas planas de Classe I até 80m para estradas montanhosas de Classe III. Conforme sua classificação, as faixas de rolamento possuem dimensões entre 6m e 7,5m para pistas com uma única faixa em cada sentido, e nos casos de duas ou mais faixas medem 7m (BRASIL, 1949).

O Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT determina, em resolução, normas para o transporte de cargas indivisíveis e excedentes em peso e/ou dimensões e para o trânsito de veículos especiais em rodovias federais. Essa resolução determina uma Autorização Especial de Trânsito para o tráfego de cargas especiais: veículos com largura superior a 6m ou altura superior a 5,5m necessitam de indicação de engenheiro responsável pelo transporte (BRASIL, 2004).

Recomenda-se considerar as limitações de 2,5m de largura e 4,5m de altura para o transporte rodoviário. Para dimensões maiores, é indicada uma verificação caso a caso (EL DEBS,

---

<sup>7</sup>O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) foi extinto e substituído pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT), após reestruturação da legislação do sistema de transporte rodoviário. O DNIT é uma autarquia federal vinculada ao Ministério dos Transportes, criado pela lei 10.233\*, de 5 de junho de 2001. A sede do DNIT é em Brasília, no Distrito Federal. Disponível em: <[http://www.dnit.gov.br/acesso-a-informacao/insitucional/copy\\_of\\_apresentacao](http://www.dnit.gov.br/acesso-a-informacao/insitucional/copy_of_apresentacao)>. Acesso em 25 jun. 2015.

2000). As Figuras 8 e 9 mostram as grandes dimensões dos elementos pré-moldados a serem transportados.

Figura8 – Transporte de elementos pré-fabricados feito por meio rodoviário



(fonte: OLIVEIRA, 2002, p. [105])

Figura9 – Elementos pré-moldados de grandes dimensões



(fonte: Revista Técnica<sup>8</sup>)

---

<sup>8</sup>SILVA, F. B. Painéis estruturais pré-moldados maciços de concreto armado para execução de paredes. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, n. 180, dezembro 2011. Não paginado. Disponível

#### 4.4 EQUIPAMENTOS DE MOVIMENTAÇÃO E MONTAGEM

A montagem de uma estrutura com peças pré-fabricadas depende, invariavelmente, de equipamentos de movimentação e elevação. O dimensionamento destes equipamentos e as variáveis de cada um devem ser considerados na escolha do maquinário a ser utilizado para as operações (EL DEBS, 2000).

O cronograma de obras é condicionado à logística de movimentação interna e disponibilidade dos equipamentos. A sequência executiva, alinhada ao cronograma, depende da utilização adequada do maquinário, que é responsável por minimizar os prazos de construção (BLANCO, 2012). A Figura 10 demonstra a necessidade de equipamentos para a descarga de elementos pré-fabricados no canteiro.

Figura10 – Descarga de elementos pré-fabricados



(fonte: BRUMATTI, 2008, p. [44])

De acordo com El Debs (2000), a escolha dos equipamentos deve levar em conta os seguintes fatores:

---

em:<<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/180/paineis-estruturais-pre-moldados-macicos-de-concreto-armado-para-execucao-de-286898-1.aspx>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

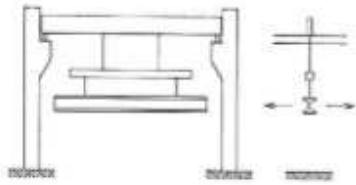
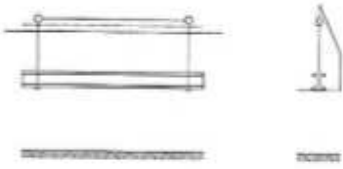
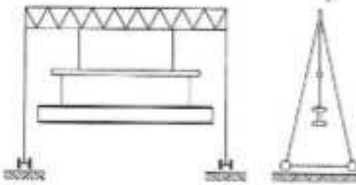

- a) topografia para acesso e posição;
- b) estabilidade do solo, ou base preparada;
- c) peso das peças;
- d) dimensões das peças;
- e) alcance necessário;
- f) frequência de utilização;
- g) mobilidade do equipamento;
- h) espaço físico do canteiro;
- i) estabilidade do equipamento com carga suspensa;
- j) disponibilidade;
- k) custo.

A Coletânea de Ativos 2011-2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013) evidencia a improdutividade associada aos tempos de transporte de insumos. Desta forma, para ganho de produtividade, é necessário diminuir o tempo de transporte por meio de equipamentos.

Existem hoje diversos equipamentos de transporte e movimentação, para fábricas, transporte externo e montagem dos elementos de concreto. “No transporte interno na fábrica podem ser utilizados pórticos rolantes, carrinhos de rolamento, pontes rolantes, monotrilhos e outros equipamentos do gênero.” (EL DEBS, 2000, p. 51). O transporte externo apresenta limitações físicas, e por apresentar diversos modais, apresenta soluções distintas: trens, navios, contêineres, caminhões e carretas podem ser citados. Dentre os equipamentos de montagem, temos os principais e auxiliares – estes últimos de menor impacto e restrições. Dos mais variados equipamentos auxiliares de montagem, podemos citar escoras metálicas, cabos de aço, parafusos, esticadores e grampos. O maquinário de montagem em si conta com soluções semelhantes, mas que se adaptam diferentemente a cada situação. Temos autogruas sobre pneus ou esteiras, grua de torre e de pórtico, guindaste tipo Derrick, lanças fixas e telescópicas, dentre outros equipamentos de elevação e movimentação associados (EL DEBS, 2000).

Segundo El Debs (2000), para o transporte interno são utilizados com mais frequência as pontes e pórticos rolantes, devido à possibilidade de auxiliar em etapas do processo produtivo e de armazenamento. O referido autor indica, conforme o Quadro 1, as características dos principais equipamentos para movimentação interna à fábrica de pré-moldados.

Quadro 1 – Equipamentos de movimentação interna

Tipos de equipamentos		
 <p><b>Ponte rolante</b></p>	 <p><b>Monotrilho</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muito rígidos</li> <li>• Independentes do solo</li> </ul>
 <p><b>Pórtico rolante</b></p>	 <p><b>Carrinho de rolamento</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidade de movimento</li> <li>• Sofrem interferência do que ocorre no solo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Podem ser utilizados na desforma e no empilhamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessitam de outros equipamentos para a desforma e o empilhamento</li> </ul>	

(fonte: EL DEBS, 2000, p. [51], baseado em Ordóñez<sup>9</sup>, 1974)

Os equipamentos citados por El Debs (2000, p. 55-56) são:

As autogruas podem ser sobre pneus ou sobre esteiras. Elas podem ser divididas ainda em autogruas com lança fixa ou telescópica. As autogruas apresentam como característica principal grande mobilidade, constituindo-se no principal tipo de equipamento utilizado hoje em dia, principalmente as autogruas com capacidades de 20 e 50 ton. A restrição a seu uso se limita a caso de edifícios altos.

As guas de torre, normalmente utilizadas em edifícios altos, podem ser fixas ou móveis.

As guas de pórtico consistem em pórtico rolante de grandes dimensões que passa por fora e por cima da construção a ser montada.

Os *derricks* são equipamentos de grande capacidade de carga mas de pequena mobilidade, tendo seu emprego indicado para casos muito específicos. Eles podem ser fixos ou móveis.

<sup>9</sup>ORDÓÑEZ, J. A. F. **Prefabricación**: teoria y práctica. 1. Ed. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974.

Além dos equipamentos citados, cabe destacar o emprego de guindastes acoplados a caminhões convencionais. Eles apresentam baixa capacidade de carga, mas são bastante versáteis, podendo ser empregados para pré-moldados leves.

El Debs (2000) também compara os equipamentos utilizados no canteiro de obras para montagem dos elementos pré-moldados. No Quadro 2, a comparação é baseada em pontos favoráveis e desfavoráveis de cada maquinário.

Quadro 2 – Equipamentos de montagem

	Características favoráveis	Características desfavoráveis
Autogrua sobre pneus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grande mobilidade</li> <li>• grande capacidade de carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pouca precisão</li> <li>• necessidade de piso estável</li> </ul>
Autogrua sobre esteiras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mesmas do caso anterior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• falta de estabilidade</li> <li>• efeito prejudicial ao pavimento</li> </ul>
Grua de torre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• facilidade para repetição de movimentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• é necessário montar e desmontar</li> </ul>
Grua de pórtico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grande capacidade de carga</li> <li>• precisão de montagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• movimentação limitada</li> <li>• é necessário montar e desmontar</li> <li>• lentidão de movimentos</li> </ul>
Derricks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grande capacidade de carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• limitação de movimentos</li> <li>• transporte custoso</li> </ul>
Guindaste acoplado a caminhão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grande mobilidade</li> <li>• baixo custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• limitação de peso</li> <li>• alcance limitado</li> </ul>

(fonte: EL DEBS, 2000, p. [59], baseado em Ordóñez<sup>10</sup>, 1974)

#### 4.5 MONTAGEM DE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS

De acordo com a Associação Brasileira da Construção Industrializada (1986, p. 14), “a montagem é como um tranquilo jogo de montar que exige ajustes precisos.”, e El Debs (2000, p. 33) define que a produção de uma estrutura de pré-fabricados “[...] engloba todas as atividades compreendidas entre a execução dos elementos [...] e a realização das ligações definitivas.”.

As Figuras 11 e 12 apresentam diferentes equipamentos para montagem de paredes de concreto pré-fabricadas.

<sup>10</sup>ORDÓÑEZ, J. A. F. **Prefabricación**: teoría y práctica. 1. Ed. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974.

Figura11 – Montagem com grua



(fonte: Revista Técnica<sup>11</sup>)

Figura12 – Montagem com pórtico rolante



---

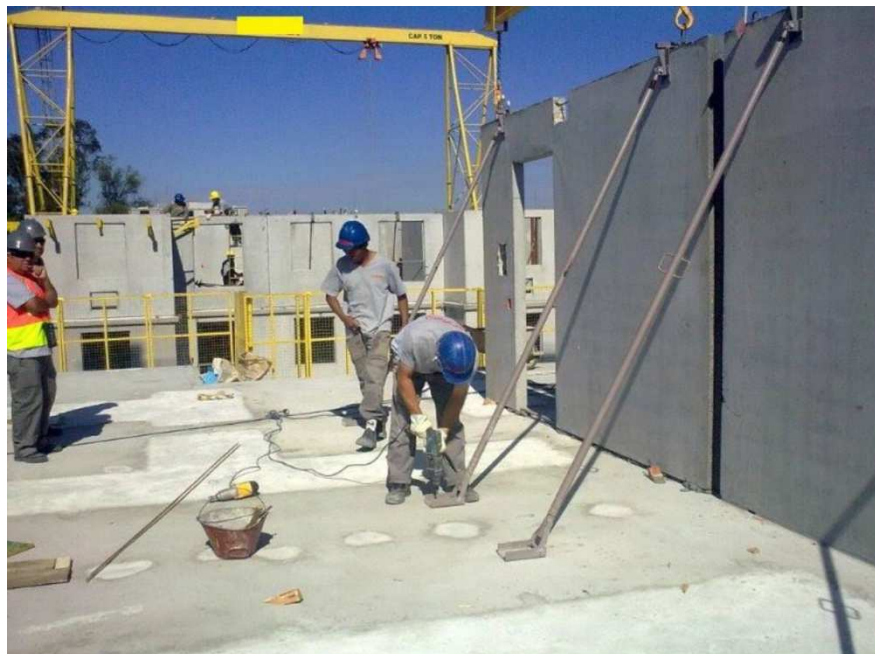
<sup>11</sup>SILVA, F. B. Painéis estruturais pré-moldados maciços de concreto armado para execução de paredes. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, n. 180, dezembro 2011. Não paginado. Disponível em:<<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/180/paineis-estruturais-pre-moldados-macicos-de-concreto-armado-para-execucao-de-286898-1.aspx>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

(fonte: SILVA, 2011, p. [38])

A execução de estruturas pré-fabricadas envolve atividades distintas de execução de elementos, transporte e montagem. A sequência de montagem deve ser planejada ainda na fase de projeto, e deve atentar para as limitações físicas de acesso e do canteiro (EL DEBS, 2000).

“A montagem apresenta particularidades conforme o tipo de elemento.” (EL DEBS, 2000, p. 59). Os elementos que são transportados e armazenados em posição diferente das de utilização, devem ter cuidados especiais devido a necessidade de rotacionar as peças de concreto. Os sistemas de paredes de concreto portantes necessitam, para montagem, de escoramento específico, mostrado na Figura 13, até a execução das ligações entre elementos (EL DEBS, 2000).

Figura13 – Escoramento de painéis de paredes de concreto



(fonte: SILVA, 2011, p. [38])

Diferentemente das outras indústrias de linha de montagem, a eficiência atingida por meio do uso de sistemas de informação na construção civil está muito aquém de seu potencial (EASTMAN et al., 2014).



## 5 PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS *IN LOCO*

A moldagem dos elementos de concreto no local definitivo de sua utilização é uma possibilidade de execução do sistema de paredes de concreto. O sistema utiliza-se da racionalização dos processos, de grande escala e alta velocidade de execução para a viabilidade econômica dos empreendimentos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

Tem-se o registro de ganhos reais de 10% no custo de execução de obra e estimativa de redução de 25% de tempo total de obra, em comparação com o sistema de alvenaria estrutural. O mesmo registro destaca ainda a economia de insumos na execução (FERREIRA, 2012). Verifica-se, portanto, a eficácia do sistema.

O sistema de parede de concreto moldado *in loco* caracteriza-se por executar os elementos estruturais e de vedação na mesma etapa, onde um ciclo construtivo é executado em uma única concretagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008). Neste método, a definição de ciclo é o período entre a desforma de elementos concretados e a nova concretagem utilizando estas mesmas formas. Este ciclo envolve todas as etapas intrínsecas do método construtivo, indispensável para o atendimento das funções da parede de concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013).

Por se tratar de um sistema basicamente industrial, as paredes de concreto dependem fundamentalmente da eficiência dos processos executivos, e somente estes, se bem planejados e executados, podem assegurar a competitividade e viabilidade de um empreendimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2010).

As paredes de concreto constituem-se basicamente de três elementos fundamentais: fôrmas, armadura e concreto.

## 5.1 FÔRMAS

As fôrmas tem por função a moldagem do concreto, e devem resistir às pressões do concreto até a obtenção de resistência mínima para a desforma. São estruturas provisórias, mas fundamentais para assegurar a qualidade das paredes de concreto. As fôrmas devem ser estanques e devem definir a geometria das peças (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

O sistema de fôrmas não se limita às fôrmas propriamente ditas, e possuem outras funções, executadas por outros elementos complementares. Um sistema bem projetado de fôrmas facilita a montagem e travamento dos painéis, e garante o alinhamento e prumo destes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

Figura14 – Sistema de fôrmas de alumínio



(fonte: material não publicado<sup>12</sup>)

O tipo de fôrmas a ser empregado deve considerar a sua produtividade, elementos auxiliares e suas características de instalação, durabilidade e número de reutilizações, modulação e flexibilidade de adaptação ao projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

---

<sup>12</sup> Apresentação de Rubens Monge no Workshop Paredes de Concreto, promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland, em 21 de outubro de 2014, em parceria com Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, e Comunidade da Construção.

## 5.2 ARMADURA

As armaduras do sistema de paredes de concreto têm como funções principais a resistência a esforços na estrutura e o controle de retração do concreto em seu resfriamento. Ainda, como função auxiliar, as armaduras servem para a fixação de sistemas complementares, de elétrica, hidráulica e gás, por exemplo. É importante salientar a importância de se manter o cobrimento mínimo das armaduras, com espaçadores plásticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

Figura15 – Armaduras e sistemas complementares fixados



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013, p. [2])

## 5.3 SISTEMAS COMPLEMENTARES

A distribuição dos pontos de utilização de elétrica e hidráulica deve ser definida e após executa-se a marcação dos painéis de fôrmas. Essas marcações servem de gabarito, e serão utilizadas em todas repetições de fôrmas. Alguns tipos de fôrmas não admitem a execução de furos, portanto são deixadas apenas as esperas junto à superfície das paredes de concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

Os eletrodutos e tubulações são distribuídos no interior da parede, e devem ser posicionados de forma a garantir o cobrimento mínimo das armaduras e evitar a exposição destas nas faces da parede. Para isso, as canalizações são fixadas à armadura por meio de peças plásticas, que servem também como espaçadores, e garantem que os dutos não sofram deslocamentos

durante a concretagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

Figura16 – Instalações elétricas e caixilhos



(fonte: material não publicado<sup>13</sup>)

Figura 17 – Instalações hidrossanitárias



(fonte: material não publicado<sup>14</sup>)

---

<sup>13</sup> Apresentação de Geraldo Antônio Cêsta no Workshop Paredes de Concreto, promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland, em 21 de outubro de 2014, em parceria com Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, e Comunidade da Construção.

<sup>14</sup> idem

## 5.4 CONCRETO

O concreto utilizado para as paredes de concreto deve ser especificado em projeto com resistência característica aos 28 dias e resistência de desforma – em geral, de 14 horas. Os ensaios de trabalhabilidade do concreto são muito importantes, tanto de abatimento de cone – *slumptest* –, como de espalhamento – *flow test*. O adensamento, com equipamento de vibração apropriado, deve garantir o preenchimento de toda a fôrma, e deve ser executado cuidadosamente para impedir a formação de ninhos de concretagem e a segregação dos materiais constituintes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

A utilização de concretos especiais com melhor trabalhabilidade – em fluidez e plasticidade – pode evitar problemas típicos de concretagens, comuns em estruturas executadas *in loco*. Podemos citar a utilização do concreto auto adensável para melhorar a qualidade do produto final, e evitar a necessidade de vibração e possibilidade de aparição de ninhos de concretagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

Os ninhos de concretagem estão localizados, geralmente, em pontos de grande densidade de armadura ou tubulações. Recomenda-se bater as fôrmas com martelo de borracha para verificação do total preenchimento com concreto. Aconselha-se, ainda, que sejam previstos dispositivos para fuga de ar, evitando seu aprisionamento no interior das formas, e consequentes vazios na estrutura de concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008).

## 5.5 PROJETO E PLANEJAMENTO

O projeto de estruturas portantes de paredes de concreto deve ter como diretrizes voltadas à industrialização da construção, a padronização – de elementos e soluções – e simetrias. As concepções podem ter caráter funcional, estrutural ou espacial, e devem priorizar a produtividade sistemática (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2010).

A Coletânea de Ativos 2009-2010 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2010) define as variáveis de projeto do sistema de paredes de concreto e os tópicos que apresentam vantagens pela correta adaptação das variáveis ao

empreendimento. Um bom projeto deve conceber os princípios de modulação, simetria, alinhamento de paredes, padronização, posicionamento de instalações e dimensionamento de vãos. Esses itens, se contemplados no projeto e executados de forma satisfatória, resultam em ganhos no sistema de fôrmas, armadura, concreto, produtividade, qualidade final e custo.

## 5.6 EXECUÇÃO NO CANTEIRO

O estudo de ciclos de produção do sistema paredes de concreto envolve fatores diversos e de grande complexidade, e são fundamentais para atingir a produtividade exigida. A Coletânea de Ativos 2009-2010 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2010) cita alguns destes fatores:

- a) topografia e tipologia da obra;
- b) disponibilidade de equipamentos e insumos;
- c) logística e sequência executiva;
- d) mão de obra: treinamentos e produtividade;
- e) intempéries e outros fatores que provoquem interrupção da produção.

As atividades envolvidas na execução de paredes de concreto, de acordo com a Coletânea de Ativos 2011-2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2013), são listadas abaixo, sem ordem cronológica ou executiva, que podem apresentar variações:

- a) marcação das paredes;
- b) montagem das fôrmas: alinhamento, prumo e escoramento;
- c) armação de tela soldada e colocação de espaçadores;
- d) instalações complementares: pontos de utilização, eletrodutos e tubulações;
- e) concretagem;
- f) desforma.

Figura18 – Sequência executiva no canteiro



(fonte: material não publicado<sup>15</sup>)

A execução das paredes de concreto *in loco*, podem ser executadas de maneiras distintas. O diferencial é a ordem de execução das etapas, o que não implica em produtos diferentes, portanto trata-se apenas de definição de qual método é mais produtivo para cada obra. As duas formas de execução, definidas pela Coletânea de Ativos 2007-2008 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008) são:

- a) montagem da armadura, montagem das instalações complementares e montagem das fôrmas – internas e depois externas, ou simultaneamente –;
- b) montagem das fôrmas internas, montagem da armadura, montagem das instalações e montagem das fôrmas externas.

Em comparação com o sistema de alvenaria estrutural, elimina-se cerca de dez etapas da construção. Dentre as atividades desnecessárias para o sistema parede de concreto pode-se mencionar o assentamento de blocos e a produção de argamassa para assentamento, bem como a execução de vergas e contravergas (FERREIRA, 2012).

---

<sup>15</sup> Apresentação de Arnaldo Wendler no Workshop Paredes de Concreto, promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland, em 21 de outubro de 2014, em parceria com Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, e Comunidade da Construção.

## 5.7 LOGÍSTICA DE MOVIMENTAÇÃO

Os insumos devem ser preferencialmente armazenados próximos às frentes de serviço, em quantidades previamente definidas. O abastecimento deve proporcionar o atendimento ao ritmo de produção, em função das demandas e ciclos construtivos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2010).

Como no sistema de paredes de concreto existem diversas frentes de serviços abertas e em execução, o abastecimento destas carece de especial atenção. Um único almoxarifado, concentrando todos os insumos e responsável por toda distribuição destes, dificilmente atenderia às necessidades do canteiro de obras. Recomenda-se a utilização de pequenos almoxarifados portáteis, reabastecidos periodicamente e conforme necessidade, que contenham ferramentas, equipamentos de proteção individual e insumos. Existe ainda a possibilidade de manter, nestas pequenas centrais de abastecimento, elementos pré-executados, como as instalações complementares ao sistema, evidenciando o caráter industrializado do sistema (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2010).



## 6 ANÁLISE COMPARATIVA

Após o estudo dos sistemas de paredes de concreto, envolvendo desde as etapas de projeto até o controle final de qualidade da edificação, pôde-se verificar a existência de diferenças entre o sistema de pré-moldados e a moldagem *in loco*.

Em função das características de cada um dos sistemas, são passíveis de análise as seguintes etapas:

- a) projeto e planejamento;
- b) logística de movimentação;
- c) execução no canteiro;
- d) produtividade.

Ressalta-se que alguns fatores, no modelo de estudo do trabalho, não são comparáveis. Isso se dá pela possibilidade de alterar as características do produto final sem alteração do processo construtivo das paredes de concreto. São fatores desconsiderados na comparação:

- a) resistência estrutural;
- b) acabamento;
- c) insumos materiais.

A resistência estrutural do conjunto pode ser alterada na etapa de projeto, e não implica em alterações no sistema executivo. Portanto, nesse quesito, considera-se que os sistemas são idênticos.

Não foram considerados os acabamentos das paredes de concreto devido à enorme variabilidade de possibilidades e materiais disponíveis no mercado. Os acabamentos são passíveis de alterações em cada sistema, e são dependentes das condições ambientais e de utilização do imóvel.

A utilização de materiais distintos, mas que apresentem mesma função, também são desconsiderados da análise comparativa. Como exemplos, teríamos a possibilidade de alteração dos traços de concreto, da utilização de armaduras simples ou duplas, etc. Teríamos

ainda a possível comparação entre insumos dentro de um único sistema, como é o caso das fôrmas no sistema moldado *in loco*, que também apresentam variações que não afetam o comparativo com o sistema de pré-moldados.

## 6.1 PROJETO E PLANEJAMENTO

Como visto na bibliografia, as etapas de projeto e planejamento são fundamentais para o sistema de paredes de concreto e diferem substancialmente quando da execução moldada *in loco* ou pré-moldada.

O sistema pré-moldado tem sua origem na concepção do projeto. As definições estabelecidas nesta etapa serão repassadas para a fabricação das peças. Portanto, após a fabricação das peças não é possível que se façam ajustes no projeto. Verifica-se que o projeto deve contemplar todas as etapas construtivas, atendendo às exigências do sistema, e que seja exequível. Isso torna o projeto extremamente rígido em relação ao processo de construção. A fabricação dos elementos pré-moldados obedece aos requisitos e dimensionamento de projeto estabelecidos anteriormente. No interior das fábricas, é possível que as estruturas de concreto sejam executadas com maior controle se comparado à execução no canteiro de obras. Com a possibilidade de utilização da modelagem da informação, as fábricas podem automatizar e mecanizar alguns processos executivos. A identificação individual de cada peça, suas dimensões e características, e sua demanda no canteiro auxiliam a fábrica a sequenciar a produção e atender às necessidades da obra com mais exatidão.

Em contrapartida, o sistema moldado *in loco* possibilita certa flexibilidade do projeto em relação ao processo executivo, desde que respeitadas as características e limitações do próprio sistema. Os projetos de paredes moldadas no canteiro são dependentes dos insumos disponíveis no mercado da construção civil e de sua modulação, que podem apresentar variadas características – geralmente são idênticas nos fatores limitantes à flexibilidade de projeto. Em geral, o jogo de fôrmas é condicionante do projeto, visto que os sistemas disponíveis no mercado possuem restrições à liberdade de projeto arquitetônico. Como o sistema moldado *in loco* utiliza insumos disponíveis no mercado, existe uma relação de dependência neste sentido. Estes insumos possuem modulações e são geralmente pouco flexíveis a adaptações, por isso condicionam projetos e o próprio sistema de construção. A

sequência executiva do sistema admite algumas alternativas, mas estas são incapazes de dar maior flexibilidade ao sistema e não apresentam melhorias significativas de produtividade.

Figura19 – Sistema de fôrmas de aço



(fonte: material não publicado<sup>16</sup>)

Ainda na fase de projeto, é necessária a compatibilização das paredes de concreto com os sistemas complementares – instalações hidrossanitárias, instalações elétricas, entre outros –. Diferenciam-se os sistemas moldado *in loco* e pré-fabricado quanto ao nível de influência da compatibilização necessária. Enquanto os elementos pré-moldados devem contemplar as esperas e passagens das instalações complementares, o sistema moldado no canteiro é influenciado diretamente por incorporar as tubulações internamente às paredes. Portanto, os projetos do sistema moldado *in loco* devem ser trabalhados conjuntamente, pois estão condicionados entre si.

Nesta etapa inicial de concepção, o grande diferencial entre os dois sistemas está na fase de planejamento. De um lado, os sistemas pré-moldados privilegiam-se de uma tendência de

---

<sup>16</sup> Apresentação de Rubens Monge no Workshop Paredes de Concreto, promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland, em 21 de outubro de 2014, em parceria com Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, e Comunidade da Construção.

industrialização, em que é possível utilizar a modelagem da informação na construção. De outro, o caráter mais voltado à construção convencional torna o sistema moldado *in loco* mais suscetível às incertezas no processo executivo.

Quadro 3 – Comparativo Projeto e Planejamento

	<b>Pré-moldadas</b>	<b>Moldagem <i>in loco</i></b>
Projeto durante o processo executivo	Rigidez	Possibilita flexibilidade
Instalações complementares	Compatibilização	Incorporação
Planejamento	Precisão e controle	Incetezas no processo
Insumos	Sob encomenda	Condicionantes

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.2 LOGÍSTICA DE MOVIMENTAÇÃO

Este quesito representa fundamental importância em relação ao sistema de pré-fabricados. Da fábrica ao canteiro de obras, existem diversos fatores que devem ser considerados para possibilitar a execução das paredes de concreto pré-moldadas.

Em função das dimensões das paredes pré-moldadas, se faz necessária uma avaliação prévia do dimensionamento das vias e entorno do canteiro de obras. As informações necessárias são disponibilizadas pelos órgãos públicos competentes, mas devem ser conferidas em casos de maior complexidade. Para casos em que as dimensões dos elementos a serem transportados forem superiores aos limites estabelecidos, deve-se solicitar aos órgãos competentes uma Autorização Especial de Trânsito. Como mencionado anteriormente, é necessária uma conferência do trajeto como um todo para evitar situações inesperadas. Entretanto, podem ocorrer imprevistos durante o transporte, em função da fixação dos elementos à carroceria dos caminhões, ou mesmo na impossibilidade de trânsito em determinada rodovia, ponte ou

viaduto. Finalizado o transporte das peças pré-moldadas da fábrica para o canteiro, se faz necessária a conferência das peças para verificar se não houve danos às mesmas.

Figura20 – Parede de concreto pré-fabricada inutilizável devido ao transporte



(fonte: BRUMATTI, 2008, p. [46])

Os elementos pré-moldados devem ser descarregados no canteiro de obras em local que facilite sua movimentação, e de forma que seja possível a montagem da estrutura com uma logística adequada. Para a descarga, é necessário um equipamento capaz de movimentar as peças e posicioná-las em estoques planejados, conforme mostra a Figura 21. Nesse processo de estocagem, é de extrema importância a identificação e rastreabilidade das peças pré-moldadas. Cada peça possui características distintas – dimensões e resistência – além de serem utilizadas e ligadas de forma específica, portanto, não pode haver a trocas de elementos estruturais. O equipamento de descarga deve ser utilizado somente para tal atividade, enquanto outro equipamento, independente do primeiro, faz a montagem das peças.

Figura21 – Canteiro com pré-moldados organizados



(fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL<sup>17</sup>)

Para o sistema de paredes de concreto moldado *in loco*, a logística de movimentação é aplicada basicamente aos insumos, individualmente. O transporte destes pode ser realizado de forma mecânica no canteiro ou com a mão de obra, desde que respeitadas as limitações de carga por trabalhador. Em sua grande maioria, os insumos não possuem carga muito elevada, possibilitando o transporte manual. Entretanto, há de ser analisada a eventual necessidade de utilização de transporte mecânico para insumos que possam aumentar a produtividade do sistema.

Como as paredes de concreto são executadas em grandes volumes, há um grande canteiro de obras. É interessante que sejam dispostos, ao longo do canteiro de moldagem *in loco*, pequenos estoques de insumos e ferramentas manuais para facilitar o deslocamento das equipes durante a jornada de trabalho. As características de repetitividade dos insumos, como dimensões e ligações, permitem a troca entre insumos idênticos, possibilitando a fragmentação dos estoques e almoxarifados.

<sup>17</sup>Matéria do Site de Estágio Supervisionado em Obra, do curso de Arquitetura e Urbanismo da **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, elaborada a partir da pesquisa da aluna Karina Rosa de Deus. Publicado em maio de 2012. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/eso/content/?p=970>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

Quadro 4 – Comparativo Logística de Movimentação

	<b>Pré-moldadas</b>	<b>Moldagem <i>in loco</i></b>
Abastecimento	Análise de vias e entorno	Idêntico ao convencional
Insumos	Identificados e rastreados	Repetidos
Estocagem	Sequência executiva	Possibilidade de fragmentação

(fonte: elaborado pelo autor)

### 6.3 EXECUÇÃO NO CANTEIRO

Como citado anteriormente, os elementos pré-moldados necessitam de equipamentos para movimentação em função de seu peso elevado, que possui ordem de grandeza superior às limitações humanas. Em geral são necessários no mínimo dois equipamentos em obra: um para descarga e um para montagem. O sistema de paredes de concreto pré-fabricadas é extremamente dependente destes equipamentos, sendo indispensáveis para a execução da obra. A escolha destes equipamentos é parte do planejamento, e deve levar em conta a disponibilidade do maquinário e suas principais características, quanto a restrições e atribuições favoráveis.

As paredes de concreto moldadas *in loco* podem ser executadas sem a utilização de grandes equipamentos para movimentação. Essa possibilidade é definida em função da escolha dos insumos a serem utilizados, que variam em dimensões e peso. A definição da utilização de insumos deve considerar a produtividade desejada e a compatibilidade com o projeto arquitetônico.

Figura 22 – Fôrmas de grandes dimensões movimentadas com guindaste



(fonte: Catálogo de Arquitetura<sup>18</sup>)

O sistema de paredes de concreto possui características de industrialização, principalmente para os pré-moldados, onde o processo executivo é caracterizado por uma produção sequenciada e assemelha-se a uma indústria de montagem. O sistema moldado *in loco* diferencia-se do sistema pré-fabricado por possuir também algumas características artesanais, associadas à construção convencional. Essa peculiaridade do sistema faz com que exista uma dependência em relação a mão de obra – atividades manuais, como marcações, posicionamento, encaixes e travamentos, são fundamentais para o andamento dos serviços – que deve ser altamente capacitada e treinada.

---

<sup>18</sup>Site Catálogo de Arquitetura. Disponível em: <<http://catalogodearquitetura.com.br/sistema-de-formas-aluma-mills.html>>. Acesso em: 02 jun. 2015.



Figura23 – Atividades manuais caracterizam o sistema de moldagem *in loco*

(fonte: material não publicado<sup>19</sup>)

Os funcionários que executam as paredes de concreto *in loco* desempenham todas as atividades necessárias para a finalização do serviço. Não são denominados carpinteiros nem ferreiros, realizando todas as atividades para montagem das fôrmas e armaduras. Familiarizados com as atividades do canteiro, os funcionários são capazes de executar ajustes e reparos *in loco*. Juntamente com as equipes de montagem das paredes de concreto, trabalham as equipes de instalações complementares. A sequência executiva e o ritmo destas equipes deve estar ajustado para otimizar a produção no canteiro.

Para a montagem das paredes pré-fabricadas, a mão de obra é composta basicamente por montadores e soldadores – para as juntas –, além dos operadores de equipamentos. Esta equipe é altamente capacitada para executar suas tarefas, mas não é familiarizada com as atividades da construção civil convencional. Portanto, qualquer reparo necessário nos elementos pré-moldados torna necessária a contratação de equipe específica para execução de

---

<sup>19</sup> Apresentação de Arnaldo Wendler no Workshop Paredes de Concreto, promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland, em 21 de outubro de 2014, em parceria com Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, e Comunidade da Construção.

serviços *in loco*. As instalações complementares são executadas após a montagem dos elementos pré-fabricados, evitando a simultaneidade de atividades num mesmo ponto.

Figura24 – Montagem de parede de concreto pré-moldada com grua



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO et al<sup>20</sup>)

A complexidade das atividades envolvidas e do valor agregado de um elemento pré-fabricado, quando no canteiro de obras, o tornam muito importante em quesitos técnicos e financeiros. As peças de concreto deve estar em conformidade para o uso, e essa condição só é possível após rígida inspeção. Pequenas alterações em relação às especificações podem inutilizar um elemento, gerando transtornos.

A inspeção das peças pré-moldadas é realizada em etapas – antes de sair da fábrica, após entrar no canteiro, e antes da montagem final – para assegurar a conformidade do insumo e a execução do processo. As inspeções são baseadas nos requisitos de projeto e aspectos visuais, e em conjunto com a rastreabilidade torna-se ferramenta importante para controle da qualidade da produção.

No sistema moldado *in loco*, a inspeção se dá por processos executivos. A inspeção total é composta pela compilação de todas as inspeções parciais necessárias. Cada atividade envolvida no sistema deve ser inspecionada – fôrmas, armadura, instalações complementares,

<sup>20</sup>ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO et al. **Manual de montagem de pré-moldados ABCIC/NETPre**. São Carlos, 200?. Disponível em:<<http://pt.scribd.com/doc/68251537/Manual-Montagem-ABCIC#scribd>>. Acesso em: 02 jun. 2015. Necessário senha para visualização.

concretagem, desforma – para análise de conformidade do produto final. Cada atividade possui suas características e requisitos, e em geral são dependentes entre si durante a execução, o que resulta em inspeções parciais para cada atividade envolvida.

Essa metodologia de inspeção garante a reparabilidade em caso de reprovação, e evita a sequência de tarefas posteriores sem prévia autorização. A não conformidade com os requisitos estabelecidos é, em geral, de fácil correção. Apenas os serviços de concretagem, em caso de reprovação, são de difícil solução, pois envolvem insumos e maquinário diferentes dos usuais para a execução, e podem acarretar em atraso nos ciclos de concretagem.

Figura25 – Reprovação no serviço de concretagem



(fonte: PACHECO, 2012, p. [59])

Quadro 5 – Comparativo Execução no Canteiro

	<b>Pré-moldadas</b>	<b>Moldagem <i>in loco</i></b>
Grandes equipamentos	Dependência	Uso facultativo
Características da produção	Industrial	Artesanal
Mão de obra	Diferenciada	Convencional
Instalações complementares	Posterior	Simultânea
Equipe de reparos	Indisponibilidade	Capacitada
Inspeção	Etapas	Processos
Controle	Rígido	Permite reparação

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.4 PRODUTIVIDADE

A produtividade de ambos os sistemas construtivos está ligada diretamente com o grande volume de unidades produzidas. Entretanto, diferem-se bastante quanto aos empecilhos característicos de cada sistema para atingir a produtividade desejada.

Os sistemas de elementos pré-moldados são extremamente dependentes do correto abastecimento de peças pela fábrica. Para reduzir essa dependência, é necessário um estoque mínimo em obra para execução. As operações de descarga, acondicionamento e montagem envolvem tempos de processo diferentes, e devem estar devidamente dimensionadas para não reduzir a produtividade no canteiro.

Figura26 – Equipamento utilizado apenas para descarga e armazenamento



(fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL<sup>21</sup>)

Outra dependência de extrema importância para a produtividade das paredes de concreto pré-moldadas é em relação à logística de equipamentos. A movimentação das peças no canteiro de obras se inicia na descarga dos elementos até sua montagem final. Todas as operações devem estar sincronizadas, e necessitam de equipamentos corretamente dimensionados para tal. Em caso negativo, a produtividade do sistema fica afetada.

<sup>21</sup>Matéria do Site de Estágio Supervisionado em Obra, do curso de Arquitetura e Urbanismo da **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, elaborada a partir da pesquisa da aluna Karina Rosa de Deus. Publicado em maio de 2012. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/eso/content/?p=970>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

O sistema de paredes de concreto moldadas *in loco*, por possuir um caráter mais assemelhado à construção convencional, sofre de alta dependência da produtividade da mão de obra. O produto final é executado por um processo de transformação que, ao combinarmos local materiais e mão de obra, é incerto em função das muitas variáveis envolvidas. A avaliação de produtividade é dificultada em função de cada trabalhador ter uma produtividade individual diferente. Estas incertezas de mão de obra aliadas ao intemperismo – de difícil previsão no longo prazo –, geram ciclos de produção com tempos de duração variáveis.

Como equipes diferentes podem ter ritmos de produção diferentes, os ciclos de concretagens podem oscilar. É importante identificar essas equipes com produtividades diferentes para equalizar, de forma mais equilibrada, a sequência de produção. Além da mão de obra, o serviço de concretagem possui, de forma intrínseca, tempos necessários para execução. O concreto necessita curar e ganhar a resistência necessária para desforma. Sendo assim, deve-se considerar a possibilidade de aquisição de um jogo de fôrmas adicional para manter uma produção com ritmo desejado.

Quadro 6 – Comparativo Produtividade

	<b>Pré-moldadas</b>	<b>Moldagem <i>in loco</i></b>
Dependência	Abastecimento e logística	Ciclo de concretagem
Influência de intempéries	Menor	Maior

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.5 QUADRO SÍNTESE COMPARATIVO

Após análise dos sistemas e identificação das peculiaridades de cada um, paredes de concreto moldadas *in loco* e pré-moldadas, é possível fazer um resumo de cada item. A compilação destes itens, de forma enxuta e gráfica, resulta em quadros comparativos onde ficam evidenciadas as especificidades de cada sistema construtivo.

Caracterizados os sistemas construtivos, a análise das particularidades foi feita estabelecendo uma simetria entre os processos, de forma que o usuário dos quadros possa identificar de maneira clara a situação mais adequada para a empresa ou empreendimento.

Com base no texto verifica-se, apesar da segmentação do comparativo em tópicos, que as características destacadas possuem ligações entre si, evidenciando se tratar de sistemas construtivos.

Quadro 7 – Quadro comparativo entre sistemas pré-moldado e moldado *in loco*

	<b>Pré-moldadas</b>	<b>Moldagem in loco</b>
<b>Projeto e Planejamento</b>		
Projeto durante o processo executivo	Rigidez	Possibilita flexibilidade
Instalações complementares	Compatibilização	Incorporação
Planejamento	Precisão e controle	Incertezas no processo
Insumos	Sob encomenda	Condicionantes
<b>Logística de Movimentação</b>		
Abastecimento	Análise de vias e entorno	Idêntico ao convencional
Insumos	Identificados e	Repetidos
Estocagem	Sequência executiva	Possibilidade de fragmentação
<b>Execução no Canteiro</b>		
Grandes equipamentos	Dependência	Uso facultativo
Características da produção	Industrial	Artesanal
Mão de obra	Diferenciada	Convencional
Instalações complementares	Posterior	Simultânea
Equipe de reparos	Indisponibilidade	Capacitada
Inspeção	Etapas	Processos
Controle	Rígido	Permite reparação
<b>Produtividade</b>		
Dependência	Abastecimento e logística	Ciclo de concretagem
Influência de intempéries	Menor	Maior

(fonte: elaborado pelo autor)

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou resultados satisfatórios no comparativo entre os sistemas executivos de paredes de concreto. O quadro final explicita as características de cada sistema, e pode ser utilizado para escolha do sistema construtivo mais adequado para cada obra, em função de suas necessidades e/ou restrições.

Percebe-se que os sistemas possuem características evolutivas, em termos de industrialização, em relação ao sistema convencional de construção. As paredes pré-fabricadas apresentam uma grande evolução e distinção do sistema convencional, enquanto as paredes moldadas *in loco* enquadram-se entre o sistema convencional e um sistema industrializado.

O sistema de paredes pré-moldadas apresenta maior qualidade na execução de sua estrutura, por ser mais controlada. Além disso, possibilita uma significativa redução de mão de obra no canteiro, compensada pela massiva utilização de equipamentos com alto custo associado. Possibilita maior precisão e controle de cronograma, e é um processo de alto índice de industrialização, semelhante a uma linha de produção, com todos os seus benefícios incorporados. Entretanto, caso seja negligenciada alguma etapa de processo ou planejamento, o sistema pode apresentar resultados indesejados.

O sistema de moldagem *in loco* apresenta grande relação com a mão de obra – dependência para execução e produtividade, necessidade de inspeções e possibilidade de reparação – o que remete à construção convencional. Ademais, há grande dependência com a disponibilidade de insumos, condicionantes de projeto. O projeto e o cronograma, desde que adequados ao canteiro de obras, podem apresentar alterações se assim for necessário. O processo executivo apresenta incertezas devido ao ritmo da mão de obra e dependência do investimento em insumos e maquinário.

Com o viés das principais características do sistema de paredes de concreto – industrialização e racionalização – verifica-se que tanto o sistema pré-moldado como da moldagem *in loco* são capazes de apresentar bons resultados.

O trabalho não tem por objetivo definir a escolha de um sistema, mas apenas destacar as condições favoráveis e desfavoráveis de cada um. As condições de utilização devem ser

estudadas e planejadas em cada caso particular para obtenção dos reais ganhos do sistema de paredes de concreto.

Em função de suas características de alta produtividade e bom desempenho, o sistema de paredes de concreto poderia ter sua utilização aumentada significativamente em obras de grande escala. Hoje se percebe um cenário mais favorável e desenvolvido para a construção com paredes de concreto, contudo há ainda uma grande parcela a ser explorada.



## REFERÊNCIAS

ACKER, A. V. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Lausanne, Suíça: FIB, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de pré-fabricados de concreto**. São Paulo: Projeto, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM; INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Parede de Concreto**: coletânea de ativos 2007/2008. São Paulo, 2008.

Disponível em:

<<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/9/anexo/colpc0708.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2014.

\_\_\_\_\_. **Parede de Concreto**: coletânea de ativos 2008/2009. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/assets/files/coletania-aditivos-08.09.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2014.

\_\_\_\_\_. **Parede de Concreto**: coletânea de ativos 2009/2010. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/assets/files/coletania-aditivos-09.10.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2014.

\_\_\_\_\_. **Parede de Concreto**: coletânea de ativos 2011/2013. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/assets/ColetaneaAtivos1113.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 16055**: parede de concreto moldada no local para construção de edificações – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

BARTH, F.; VEFAGO, L. H. M. **Tecnologia de fachadas pré-fabricadas**. Florianópolis: Letras Contemporâneas, 2007.

BLANCO, M. Máquinas para cidades. **Revista Infraestrutura Urbana**, São Paulo: Pini, n. 15, p. 3, jun. 2012.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Portaria n. 19**, de 10 de janeiro de 1949. Dispõe sobre as normas para o projeto das estradas de rodagem. Rio de Janeiro, RJ, 1949. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio/normas-projeto-estr-rod-reeditado-1973.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Resolução n. 11/04**, de 25 de outubro de 2004. Dispõe sobre o transporte de cargas indivisíveis e excedentes em peso e/ou dimensões e para trânsito de veículos especiais. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/aplweb/sis\\_siaet/download/resolucao11-04-retificada\\_DNIT.pdf](http://www1.dnit.gov.br/aplweb/sis_siaet/download/resolucao11-04-retificada_DNIT.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2015.

BRUMATTI, D. O. **Uso de pré-moldados – estudo e viabilidade**. 2008, 54 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória, 2008.

CORSINI, R. Produção organizada. **Revista Guia da Construção**, São Paulo: Pini, n.134, p. 22-26, set. 2012.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Carlos: EESC-USP, 2000.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

FERREIRA, R. Economia concreta. **Revista Equipe de Obra**, São Paulo: Pini, n. 47, maio 2012. Não paginado. Disponível em: <<http://equipedebra.pini.com.br/construcao-reforma/47/economia-concreta-ao-optar-por-paredes-de-concreto-em-257752-1.aspx>>. Acesso em: 28 out. 2014.

LOTURCO, B. Pré-fabricados. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, n.99, jun. 2005. Não paginado. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/99/artigo32914-1.aspx>>. Acesso em: 28 out. 2014. Necessário senha para visualização.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002, 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PACHECO, F. H. **Sistema parede de concreto: elaboração de listas de verificação para aprimorar a execução dos serviços**. 2012. 76 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PORTO ALEGRE. Secretaria do Planejamento Municipal. **Lei Complementar n. 434**, de 1º de dezembro de 1999. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Porto Alegre, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre e dá outras providências. Porto Alegre, RS, 2010. Disponível em: <[http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu\\_doc/planodiretortexto.pdf](http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/planodiretortexto.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2015.

SILVA, P. J. S. **Alvenaria estrutural e painéis pré-moldados: estudo comparativo dos sistemas construtivos**. 2011, 65 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.