Universidade Federal da Bahia

PRÊMIO OAS/EP-UFBA
INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL

# INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE E EMPREENDEDORISMO NA ENGENHARIA CIVIL
# MELHORES DE 2013

oas

INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE E EMPREENDEDORISMO NA ENGENHARIA CIVIL: **MELHORES DE 2013**

Universidade Federal da Bahia

oas

PRÊMIO OAS/EP-UFBA

INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL

# INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE E EMPREENDEDORISMO NA ENGENHARIA CIVIL

## **MELHORES DE 2013**

*CRÉDITOS*

oas

Presidente
*Léo Pinheiro*

Vice-Presidente
*Cesar Mata Pires Filho*

Diretor Superintendente Nordeste
*Elmar Juan Varjão*

Diretor Administrativo
*Dilson Paiva Filho*

Universidade Federal da Bahia

Reitora
*Dora Leal Rosa*

Vice-reitor
*Luiz Rogério Bastos Leal*

Diretor da Escola Politécnica
*Luis Edmundo Prado de Campos*

Coordenadora
*Vanessa Silveira Silva*

PRÊMIO OAS/EP-UFBA

INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL

# INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE E EMPREENDEDORISMO NA ENGENHARIA CIVIL

## MELHORES DE 2013

1ª Edição • São Paulo 2014
D´lemos Publish Design

Universidade Federal da Bahia

oas

*COMISSÃO JULGADORA*
Araken Ribeiro Dias Trindade (OAS)
Daniel Veras Ribeiro (UFBA)
Elmar Juan Passos Varjão Bomfim (OAS)

*PRODUÇÃO EDITORIAL*
OAS

*CAPA*
Paulo Vinícius Scoculgia Martines

*PROJETO GRÁFICO*
D´lemos Publish Design

*DIREÇÃO DE ARTE*
Priscilla Lemos (D´lemos Publish Design)
Marina Garcia de Lemos (D´lemos Publish Design)

*REVISÃO*
Luiz M. Leitão da Cunha
DRT 57.952/SP

*PRODUÇÃO GRÁFICA*
Priscilla Lemos (D´lemos Publish Design)

*PRODUÇÃO GRÁFICA*
Uniongraph Gráfica e Editora Ltda.
11 3903.5012
orcamento@uniongraph.com / www.uniongraph.com

*IMPRESSO NO BRASIL*
2014

*DADOS INTERNACIONAIS PARA CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)*

Inovação, Produtividade e Empreendedorismo na Engenharia Civil: melhores de 2013 / Murilo Araújo Messias Bomfim; Tatiana Bittencourt Dumêt; Douglas Malheiro de Brito; Emerson de Andrade Marques Ferreira; Rodrigo Farias Russo; Jardel Pereira Gonçalves; Camila de Oliveira Veloso; Iamara Rossi Bulhões; Marcio José Serra Paixão; Alberto Borges Vieira Júnior; Helen Miranda Barbosa dos Santos; Vanessa Silveira Silva; Túlio Rodrigues Torres; Dayana Bastos Costa; Alex Dias; Cecília Robbe; Pedro Henrique do Prado Oliveira; Emerson de Andrade Marques Ferreira; Elana da Silva Pessoa; Dayana Bastos Costa - Bahia, 2014.
192 p.; 150 cm x 230 cm.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-99758-14-4

1. Inovação. 2. Produtividade. 3. Empreendedorismo. 4. Engenharia Civil. I. Universidade Federal da Bahia. II. Escolpa Politécnica. III. OAS. IV. Título.

# SUMÁRIO

*Mensagem da OAS* **7**

*Mensagem da Universidade Federal da Bahia* **9**

*Comparativo entre sistemas de vedações verticais: parede de concreto x alvenaria estrutural*
Murilo Araújo Messias Bomfim, Tatiana Bittencourt Dumêt **11**

*Modelagem 4D aplicada ao planejamento e controle de obras*
Douglas Malheiro de Brito, Emerson de Andrade Marques Ferreira **27**

*Diretrizes para projetos de produção de impermeabilização para edificações*
Rodrigo Farias Russ, Jardel Pereira Gonçalves **45**

*Perdas por improvisação em obras e sua relação com o planejamento de médio prazo*
Camila de Oliveira Veloso, Iamara Rossi Bulhões **65**

*Cobertura em tensoestrutura da Arena Fonte Nova*
Marcio José Serra Paixão, Alberto Borges Vieira Júnior **83**

*Contrapiso autonivelante: diretrizes para execução*
Helen Miranda Barbosa dos Santos, Vanessa Silveira Silva **99**

*Uso de indicadores de produtividade em paredes de concreto visando melhorias de desempenho*
Túlio Rodrigues Torres, Dayana Bastos Costa **113**

*Utilização de resíduos da construção na fabricação de blocos de concreto para alvenaria*
Alex Dias, Cecília Robbe 133

*Modelagem 4D aplicada ao planejamento de curto prazo de um pavimento tipo*
Pedro Henrique do Prado Oliveira, Emerson de Andrade Marques Ferreira 151

*Avaliação do Sistema Last Planner: integração entre planejamento e produção de obras*
Elana da Silva Pessoa, Dayana Bastos Costa 171



# MENSAGEM DA OAS

*Caro leitor,*

O Prêmio OAS/EP-UFBA foi instituído em 2012 com o propósito de incentivar, nos futuros engenheiros, a postura empreendedora e a criação de soluções inovadoras para os desafios da engenharia, propiciando ganhos de produtividade e qualidade e assegurando a rentabilidade dos projetos.

Essa postura se torna cada vez mais necessária na atuação profissional e, seguramente, o será ao longo do tempo, uma vez que os desafios são crescentemente complexos, de maior porte e risco.

Estes desafios são, de fato, oportunidades que devem ser aproveitadas e enfrentadas com obstinação, vontade, motivação e, sobretudo, comprometimento e paixão. Também requerem do engenheiro uma formação ampla e de competências plurais, que deverá ser continuamente complementada.

Este prêmio também aprofunda a relação da OAS com a universidade, com base na convicção de que a busca pela evolução e melhoria constantes se torna muito mais eficaz quando universidade e empresa somam esforços.

Os 10 melhores trabalhos apresentados no prêmio compõem este livro e materializam esta parceria. Autores e seus orientadores compartilham aqui as suas contribuições, que, como facilmente constatará o leitor, têm relevância e aplicabilidade.

A OAS, empresa regida por valores como Garra, Confiança, Competência Profissional e Orientação para Resultados, e que busca em seus colaboradores este perfil de inovação, produtividade e empreendedorismo, entende que o incentivo à formação de profissionais cada vez mais comprometidos com a busca pela excelência é sua contribuição para a profissão e para a sociedade.

*Boa leitura!*

# MENSAGEM DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Durante a cerimônia de formatura do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Bahia (UFBA), no segundo semestre de 2011, na qual o Presidente da OAS, Léo Pinheiro, foi paraninfo da turma, o Diretor da Escola Politécnica, Prof.º Luis Edmundo Prado de Campos apresentou a proposta para criação de um prêmio destinado aos graduandos. A ideia consistia no desenvolvimento de trabalhos visando gerar melhorias na área da construção civil, propondo aproximação da Universidade com as empresas.

A partir disso, todo ano, profissionais da OAS e UFBA elegem os dez melhores Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC), desenvolvidos na temática de Inovação, Produtividade e Empreendedorismo na Engenharia Civil. Os trabalhos são publicados em um livro referente ao Prêmio e os cinco primeiros colocados recebem uma premiação em dinheiro.

Acredita-se que essa iniciativa contribui para o desenvolvimento desses novos profissionais, proporcionando o envolvimento deles com temais atuais e o crescimento dos conhecimentos na área.

A Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (EP-UFBA) agradece o apoio da OAS por acreditar e incentivar este processo de integração entre Empresa e Universidade, contribuindo de forma decisiva para a divulgação de boas práticas na área de Inovação, Produtividade e empreendedorismo na Engenharia Civil.

# COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS: PAREDE DE CONCRETO X ALVENARIA ESTRUTURAL

Murilo Araújo Messias Bomfim [1]
Tatiana Bittencourt Dumêt [2]

## *Resumo*

“Nos últimos anos, a Construção Civil brasileira viveu, e ainda vive, um momento de grande crescimento. Incentivadas por programas habitacionais desenvolvidos pelo governo federal que buscam suprir o déficit de moradia existente, as empreiteiras investiram em sistemas construtivos que aumentam a produtividade e reduzem custos e prazo de obra. Em meio a este cenário, destacam-se os sistemas construtivos que utilizam como elemento de vedação vertical a parede de concreto e a alvenaria estrutural. Tendo isso em vista, o objetivo principal deste trabalho é realizar um comparativo entre esses dois sistemas construtivos, avaliando as vantagens e desvantagens de ambos e relacionando aspectos que influenciam o tempo e os custos de construção. Para tal, foi realizado um estudo comparativo a partir de dados levantados em uma empresa de construção civil de grande representatividade na cidade de Salvador, que utilizou os dois sistemas de vedação vertical em empreendimentos diferentes. Sendo assim, com os parâmetros adotados de acordo com o projeto base do estudo, o sistema estrutural parede de concreto, em relação à alvenaria estrutural, apresentou redução de custos e prazo de execução da obra, diminuição de interferências e índices de perdas, e uma maior racionalização dos processos. A partir deste estudo, fazem-se necessárias novas abordagens que otimizem a utilização de cada modelo construtivo, a fim de estabelecer construções mais racionalizadas e com menos interferências entre os seus serviços.”

***Palavras-chave*** » parede de concreto; alvenaria estrutural; modelos construtivos.

[1] E-mail: *muriloamb@hotmail.com.*
[2] E-mail: *tbdumet@ufba.br.*

# 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD – de 2008, o déficit habitacional no Brasil está estimado em 5,5 milhões de domicílios (FJP, 2011 *apud* IBGE, 2009), variando de acordo com a localização geográfica. Devido a esse déficit, o governo federal vem promovendo ações como o programa "Minha Casa, Minha Vida", onde as construtoras brasileiras atuam através de uma construção civil mais industrializada, enxuta e com maior rentabilidade.

Recentemente, o coordenador do Conselho de Competitividade Setorial da Construção Civil (uma das áreas estratégicas do Plano Brasil Maior- PBM), ligado à Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial-ABDI, Marcos Prates, revelou que a construção civil no Brasil está vivendo uma expansão há algum tempo. Isso é positivo para a geração de emprego e renda, e para a redução do déficit habitacional. Entretanto, traz muitos desafios no que diz respeito à melhoria da produtividade na cadeia de produção (ABDI, 2012).

Tendo em vista o cenário que a construção civil brasileira tem vivido nos últimos anos, em que os incentivos do governo federal alavancaram o crescimento de construções residenciais para a população de baixa renda, ao mesmo tempo em que as incorporadoras imobiliárias buscam tecnologias construtivas que reduzam custos e prazos, torna-se importante o estudo dos sistemas de vedações verticais – parede de concreto e alvenaria estrutural – que, aparentemente, atendem às necessidades empresariais dos construtores e à demanda de domicílios por parte do governo.

A parede de concreto, também conhecida como parede maciça moldada *in loco*, é caracterizada por ser uma estrutura monolítica. Quando solicitada, tem capacidade de distribuir continuamente os esforços por toda a parede, por não apresentar juntas aparentes (LORDSLEEM JÚNIOR *et al*. 1998).

A alvenaria estrutural consiste em um processo construtivo no qual vedação e estrutura são executadas ao mesmo tempo. Nesse modelo, não há a necessidade de pilares e vigas, ficando a cargo da alvenaria e da laje a função de suportar os esforços do sistema e transferi-los à fundação. Esta solução permite construir desde simples muros e residências até edifícios de diversas alturas, hipermercados e indústrias. (Comunidade da Construção, 2013).



Este trabalho tem por objetivo fazer um estudo de caso com os dois sistemas construtivos em questão, analisando dados reais obtidos em campo e concluindo com qual dos sistemas resulta em obras mais rentáveis e rápidas.

# 2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização deste artigo foi dividida em três partes: *(a)* e *(b)* análise comparativa dos dados de duas obras, realizadas por uma mesma empresa, que utilizaram tais sistemas construtivos; e *(c)* análise final dos resultados obtidos e apresentação das considerações finais sobre o artigo.

Em *(a)* foi realizada uma análise orçamentária dos sistemas construtivos parede de concreto e alvenaria estrutural através de uma planilha eletrônica de parametrização de ambos os sistemas, disponível no site Comunidade da Construção. Neste momento, são analisados os custos globais do empreendimento. Para melhor compreensão do texto, esta etapa será denominada linha de estudo 1. Já em *(b)*, foi dado um enfoque à análise das composições de custos unitárias dos serviços de estrutura até o revestimento de pintura interna das duas obras, momento em que se destacam as principais diferenças entre os sistemas. Esta etapa será denominada linha de estudo 2.

Visto que a linha de estudo 2 é baseada em resultados reais de produtividade em campo, esta foi utilizada para ratificar, ou não, a confiabilidade dos resultados obtidos para um estudo já consolidado na bibliografia atual. É importante salientar que, neste artigo, partiu-se da premissa de que a produtividade coletada das obras levou em conta o efeito de aprendizagem. Como a finalidade aqui é realizar um comparativo, e muitos dos resultados obtidos são apontados em porcentuais, torna-se válida a adoção desta premissa.

Como parâmetro, adotou-se o projeto da obra de parede de concreto como o projeto base — que se assemelha à obra de alvenaria estrutural — para aplicação dos índices colhidos em cada uma delas. A partir desse projeto, foi concebido o empreendimento em cada um dos dois sistemas construtivos e, então, encontraram-se os resultados para o comparativo em questão deste artigo.

# 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados os resultados das duas linhas de estudo citadas e a análise comparativa das mesmas.

## *3.1 Resultados da linha de estudo 1: planilha de parametrização (Comunidade da Construção)*

Neste momento, foram gerados os dados para o comparativo dos sistemas de vedações verticais, levando-se em conta os custos do orçamento global para o objeto de estudo. Foram consideradas todas as etapas da obra, e não somente aquelas diretamente ligadas à elevação da parede. A planilha de parametrização entre os sistemas de vedações verticais alvenaria estrutural e parede de concreto utilizada neste trabalho é composta de seis abas; são elas: informações gerais; dados básicos de entrada; alvenaria estrutural (informações específicas); parede de concreto (informações específicas); resumo sintético.

Na aba "informações gerais" são inseridos os dados de construção do empreendimento, tipologia da obra e estimativa de prazo máximo de conclusão, entre outros. É importante salientar que nem todas as informações são preenchidas pelo responsável do estudo, mas apenas algumas delas, tais como: número de unidades (224); número de unidades por pavimento (8); número de pavimentos por torre (14); área construída (21.866 m²); área privativa (12.517 m²); área útil (21.866 m²). Outras células são bloqueadas com fórmulas para cálculos da própria planilha de parametrização.

A aba "dados básicos de entrada" caracteriza-se pelas informações básicas do empreendimento, principalmente com relação aos custos das etapas principais. Foram lançados os valores comuns das etapas de estrutura para os dois sistemas construtivos, além dos outros subsistemas e frentes de serviço da obra. Como o comparativo está sendo realizado tomando-se o projeto do empreendimento de parede de concreto como base, os custos lançados se baseiam principalmente na planilha orçamentária deste.

Em "parede de concreto (informações específicas)" são consideradas as variáveis específicas do sistema de vedação vertical parede de concreto, para que haja a parametrização dos dados e uma comparação equivalente com o outro sistema em estudo. Torna-se imprescindível destacar que as informações de custo de aquisição, quantidade de utilizações e depreciação (e, consequentemente, manutenção) das fôrmas são informadas e influenciam diretamente o custo final da obra.

Da mesma forma que o item anterior, em "alvenaria estrutural (informações específicas)" foram consideradas as variações específicas do sistema de vedação vertical parede de concreto, tais como os consumos e custos dos principais insumos e o ciclo de produção desejado, entre outros.

A aba "resumo sintético" apresenta um resumo final comparativo feito com base nos dados lançados nas abas anteriores. Uma visão global da ordem de grandeza dos valores de custos (Tabela 1) é apresentada.

| ITEM | ALVENARIA ESTRUTURAL | | PAREDE DE CONCRETO | |
|---|---|---|---|---|
| Implantação / Infraestrutura / Terraplanagem / Fundações | R$ 4.967.801,23 | 19% | R$ 4.967.801,23 | 22% |
| Superestrutura - Transição | R$ - | 0% | R$ - | 0% |
| Superestrutura - Concreto | R$ 1.617.102,69 | 6% | R$ 2.715.053,17 | 12% |
| Superestrutura - Aço | R$ 58.790,84 | 0% | R$ 1.301.941,11 | 6% |
| Superestrutura - Fôrmas | R$ 297.721,21 | 1% | R$ 449.049,35 | 2% |
| Superestrutura - Blocos Estruturais | R$ 1.047.581,72 | 4% | R$ - | 0% |
| Superestrutura - Pré-fabricados | R$ 2.488.038,43 | 10% | R$ - | 0% |
| Superestrutura - Mão de Obra | R$ 1.189.754,82 | 5% | R$ 2.579.692,62 | 12% |
| Alvenaria de Vedação | R$ - | 0% | R$ - | 0% |
| Revestimentos Externos | R$ 538.465,54 | 2% | R$ 151.209,07 | 1% |
| Revestimentos Internos | R$ 2.478.830,95 | 10% | R$ 1.795.244,24 | 8% |
| Instalações | R$ 3.403.241,33 | 13% | R$ 3.171.872,49 | 14% |
| Esquadrias | R$ 1.200.973,47 | 5% | R$ 1.200.973,47 | 5% |
| Elevadores | R$ 572.442,95 | 2% | R$ 572.442,95 | 3% |
| Coberturas | R$ 130.390,85 | 1% | R$ 130.390,85 | 1% |
| Impermeab./Isolamentos | R$ 64.987,65 | 0% | R$ 64.987,65 | 0% |
| Pisos e Forros | R$ 533.900,07 | 2% | R$ 533.900,07 | 2% |
| Vidros | R$ 114.961,48 | 0% | R$ 114.961,48 | 1% |
| Despesa Indireta de Canteiro / Equipamentos | R$ 5.308.047,38 | 20% | R$ 2.548.225,71 | 11% |
| TOTAL: | R$ 26.013.032,59 | 100% | R$ 22.297.745,48 | 100% |
| CUSTO/M² DE ÁREA ÚTIL: | R$ 1.189,66 | | R$ 1.019,75 | |
| CUSTO/M² DE ÁREA PRIVATIVA: | R$ 2.078,30 | | R$ 1.781,47 | |
| TEMPO DE OBRA: | 29,2 meses | | 13,8 meses | |

**TABELA 1** • Resumo comparativo entre os sistemas (linha de estudo 1)

## *3.2 Resultados da linha de estudo 2: composições de custo específicas*

Ao contrário do item 3.1, foram gerados, posteriormente, os dados para o comparativo de custos dos sistemas de vedações, levando-se em conta somente as atividades que estão intimamente ligadas à parede. Para tal, partiu-se das composições de custos de serviços, desde a fase de estrutura até o revestimento interno, colhidas nas duas obras que serviram de base para este estudo.

### *3.2.1 Parede de concreto*

No caso desse sistema, foram analisadas composições dos seguintes serviços: montagem de fôrma (desde a marcação das paredes até o final da sua elevação); armação das paredes (vergalhão e tela soldada); concretagem das paredes; revestimento interno (emassamento e pintura).

É importante salientar que o custo do subitem da composição "Fôrma de alumínio para parede de concreto" foi obtido levando em conta o custo de aquisição, quantidade de utilizações, depreciação e manutenção das fôrmas. De acordo com a obra na qual a parede de concreto foi executada, a quantidade de utilizações fornecida pelo fabricante da fôrma foi de 1.500, porém, como o sistema até então ainda era desconhecido, a quantidade considerada para a composição foi de 1.000 utilizações.

Ainda segundo as informações coletadas, esta composição apresentada foi elaborada no intervalo entre o final da obra na qual a parede de concreto foi executada – e que foi utilizada neste estudo – e o início de outro empreendimento com o mesmo sistema construtivo. Sendo assim, o custo da composição já leva em conta os custos resultantes da manutenção realizada na fôrma.

Na sequência, a partir de informação prévia dos ciclos de produção para cada serviço fornecida pelas obras, foram dimensionadas as equipes que utilizariam a mão de obra própria da construtora. Esses dados são importantes, pois afetarão significativamente os custos finais da obra. Vale ressaltar que no sistema de parede de concreto foi utilizada a mão de obra de empreiteiro para a execução da concretagem das paredes. Logo, esta equipe não será dimensionada, pois não irá interferir nos custos diretos de mão de obra do serviço; seus custos foram incluídos por unidade de m³ no resumo do custo final.

Em seguida, foi elaborado um planejamento dos serviços baseado no modelo do gráfico de Gantt para se estimar um prazo de execução das atividades e, consequentemente, gerar os custos diretos de mão de obra. A análise foi realizada para uma torre e, no custo final, ampliada à obra como um todo. A folga entre o término do serviço de estrutura e o início do revestimento interno é de 21 dias corridos. Este é o prazo para a retirada do último escoramento da laje, que impede a execução do serviço posterior. Foi considerado que para execução da estrutura de parede de concreto foram utilizados dois jogos de fôrma, ou seja, duas torres sendo executadas de uma vez. Sendo assim, o prazo de 18 semanas encontrado no gráfico de Gantt para execução dos serviços de 1 torre resulta em um período igual para a execução das 2 torres do objeto de estudo. Foram considerados 5 dias para o ciclo de conclusão do serviço de estrutura (fôrma, armação e concretagem) de 1 pavimento, bem como para o serviço de revestimento interno (emassamento e pintura).

Com o planejamento elaborado, foi montado um histograma de consumo de mão de obra própria a cada semana. E, finalmente, elaborou-se uma tabela de resumo de custo final de materiais e mão de obra, que servirá de base para a discussão dos resultados (Tabela 2).

| ITEM | CUSTO TOTAL | |
|---|---|---|
| MATERIAL | R$ 1.972.021,33 | 100% |
| Fôrma de alumínio para parede de concreto | R$ 109.604,63 | 6% |
| Desmoldante | R$ 3.706,80 | 0% |
| Finca pino | R$ 94,08 | 0% |
| Pino hilti | R$ 3.570,38 | 0% |
| Camisinha para gravata | R$ 31.046,80 | 2% |
| Aço CA 50 12,5 mm | R$ 90.667,29 | 5% |
| Tela soldada comum | R$ 119.245,80 | 6% |
| Tela soldada especial | R$ 287.043,14 | 15% |
| Arame recozido 18BWG | R$ 16.201,90 | 1% |
| Concreto usinado 35Mpa bombeável brita 0 slump 22+-3 | R$ 1.049.110,25 | 53% |
| Taxa de bombeamento de concreto por m³ | R$ 106.689,18 | 5% |
| Microfibra de poliestireno | R$ 17.070,27 | 1% |
| Espaçador plástico | R$ 8.128,70 | 0% |
| Massa PVA | R$ 37.348,05 | 2% |
| Tinta látex PVA interior | R$ 30.532,71 | 2% |
| Líquido selador | R$ 21.250,39 | 1% |
| Lixa para parede | R$ 2.391,64 | 0% |

| ITEM (cont.) | CUSTO TOTAL | |
|---|---|---|
| Massa acrílica | R$ 19.896,57 | 1% |
| Tinta látex acrílica interior | R$ 12.316,65 | 1% |
| Líquido selador acrílico | R$ 6.106,10 | 0% |
| | | |
| MÃO DE OBRA | R$ 1.121.737,47 | 100% |
| Carpinteiro | R$ 287.588,45 | 26% |
| Armador | R$ 184.878,29 | 16% |
| Pintor | R$ 308.130,48 | 27% |
| Ajudante prático de carpinteiro | R$ 178.943,92 | 16% |
| Servente de armador | R$ 108.188,04 | 10% |
| Servente de pintor | R$ 24.041,79 | 2% |
| Lançamento de concreto (Empreiteiro) | R$ 29.966,51 | 3% |

**TABELA 2** • Resumo final dos custos para execução da parede de concreto (linha de estudo 2)

Vale ressaltar que as premissas adotadas na sequência do estudo – seja para a definição da duração dos ciclos de produção, a utilização de mão de obra própria ou de empreiteiro para os serviços – estão de acordo com as duas obras, tanto a executada com o sistema de vedação vertical parede de concreto como a construída com a alvenaria estrutural, que serviram de apoio para o embasamento deste trabalho.

### *3.2.2 Alvenaria estrutural*

Antes de dar prosseguimento à análise, semelhante à realizada no item anterior, é necessário esclarecer alguns pontos. Como o objeto de estudo utilizado como base para o comparativo foi o da obra executada em parede de concreto, os pontos de grauteamento e a armação utilizada na alvenaria estrutural tiveram que ser estipulados. Isso foi feito de acordo com a orientação técnica da obra  na qual foi executada a alvenaria estrutural. Sendo assim, os pontos de grauteamento vertical foram definidos onde há mudanças de direção e término das paredes, enquanto o grauteamento horizontal da 6ª fiada de blocos foi determinado para as paredes de fachada e para as mais solicitadas, e da 13ª fiada para todas as paredes. Com relação à armação, foi considerada a utilização de uma barra de Ø 10 mm ao longo do comprimento dos pontos de graute.



Dando prosseguimento à análise, da mesma forma que foi realizado com a parede de concreto, o estudo da alvenaria estrutural se baseou nas composições de custos dos seguintes serviços: marcação e elevação de alvenaria; armação das paredes; grauteamento; revestimento interno (gesso projetado e pintura).

Em sequência, vieram os dimensionamentos de equipes, a elaboração do planejamento e o histograma, e, por fim, o resumo dos custos finais para este sistema.

No planejamento através do gráfico de Gantt, os serviços foram divididos em três grupos: estrutura (marcação de alvenaria, elevação, armação e grauteamento), gesso projetado e pintura interna. Não há folga entre o término da estrutura e a execução do gesso projetado, porém, entre o término deste e o início da pintura é necessária uma folga de 10 dias para que o gesso esteja apto a receber a pintura. É importante lembrar que, no caso da alvenaria estrutural, foi considerada uma equipe em cada torre, logo, o prazo demonstrado de 32 semanas para execução dos serviços analisados vale para as 2 torres do objeto de estudo.

O ciclo de produção considerado para a estrutura foi de 10 dias por pavimento, enquanto para os serviços de projeção de gesso e pintura interna foi considerado o ciclo de cinco dias por pavimento em cada um.

Sendo assim, o resumo dos custos para o sistema de alvenaria estrutural pode ser observado na Tabela 3.

| ITEM | CUSTO TOTAL | |
|---|---|---|
| MATERIAL | R$ 1.758.857,33 | 100% |
| Bloco de concreto estrutural - Resistência: 8Mpa | R$ 1.011.135,13 | 57% |
| Cimento CP II F32 Portland | R$ 53.369,76 | 3% |
| Areia limpa grossa | R$ 13.845,36 | 1% |
| Aço corte e dobra | R$ 54.455,50 | 3% |
| Arame recozido 18BWG | R$ 1.976,92 | 0% |
| Graute Pronto Fgk=10Mpa | R$ 129.055,75 | 7% |
| Massa PVA | R$ 41.305,16 | 2% |
| Tinta látex PVA interior | R$ 33.767,72 | 2% |
| Líquido selador | R$ 23.501,92 | 1% |
| Lixa para parede | R$ 2.645,04 | 0% |
| Massa acrílica | R$ 22.004,65 | 1% |
| Tinta látex acrílica interior | R$ 13.621,62 | 1% |
| Líquido selador acrílico | R$ 6.753,06 | 0% |

| ITEM (cont.) | CUSTO TOTAL | |
|---|---|---|
| Gesso projetado (Empreiteiro) | R$ 351.419,77 | 20% |
| Tinta látex PVA interior | R$ 30.532,71 | 2% |
| Líquido selador | R$ 21.250,39 | 1% |
| Lixa para parede | R$ 2.391,64 | 0% |
| Massa acrílica | R$ 19.896,57 | 1% |
| Tinta látex acrílica interior | R$ 12.316,65 | 1% |
| Líquido selador acrílico | R$ 6.106,10 | 0% |
| | | |
| MÃO DE OBRA | R$ 1.729.979,76 | 100% |
| Pedreiro | R$ 493.008,77 | 28% |
| Armador | R$ 41.084,07 | 2% |
| Pintor | R$ 308.130,48 | 18% |
| Servente de pedreiro | R$ 312.543,22 | 18% |
| Servente de armador | R$ 24.041,79 | 1% |
| Servente de pintor | R$ 24.041,79 | 1% |
| Gesso projetado (Empreiteiro) | R$ 527.129,66 | 30% |

**TABELA 3** • Resumo final dos custos para execução da alvenaria estrutural (linha de estudo 2)

## *3.3 Análise comparativa*

Confrontando-se os resultados obtidos através da utilização da planilha de parametrização da Comunidade da Construção (linha de estudo 1) com o uso das composições de custos para serviços específicos (linha de estudo 2) fornecidas pelas obras estudadas, foram obtidos resultados relativamente próximos para o comparativo de custo e prazo dos sistemas de vedações verticais.

Analisando primeiramente os custos, a planilha de parametrização gerou um orçamento de R$ 26.013.032,59 para o sistema de alvenaria estrutural, enquanto a parede de concreto resultou em um custo de R$ 22.297.745,48 para o objeto de estudo deste trabalho. Isso representa uma variação de, aproximadamente, 14,3%; ou seja, a utilização da parede de concreto reduz este percentual no custo global do empreendimento em relação à utilização da alvenaria estrutural. Enquanto isso, a análise focada nas composições de custos específicas de ambos os sistemas gerou valores da ordem de R$ 3.488.837,09 para a alvenaria estrutural e de R$ 3.093.758,80 para a parede de concreto, representando uma variação de, aproximadamente, 11,32%.



Entretanto, quando são comparados os prazos resultantes utilizando-se as duas linhas de estudo, enquanto a planilha de parametrização gera um prazo de 29,2 meses para a execução do empreendimento com a alvenaria estrutural, e de 13,8 meses com a parede de concreto – resultando em uma variação de, aproximadamente, 52,7% –, a análise das composições de custos de serviços específicos gera um prazo de 8 meses para alvenaria estrutural, e de 4,5 meses para parede de concreto – resultando em uma variação de, aproximadamente, 43,75%.

Estes valores porcentuais obtidos indicam que a maior parte do ganho em custo e prazo do sistema de parede de concreto se dá quando todas as etapas do empreendimento são analisadas. É notável uma das principais vantagens da parede de concreto em relação à alvenaria estrutural: a maior velocidade de execução por conta da eliminação de alguns serviços. Além deste sistema estrutural já ser mais rápido na simples elevação crua da parede, neste momento a parede de concreto já está pronta para receber os revestimentos interno e externo, enquanto a alvenaria estrutural ainda necessita de taliscamento, além de camadas de regularização da superfície e do tempo de cura destas, para só depois receber o acabamento de pintura.

Observando-se os resultados, podem ser destacados alguns que merecem atenção. São eles: superestrutura (mão de obra); revestimentos interno e externo (material e mão de obra); despesas indiretas de canteiro/equipamentos.

Seguindo a linha de raciocínio já mencionada anteriormente, a vantagem da rapidez de execução resultante do sistema de parede de concreto implica diretamente nas diferenças de valores destes itens. No caso da obra estudada que utilizou este sistema construtivo, com o cenário propício a elevação de duas torres por vez devido à quantidade de jogos de fôrma de alumínio adquiridas, o prazo de execução do serviço consegue ser quase 2 vezes mais rápido que a alvenaria estrutural, levando-se em conta somente os serviços específicos estudados no item 3.2.

Por ser a montagem de fôrma um serviço mais simples do que a elevação de alvenaria estrutural, possuir etapas de execução mais bem definidas, possibilitar o efeito aprendizagem mais rapidamente, não exigindo alta especialização do operário, e permitindo que o ajudante auxilie o profissional mais do que no caso de outros sistemas construtivos, a velocidade de execução do serviço aumenta e os custos com a mão-de-obra se reduzem, tanto pela sua especialização como pelo menor tempo necessário de permanência da fôrma na obra.

Por conta disso, os treinamentos de mão de obra devem ser intensificados, e realizados sempre que necessário.

Os resultados ainda indicam um custo com mão de obra da estrutura maior para a parede de concreto do que para a alvenaria estrutural. Esta representação pode gerar um equívoco, haja vista que o custo deste insumo é maior para a alvenaria estrutural. Isso pode ser justificado pelo fato de a planilha de parametrização utilizada no item 3.1 estratificar os custos de execução das lajes pré-fabricadas para a alvenaria estrutural com os custos de mão de obra da estrutura, quando parte desses pertence a estes.

Devido ao fato de a fôrma de alumínio para parede de concreto poder garantir uma maior linearidade à vedação vertical, por conta do seu sistema de travamento e fixação, os gastos com regularização de superfícies para o acabamento são menores em relação à alvenaria estrutural, o que justifica a diferença de valores de revestimentos interno e externo. Este último ainda tem um peso maior por necessitar de tempo de cura para a massa única, e quando usado para o chapisco, afetando ainda o tempo de aluguel de equipamentos, como o balancim.

Devido ao tempo de execução da alvenaria estrutural ser consideravelmente maior que o  da parede de concreto, as despesas de fiscalização com os cabos de turma, encarregados e mestres, por exemplo, também aumentam. Este fator, juntamente com um tempo de ciclo de produção maior, gera um prazo de obra mais extenso, afetando diretamente as despesas indiretas do canteiro, como o tempo de aluguel de equipamentos, além de exigir uma maior logística e movimentação de materiais, justificando a discrepância nos resultados de despesas indiretas e equipamentos.

Comparando-se os sistemas, outros itens também foram discrepantes, porém ambos são naturais de cada um, como, por exemplo, os valores de concreto e aço que, obviamente, serão maiores para a parede de concreto, assim como os valores de blocos estruturais serão maiores para a alvenaria estrutural.

O peso dos insumos materiais e mão de obra é uma variação que também merece ser observada. Considerando o comparativo da linha de estudo 2, a parede de concreto possui uma divisão de seu custo em 64% para material e 36% para mão de obra, enquanto a alvenaria estrutural consiste em 50% para material e 50% para mão de obra.

Esses dados remetem a um aspecto que é constante quando se fala em industrialização da construção civil: diminuição do número de operários no campo. Os números encontrados demonstram que o sistema de vedação vertical parede de concreto possibilita uma diminuição de funcionários dentro do canteiro, pois possui menos serviços em sua linha de produção e um menor prazo de execução. Essa informação é importante, pois a possibilidade de interferências dentro do sistema construtivo é menor quando se depende mais do material do que da mão de obra.

Sendo assim, com os parâmetros adotados neste trabalho, o sistema estrutural parede de concreto em relação à alvenaria estrutural, em resumo, apresentou as seguintes vantagens: redução de custos; redução de prazo de execução de obra; redução das interferências; redução dos índices de perdas; racionalização do processo.

Variantes como oscilação de produtividade de mão de obra e erros de execução não foram levados em conta nesse estudo. Tendo isso em vista, torna-se necessário dizer que erros de execução na parede de concreto – tais como abertura de fôrma durante uma concretagem e inversão de posicionamento de placas, com consequentes erros de dimensões das paredes – podem impactar mais no custo deste sistema do que na alvenaria estrutural. Um erro de prumo de uma parede quando executada neste sistema pode ser reparado mais facilmente do que na parede de concreto, enquanto uma parede concretada com dimensão equivocada representa um erro difícil de ser reparado. Em contrapartida, por ser um sistema com processos mais racionalizados, a parede de concreto, quando conta com uma mão de obra bem treinada, reduz a ocorrência destes erros.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No momento em que a construção civil brasileira cresce significativamente, torna-se cada vez mais importante a presença efetiva da tecnologia nos processos construtivos, que, de certa forma, não acompanharam as inovações de outros setores das economias brasileira e mundial.

A parede de concreto é um sistema construtivo que, através de aperfeiçoamentos tecnológicos, otimizou o processo da construção civil, mas ainda não é muito difundido entre as empresas nacionais. O objetivo deste trabalho não é dizer se é a parede de concreto ou a alvenaria estrutural o melhor tipo de vedação vertical, mas, sim, realizar um estudo de caso de um empreendimento típico das construções atuais e comparar os seus custos e prazos.

É sempre importante mencionar que a concepção do sistema construtivo a ser adotado em um empreendimento depende das peculiaridades de cada um, e de um estudo de viabilidade.

A parede de concreto é uma ótima opção para empreendimentos verticais que necessitem de velocidade de execução. Além disso, torna-se viável quando há a pretensão de grande número de pavimentos e/ou obras repetidas, devido ao alto custo de aquisição da fôrma metálica e da dificuldade de modificação do layout da planta baixa do projeto. Geralmente, é utilizado em obras destinadas ao público de baixa renda e, por isso, é um importante aliado das construtoras em programas habitacionais do governo federal brasileiro. Quando se busca a construção de obras de menor porte, sem grandes repetições e com diferentes arranjos, a alvenaria estrutural pode passar a ser a melhor opção.

A partir desse estudo, fazem-se necessárias novas abordagens que otimizem a utilização de cada modelo construtivo, a fim de estabelecer construções mais racionalizadas e com menos interferências entre os seus serviços.



# REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Governo e entidades privadas debatem melhorias na construção civil**. Assessoria de Comunicação da ABDI, 2012. Disponível em: <http://www.brasilmaior.mdic.gov.br/noticia/index/institucional/id/1501>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2013.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Aplicativo de parametrização: Parede de Concreto, Alvenaria Estrutural e Estrutura Convencional.** Disponível em: <http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/2/indicadores/viabilidade/21/indicadores.html>. Acesso em: 10 de julho de 2013.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Sistemas Construtivos – Alvenaria Estrutural**. Disponível em: <http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/1/alvenaria-estrutural/>. Acesso em: 18 de março de 2013.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, CENTRO DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES. **Déficit habitacional no Brasil 2008**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação, Brasília, 2011.

IBGE. CD-ROM **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2008**. Rio de Janeiro, 2009.

LORDSLEEM JUNIOR, A. C.; FONTENELLE, E. C.; BARROS, M. M. B.; SABBATINI, F. H. **Estágio atual do uso de paredes maciças moldadas no local em São Paulo**. In: Congresso latino americano tecnologia e gestão na produção de edifícios - Soluções para o terceiro milênio. São Paulo. Anais. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Civil – PCC, 1998.

# MODELAGEM 4D APLICADA AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS

Douglas Malheiro de Brito [1]
Emerson de Andrade Marques Ferreira [2]

## *Resumo*

“Planejamento e controle são atividades essenciais para concluir um projeto dentro das especificações de qualidade, custo e prazo definidas. Isso é reforçado ainda mais em tempos de pouca disponibilidade de recursos, instabilidade do mercado e sob influência da incerteza e variabilidade a que cada processo se submete na construção civil. O desenvolvimento tecnológico aparece como um facilitador dessa dinâmica à medida que novas tecnologias como o BIM (Building Information Modeling) são lançadas. A Modelagem da Informação da Construção consegue reunir toda a informação necessária às diversas fases do ciclo de vida do empreendimento, incluindo o gerenciamento antes e durante a construção. Esse trabalho teve como objetivo principal aplicar a modelagem 4D ao planejamento e controle de um empreendimento em execução, o que possibilitou a simulação do processo construtivo e o acompanhamento do avanço físico. O modelo 4D proporcionou uma visão temporal e espacial conjunta do projeto, o que elevou, consideravelmente, o poder de visualização, compreensão e interpretação do cronograma pelos usuários, reduzindo falhas e problemas potenciais antes que acontecessem, tendo possibilitado um melhor acompanhamento e controle. Os resultados obtidos indicam ser útil o uso da modelagem 4D para planejar e controlar projetos e sugerem a necessidade da criação de mais elementos para melhor visualização dos serviços internos do modelo.”

***Palavras-chave*** » BIM; modelagem 4D; planejamento; controle; construção virtual.

[1] E-mail: *douglas_ssa@hotmail.com.*
[2] E-mail: *emerson@ufba.br.*

# 1 INTRODUÇÃO

A concepção adequada e o bom gerenciamento de um projeto são condições essenciais para a obtenção dos resultados desejados em termos de qualidade, custo e prazo. Os processos de planejamento tradicionais consistem em cronogramas, diagramas de rede e linhas de balanço, sendo os primeiros métodos os mais difundidos.

Com a complexidade de alguns projetos da construção civil, os cronogramas e diagramas de rede encontram fortes limitações com atividades muito interligadas ou mudanças nos caminhos críticos. Já a linha de balanço encontra dificuldades em atividades não repetitivas ou discretas, as quais costumam ocorrer em muitas obras, inviabilizando a produção do planejamento de todo o projeto até que essas atividades estejam bem sincronizadas com as demais (LIMMER, 1997).

Um dos grandes problemas que as empresas vêm enfrentando ultimamente é a dificuldade de visualizar corretamente o planejamento de uma obra no espaço, gerando cronogramas de interpretação abstrata (KOO; FISCHER, 1998). Essa limitação motivou a adoção da modelagem 4D, na qual o projeto 3D pode ser associado ao cronograma, gerando uma visualização espacial do planejamento ao longo do tempo de execução.

A visualização de uma obra em 4D apresenta uma visão mais real da sequência de construção, conectando, intimamente, aspectos temporais e espaciais. Além disso, o planejamento com o uso da tecnologia BIM possibilita análises sobre a melhor forma de realizar o empreendimento, simulando opções e as consequências dessas escolhas em todo o ciclo.

Outro desafio do processo de planejamento e controle é a detecção de possíveis interferências da produção com o entorno, o próprio canteiro de obras e demais atividades do cronograma. Hartmann *et al*. (2008) afirmam que modelos 4D podem melhorar a confiabilidade dos cronogramas definidos antes da execução, o que permite o aperfeiçoamento do desenvolvimento das atividades no canteiro.

A visualização do modelo 4D permite diminuir as diferenças de interpretação do cronograma, minimizando problemas de comunicação (KOO; FISCHER, 1998). Esse é outro item em que a modelagem 4D supera as técnicas tradicionais. A comunicação entre os níveis gerenciais e entre as partes interessadas (*stakeholders*) é mais objetiva e clara quando o planejamento é apresentado por meio de uma simulação gráfica, reduzindo as falhas



de comunicação causadas por diferentes níveis de conhecimento e pela análise mental do cronograma que o planejamento tradicional exige dos envolvidos.

O gerenciamento de obras com uso do BIM também tem função importante no período de execução do empreendimento, sendo uma ferramenta essencial para controle contínuo e replanejamento da proposta inicial quando necessário. Este trabalho tem como objetivo aplicar a modelagem 4D ao planejamento e controle de um empreendimento em execução, acompanhando os avanços da obra e o alinhamento entre o planejado e o executado.

# 2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O planejamento possui diversos conceitos devido à sua aplicabilidade em várias áreas. Podem-se destacar os conceitos de Ackoff (1976) "planejamento é algo que fazemos antes de agir, isto é, a tomada antecipada de decisão" e "planejamento é um processo que se destina a produzir um ou mais estados futuros desejados e que não deverão ocorrer, a menos que alguma coisa seja feita", corroborando a importância do planejamento como condição para se obter o resultado desejado. Além disso, o planejamento e o controle estão inseridos em um mesmo processo de maneira complementar.

O controle da produção é, para Limmer, (1997) conhecer e corrigir os desvios que venham a ocorrer em relação ao planejado e, ainda, avaliar a qualidade do que foi planejado e programado de maneira contínua. O controle e a análise de desempenho em projetos são necessários a fim de atingirem os objetivos dentro dos padrões definidos. O controle é a finalização do ciclo lógico de gerenciamento de um projeto, através da aferição do executado, comparando-o com o planejado, buscando determinar o avanço, detectar desvios e definir correções, em uma retroalimentação contínua do processo.

Mattos (2010) considera ainda que o processo de planejamento e controle tem forte impacto no desempenho da produção, já que deficiências nesse processo estão entre as causas mais importantes de baixas produtividades, elevados desperdícios e baixa qualidade dos produtos gerados. Para ele, o planejamento de uma obra não se resume à preparação do cronograma inicial, exige também o monitoramento do avanço das atividades e a averiguação do cumprimento do plano.

# 3 BIM (*BUILDING INFORMATION MODELING*)

A visão do *National Intituite of Building Sciences* (NIBS) sobre a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) a define como "um processo melhorado de planejar, projetar, construir, usar e manter uma instalação, nova ou velha, através de um modelo de informação normalizado que contém toda a informação apropriada, num formato que possa ser utilizado durante todo o seu ciclo de vida".

O BIM, também conhecido como Modelagem da Informação da Construção, compreende muitas das funções básicas para modelar todo o ciclo de vida de um projeto, fornecendo a base para uma nova forma de projetar e promovendo mudanças nos papéis e nas relações entre os envolvidos. Quando adotado corretamente facilita um processo de concepção e construção mais integrado, o que gera empreendimentos de maior qualidade a custos e durações menores (EASTMAN *et al*., 2011).

A Modelagem da Informação da Construção possibilita, entre outros aspectos, a inclusão de informações em projetos em 3D, relacionadas ao calendário das atividades, custos, características dos materiais e análise de interferências no projeto e entre projetos, contribuindo para a coordenação e o desenvolvimento integrado de projetos, para um melhor planejamento da execução e do canteiro de obras, e para uma operação e manutenção mais eficientes dos empreendimentos após a sua conclusão. Segundo Eastman *et al.* (2011), o BIM é mais do que um *software* ou produto; é uma atividade humana que implica uma nova forma de projetar, construir e gerenciar.

## *3.1. Modelo 4D*

*Eastman et al*. (2011) conceituam a modelagem 4D como a ligação entre o planejamento da construção com objetos 3D do projeto, possibilitando a simulação do processo construtivo que mostra como a edificação e o canteiro de obras estariam em qualquer ponto do tempo.

Koo e Fischer (1998) afirmam que os cronogramas tradicionais não fornecem quaisquer informações referentes ao contexto espacial e à complexidade dos componentes de um projeto, e constituem uma representação abstrata do cronograma, exigindo uma interpretação dos usuários que pode ser errônea em função do grande número de atividades e precedências.

No modelo 4D, os aspectos temporais e espaciais do projeto estão intimamente conectados, permitindo aos planejadores a visualização do processo de construção, maior compreensão do cronograma, e detecção de erros e problemas potenciais antes da execução (KOO; FISCHER, 1998). Os principais benefícios do modelo 4D estão em seu poder de análise, integração e visualização dos processos, conforme detalhamento no Quadro 1.

Ainda segundo Koo e Fischer (1998), a maioria dos gerentes de obras visualiza o plano do processo construtivo através das suas cabeças, a partir da própria experiência de campo, e encontra dificuldades em transmitir ou discutir as informações com colegas menos experientes. Com isso, torna-se difícil formar um consenso entre os envolvidos quanto ao método ideal de construção, e os problemas que os *softwares* tradicionais de gerenciamento não detectam são deixados sem solução até o momento da execução, o que faz com que as mudanças no cronograma durante a construção sejam comuns.

A capacidade de comunicar eficazmente informações de progresso e discrepâncias em relação ao planejado é considerada estratégica para a gestão de um projeto bem sucedido, permitindo a tomada de ações corretivas em tempo hábil. Golparvar-Fard *et al.* (2008) desenvolveram uma técnica de monitoramento do progresso a partir da visualização do modelo 4D sobreposto a fotografias do avanço real. A modelagem 4D permite que os envolvidos no projeto e os clientes compreendam as dificuldades espaciais, explorem alternativas, sem depender do nível de conhecimento e experiência prévia dos envolvidos.

O Modelo 4D deve ter a capacidade de importar e mesclar modelos criados em diversas ferramentas BIM em uma única ferramenta. Há possibilidade também de adicionar componentes temporários ao modelo, como andaimes, áreas de escavação e de armazenamento e guindastes; entretanto, alguns usuários ainda precisam criar esses componentes. O ideal é existir uma biblioteca que permita uma adição rápida desses componentes. Como o modelo de construção deve refletir o processo de construção, estruturas temporárias, como os andaimes, são importantes por que vão influenciar em restrições espaciais para pessoas e equipamentos, constituindo-se em um instrumento de avaliação da construtibilidade do plano (EASTMAN *et al*., 2011).

| FERRAMENTAS | | CRONOGRAMAS TRADICIONAIS | MODELOS 4D |
|---|---|---|---|
| Visualização | Visualização e interpretação da sequência planejada | Força os usuários a visualizar mentalmente | Elimina processo de interpretação |
| | Antecipação de conflitos espaço tempo durante a construção | Dificuldade de detectar apenas com o cronograma | Identifica potenciais conflitos |
| | Transmissão do impacto da mudança no cronograma | Dificuldade de detectar apenas com o cronograma | Mostra claramente o impacto |
| Integração | Formalização de informações de projeto e construção | Baseado em um processo de produção fragmentado | Facilita o compartilhamento de informações e a integração |
| | Promoção da integração entre os participantes do projeto | Não promove integração | Promove integração |
| Análise | Apoio em análises de custo e produtividade | Apoio em análises de custo e produtividade | Permite facilmente a detecção |
| | Antecipação de situações de risco | Antecipação de situações de risco | Permite facilmente a detecção |
| | Alocação de recursos e equipamentos no espaço | Alocação de recursos e equipamentos no espaço | Permite facilmente a alocação |
| | Simulações de execução | Simulações de execução | Permite a geração de cenários alternativos |

**QUADRO 1** • Ferramentas de Utilização do Modelo 4D (KOO; FISCHER, 1998)

### *3.2. Ferramentas de Análise e Representação*

Em trabalho apresentado por Song *et al*. (2012), um projeto pode ser acompanhado através da simulação 4D de várias formas. Eles sugerem ajustar algumas funções da simulação, como alterar a velocidade, pausar e voltar, para auxiliar na análise. Outro mecanismo desenvolvido para acompanhamento consiste na exibição de dois esquemas diferentes de simulação simultânea, lado a lado. Essa ferramenta permite que o usuário visualize, dentre outras possibilidades, dois métodos de construção ou o planejado contra o executado, escolhendo o método mais apropriado ou identificando as discrepâncias no cronograma.

Chang *et al*. (2009) e Chen *et al*. (2013) perceberam em suas pesquisas que os planejadores selecionam os esquemas de cores dos modelos com base em preferências pessoais. Durante a construção, o controle por meio de modelos 4D acontece por mudanças de cores para representar o avanço no tempo e, portanto, os usuários precisam lembrar de todas as cores e seus estados correspondentes para entender o processo, o que pode ser muito complicado de memorizar, causando erros de interpretação.

Em seus esquemas de cores, Chang *et al*. (2009) escolheram cores frias para atividades dentro do previsto devido à sensação de calma que causam na natureza, adequadas para condições de construção estáveis e seguras de prazo. Já as cores quentes representavam atrasos por serem vivas e capazes de despertar e estimular o espectador, atraindo a sua atenção para condições críticas, como as de atrasos. Ainda em seu trabalho, eles detectaram que cores com efeito de transparência confundem os usuários por se misturarem com cores de fundo do modelo.

Russell *et al*. (2009) acrescentam que os modelos 4D precisam de mecanismos para visualizar o progresso das atividades internas, ou seja, a capacidade de enxergar por dentro da estrutura. Esse é um tópico que não vem recebendo atenção significativa, mas é essencial para a visualização do avanço de um empreendimento. Um acesso visual restrito às atividades que acontecem no interior de uma edificação limitam a usabilidade do modelo 4D. Para combater essas dificuldades, alguns mecanismos foram propostos, como ocultar os níveis acima dos locais onde estão acontecendo atividades internas para facilitar a visualização, ajustar a transparência de alguns elementos para que se possa ver o interior do edifício e diferenciar cores para distinguir atividades.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

O presente trabalho tem caráter de estudo de caso por aprofundar-se em uma unidade, neste caso, a obra analisada, permitindo sua ampla e detalhada investigação. Para a realização da pesquisa foi selecionada uma obra em Imbassaí, pertencente ao município de Mata de São João, no litoral norte da Bahia. Visando conhecer o processo de planejamento e controle com uso da modelagem 4D e suas particularidades em relação às técnicas tradicionais, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema. O Quadro 2 apresenta a metodologia utilizada neste trabalho.

| OBJETIVO GERAL | APLICAÇÃO DA MODELAGEM 4D AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS | | |
|---|---|---|---|

| Objetivos Específicos | Metodologia | | |
|---|---|---|---|
| | Atividades | Ferramentas | Resultados |
| Conhecer o processo de planejamento e controle sob a ótica BIM | Revisão Bibliográfica | Livros técnicos, artigos nacionais e internacionais. | Perceber as diferenças entre as técnicas tradicionais e a modelagem 4D |
| Realizar simulações do planejamento e acompanhar o avanço físico com o Modelo 4D | Revisão do Planejamento | Software *Microsoft Project®* | Revisar e definir as atividades a serem modeladas no planejamento |
| | Construção do Modelo 4D | Softwares *Microsoft Project®*, *Revit®* e *Navisworks®* | Representação das atividades planejadas, podendo simular e acompanhar o cronograma |
| Avaliar a implantação do modelo 4D | Avaliar as aplicações da Modelagem 4D | Análise dos resultados obtidos, avaliação qualitativa com os envolvidos | Identificar as vantagens, limitações e potencialidades |

**QUADRO 2** • Metodologia do trabalho

Para o estudo de caso foram realizadas, inicialmente, uma revisão do planejamento do empreendimento e a integração com o projeto em 3D. Posteriormente, a coleta de dados e o acompanhamento do planejamento traçado para a obra se deram em visitas de campo quinzenais. Também foram realizadas reuniões com o gerente do empreendimento para apresentar e discutir o andamento da obra em relação ao planejado, para possíveis ajustes, quando necessário.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os *softwares Revit®* no projeto 3D e o *Navisworks®* para a realização do modelo 4D, o qual pôde ser desenvolvido através da integração do modelo 3D com o planejamento elaborado no *Microsoft Project®*.

# 5 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA MODELAGEM 4D AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS

Este capítulo tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento da pesquisa, incluindo a caracterização do empreendimento analisado, informações dos *softwares* utilizados, as etapas da modelagem 4D e a sua aplicação.



## *5.1. Empreendimento*

A escolha do empreendimento se deu em razão de a construtora ter iniciado a utilização da tecnologia BIM em seus projetos e ter demonstrado interesse na implantação de um sistema de planejamento e controle através da modelagem 4D para visualizar espacialmente a sequência construtiva e o plano de ataque, além de acompanhar o avanço físico do projeto e facilitar a comunicação com investidores. O empreendimento é um condomínio com 6 módulos residenciais de 2 pavimentos, constituindo-se em uma obra horizontal com 64 unidades, a qual a empresa planejou executar em 18 meses.

## *5.2. Etapas da Modelagem 4D*

O processo para desenvolvimento do modelo 4D, utilizado no estudo de caso, seguiu uma sequência envolvendo as seguintes atividades: revisão do planejamento inicial, exportação dos projetos 3D do *Revit®* e a importação deles no *Navisworks®*, importação do planejamento redefinido no *Microsoft Project®* e a associação das atividades do cronograma com os elementos do projeto no *Navisworks®*, conforme esquematizado na Figura 1.

Inicialmente, na revisão do planejamento, foram selecionadas as atividades que seriam representadas no modelo 4D. Em seguida, foram exportados os arquivos do projeto 3D do *Revit®* em formato NWC, os quais são menores que os arquivos originais, o que é ideal em grandes projetos por acelerar o processo, já que a utilização no formato tradicional RVT aumenta, consideravelmente, o tempo demandado na abertura e atualização do modelo.

Já no *Navisworks®*, os arquivos NWC foram importados e salvos no formato NWF para utilização no modelo, bem como o cronograma com as atividades, o nível de detalhamento, as durações e precedências definidas. Para a geração do modelo 4D foram vinculadas as atividades do cronograma com os sets (conjuntos de elementos do modelo), criados a partir de agrupamentos de

seleções baseados em critérios relacionados às tarefas.

Visando a automação do processo de associação dos sets com as atividades, optou-se por utilizar a mesma nomenclatura para ambos, de modo a possibilitar a utilização de regras de associação de nomes permitidas pelo *software*.

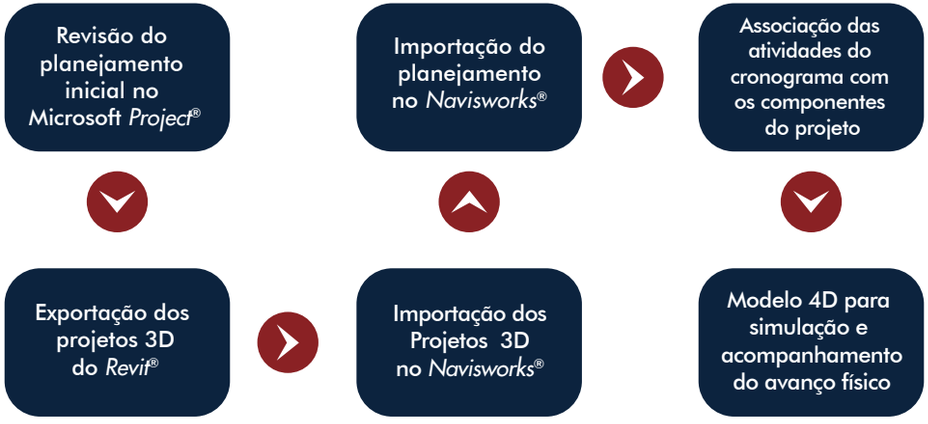



**FIGURA 1** • Etapas do desenvolvimento do modelo 4D

### *5.3. Modelo 4D para Análise do Planejamento*

Uma das utilizações da modelagem 4D realizadas nesse trabalho foi a visualização da simulação da construção, com sua aplicação ao planejamento da obra. O grande diferencial da modelagem 4D em relação às formas mais conhecidas de se planejar é, justamente, a possibilidade de visualização da estratégia do plano. Diferentemente dos cronogramas tradicionais, os quais indicam, por exemplo, em que pavimento e módulo uma equipe está trabalhando, o modelo 4D fornece também a dimensão espacial, o deslocamento das equipes e a localização dentro do contexto global, analisando os melhores sequenciamentos que combinem esses deslocamentos com o *layout* do canteiro.

A Figura 2 apresenta a simulação da execução da obra em certa data, representando as atividades que ocorrem em cada módulo, os elementos presentes do canteiro e sua posição, com os estoques de bloco, aço e tubos, as betoneiras, depósito, almoxarifado, guarita, escritório, refeitório e vestiário. Os elementos em azul demonstram as atividades que estão acontecendo, na data em questão, de acordo com o planejado. Optou-se por não usar efeitos de transparência para não confundir os usuários, e selecionou-se a cor azul para representar as atividades planejadas, por pertencer ela à escala de cores frias, conforme pesquisado na revisão bibliográfica.

Ainda nessa figura, há o predomínio de atividades que não ocorrem internamente, o que facilita a visualização, o contrário de quando estão acontecendo muitas atividades internas diferentes na obra, ou em um mesmo módulo. Nessa última situação, perceberam-se dificuldades nos usuários para diferenciá-las no modelo 4D.

A Figura 3 representa a execução simultânea dos serviços de assentamento de cerâmica interna e de fachada no Módulo 5, revestimento de argamassa externa no Módulo 6, madeiramento do telhado no Módulo 1, assentamento de cerâmica interna e pintura externa no Módulo 4. Pode-se observar a dificuldade encontrada para a visualização eficiente em virtude da utilização de apenas uma cor para representar todas as atividades, especialmente as internas, as quais, muitas vezes, são encobertas por outros elementos do modelo.

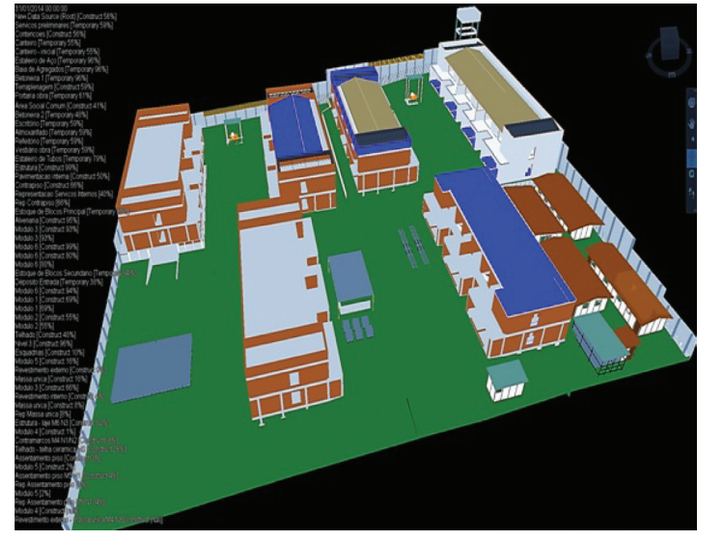


**FIGURA 2** • Simulação da execução da obra e vista do canteiro

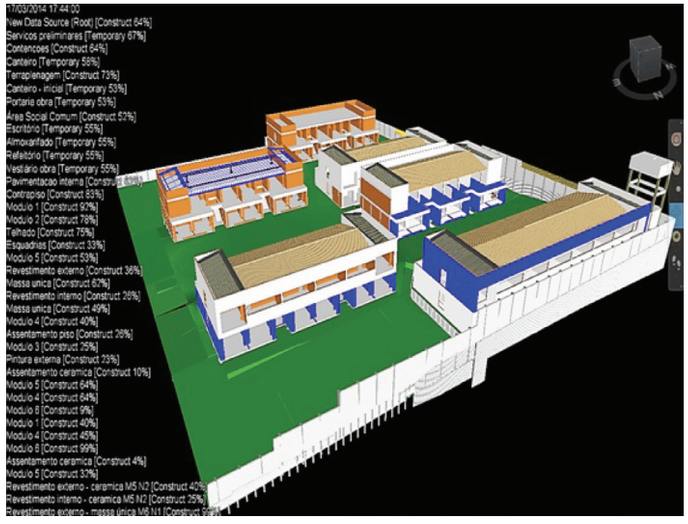



**FIGURA 3** • Dificuldades na visualização de muitas atividades simultaneamente

### *5.4. Representação das Atividades Internas com Cores*

A partir dos entraves encontrados na representação das atividades internas da maneira inicial, desenvolveu-se um modelo 4D utilizando cores definidas para representar cada tipo de atividade interna, com a exigência desta representação aparecer na fachada de cada módulo para facilitar a boa visualização, já que muitos elementos internos são encobertos por outros, externos.

Foi preciso buscar uma alternativa flexível para exibir, de maneira clara, as atividades internas e, ao mesmo tempo, não impedir a exibição normal das atividades externas. Para isso, foram criados elementos geométricos no *Revit*®, como faixas quase transparentes próximas a cada pavimento de cada módulo, com pequena altura, de modo que não atrapalhassem a visualização das fachadas. Esses elementos foram adicionados ao modelo 4D. Nesse trabalho, representamos sete atividades internas por meio dessa técnica com cores diferentes.

Para facilitar a visualização e o entendimento dos envolvidos com as cores escolhidas para cada tipo de atividade interna, optou-se por criar uma legenda de representação no formato de uma figura e abrí-la junto com a simulação, conforme a Figura 4. Na data selecionada, as seguintes atividades internas estão ocorrendo:



assentamento de azulejo no Módulo 3 (representado na cor cinza), assentamento de piso no Módulo 6 (amarelo), revestimento de argamassa no Módulo 2 (creme), forro no Módulo 5 (roxo); e as seguintes atividades de fachadas: assentamento de cerâmica no Módulo 3 e pintura no Módulo 6, representadas na cor azul, como no modelo inicial.

**FIGURA 4** • Simulação com as atividades internas representadas por cores

A representação, criada para diferenciar as atividades internas das demais, contribuiu para deixar os usuários com maior capacidade de interpretação das informações que surgiram ao longo do tempo. Essa percepção se tornou mais evidente nos períodos em que a obra possuía diversas atividades, externas e internas, acontecendo simultaneamente em vários módulos como na Figura 4.

### *5.5. Modelo 4D para Acompanhamento do Avanço Físico*

Outro objetivo estabelecido neste trabalho foi a aplicação da modelagem 4D para acompanhamento do avanço físico, transformando-a, assim, em uma ferramenta de controle importante para os construtores e gestores. Como a obra estudada

pôde ser acompanhada desde o seu início, durante cerca de nove meses, a comparação entre o planejado e o executado foi útil para verificar se o plano estava sendo cumprido de acordo com o estabelecido e contribuir para o replanejamento quando necessário.

O modelo possibilita a visualização das discrepâncias do executado em relação ao planejado por diferenciação de cores. Na Figura 5, a execução da platibanda no Módulo 1 encontra-se em atraso, e é representada na cor vermelha, selecionada para esse fim, enquanto as atividades de madeiramento no Módulo 4 e as vigas da estrutura no Módulo 2 aparecem na cor fria azul, indicando que acontecem conforme a data prevista.

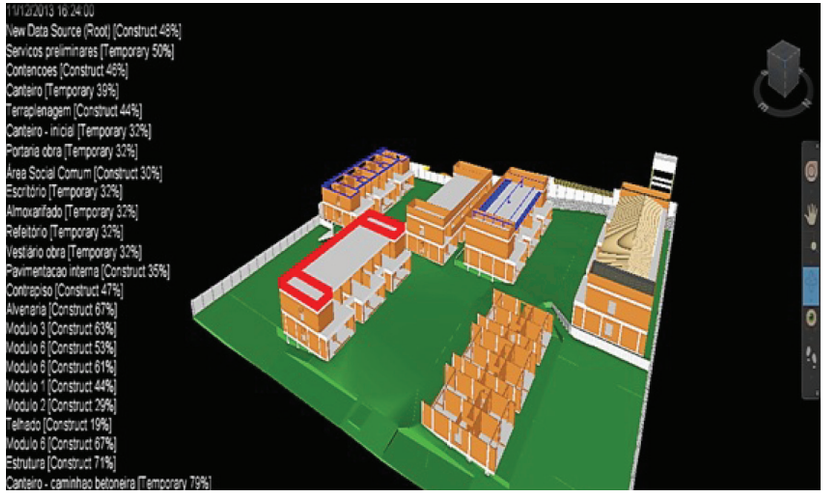



**FIGURA 5** • Acompanhamento do avanço físico com cores

No controle representado por diferenças de cores para indicação do avanço físico da obra foram notadas, mais uma vez, algumas dificuldades na análise de muitas atividades ao mesmo tempo em uma mesma tela. A partir dessa demanda, buscaram-se estratégias para visualizar o planejado x real lado a lado por duas telas. A solução encontrada foi abrir dois arquivos e dividir a tela ao meio verticalmente, configurando uma simulação para exibir o Planejado, e a outra, o Real, diferentemente da forma anterior de acompanhamento, na qual era selecionado o Planejado contra o Real em uma mesma tela.

Para o acompanhamento do avanço físico com duas telas não é possível a simulação de ambas as telas ao mesmo tempo, sendo realizado o acompanhamento por análises de datas específicas. Para isso, define-se cada tela para mostrar o empreendimento numa mesma data e, visualmente, por meio de duas imagens, o usuário identifica as discrepâncias entre o planejado e o real com mais precisão e tempo de análise para interpretar possíveis causas e gargalos.

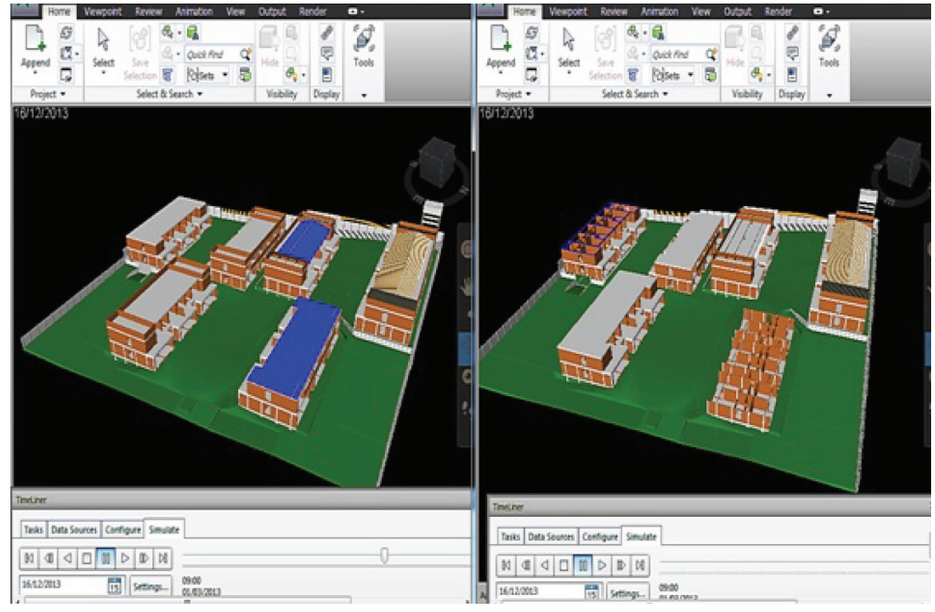



**FIGURA 6** • Acompanhamento do avanço físico por meio de duas telas

Na Figura 6, do lado esquerdo, têm-se o planejado e, do lado direito, o real, na mesma data. O usuário pode constatar que a colocação das telhas no Módulo 4 está atrasada, as lajes superiores dos Módulos 2 e 6 ainda não foram concretadas e as platibandas dos Módulos 3 e 1 não foram executadas como o planejamento inicial previa. O gestor pode ter essa informação sempre que quiser, de acordo com o intervalo de controle definido para atualização do planejamento, e realizar avaliações do impacto de alterações no avanço físico em datas futuras do projeto.

# 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi discutido, e tendo em vista o objetivo deste trabalho, de avaliar a aplicação do modelo 4D ao planejamento e controle de obras, foram identificadas algumas vantagens e potencialidades, dentre as quais podemos destacar:

- eliminação do esforço de visualizar e interpretar mentalmente o cronograma;
- capacidade de identificação de possíveis conflitos de espaço e tempo durante a construção, os quais reduzem a produtividade e causam interferências;
- transmissão do impacto de mudanças no cronograma com maior precisão;
- acompanhamento do avanço físico de maneira clara e visual;
- possibilidade de simular cenários alternativos de execução;
- apoio na alocação de equipamentos e recursos no espaço;
- facilidade na integração e comunicação entre os envolvidos.

É importante ressaltar que o grande benefício da modelagem 4D é a sua capacidade de considerar todos esses fatores em um único meio através da integração da informação lógica, temporal e espacial do projeto. Isto foi percebido durante o estudo de caso e a avaliação com o gerente da obra.

Com vista a melhorar a visualização em projetos complexos, com muitas atividades ou maior nível de detalhe, desenvolveram-se mecanismos para contornar a limitação da visualização interna, que geraram resultados positivos e mais eficiência nas análises. Entretanto, é essencial a automatização dessas ferramentas. O mesmo pôde ser estendido para o acompanhamento físico via duas telas lado a lado, o qual não era possível no *software* utilizado, e motivou a criação de uma solução alternativa.

A disseminação ainda baixa no Brasil da modelagem 4D a coloca como uma ferramenta em potencial para auxiliar o processo de planejamento e controle, combatendo algumas dificuldades das técnicas tradicionais. Acredita-se que, a curto e médio prazo, o competitivo mercado da construção civil assimile o paradigma BIM e suas aplicações no ciclo de vida dos empreendimentos.



# REFERÊNCIAS

ACKOFF, R. **Planejamento Empresarial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1976.

CHANG, H. S., KANG, S. C., CHEN, P. H. Systematic Procedure of Determining an Ideal Color Scheme on 4D Models. **Advanced Engineering Informatics**, v. 23, n. 4, p. 463-473, 2009.

CHEN, Y., TSAI, M., KANG, S., LIU, C. Selection and evaluation of color scheme for 4D construction models, **Journal of Information Technology in Construction**, v. 18, p. 1-19, 2013.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook**: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons, Inc. 2nd ed. New Jersey, 2011.

GOLPARVAR-FARD, M., PENA-MORA, F., ARBOLEDA, C. A. & LEE, S. Visualization of Construction Progress Monitoring with 4D Simulation Model Overlaid on Time-Lapsed Photographs. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 23, n.6, p. 391-404, 2009.

HARTMANN, T.; GAO, J.; FISCHER, M. Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, Washington, v. 143, n. 10, p. 776-785, Oct. 2008.

KOO, B.; FISCHER, M. **Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction**. Stanford: Center for Integrated Facility Engineering, 1998. Technical Report n. 118.

LIMMER, CARL V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1997, 225 p.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**, 1a ed. São Paulo: Editora Pini, 2010.

NIBS (2008) - United States National Building Information Modeling Standard, version 1 - Part 1: Overview, principles, and methodologies.

RUSSELL, A., STAUB-FRENCH, S., TRAN, N., WONG, W. Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 18, n.2, p. 219-236, Mar. 2009.

SONG, S., YANG, J.; KIM, N. Development of a BIM-based Structural Framework Optimization and Simulation System for Building Construction. **Computers in Industry**, v. 63, p. 895-912, 2012.



# DIRETRIZES PARA PROJETOS DE PRODUÇÃO DE IMPERMEABILIZAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES

Rodrigo Farias Russo [1]
Jardel Pereira Gonçalves [2]

## *Resumo*

“As falhas no processo de impermeabilização das edificações têm se mostrado recorrentes em estudos realizados na área. A redução do desempenho deste subsistema, os retrabalhos e desperdícios, aliados aos demais gastos com reparos de patologias oriundas desse processo geram prejuízos impactantes no orçamento dos empreendimentos onde ocorrem. Assim, a análise dessas falhas/erros do processo em conjunto com o estudo das atividades que envolvem a definição do sistema de impermeabilização podem resultar em sugestões de controle de operações condizentes com os conceitos da construção enxuta e industrialização da construção civil. Com o objetivo de criar diretrizes para um projeto de produção de impermeabilização, três canteiros de obras, onde estavam sendo executados sistemas de impermeabilização, foram utilizados como estudos de caso. Esses estudos de caso mostraram que os processos de impermeabilização ainda possuem deficiências oriundas da falta de conhecimento dos sistemas, falta de planejamento e controle das atividades e projeto, com informações insatisfatórias para execução. Para suprir essas deficiências, este trabalho propõe como ferramenta diretrizes e o desenvolvimento do projeto de produção para o sistema de impermeabilização. A partir dos resultados dos estudos de caso e da proposta do projeto de produção para o sistema de impermeabilização, acredita- se que as edificações podem ser executadas de forma mais eficiente, reduzindo-se os erros e falhas durante este processo.”

***Palavras-chave*** » edificações; impermeabilização; projeto de produção.

[1] E-mail: *fariasrusso@gmail.com.*
[2] E-mail: *jardelpg@gmail.com.*

# 1 INTRODUÇÃO

O subsistema de impermeabilização corresponde a uma pequena parcela do cronograma e do orçamento de uma obra. Quando planejada de forma adequada, seu custo não ultrapassa 2% do valor total do empreendimento, e seus serviços não costumam demorar mais de dois meses para serem executados, salvo em casos de obras que requeiram cuidados específicos quanto à estanqueidade das suas estruturas, ou de sistemas não convencionais de impermeabilização.

Segundo Santos (2013), estudos realizados sobre as patologias decorrentes de falhas no processo ou da falta de impermeabilização revelam que a instalação e os reparos de sistemas convencionais, como mantas asfálticas e argamassa polimérica, após o término da obra, podem gerar um acréscimo de até 12% do valor da obra, além de um grande desconforto ao usuário da edificação.

Fora da esfera econômica do empreendimento, um sistema adequado garante, em alguns aspectos, a integridade da estrutura e de outros sistemas da construção. Em alguns casos, a agressividade do ambiente, principalmente quanto à umidade e salinidade, eleva a necessidade desses sistemas evitando a deterioração precoce, como no caso de Salvador, cidade litorânea com zonas que detêm alguns dos maiores índices de salinidade do Brasil.

Além das patologias, outro aspecto que demanda atenção no estudo das impermeabilizações são as dificuldades encontradas durante a execução dos seus sistemas. Entre as principais dificuldades, nota-se a ausência de um projeto executivo adequado o sistema de impermeabilização e à obra. Em obras onde há algum tipo de projeto, os mesmos não possuem informações (detalhes) suficientes para o planejamento adequado das atividades, e deixam de analisar possíveis interferências de outros sistemas, como a estrutura, piso, revestimento vertical e instalações. Isso contribui para que a gerência da produção da edificação defina soluções técnicas muitas vezes sem a compatibilização adequada ao que foi projetado.

Sendo assim, torna-se de fundamental importância que sejam implementadas propostas de controle das atividades relacionadas à impermeabilização das construções. Modelos de produção industrial ou projetos adequados à produção específicos têm por objetivo otimizar esses processos, evitando falhas, economizando recursos e agregando qualidade ao produto final.

A fim de implementar os conceitos da construção enxuta, reduzir atividades que não agregam valor e minimizar a possibilidade de erros, o projeto de produção foi a ferramenta escolhida para elevar a qualidade da impermeabilização. Como será demostrado ao longo desse trabalho, essa ferramenta permite controlar cada atividade do processo através de conceitos adaptados do planejamento de operações industriais que, por terem uma padronização maior que na construção civil, tendem a diminuir os coeficientes de incerteza, gerando economia em todos os aspectos da impermeabilização.

Em outros subsistemas (alvenaria de vedação, revestimento vertical, etc), o projeto de produção se mostrou uma ferramenta de grande eficiência no controle da execução, com impactos positivos para a obra. O detalhamento do projeto executivo e a definição de estratégias de produção (passo a passo executivo ajustado ao fluxo de materiais até o produto final no canteiro) contribui com o planejamento das atividades e torna possível a aplicação dos princípios da construção enxuta. Dessa forma, se espera que, assim como na produção de alvenarias de vedação, por exemplo, a aplicação de um projeto de produção de impermeabilização resulte na racionalização dos processos, melhor controle da qualidade, e na geração de valor para os clientes internos e externos.

# 2 PROJETO DE PRODUÇÃO

Oliveira (2014) ressalta que os elevados índices de desperdício, retrabalhos e patologias na construção civil, fruto da falta de planejamento e dos processos ineficientes de operação, fazem da construção civil um campo promissor nos estudos sobre a produção limpa, uma vez que há ainda notáveis oportunidades de melhorias que podem aumentar a eficiência dos processos de um canteiro.

O projeto de produção tende a agregar aos conceitos da construção enxuta por levar ao campo não apenas soluções executivas, mas, também, o planejamento das atividades, que podem ser divididas em atividades que agregam valor (processamento) e atividades de fluxo (estoque, transporte e inspeção).

Segundo Melhado (1994) *apud* Oliveira (2014, p. 03), o projeto de produção é:

> ***"Um conjunto de elementos de projetos elaborados de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo, para utilização no âmbito das atividades de produção em obra, contendo as definições de disposição e sequência de atividades de obra e frentes de serviço, uso de equipamentos, arranjo e evolução do canteiro de obras, dentre outros recursos vinculados às características e recursos próprios da empresa construtora."***

A Figura 1 demostra a inserção do projeto de produção no processo integrado da construção civil. Verifica-se na Figura 1 que a ferramenta em questão está essencialmente inserida entre a concepção do projeto executivo e a produção, tendo como principal objetivo definir seus meios.

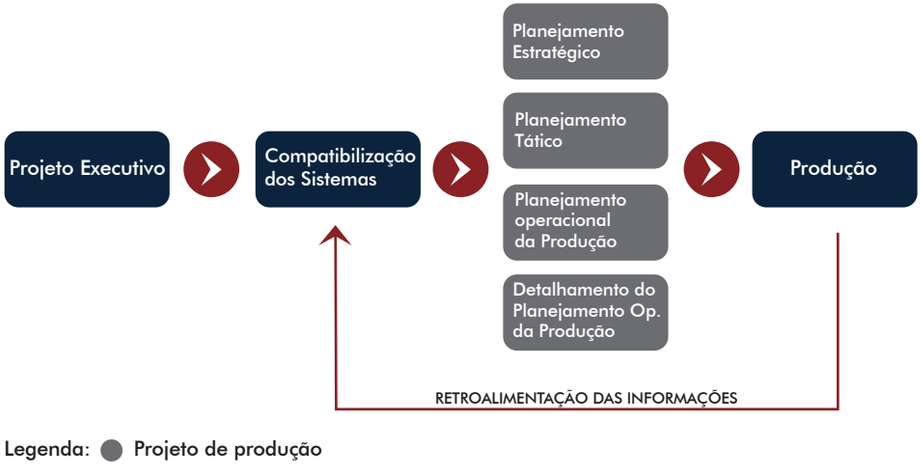



**FIGURA 1** • Fluxograma do projeto de produção

Segundo Chalita (2010), o projeto de produção é fruto do amadurecimento da construção civil, a partir do sucesso das técnicas adaptadas da linha de gerenciamento de processos industriais modernos oriundos do Sistema de Produção Toyota, onde o foco da gestão passou a ser o sistema de produção. Ainda conforme a autora, o projeto de produção tem como dados de entrada ("*inputs*") as informações referentes ao sistema de produção da empresa, se tornando específico para cada organização e requerendo uma



equipe interdisciplinar para a sua elaboração, sendo capaz de analisar todas as possíveis interferências das demais disciplinas naquela que é objeto do projeto, além de possíveis gargalos de produção. Essa demanda por dados referentes à eficiência dos processos de cada organização torna a gestão da informação fundamental para que a implantação de um projeto de produção possa amadurecer projetos futuros.

Analisando os objetivos da elaboração de um projeto para a produção de um subsistema de uma edificação, pode-se resumir um projeto de produção nas seguintes etapas:

**a)** Compatibilização de sistemas

**b)** Análise técnica do sistema

**c)** Quantificação de materiais e serviços

**d)** Planejamento estratégico das atividades

## *2.1 Vantagens do projeto de produção*

Como citado no início deste item, o projeto de produção foi uma ferramenta criada para atender atividades industriais, e tem se mostrado eficiente na construção civil, pois o seu nível de detalhamento, se comparado ao projeto executivo, catalisa o planejamento de cada atividade do processo estudado.

A aplicação de projetos de produção em outros sistemas tem sido determinante para o atendimento dos conceitos de produção enxuta, uma vez que suas interfaces são objetivas e de fácil entendimento, permitindo que a informação circule em todos os níveis da produção. Assim, as falhas e incertezas, ora intrínsecas ao processo, tendem a ser anuladas com o amadurecimento dessa ferramenta dentro de uma corporação.

A Figura 2 é o exemplo de um projeto de produção de alvenaria, em sua principal interface, a planta. Nela, notamos que as principais diferenças entre um projeto executivo e um projeto de produção são traduzidas pelo nível de detalhamento do segundo. Verifica-se que as informações são dispostas de maneira mais explícita e detalhada, evitando que os responsáveis pela operação adotem soluções que sejam incompatíveis com os requisitos do sistema ou dos demais.

Muito embora o projeto de produção tenha demostrado excelente desempenho em outros susbsistemas da construção civil como, por exemplo, em alvenarias e

fachadas, não foram encontradas referências sobre a aplicação dessa ferramenta na execução de impermeabilizações.

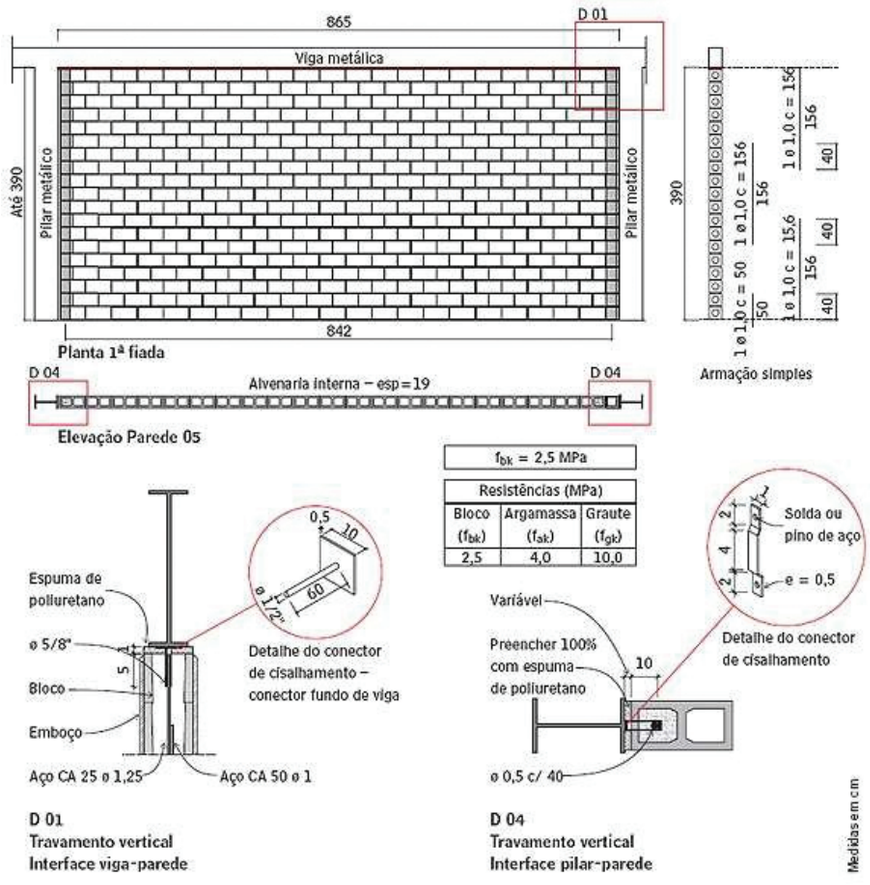



**FIGURA 2** • Projeto de Produção de Alvenaria (FONTE: Inovatec – Consultores Associados)

Na impermeabilização, o projeto de produção tem por objetivo elevar o nível da produção nos seguintes aspectos:

**a)** Logística e quantificação de materiais.

**b)** Dimensionamento de mão de obra.

**c)** Redução de interferências de projetos.

**d)** Padronização de detalhes técnicos.

**e)** Garantia de qualidade.



# 3 PATOLOGIAS DOS PROCESSOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

As patologias mais recorrentes nos processos de impermeabilização são decorrentes de falhas em detalhes construtivos executados em desacordo com a norma NBR 9574 (2008). O descumprimento das recomendações dessa norma pode acarretar avarias no sistema adotado, ou até mesmo da estrutura, trazendo ao usuário não só desconfortos, como também danos à integridade da estrutura devido à sua exposição a fluidos indesejáveis.

Lima (2010) destaca em seu trabalho que o projeto de produção sofre forte dependência do detalhamento de outros sistemas. As interferências de outros projetos, principalmente os de instalações, alvenarias e estruturas, costumam ocasionar a maior parte das patologias do processo de impermeabilização.

Algumas das interferências levantadas por Lima (2012) são recorrentes do processo e devem ser previamente analisadas, adotando-se soluções adequadas que atendam às necessidades dos sistemas envolvidos, tanto no caráter técnico quanto no construtivo. Dentre essas interferências, destacam-se as de maior incidência:

**a)** Falta de rebaixo entre lajes internas e externas, atrapalhando a implantação de certos sistemas e impedindo grandes caimentos.

**b)** Localização de juntas estruturais em piscinas ou locais de difícil acesso, o que aumenta a ocorrência de falhas na sua estanqueidade.

**c)** Restrição do posicionamento e número de ralos pela escolha dos sistemas estruturais.

**d)** Ângulos muito pequenos entre as faces impermeabilizadas, dificultando, ou até mesmo impedindo, a instalação da maioria dos sistemas.

**e)** Tubulações passantes próximas às superfícies impermeabilizadas, tornando o acabamento nesses pontos vulnerável.

**f)** Coletores de água dimensionados com diâmetros inferiores a 75 mm podem resultar no estrangulamento da sua boca quando impermeabilizados com manta asfáltica.

**g)** Posicionamento dos conduítes nas caixas de passagem e pontos elétricos, o que possibilita a entrada de água pelos conduítes.

**h)** Embutimento da impermeabilização em alvenarias de áreas molhadas, aumentando a espessura do revestimento.

O estudo dessas interferências tem por objetivo nortear o detalhamento do projeto

de produção, criando diretrizes de orientação para que os sistemas sejam executados de maneira adequada.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver diretrizes para a elaboração de projetos de produção do subsistema impermeabilização levando em consideração a satisfação dos clientes externos e internos, e a redução das patologias durante sua execução.

## 4 ESTUDOS DE CASO

Com o intuito de traçar o perfil das atividades associadas ao processo da impermeabilização no atual cenário da construção civil, foram realizadas visitas a três canteiros de obra em Salvador. As visitas tiveram o objetivo de avaliar os processos de execução dos serviços ligados às impermeabilizações, ratificando a alta incidência de determinadas patologias e verificando em qual etapa do processo de produção estas ocorrem. Foi averiguado que, durante a preparação do substrato, atividade executada pelas próprias construtoras, há um déficit de qualificação dos profissionais e de informações sobre as recomendações técnicas, resultando na ocorrência da maior parte das falhas, principalmente quando executados detalhamentos específicos.

Falhas nos processos logísticos e os consequentes desperdícios de materiais, como mantas e asfalto, foram detectadas, com grande responsabilidade por parte da empresa responsável pela execução, uma vez que ao requisitar os insumos do processo, ela os superdimensiona, e suas sobras não são reaproveitadas, nem armazenadas de maneira adequada.

Outra grande deficiência do processo foi averiguada durante a definição dos sistemas de impermeabilização e especificações dos materiais. Na presença das três envolvidas no processo (terceirizada que executa a impermeabilização, fabricante dos materiais e construtora) nota-se um conflito de interesses, onde a construtora, por falta de orientações (projetos) tende a apenas mediar as recomendações das demais partes, que podem ser parciais em certos aspectos, visando valorizar seus produtos. Daí, verifica-se que há necessidade de maior responsabilidade por parte do construtor nas definições dos sistemas.

Embora as obras fossem de três construtoras diferentes, tratavam-se, todas elas, de edifícios residenciais, e as áreas impermeabilizadas e os métodos escolhidos também



seguiam um padrão. O estabelecimento dessas semelhanças foi de suma importância para que as diretrizes do projeto de produção fossem elaboradas buscando a aplicabilidade e eficiência dessa ferramenta. Abaixo, são listados os principais aspectos dos processos relacionados à impermeabilização, detectados durante os estudos de caso:

**a)** Os sistemas utilizados (mantas asfálticas e argamassa polimérica).

**b)** Áreas impermeabilizadas (jardins, reservatórios, lajes descobertas e piscinas).

**c)** A preparação do substrato era sempre realizada pela construtora.

**d)** A execução da impermeabilização era sempre realizada por terceirizados.

**e)** Não havia qualquer tipo de projeto de impermeabilização.

**f)** Grandes evidências de retrabalhos na preparação do substrato (Figura 4.1).

**g)** Dificuldades de logística de material.

**h)** Ausência de controle de qualidade e indicadores de produção.

**FIGURA 3** • Ratificação do substrato

## 5 DIRETRIZES DO PROJETO DE PRODUÇÃO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Uma vez levantados os dados necessários, torna-se possível a elaboração das diretrizes em função dos estudos feitos sobre o projeto de produção. O objetivo dessas diretrizes é orientar a elaboração de um projeto de produção que contemple todo o processo da impermeabilização. Dessa forma, espera-se a redução das principais falhas encontradas durante o planejamento e operação das atividades dessa macro.

## 5.1 Fluxograma do projeto de produção de impermeabilização

O fluxograma da Figura 4 insere as diretrizes de um projeto de produção de impermeabilização nas atividades de gestão e execução.

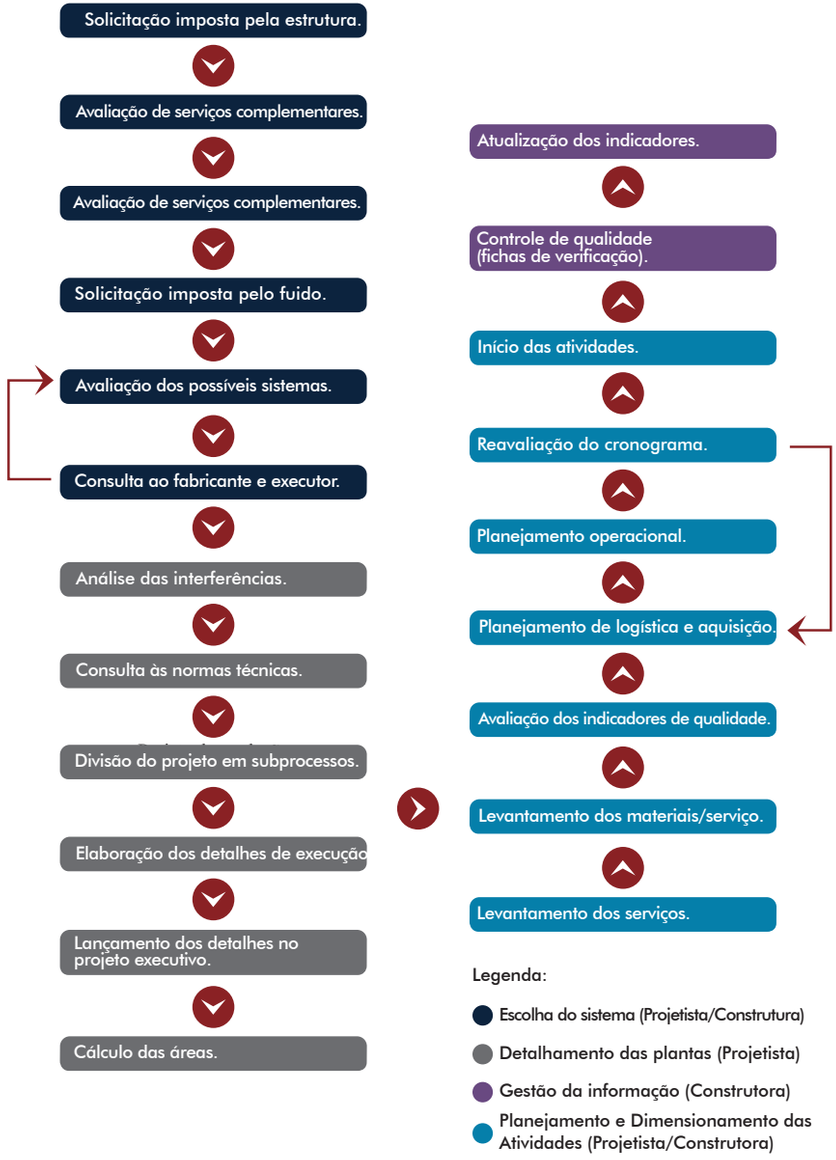



**FIGURA 4** • Fluxograma do projeto de produção



## 5.2 Maior participação da construtora na escolha do sistema

Para que sejam recolhidas as informações necessárias, a construtora deve classificar os sistemas que atenderão às condições do empreendimento. Recorrendo à NBR 9575:2003, as seguintes informações devem ser reunidas.

**a)** A estrutura está sujeita a fissuras, grandes dilatações, ou requer flexibilidade do sistema?

**b)** Quais serviços complementares são necessários? (Tratamento de juntas, proteção mecânica, etc.).

**c)** Qual a solicitação imposta pelo fluido? (Água de percolação, água de condensação, umidade do solo ou imposta sob pressão).

Contudo, a referida norma propõe os métodos que podem ser utilizados em cada combinação de respostas das três perguntas acima. Com essas informações, o fabricante e a empresa terceirizada devem ser consultados a fim de pontuar as limitações de cada método, respeitando a experiência desses profissionais, por serem especializados na área.

## 5.3 Análise de interferência de outros projetos

No item 3 foram listadas as principais interferências encontradas por Lima (2012). Além da avaliação da possibilidade de modificações nos demais sistemas, algumas dessas interferências possuem soluções que se tornam práticas e eficientes, desde que planejadas com antecedência.

A Tabela 1 sugere soluções para cada interferência. Dessa forma, durante o planejamento das atividades e detalhamento da execução, essas informações já devem estar disponibilizadas para que o serviço seja executado de forma adequada.

Além das soluções indicadas, é coerente que outras soluções tomadas sejam cadastradas da mesma forma, para que esse *check-list* possa se tornar cada vez mais completo.

Para o cadastramento dessas interferências, é necessário sobrepor, principalmente ao projeto executivo de impermeabilização, as plantas dos projetos arquitetônicos, de instalações e estrutural.

| FORMA DE INTERFERÊNCIA | SOLUÇÃO SUGERIDA |
|---|---|
| a) Falta de rebaixo entre lajes internas e externas, atrapalhando a implantação de certos sistemas e impedindo grandes caimentos. | Primeiramente, deve ser avaliado se há condições de criar uma diferença de cotas entre as lajes durante a execução da própria estrutura. Caso contrário, a criação de ralos pode atenuar o problema. |
| b) Localização de juntas estruturais em piscinas ou locais de difícil acesso, o que aumenta a ocorrência de falhas na sua estanqueidade. | Caso não sejam encontradas soluções no projeto arquitetônico ou estrutural, deve-se avaliar se há a possibilidade de impermeabilizar a junta enquanto o acesso a ela não esteja prejudicado pelo resto da estrutura. |
| a) Restrição do posicionamento e número de ralos pela escolha dos sistemas estruturais. | Neste caso a cota entre as áreas que serão impermeabilizadas e as que não serão devem ter diferença suficiente para que o caimento do substrato seja feito da maneira adequada. |
| d) Ângulos muito pequenos entre as faces impermeabilizadas, dificultando, ou até mesmo impedindo, a instalação da maioria dos sistemas. | Esta incompatibilidade só pode ser solucionada com a alteração do projeto ou adoção de um sistema de impermeabilização compatível, como o jato cristalizante, por exemplo. |
| e) Tubulações passantes próximas às superfícies impermeabilizadas, tornando vulnerável o acabamento nesses pontos. | A distância mínima aconselhável para a passagem de tubulações é de 10 cm da superfície impermeabilizada. |
| f) Coletores de água dimensionados com diâmetros inferiores a 75 mm podem resultar no estrangulamento da sua boca quando impermeabilizados com manta asfáltica. | Substituição da boca dos coletores por tubulações maiores, podendo ser reduzidos novamente após 20 cm da superfície impermeabilizada. |
| g) Posicionamento dos conduítes nas caixas de passagem e pontos elétricos, o que possibilita a entrada de água pelos conduítes. | Em paredes impermeabilizadas, os conduítes devem ser fixados nas laterais ou, preferencialmente, na parte de cima das caixas. |
| h) Embutimento da impermeabilização em alvenarias de áreas molhadas, aumentando a espessura do revestimento. | Diminuição da espessura dos blocos de alvenaria nas primeiras fiadas. |

**TABELA 1** • Soluções de Interferências

## *5.4 Estudo das particularidades do sistema*

O objetivo dessa etapa é levantar todas as atividades que serão executadas durante o processo estudado. Detalhamentos das soluções e de atendimento às normas devem ser incorporados às plantas para que a informação chegue ao campo de forma clara e objetiva.

Para melhor organização, sugere-se que as seguintes condicionantes sejam levantadas, evitando que falte alguma informação necessária ao planejamento das atividades.

**a)** Condicionantes técnicas (vide NBR 9574:2008).

**b)** Condicionantes de segurança.

**c)** Condicionantes operacionais (limitação do canteiro, limitação de mão de obra, transporte de material, etc.).

**d)** Condicionantes de aquisição de materiais (estoque, lead time e validade).



## *5.5 Detalhamento do projeto de produção*

Por fim, o detalhamento do projeto de produção reúne as principais informações avaliadas com o auxilio das demais diretrizes. Dessa forma, este tópico resulta na principal saída do projeto de produção, a interface mais útil e representativa.

O conteúdo das pranchas deve ser separado por área e serviço, a fim de evitar a poluição visual das plantas e facilitar o entendimento da situação. Para exemplificar essa etapa, uma planta baixa da varanda de um edifício residencial será a base do projeto de produção de impermeabilização. É aconselhável ainda que seja elaborada uma planta para cada etapa da impermeabilização (aplicação do substrato e aplicação de manta, no exemplo escolhido).

As informações que devem estar contidas nessa interface são:

**a)** Identificação da área.

**b)** Detalhes técnicos.

**c)** Tabelas de áreas.

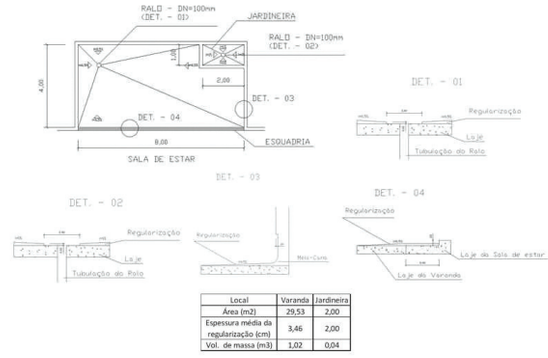
**d)** Consumo de materiais.

**e)** Caimentos.

**f)** Paginação de mantas.

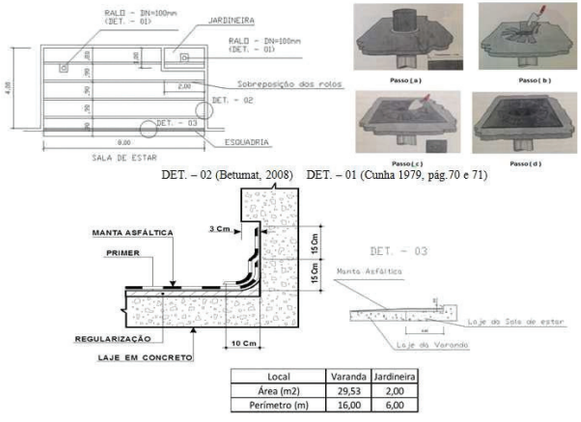
**g)** Cortes verticais.

As Figuras 5 e 6 são o resultado da elaboração desse projeto. Verifica-se no projeto de produção que há um nível de detalhamento maior do que em um processo executivo, desmembrando as etapas e expondo informações que orientam as atividades de impermeabilização, evitando as principais falhas e gargalos da produção.




| Local | Varanda | Jardineira |
|---|---|---|
| Área (m2) | 29,53 | 2,00 |
| Espessura média da regularização (cm) | 3,46 | 2,00 |
| Vol. de massa (m3) | 1,02 | 0,04 |

**FIGURA 5** • Projeto de Produção de Impermeabilização (Regularização do Substrato)




| Local | Varanda | Jardineira |
|---|---|---|
| Área (m2) | 29,53 | 2,00 |
| Perímetro (m) | 16,00 | 6,00 |

**FIGURA 6** • Projeto de Produção de Impermeabilização (Aplicação de Manta Asfáltica)

## *5.6 Planejamento e dimensionamento das atividades e materiais*

Esta etapa é a síntese das citadas anteriormente, e suas saídas são as principais diferenças entre o projeto de produção e o projeto executivo. Para que o projeto de produção seja aplicado, devem ser elaborados os seguintes documentos:

**a) Fluxograma de operações:** Sugere-se que nesse documento sejam associadas às atividades, em ordem cronológica, as seguintes informações:

- DURAÇÃO
- RECURSOS.
- ATIVIDADES PREDECESSORAS



**b) Quadro de áreas:** Cada área deve ser identificada e levantada separadamente. O quadro também deve associar a cada área os materiais que serão utilizados e o seu consumo, a fim de auxiliar o processo de aquisição e logística dos materiais.

**c) Plano de aquisição de materiais:** De acordo com as limitações de estoque e validade dos materiais, é aconselhável que seja montado um plano de aquisição que acompanhe o ritmo das atividades.

## *5.7 Controle de eficiência das atividades*

A criação de indicadores de produção é a principal ferramenta utilizada para que a gestão da informação seja eficaz. Os indicadores do processo devem ser capazes de fornecer dados detalhados de cada atividade. Indicadores muito abrangentes podem gerar dúvidas quanto ao ponto onde estão ocorrendo as falhas.

Por isso, os indicadores serão divididos em etapas do processo de produção.

### 5.7.1 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO

Nesta etapa, objetiva-se o cadastro das principais falhas encontradas durante o processo de pesquisa. Os indicadores listados a seguir serão fonte de um levantamento das não conformidades, para que a construtora tome os devidos cuidados em operações futuras, se prevenindo, principalmente, de retrabalhos.

**a)** Existência de diferença de cota suficiente para a execução do caimento adequado.

**b)** Cumprimento das recomendações da NBR 9574:2008 (arredondamento de cantos vivos, rebaixo ao redor dos ralos, chumbamento de tubulações passantes, etc.).

**c)** Produtividade do processo e consumo de materiais.

### 5.7.2 EXECUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO

Conforme notado nos estudos de caso, nessa etapa os serviços são comumente executados por empresas terceirizadas, daí a fundamental importância do controle do consumo de materiais e possíveis interferências a outros sistemas.

**a)** Produtividade do processo e consumo de materiais.

**b)** Resultado do teste de estanqueidade

**c)** Cumprimento das recomendações da NBR 9574:2008 (reforço dos ralos, reforço de áreas verticais com tela, reforço de tubulações passantes, etc.).

**d)** Qualidade final da proteção mecânica.

**e)** Danos às atividades subsequentes.

### *5.8 Eficiência na gestão da informação e controle de qualidade*

O início de todo o processo de um projeto de produção depende da inserção de dados específicos de cada empresa. Embora os indicadores do item 5.7 se apliquem ao controle do processo da impermeabilização, seus resultados são fruto dos sistemas de produção adotados pelas construtoras.

Para o amadurecimento desses sistemas, a empresa deve atualizar seus indicadores à medida que suas atividades são executadas. Assim, as falhas do processo podem ser identificadas e corrigidas sem que essas informações se percam com a saída dos funcionários envolvidos no processo do controle.

Como ferramenta para a gestão da informação e controle de qualidade, este trabalho sugere a aplicação de fichas de verificação de serviço para as atividades de preparação do substrato e execução de impermeabilização.

No controle da preparação do substrato, o foco é o cadastramento dos erros mais comuns, bem como o consumo da mão de obra, uma vez que, geralmente, essa é uma atividade de responsabilidade da construtora, e o consumo de material pode ser facilmente distorcido pela utilização do mesmo insumo em outras atividades.

Já o controle da execução da impermeabilização visa o consumo dos materiais específicos da atividade (mantas, telas, asfalto e, etc.) e a certificação da qualidade dos serviços, uma vez que o dimensionamento da equipe é de responsabilidade do empreiteiro, e cabe à empresa construtora apenas exigir que os prazos acordados sejam cumpridos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados encontrados verifica-se uma série de deficiências nos processos relacionados à impermeabilização que não condizem com os principais conceitos da industrialização da construção civil. Para que o mercado esteja preparado para absorver as tecnologias mais inovadoras, é preciso que ele identifique suas principais falhas e as corrija, podendo, assim, potencializar seus benefícios sem que a ausência de planejamento das atividades mascarem os indicadores de eficiência.

A elaboração de um projeto de produção apresenta-se como uma valiosa ferramenta para auxiliar o amadurecimento desses processos, por contemplar medidas que visam reduzir as patologias, prever as interferências planejar detalhadamente cada atividade e deixar a construção mais enxuta.

As diretrizes estabelecidas podem auxiliar os profissionais (construtores, terceirizadas e fabricantes) no planejamento e execução da produção associada ao subsistema impermeabilização. Para obras mais específicas pode-se gerar algumas adequações do fluxograma, a fim de agregar mais valor ao processo.

Novos trabalhos devem ser realizados visando a implementar a diretriz e associá-la a indicadores para avaliar a eficiência dos processos com menor interferência das patologias e/ou retroalimentar o modelo apresentado.

# REFERÊNCIAS


A *Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Third Edition ed. [S.l.]: Project Management Institute. ISBN 1-930699-45-X.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574** – Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR** 9575 – Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2008.

CHALITA, Ana Cristina Gatai. **Influências do projeto de produção e do projeto de canteiro no sistema logístico da construção de edifícios**. Escola Politécnica – USP – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

**Etapas do projeto de edificação**. Disponível em: <http://www.projeto.inf.br/index.php/qualidade-no-projeto/etapas-do-projeto-de- edificacoes>. Acesso em 22 dez. 2013.

LIMA, Jorge Luiz de Aquino. **Processo integrado de projeto, aquisição e execução de sistemas de impermeabilização em edifícios residenciais: Diagnótico e proposição de melhorias de gestão**. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador. 2012.

**Manifestações patológicas na impermeabilização de estruturas de concreto em saneamento**. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=703>. Acesso em 27 dez. 2013.

OLIVEIRA, Otávio José de. **Influências do projeto de produção e do projeto de canteiro no sistema logístico da construção de edifícios**. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/sap/workshop/anais/INFLUENCIAS_DO_PROJETO_D E_PRODUCAO_NO_SIST_LOGISTICO.pdf>, Acesso em 09 jan. 2014.

SANTOS, Altair. **Combate às patologias começa na impermeabilização**. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/combate-as-patologias-comeca-na-impermeabilizacao/>. Acesso em 27 dez. 2013.

# PERDAS POR IMPROVISAÇÃO EM OBRAS E SUA RELAÇÃO COM O PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO

Camila de Oliveira Veloso [1]
Iamara Rossi Bulhões [2]

## *Resumo*

“A falta de planejamento pode ser considerada uma das causas principais para a ocorrência de perdas na construção, sendo então importante o desenvolvimento de trabalhos que venham a melhorar o desempenho deste processo. Com base nas inovações gerenciais propostas pela Lean Construction, a ferramenta Last Planner auxilia a minimizar a incidência de perdas, através de um sistema de controle da produção. Além das sete categorias de perdas já existentes, as perdas por *making-do* sugerem uma oitava nova categoria relacionada a perdas devido a atividades iniciadas sem todos os pré-requisitos necessários. O trabalho busca identificar perdas por improvisações em canteiro de obras, através de um método já proposto, e relacionar a ocorrência de tais perdas com possíveis falhas no processo de planejamento e controle da produção. Este trabalho utiliza a estratégia de pesquisa de estudo de caso contendo as seguintes etapas: (a) revisão bibliográfica, (b) diagnóstico do sistema de planejamento adotado na obra, (c) identificação das perdas por improvisação em campo, (d) análise e classificação das perdas por improvisação identificadas. Como resultado, foi constatado que algumas categorias de perdas, como as de material, podem ser geradas a partir de improvisações em canteiro, trazendo outras consequências, como diminuição da produtividade e redução da segurança.”

***Palavras-chave*** » *making-do*, improvisação, perdas, *last planner*.

[1] E-mail: *mila.velloso@hotmail.com*.
[2] E-mail: *ibulhoes@yahoo.com.br*.

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, no Brasil, vem passando por importantes transformações e mudanças ao longo dos últimos anos, que consistem em um processo de crescimento e de aprimoramento das técnicas e conhecimentos científicos, através de estudos e pesquisas nas áreas de gestão e tecnologia da construção (ISATTO, 2000; BERNARDES, 2001). Tais mudanças vêm sendo impulsionadas pela expansão da economia e o desenvolvimento do país (ISATTO, 2000). Apesar de todo esse crescimento ainda existem discussões quanto à baixa produtividade, elevadas perdas, falhas de qualidade e condições inadequadas de trabalho (BERNARDES, 2001). Scheer *et al*. (2007) apontam que os métodos construtivos adotados no setor da construção civil ainda são mal concebidos, e a mão de obra é insuficientemente treinada e habilitada.

De acordo com Koskela (1992), a indústria da manufatura tem sido um ponto de referência e uma fonte de inovações para a construção por muitas décadas. O autor declara também que ideias básicas, originadas no Sistema Toyota de Produção, como eliminação de estoques e outras perdas através da produção em pequenos lotes, redução do tempo de ciclo, máquinas semiautônomas e outras técnicas, vêm sendo estudadas e desenvolvidas com o intuito de serem aplicadas setor da construção civil.

Os conceitos de gestão da produção, inicialmente desenvolvidos para outras indústrias, vêm sendo adaptados às peculiaridades do setor da construção civil (SOMMER, 2010). No Brasil, muitas empresas do setor voltaram-se ao desenvolvimento de Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ), com o objetivo de alcançar um maior nível de controle sobre seus processos produtivos, e também com o objetivo final de obter certificação segundo as normas da série ISO9001 (ISATTO *et al*., 2000). Em contrapartida, para o autor, apesar de o SGQ ter trazido diversas melhorias para o setor, a filosofia atende apenas de forma parcial às necessidades das empresas, na medida em que os seus conceitos, princípios e ferramentas não contemplam, com a devida profundidade, questões relacionadas à eficiência e eficácia do sistema de produção.

Devido às dificuldades reveladas acima surgem necessidades de melhorias no sistema de planejamento e controle da produção (PCP), sistema esse que possui um papel fundamental, já que diversos estudos realizados no Brasil e no exterior indicam que a maioria dos problemas que resultam em baixos patamares de eficiência e qualidade no setor têm origem em problemas gerenciais (ISATTO *et al*., 2000).

Dentre as filosofias que buscam melhorias de desempenho para o processo de PCP, destaca-se o Sistema Last Planner de Controle da Produção, desenvolvido por Ballard e Howell (1998), o qual é fortemente baseado em conceitos e princípios frequentemente associados à produção enxuta ou ao Sistema Toyota de Produção (BERNARDES, 2001; BORTOLAZZA, 2006; MOURA, 2008, *apud* SOMMER, 2010). Essa filosofia foi desenvolvida buscando introduzir um sistema de proteção da produção (*shielding production*) para a redução da variabilidade no curto prazo, e a análise sistemática de restrições, que contribui para melhorar a confiabilidade dos fluxos de trabalho (BALLARD, 2000).

Diversos autores têm apostado que a falta de planejamento pode ser considerada uma das causas principais para a ocorrência de perdas na construção, sendo então importante o desenvolvimento de trabalhos que venham a melhorar o desempenho deste processo (SOILBELMAN, 1993; AGOPYAN *et al*., XXXX; BULHOES, 2001). Assim, uma possível forma de auxiliar as empresas a minimizar a incidência de perdas na produção é através do desenvolvimento de trabalhos que contemplem as inovações gerenciais propostas pela Lean Construction, a exemplo da já citada ferramenta Last Planner (HOWELL, 1999 *apud*. BERNARDES, 2000).

Todos os recursos de produção que geram aumento de custos e não agregam valor ao produto final são considerados perdas ou desperdício (OHNO, 1997). Logo, existem sete grandes categorias onde as perdas podem ser classificadas: superprodução, espera, transporte, processamento em excesso, estoques disponíveis, movimentação desnecessária e produtos defeituosos.

Koskela (2004) propõe uma oitava categoria de perdas, além das sete já propostas, denominada *making-do*. Essa categoria se refere a uma situação onde um trabalho é iniciado sem que todos os pré-requisitos (materiais, informações, pessoas, fatores externos, etc.) estejam disponíveis para a sua conclusão, ou execução. Tais perdas são frequentes na construção civil devido à grande variabilidade e incerteza, e também à ineficácia do planejamento e ao controle em médio prazo, no qual se busca reduzir a variabilidade dos fluxos da produção através da análise sistemática das restrições (KOSKELA, 2004).

Improvisação é a habilidade de desempenhar ou fornecer algo no impulso do momento, acontecendo quase instantaneamente (VERJANS, 2005; CIBORRA; 1998 *apud* SOMMER, 2010). Dessa forma, as improvisações em obras acontecem quando ocorrem falhas na

gestão de processos a montante, levando o funcionário a criar novas formas de realizar a tarefa, usando os recursos disponíveis no momento (KOSKELA, 2004).

Como já citado anteriormente, diversos autores têm apontado que deficiências no processo de planejamento e gerenciamento são as principais causas de perdas, custos elevados e retrabalhos em obras (SOILBELMAN, 1993; ALÁRCON, 1997; FORMOSO *et al*., 1999; ALVES, 2000 *apud* SOMMER, 2010). Existem diversos trabalhos que identificam, quantificam e custeiam as principais perdas em obras. Atualmente, já foram propostas novas categorias de perdas, como as causadas por improvisação. Assim, o presente trabalho visa a identificar, em campo, perdas por improvisação e, através de análises, relacioná-las a falhas no planejamento, propondo sistemas baseados na produção enxuta como soluções.

## 2 PERDAS POR IMPROVISAÇÃO

Koskela (2004) propõe uma oitava categoria de perda além das sete outras propostas por Ohno (1997). O autor define perda por *making-do* como a situação na qual uma tarefa começa antes que todos os recursos necessários estejam disponíveis para que o trabalho se inicie ou continue até o seu término. O termo recursos não se refere somente a materiais, mas a todos os outros envolvidos, como: ferramentas, mão de obra, informação, projetos e condições externas (KOSKELA, 2004).

O conceito de *making-do* está relacionado à ideia, apresentada por Koskela (2000), dos sete fluxos, denominados sete pré-condições, para o início e desenvolvimento de uma atividade: projeto, materiais e componentes, mão de obra, equipamentos, espaço, serviços interdependentes e condições externas (KOSKELA, 2000 *apud* SOMMER, 2010). As falhas na disponibilização de alguns desses pré-requisitos podem levar a perdas por improvisação.

Em uma análise conceitual, Koskela (2004) afirma que o termo *making-do* tem uma conotação de *buffer* negativo, ou seja, em um processo onde há *buffer* os materiais encontram se à espera de processamento, e quando há *making-do* o processamento se inicia antes, entretanto, para o referido autor, isso ocorre para acomodar o impacto da variabilidade da produção e evitar que ocorram atrasos, mantendo uma alta taxa de utilização de capacidade de recursos.

Ainda em seu trabalho, Koskela (2004) cita o autor Ronen (1992), que, apesar de não definir o termo *making-do*, propõe uma situação ideal, evitando perdas por improvisação: o kit completo pode ser definido como um conjunto de componentes, projetos, documentos e informações necessários para completar uma atividade. Ronen (1992) *apud* Koskela (1992) sugere dois tipos de kits: um, de entrada, e outro, de saída, sendo que o de saída corresponde ao kit de entrada da próxima tarefa.

Ronen (1992) *apud* Koskela (1992) não menciona as causas básicas para as perdas por improvisação, mas aponta seus principais obstáculos:

- SÍNDROME DA EFICIÊNCIA: está relacionada à busca pela maximização da utilização dos recursos, ou seja, homens e máquinas devem estar sempre ocupados, aumentando assim o seu desempenho;
- PRESSÃO POR UMA RESPOSTA IMEDIATA: remete a uma falsa situação onde se acredita que iniciando um trabalho mais cedo, mesmo com um kit incompleto, este também terminará mais cedo. Isso ocorre geralmente quanto não se tem a confiança de que o fornecedor irá concluir sua tarefa a tempo;
- DIVISÃO INADEQUADA DOS NÍVEIS DE MONTAGEM: a redução dos números dos níveis de montagem pode trazer o aumento dos componentes dos kits, levando-o a um nível difícil de controlar e quase impossível de reunir em um mesmo momento.

Koskela (2004) destaca que, além de verificar se os itens estão disponíveis, é necessário garantir se estão de fato adequados para o início das atividades. Entretanto, as discrepâncias entre os pressupostos adotados na fase do planejamento e a realidade não são levadas em conta, resultando em situações onde o improviso torna-se a solução (KOSKELA, 2004).

Koskela (2004) exemplifica o sistema Last Planner de produção como uma ferramenta para eliminação desse tipo de perda, pois o uso reforça a importância da identificação de todos os requisitos necessários para o início de uma tarefa. Além da redução da variabilidade, através do Last Planner é possível aumentar a confiabilidade da execução das atividades no curto prazo e estabilizar o fluxo de recursos através do planejamento e controle de médio prazo (BALLARD e HOWELL, 1997 *apud* SOMMER, 2010).

## 3 SISTEMA LAST PLANNER DE PRODUÇÃO

Desenvolvido a partir de conceitos e modelos da Engenharia de Produção, o Sistema Last Planner tem o intuito de melhorar a eficácia dos sistemas de planejamento e controle na

construção civil, afirma Ballard (2002). O mesmo autor apresenta o sistema como um método de controle dedicado à redução e gestão da variabilidade, tendo como o principal objetivo a melhoria da confiabilidade do fluxo de trabalho, promovendo um ambiente de produção confiável em empreendimentos.

Para alcançar essa confiabilidade, o Last Planner apresenta uma estrutura hierárquica baseada em três níveis (BALLARD, 2000): planejamento de longo prazo, planejamento de médio prazo (*lookahead*), e o planejamento de curto prazo (ou de comprometimento). Os dois primeiros níveis têm caráter tático, e o último, operacional.

O planejamento de longo prazo tem como principal resultado o plano mestre, o qual estabelece os objetivos globais, restrições que governam o projeto como um todo, estabelecendo as datas marcos das atividades principais (BALLARD, 2000). O planejamento de médio prazo tem como função dar forma e controlar o fluxo de trabalho, detalhando e ajustando as etapas do plano mestre para que as restrições de cada serviço possam ser identificadas e removidas com o intuito de criar maior confiabilidade para a próxima etapa, de planejamento de comprometimento (BALLARD; HOWELL, 1997 *apud* BARTOLAZZA, 2006). Após a avaliação das atividades que devem e daquelas que podem ser executadas, é realizada uma listagem daquelas que serão feitas; esse processo compõe o planejamento de comprometimento ou planejamento de curto prazo (BALLARD, 2000).

Quando se considera o fluxo de trabalho que integra as unidades de produção, as falhas que acrescentam incertezas e diminuem a confiabilidade durante a etapa do planejamento de comprometimento podem ser reduzidas (BALLARD, 2000). Assim, além da estrutura hierárquica, o sistema Last Planner foi fundamentado em dois componentes principais: controle da unidade de produção e controle do fluxo de trabalho.

No controle da unidade de produção, Ballard (2000) propõe alguns critérios para elaboração dos planos de curto prazo, como pacotes de trabalho bem definidos, sequência certa de trabalho, quantidade certa de trabalho, trabalho selecionado factível. Além desses critérios, o autor propõe também uma ferramenta que torna o controle da unidade de produção mais efetivo, o PPC (porcentual de planos concluídos). Esse indicador corresponde ao número de pacotes concluídos dividido pelo número de pacotes planejados na semana, apresentado em um porcentual.

Já o controle do fluxo de trabalho diz respeito ao fluxo de projetos, suprimentos e infraestrutura entre as unidades de produção, e é no nível de planejamento de médio prazo que essa coordenação de fluxos é feita. Com os pacotes de trabalho definidos, a fim de torná-los prontos para a execução, estes são submetidos a ações para identificar e remover todas as suas restrições (BALLARD; HOWELL, 1998 *apud* FIREMAN, 2012).

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

O trabalho utiliza como estratégia de pesquisa o estudo de caso, o qual buscou identificar perdas por improvisação em canteiro de obras e relacioná-las com o planejamento de médio prazo.

O estudo foi realizado em uma obra "A", que consiste em um edifício de uso misto (residencial e comercial) de 26 pavimentos, com o total de 144 unidades residenciais, 1 unidade comercial e 446 vagas de garagem, localizado no bairro do Itaigara, em Salvador. A obra teve início em fevereiro de 2013 e tem a previsão de entrega para agosto de 2015. O edifício possui estrutura em concreto armado, vedação em blocos de cimento e divisórias internas em gesso acartonado. Durante o estudo, estavam sendo realizados os processos de estrutura e alvenaria.

Essa pesquisa foi dividida em três etapas: identificação do tema e revisão bibliográfica, coleta de dados e análise dos dados coletados. A PRIMEIRA ETAPA ocorreu em paralelo às demais, de maneira a fornecer a fundamentação teórica necessária a cada uma. Os estudos sobre os conceitos fundamentais de perdas, perdas por improvisação e planejamento e controle da produção deram o embasamento teórico necessário à autora para a compreensão do tema proposto.

A partir dos estudos realizados na revisão bibliográfica, estruturou-se, na SEGUNDA ETAPA, o estudo de caso com base no Método para Identificação de Perdas por Improvisação em Canteiros, desenvolvido por Sommer (2010). Com o intuito de conhecer e identificar a rotina de planejamento da obra e as práticas de PCP adotadas, foram realizadas entrevistas com os responsáveis, além da aplicação de um *checklist* de boas práticas de PCP (Tabela 1).

| DESCRIÇÃO DA PRÁTICA (OU ELEMENTO DO MODELO) | GRAU DE IMPLEMENTAÇÃO | | | RESULTADO |
|---|---|---|---|---|
| | Nada | Parcial | Total | |
| 1 Rotina das reuniões de planejamento de curto prazo | | | | |

| DESCRIÇÃO DA PRÁTICA (OU ELEMENTO DO MODELO) Cont. | | GRAU DE IMPLEMENTAÇÃO | | | RESULTADO |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Nada | Parcial | Total | |
| 2 | Definição correta dos pacotes de trabalho | | | | |
| 3 | Inclusão no plano de curto prazo apenas dos pacotes de trabalhos cujas restrições foram removidas | | | | |
| 4 | Tomada de decisões participativas nas reuniões de curto prazo | | | | |
| 5 | Programação de tarefas suplentes | | | | |
| 6 | Realização de ações corretivas a partir das causas do não cumprimento dos planos | | | | |
| 7 | Rotinização do planejamento de médio prazo | | | | |
| 8 | Remoção sistemática das restrições | | | | |
| 9 | Planejamento e controle dos fluxos físicos (materiais e mão de obra) | | | | |
| 10 | Utilização de PPC e identificação das causas do não cumprimento dos planos | | | | |
| 11 | Elaboração de um plano de longo prazo num formato que permita a fácil visualização do plano de ataque à obra (por exemplo, usando uma linha de balanço) | | | | |
| 12 | Utilização de indicador para avaliar o cumprimento do prazo da obra | | | | |
| 13 | O plano mestre (longo prazo) é atualizado sistematicamente de forma a refletir o andamento da obra | | | | |
| 14 | Formalização do processo de PCP através de planos e ferramentas de controle | | | | |
| 15 | Utilização de dispositivos visuais para disseminar as informações no canteiro | | | | |
| 16 | Análise crítica do conjunto de dados disponíveis para a avaliação global da eficácia do sistema de planejamento | | | | |
| | | | | | 0% |

**TABELA 1** • *Checklist* de Boas Práticas de PCP

Ainda nesta etapa, iniciaram-se as visitas ao campo para observação dos pacotes de serviços que estavam sendo executados na semana e identificação das perdas por improvisação. As primeiras visitas ocorreram com o acompanhamento do engenheiro da obra, de forma exploratória, pois não se sabia ao certo quantas visitas seriam necessárias para observar algum caso. O processo de observação consistia em analisar a forma como as atividades eram realizadas no canteiro. Desde a primeira visita a autora buscou registrar com fotos e anotações todos os casos encontrados. Conforme as perdas foram identificadas, buscou-se registrá-las para que, futuramente, na análise dos dados, fosse possível agrupa-las de acordo com suas classificações. Os registros foram então organizados em uma planilha (Tabela 2) de acordo com o Método desenvolvido por Sommer (2010).



| FOTO | Nº DE IDENTIFICAÇÃO | Nº DE CASOS DO DIA | DIA | PROCESSO | TIPO DE PERDA |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

**TABELA 2** • Organização dos dados coletados

A TERCEIRA ETAPA constituiu na análise dos dados coletados sobre perdas por improvisação. A análise se baseou na revisão bibliográfica e nos estudos realizados durante todo o processo de pesquisa. Este procedimento foi dividido em três partes: categorização das perdas por improvisação, estudo de sua origem e estudo do provável impacto causado. As categorias de perdas por improvisação foram definidas por Sommer (2010) em seu desenvolvimento do Método de Identificação de perdas, sendo elas: acesso/mobilidade, ajuste de componentes, área de trabalho, armazenamento, equipamentos e ferramentas, instalações provisórias e proteção. O estudo as origens das perdas foi feito com base nas pré-condições propostas por Sommer (2010), através das reuniões e do planejamento semanal. Já para os possíveis impactos considerou-se que cada ocorrência poderia estar relacionada a uma consequência, e assim, com base nos possíveis impactos identificados por Koskela (2004), a análise foi concluída.

## 5 GRAU DE IMPLEMANTAÇÃO DO SISTEMA PCP NA EMPRESA

No primeiro contato com o empreendimento buscou-se analisar a rotina do processo de planejamento e controle adotado pela empresa. Logo, o *checklist* realizado apontou que a obra apresenta um grau satisfatório de implementação do processo (IBPPCP de 69%), conforme a Tabela 3.

Constatou-se que alguns elementos do Last Planner ainda não eram bem aplicados pela empresa, tais como a utilização do PPC para divulgação e avaliação das equipes, identificação das causas do não cumprimento dos planos e realizações de ações corretivas a partir da identificação dessas causas. O PPC era calculado mensalmente no planejamento de médio prazo, mas as equipes de produção não eram avaliadas de acordo com o indicador, visto que esses não eram atualizados semanalmente de acordo com os pacotes semanais.

| | DESCRIÇÃO DA PRÁTICA (OU ELEMENTO DO MODELO) | GRAU DE IMPLEMENTAÇÃO | | | RESULTADO |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Nada | Parcial | Total | |
| 1 | Rotina das reuniões de planejamento de curto prazo | | | x | 1 |
| 2 | Definição correta dos pacotes de trabalho | | | x | 1 |
| 3 | Inclusão no plano de curto prazo apenas dos pacotes de trabalhos cujas restrições foram removidas | | x | | 0,5 |
| 4 | Tomada de decisões participativas nas reuniões de curto prazo | | | x | 1 |
| 5 | Programação de tarefas suplentes | x | | | 0 |
| 6 | Realizações de ações corretivas a partir das causas do não cumprimento dos planos | x | | | 0 |
| 7 | Rotinização do planejamento de médio prazo | | | x | 1 |
| 8 | Remoção sistemática das restrições | | x | | 0,5 |
| 9 | Planejamento e controle dos fluxos físicos (materiais e mão de obra) | | | x | 1 |
| 10 | Utilização de PCP e identificação das causas do não cumprimento dos planos | x | | | 0 |
| 11 | Elaboração de um plano de longo prazo num formato que permita a fácil visualização do plano de ataque à obra (por exemplo, usando uma linha de balanço) | | x | | 0,5 |
| 12 | Utilização de indicador para avaliar o cumprimento do prazo da obra | | | x | 1 |
| 13 | O plano mestre (longo prazo) é atualizado sistematicamente de forma a refletir o andamento da obra | | | x | 1 |
| 14 | Formalização do processo de PCP através de planos e ferramentas de controle | | | x | 1 |
| 15 | Utilização de dispositivos visuais para disseminar as informações no canteiro | | x | | 0,5 |
| 16 | Análise crítica do conjunto de dados disponíveis para a avaliação global da eficácia do sistema de planejamento | | | x | 1 |
| | | | | | 0% |

**TABELA 3** • *Checklist* de Boas práticas PCP, obra A

Quando ao uso do indicador PCP, a empresa atualiza esse índice mensalmente e acompanha sua evolução através de relatórios. Entretanto, esse grau de comprometimento de subempreiteiros e engenheiros não foi satisfatório durante os meses de estudos acompanhados. Assim, a análise do PCP (Figura 1) indica que a obra vem se comprometendo com as tarefas, mas não está alcançando as metas desejadas ao final do mês. No mês de dezembro, por exemplo, foram comprometidas 53 atividades e apenas 28 delas foram cumpridas, gerando um índice de PCP baixo (53%).

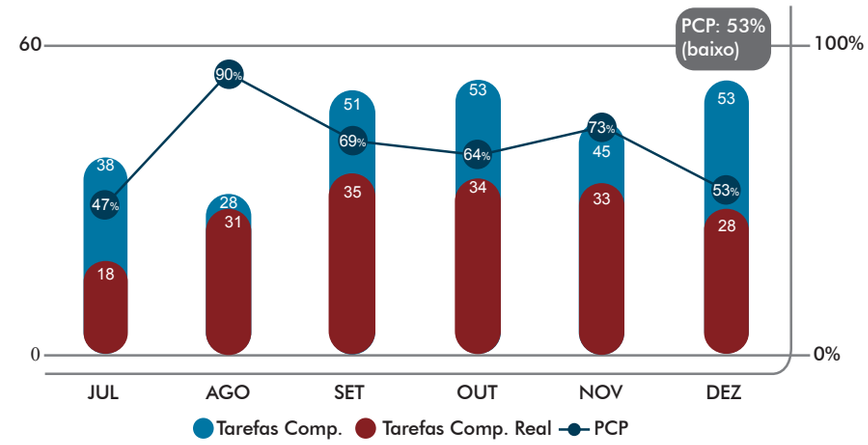



**FIGURA 1** • Gráfico de PCP da obra A

Durante as reuniões de curto prazo, e também na de médio prazo, acompanhadas, foi possível identificar discussões sobre o principal problema relativo ao setor de suprimentos: atraso na contratação de mão de obra. Esse atraso deu-se devido à falta de decisão sobre as empreiteiras responsáveis pelos serviços de instalação hidrossanitária e sistema de refrigeração.

O empreendimento apresentou um nível médio no índice de remoção das restrições (IRR), como pode ser observado na Figura 5. Esse índice tem fundamental importância, pois está intimamente relacionado com as perdas por improvisação. Analisando a lista de restrições identifica-se que as não removidas se resumem a chegada de projeto, contratação de mão de obra, chegada e compra de material.

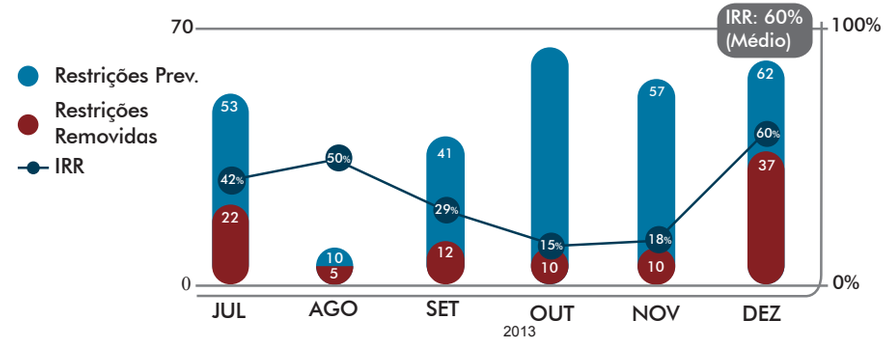



**FIGURA 2** • Gráfico de IRR (índice de emoção de restrição) da obra A

# 6 IDENTIFICAÇÃO DAS PERDAS POR IMPROVISAÇÃO NO CANTEIRO DE OBRA

As perdas por improvisação encontradas foram organizadas em um banco de dados, conforme explicado no capítulo de métodos, onde puderam ser analisadas e categorizadas de forma mais sistemática. A Figura 2 apresenta uma parte da planilha usada na categorização das perdas por improvisação identificadas, incluindo foto, data do registro, descrição do caso, número de ocorrências no dia, processo no qual a perda está relacionada e o tipo de perda.

No período do estudo os principais processos que compunham as atividades semanais da obra eram basicamente estrutura e alvenaria, e como é possível analisar na Figura 2, as perdas por improvisação foram encontradas nesses dois processos. Como exemplo, dos carpinteiros que estavam utilizando uma escada de marinheiro, apoiada sobre um tapume de madeira e perfis de aço (área onde se vê um vazio) com ausência de proteção coletiva, para desformar uma viga na periferia. Essa perda foi classificada como acesso/mobilidade, pois este foi o único meio encontrado pelos carpinteiros para alcançar a viga e desformá-la.

Durante o primeiro processo de execução de levante de alvenaria foram identificadas diversas fôrmas utilizadas pelos operários para alcançar as últimas fiadas de blocos, como mostra o registro fotográfico de número 9 na Tabela 4. Ao conversar com a equipe de engenharia sobre esse tipo de perda, foi constatado um atraso na chegada dos cavaletes metálicos para o início do serviço, levando assim a esse tipo de improvisação. Entretanto, durante as visitas seguintes, a pesquisadora identificou novamente o mesmo caso em outros pavimentos, ou seja, mesmo com a chegada dos cavaletes ainda havia ocorrência das mesmas improvisações.

Outros casos de perdas por improvisação também foram identificados durante as visitas, onde o pedreiro utiliza um barrote de madeira para auxiliar o levante de alvenaria, comprometendo a qualidade final do serviço, conforme ilustrado na Figura 3. Esse tipo de perda se refere à categoria equipamento e ferramentas, visto que não estão adequados ao tipo de trabalho realizado.



| FOTO | Nº DE IDENT. | DESCRIÇÃO | Nº DE CASOS DO DIA | DIA | PROCESSO | TIPO DE PERDA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 7 | Escada usada para desformar viga, apoiada sobre tapume de madeira e perfis de aço, com ausência de proteção | 1 | 09/12/2013 | Estrutura | Acesso/mobilidade |
| | 8 | Banco de madeira usado para tratamento das estruturas de concreto | 2 | 09/12/2013 | Estrutura | Acesso/mobilidade |
| | 9 | Banco de madeira usado para auxiliar levante de alvenaria | 3 | 09/12/2013 | Alvenaria | Acesso/mobilidade |
| | 10 | Uso de blocos para apoio da argamassa | 4 | 09/12/2013 | Alvenaria | Acesso/mobilidade |

**TABELA 4** • Ferramenta para registro das perdas por improvisações identificadas

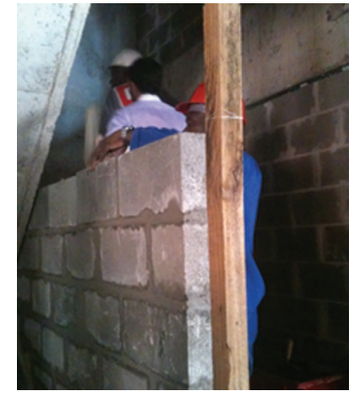


**FIGURA 3** • Levante de alvenaria com auxilio de barrote

Além dessa categoria de perda por improvisação, foram identificadas outras categorias em campo. Quanto às improvisações referentes a armazenamento, foram observados muitos casos relacionados a blocos que serviam de apoio para diversos tipos de materiais, tornando essa categoria uma das mais registradas. Assim, a categoria de perda adotada nesses casos foi de a armazenamento, visto que a organização dos materiais não estava de forma correta para o seu recebimento.

# 7 AVALIAÇÃO DAS PERDAS POR IMPROVISAÇÃO

A análise dos dados coletados segundo os critérios adotados indica que o item espaço foi a principal origem das improvisações observadas, ou seja, em 46% dos casos não havia o devido acesso à área de trabalho, circulação ou armazenamento (Figura 4). Já as previsões de materiais e componentes não foram consideradas em 33% dos casos observados. Foi possível observar, durante as reuniões de planejamento, constantes discussões sobre as compras e chegadas de materiais na obra para início dos serviços; esses atrasos foram um dos motivos do não cumprimento de tarefas.

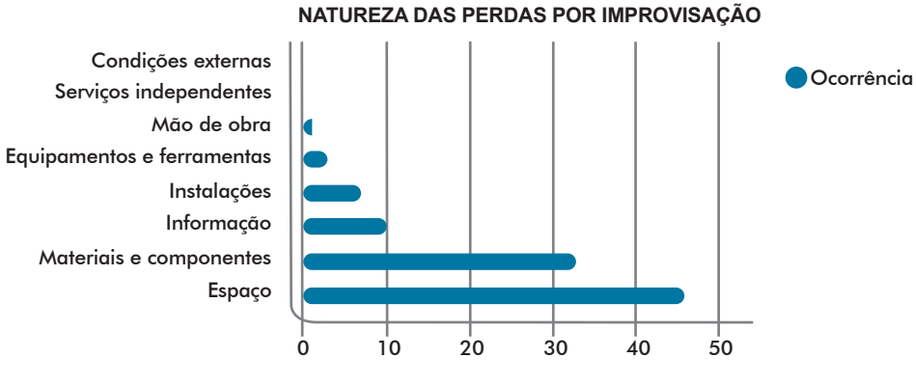



**FIGURA 4** • Origem das falhas na identificação de pré-requisitos dos processos

Após a análise das origens das perdas por improvisação, o passo seguinte foi analisar os impactos causados por elas na produção. De acordo com as possíveis consequências apontadas por Koskela (2000), foi constatado que as perdas de material causam o maior impacto sobre a produção, representando 44% dos casos. Isso já era esperado, visto que foi constatado alto nível de desperdício de materiais para usos inadequados e improvisados. A Figura 5 apresenta os resultados encontrados, indicando que, após os impactos de perdas de materiais, vem a diminuição da produtividade, com 30% dos casos.

A ocorrência de improvisações pode gerar, além de perdas de materiais, a diminuição da produtividade, pois interferem no processamento da atividade. Também podem reduzir a segurança, uma vez que improvisações do tipo acesso/mobilidade, por exemplo, onde o colaborador utiliza uma plataforma improvisada com peças de madeira para executar trabalho em altura, põe em risco a sua segurança.

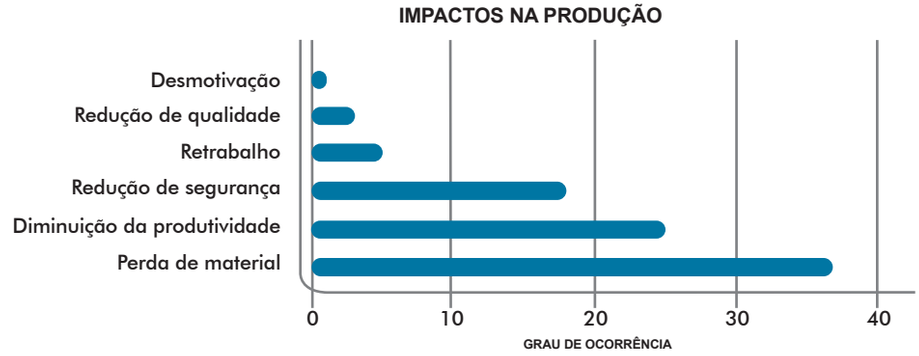



**FIGURA 5** • Possíveis impactos na produção frente às perdas identificadas

# 8 CONCLUSÕES

As perdas por improvisações observadas estão relacionadas com técnicas e condições de trabalho, envolvendo aspectos culturais que devem ser levados em conta. Assim, muitas improvisações são vistas como casos normais em um canteiro de obras e consideradas soluções emergenciais para que não haja interrupção da produção.

A ausência, ou até mesmo ineficácia de controle em nível de planejamento de médio prazo, pode levar ao não cumprimento dos planos e à não eliminação das restrições, fatores que levam à ocorrência de improvisações. Logo, os resultados chamam atenção para um tipo de perda peculiar existente no setor da construção, o qual pode desencadear outros tipos de perdas no canteiro.

# REFERÊNCIAS


BALLARD, G. Look-ahead Planning: the Missing Link in Production Control. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONTRUCTION, 5, 1997, Australia. **Proceedings...** Australia, 1997.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control.** Thesis (Ph.D) – School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 2000.

BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um Modelo de Planejamento e Controle da Produção para Micro e Pequenas Empresas da Construção**. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia Civil) – Núcleo Orientado para Inovação da Edificação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BORTOZZALA, R.C. **Contribuições para Coleta e Análise de Indicadores de Planejamento e Controle da Produção na Construção Civil.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

FIREMAN, M. C. T. **Proposta de método de controle integrado produção e qualidade, com ênfase na medição de perdas por *making-do***. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

ISATTO, E. L. *et al*. **Lean Constructtion: Diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. SEBRAE/RS, 2000.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to contruction**. Technical Report nº 72, Stanford, CIFE, 1992.

KOSKELA, L. Making-do – The Eighth Category of Waste. In: CONFERENCE OF THE INTERNAIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12, 2004, Dinamarca. **Proceedings...** Dinamarca, 2004.





MARCHESAN, P. **Modelo Integrado de Gestão de Custos e Controle da Produção para Obras Civis**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Núcleo Orientado para Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

OHNO, T. O Sistema Toyota de Produção – além da produção em escala. 1997. Porto Alegre
VIANA, D. D. **Compreensão do sistema Last Planner de controle da produção segundo a Perspectiva de Linguagem-Ação**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

YIN, R. Estudo de caso de planejamento e métodos. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

# COBERTURA EM TENSOESTRUTURA DA ARENA FONTE NOVA

Marcio José Serra Paixão [1]
Alberto Borges Vieira Júnior [2]

## *Resumo*

“Este trabalho visa apresentar os conceitos gerais de tensoestrutura e sua execução. Passando por suas diversas características estruturais, econômicas e estéticas, é abordado o conceito de estabilidade global de estruturas autoportantes, anel de compressão e anel de tração misto de estrutura metálica convencional com cabos e membrana tensionados. Trata-se também das características dos materiais empregados no tecido da membrana de cobertura e impermeabilização, além da justificativa para utilização deste modelo estrutural na cobertura da Arena Fonte Nova. Sobre a parte executiva, tomando como estudo de caso a cobertura da Arena Fonte Nova, detalha-se todo o processo construtivo da estrutura metálica, desde a pré-fabricação das peças, importação, pré-montagem, organização do canteiro e plano de içamento e montagem, inclusive com o controle de qualidade dimensional, de solda, encaixes e pintura, integração com a estrutura de concreto, e, por fim, içamento e tensionamento da estrutura em fases, chamado de Big Lift. Em paralelo, comenta-se sobre a pré-fabricação da membrana, planos de corte e soldas estruturais, dobra, importação, içamento, montagem, tensionamento e impermeabilização.”

***Palavras-chave*** » tensoestrutura; membrana; cobertura; fonte nova; arena.

[1] E-mail: *mjspaixao@gmail.com.*
[2] E-mail: *abvieira@ufba.br.*

# 1 INTRODUÇÃO

## *1.1 Apresentação*

Coberturas em tensoestrutura são amplamente utilizadas em construções industriais, ecológicas, centros de convenções e, principalmente, para atividades esportivas, como estádios de futebol, ginásios de esportes e centros aquáticos, entre outros.

Os modelos de tensoestruturas conhecidos são baseados em estruturas de engenharia que prezam pela leveza e simplicidade, e, ao mesmo tempo, se utilizam de tecnologia de ponta para atingir níveis bastante elevados de eficiência nos seus projetos. Segundo Majowiecki (1994), são classificadas como 'estruturas leves' (*lightweight construction*), pois seu peso próprio (carga permanente) é muito menor do que o peso suportado (sobrecarga e cargas variáveis). Atualmente, a combinação mais usual de tensoestruturas é o aço empregado junto a membranas de tecido de alta resistência.

A utilização do aço como elemento principal da estrutura possibilita a modulação dos elementos, tornando-os mais padronizados e permitindo que as etapas do ciclo de montagem das estruturas sejam mais uniformizados, além de um estudo eficiente de otimização de recursos como guindastes, mão de obra especializada, controle de qualidade da fabricação, solda, montagem e pintura.

A associação de elementos metálicos com membranas é largamente utilizada devido à familiaridade que esses materiais possuem entre si, incluindo facilidade de integração entre ambos, leveza e esbeltez associadas com alta resistência mecânica. Os materiais de membrana destacados são o PVC (utilizado com fibras de vidro ou poliéster) e o PTFE (liga de Teflon com fibra de vidro), sendo o último utilizado na cobertura da Arena Fonte Nova.

O PTFE é quimicamente puro e inerte, pois não contém aditivos como lubrificantes, antioxidantes e estabilizantes na sua fabricação que possam ser contaminados por micro-organismos e substâncias químicas corrosivas. Por conter uma superfície de energia extremamente baixa no estado sólido, o PTFE é considerado antiestático, se comportando como uma superfície de aderência muito baixa a sujeira e umidade. Além dessas vantagens, ainda acumula características de reflexão a radiação UV/ IR, não desbota com o tempo, não propaga fogo e é autoextinguível. A durabilidade estimada do PTFE, dada pelos fabricantes, é de 25 a 35 anos (OLIVEIRA, 2003).



## *1.2 Histórico*

As tensoestruturas têm suas raízes na pré-história, quando o homem passou a utilizar peles de animais em formatos de tendas, no intuito de se proteger do clima e das agressões externas, transformando o tecido no primeiro recurso fabricado pelo homem para obtenção de abrigo. Segundo Bahamón (2004), existem vestígios de tendas fabricadas com ossos de mamute e peles de animais datados de 40 mil a.C. na região leste da Europa. A construção desse tipo de tenda, leve, portátil e de fácil montagem, traz características que remetem aos povos nômades, embora tenham evoluído e se adaptado em diversos tipos de utilização até alcançar os conceitos da arquitetura contemporânea.

Com a popularização dos circos nos EUA, no século XIX, foram desenvolvidos vários conhecimentos empíricos para a produção dessas tensoestruturas têxteis, como a forma de cortar e costurar os tecidos, ancoragens e técnicas de montagem e desmontagem (OLIVEIRA, 2003).

Na arquitetura moderna, o pioneiro na utilização das tensoestruturas é o engenheiro e arquiteto alemão Frei Paul Otto, nascido em 1925. Frei Otto desponta como influente nome nesse ramo da engenharia no período pós-guerra alemão, ao fundar o Instituto de Estruturas Leves na universidade de Stuttgart em 1964.

Do advento do Instituto de Estruturas Leves até os tempos atuais, os tecidos utilizados em estruturas têxteis evoluíram muito em características como durabilidade, inclusive com fabricantes concedendo garantias de até 25 anos para materiais como PTFE e PVC. Esses tecidos novos, junto com o avanço dos métodos de cálculo automático através de computadores, também acrescentam muito às possibilidades de modelagem, permitindo cobrir grandes vãos com estruturas de alta resistência e capacidade de resistir a intempéries, e até mesmo incêndio. Isso impacta no conceito de utilização destas estruturas, antes estritamente temporárias, para utilização em diversas edificações de grande porte, como aeroportos, estádios e centros de convenções em várias partes do mundo (OLIVEIRA, 2003).

## *1.3 Membranas estruturais*

O desenvolvimento dos tecidos das membranas aconteceu apenas na segunda metade do

século XX, possibilitando a substituição dos materiais de fácil deterioração (peles e fibras naturais) por fibras sintéticas de grande desempenho, durabilidade, qualidade e segurança. Como é o elemento mais visível na estrutura, suas qualidades e características técnicas determinam sua aparência e proporcionam um salto na tecnologia de sua utilização (NUNES, 2008).

Os tecidos comumente utilizados são compostos por fibras e uma matriz, não necessariamente o tecido possuindo uma matriz, embora isto seja o mais comum. Dentre os tipos de fibra, destacam-se quatro mais utilizadas: nylon, poliéster, aramida e fibra de vidro. Esta última tem como vantagens a grande resistência à tração, elevado módulo de elasticidade e resistência aos raios ultravioleta. Como desvantagem, a sua fragilidade, que exige cuidados no transporte e montagem para evitar dobramentos no tecido (OLIVEIRA, 2003).

Entre os materiais para matriz, destacam-se três opções: PVC, silicone e PTFE (politetrafluoretileno), usado com fibras de vidro. Este último é quimicamente inerte, resistente à umidade, a micro-organismos e incêndio. Além de ser altamente resistente a tração e ter alto módulo de elasticidade. Desvantagem, ser mais caro que o seu similar com matriz em PVC.

### *1.4 Içamento de estruturas pesadas (Big Lift)*

O processo adotado para o içamento da estrutura aérea, que interage com a membrana estrutural, utilizada no modelo de tensoestrutura estudado, é conhecido por *big lift*. Este processo consiste na utilização de macacos hidráulicos para tensionar os cabos radiais de sustentação da estrutura, suspendendo-a segundo o princípio do equilíbrio de forças.

Cada eixo do modelo estrutural conta com outro eixo exatamente oposto, sendo tensionado com a mesma força na direção contrária, e essa situação se repete em volta de toda sua circunferência. Graças a essa configuração é promovido um resultado vetorial de suspensão da estrutura e, a partir do momento em que a mesma toma sua configuração final, sua sustentação se dá através da combinação dos esforços de tração em compressão em dois anéis distintos.



## 2 ESTUDO DE CASO - COBERTURA EM TENSOESTRUTURA DA ARENA FONTE NOVA

### *2.1 Concepção da Estrutura*

O conceito estrutural da cobertura da Arena Fonte Nova funciona pelo mesmo princípio de uma roda de bicicleta, onde, a partir do tensionamento dos raios da roda, surgem tensões de compressão do anel externo (aro) e tensões de tração do anel interno (coroa). Este equilíbrio de tensões é o que concede estabilidade e resistência ao conjunto de componentes da roda, ilustrado na Figura 1.

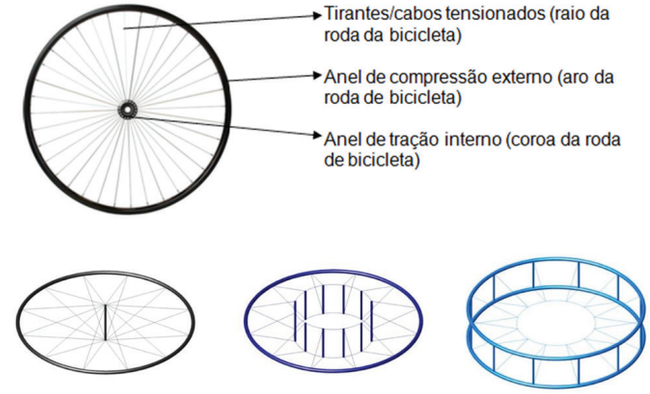



**FIGURA 1** • Conceito da roda de bicicleta

Devido à alta esbeltez das suas peças estruturais e à grande área de membrana — que, para fins de modelagem, é análoga a uma vela de navegação —, as forças de vento são bastante representativas para as tensões na estrutura. A disposição dos cabos radiais em ângulo permite que a estrutura resista a esforços, tanto ascendentes quanto descendentes, apenas variando e redistribuindo as forças nos cabos.

Quando temos forças descendentes de vento, as forças nos cabos radiais e perimetrais inferiores aumentam de valor, equilibrando o sistema. Quando ocorrem ventos ascendentes temos o inverso, as forças nos cabos superiores radiais e perimetrais aumentam.

Portanto, temos um sistema duplo de cabos que resiste tanto ao peso próprio como aos ventos descendentes e ascendentes. Os esforços de vento podem gerar uma deformação temporária no centro da cobertura, de até 1 m de amplitude.

As principais características da tensoestrutura estão exemplificados nas figuras 2 e 3.

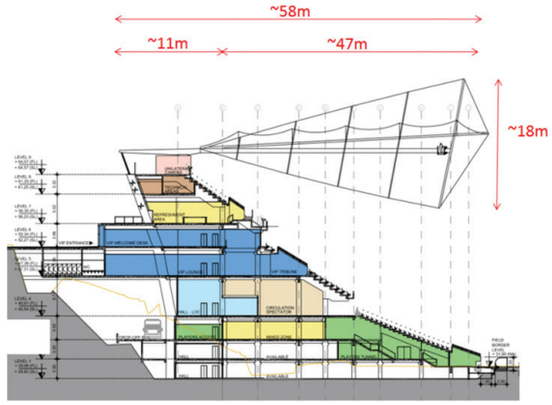



**FIGURA 2** • Seção típica transversal

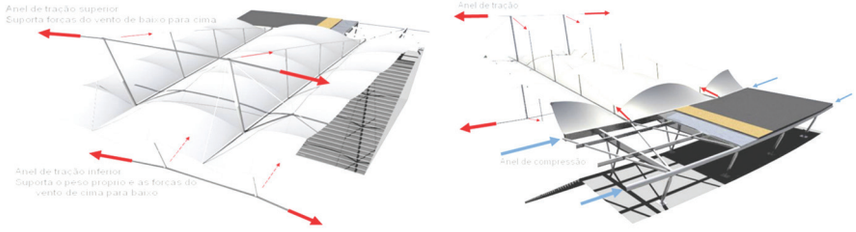



**FIGURA 3** • Esquema estrutural vista interna e externa

Ainda devido às suas características, foi realizado um estudo aprofundado sobre a força e as vibrações devido às ações dos ventos. Para tal, foi construído um modelo tridimensional do estádio em escala 1:300 - levando em conta, inclusive, a topografia do terreno — (figura 4), e colocado sob ensaios em túnel de vento, permitindo definir e avaliar picos de pressão do vento conforme sua intensidade, localização e área de influência.

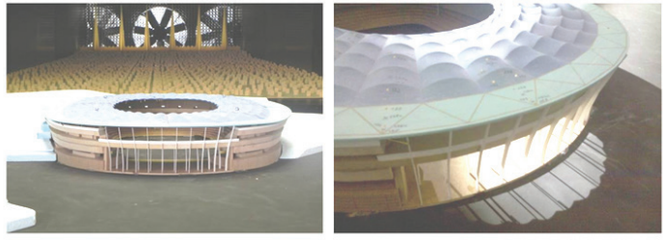


**FIGURA 4** • Modelo 3D em escala 1:300



## *2.2 Principais características estruturais*

### 2.2.1 ESTRUTURA METÁLICA - ANEL DE COMPRESSÃO

Os pórticos do anel de compressão são compostos de estrutura treliçada horizontal e pilares cilíndricos ocos, com apoios inferiores e superiores no formato de olhais rotulados nos pilares externos e, nos pilares internos, ligações parafusadas no topo e rotuladas na base. Tal configuração permite ao sistema estrutural performar a sua amplitude de movimento de acordo com as cargas de vento infligidas, a redução dos momentos de engaste e, também, a facilidade na execução do serviço de montagem.

### 2.2.2 ESTRUTURA DE CABOS TENSIONADOS - ANÉIS DE TRAÇÃO E CABOS RADIAIS

Composta de dois jogos radiais de cabos (radial superior e inferior), dois jogos perimetrais de cabos (anel de tração superior e inferior), cabos auxiliares de ligação entre cabos radiais e anel de compressão, cabos de contraventamento e de ligação com a membrana.

A rede de cabos dos anéis de tração consiste em três cabos paralelos nos anéis, superior e inferior, que suportam a maior parte das cargas ascendentes e descentes da estrutura e são conectados entre si por mastros suspensos, chamados no projeto de *flying columns*.

A rede de cabos radiais consiste em 72 cabos no total, 36 superiores e 36 inferiores, sendo cada um dos cabos radiais conectados em uma ponta ao anel de compressão por dois cabos auxiliares, chamados *split cables*, que são pinados em olhais com ligação rotulada em cada ponta.

Na outra ponta são conectados aos anéis de tração através de 72 peças chamadas *clumps* (Figura 5), também 36 superiores e 36 inferiores. As peças de ligação com o anel de tração são fundidas e usinadas com aço GS20 Mn 5V, uma liga de aço carbono rica em manganês que proporciona o mais alto nível de proteção à corrosão.

Por fim, o projeto designa uma rede de cabos que promovem o contraventamento da estrutura, conferindo-lhe uma maior rigidez e inércia no sentido perimetral. Os cabos são conectados em olhais localizados nas peças usinadas e nas *flying columns*, conforme ilustra a Figura 5.

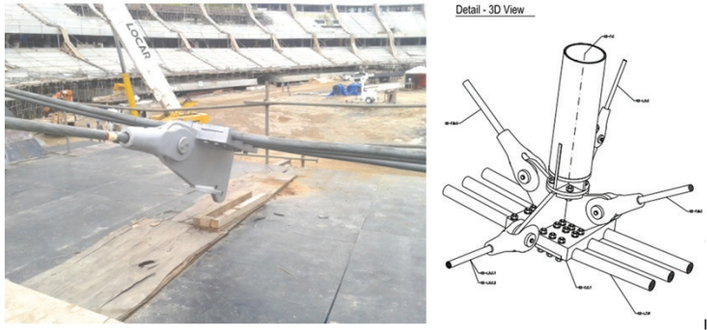



**FIGURA 5** • *Clump* ligando cabo radial com anel de tração superior e *clump* inferior, projeto das ligações entre a *flying column*, cabos radiais, de contraventamento e do conjunto de cabos do anel de tração inferior

Com o intuito de proteger os cabos de corrosão, devido à atmosfera extremamente agressiva da região de implantação do projeto, os que foram utilizados na cobertura são do tipo "Full Locked" galvanizados a quente, com um mínimo de duas camadas externas de cordoalhas em "Z" (Figura 8), que fortalecem a vedação das camadas do núcleo do cabo devido à sua capacidade de vedação, e enchimento com resina rica em zinco, que trabalha como ânodo de sacrifício, propriedade conhecida como proteção anódica.

**FIGURA 6** • Exemplo de seção típica dos cabos de aço utilizados na cobertura

Os dois jogos de cabos radiais têm seção variável entre 25 mm e 95 mm, e estão dispostos em um ângulo de tal forma a equilibrarem as forças entre si através dos mastros suspensos e manterem os anéis de tração tensionados. Os dois jogos de cabos que formam o anel de tração são compostos por três cabos cada um e formam uma elipse central tracionada que equilibra as forças em todo o anel.



### 2.2.3 ELEMENTOS AÉREOS – MASTROS SUSPENSOS, ARCOS E TRELIÇAS

Os mastros suspensos, chamados no projeto de *flying columns*, são elementos rígidos, ligando um anel de tração ao outro, de modo que as cargas do sistema superior são também transferidas para o sistema inferior e vice-versa, além de configurarem a geometria do sistema estrutural e servirem de elementos portantes dos arcos e treliças.

Os mastros são formados por tubos de aço com comprimentos variando entre 5,5 m, na linha mais próxima ao anel de compressão até, aproximadamente, 22,0 m no círculo central do anel de tração com seção cilíndrica oca.

Como se pode notar na Figura 7, apoiados nos mastros suspensos estão os arcos e treliças, que se caracterizam por dar a forma final ao projeto e promoverem a interação entre o sistema de estrutura metálica e os cabos tracionados com a membrana de cobertura.

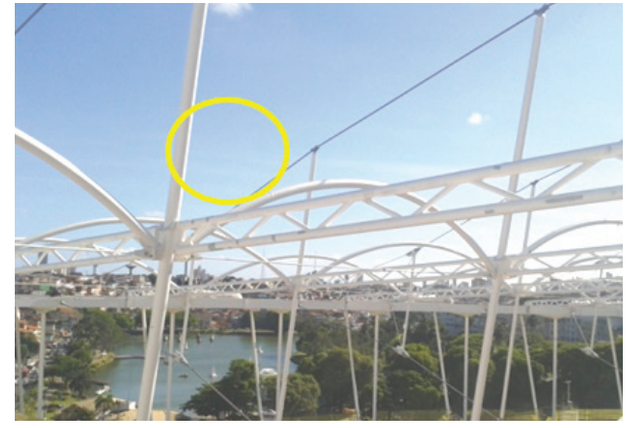


**FIGURA 7** • Mastro suspenso ligado a arcos e treliças, detalhe na ligação entre os elementos

Por fim, apoiada e gerando mais uma carga permanente na estrutura, sem participar efetivamente do equilíbrio estrutural, está a *catwalk*, que é utilizada no projeto como passarela de manutenção e local de instalação dos refletores e dos dois telões previstos no projeto. Todos os elementos estruturais podem ser vistos na Figura 8.

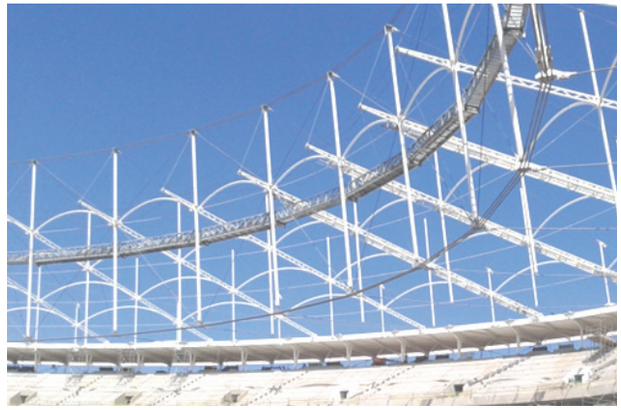


**FIGURA 8** • Sistema estrutural completo, aguardando montagem da membrana

### 2.2.4 ELEMENTO DE COBERTURA – MEMBRANA PTFE

O elemento que cobre o estádio é chamado de membrana e consiste em um plástico de alta performance, reforçado com fibra de vidro e denominado PTFE (politetrafluoretileno). O projeto da cobertura prevê 36 painéis de membrana dispostos entre cada eixo da tensoestrutura, sendo a matéria prima adquirida em rolos de painel pré-manufaturado no galpão da empresa fabricante, localizada no exterior.

Cada painel segue um projeto específico detalhando cortes, soldas e dimensões, e sua manufatura se divide em três etapas principais:

• Corte, onde os rolos de PTFE adquiridos são cortados e separados nos comprimentos exatos conforme projeto, ilustrados na figura 9;

• Solda, onde cada pedaço é unido aos seus adjacentes através de solda do tipo termofusão, com espessura de superposição determinada em projeto e aquecida através de máquina de solda térmica durante tempo e temperatura controlados;

• Dobra, onde cada painel é identificado e preparado para exportação, cumprindo ainda o projeto que também prevê a posição exata de cada dobra, para preservar o material – que é fragilizado em caso de dobra concentrada – e para que seja desdobrado na etapa de montagem, de forma a facilitar sua instalação no local.

A membrana interage com o esquema estrutural tensionada em suas quatro bordas - duas laterais, a externa e a interna - cada uma com suas propriedades de fixação. Além do tensionamento promovido pelas bordas, a membrana é fixada nos arcos da tensoestrutura, de forma a servir como um reforço estrutural no painel.

**FIGURA 9** • Corte, solda e dobra no galpão da fabricante da membrana

Como é o último elemento a ser incorporado à estrutura, a membrana tem suas particularidades na etapa de montagem e na sua função estrutural no projeto como um todo. Levando em conta principalmente a sua contribuição nas cargas de vento de maneira excêntrica, foi solicitado um ensaio complementar de túnel de vento para definição do plano de ataque da montagem dos painéis. Esse teste em túnel de vento foi realizado considerando montagem de 25%, 50% e 75% do total de painéis da cobertura, conforme a figura 10.

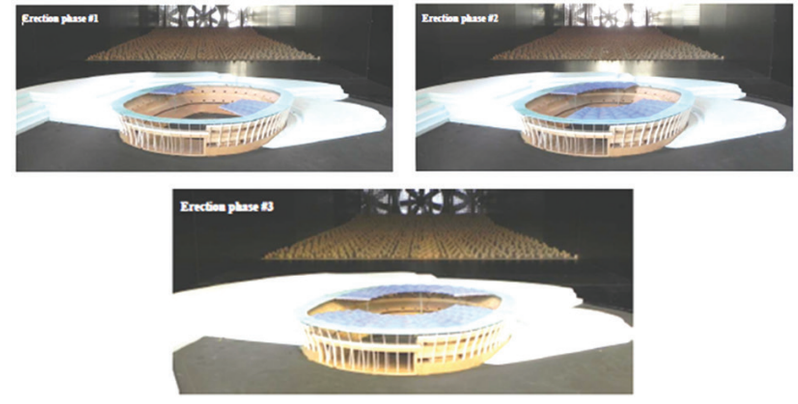



**FIGURA 10** • Teste de túnel de vento realizado mitigando três fases de montagem

## *2.3 Execução da estrutura*

### 2.3.1 MONTAGEM DA ESTRUTURA METÁLICA – *BIG LIFT*

Para cada etapa que se sucedeu no processo de montagem da cobertura foi elaborado um plano de içamento de cargas, conhecido como plano de *rigging*, que consiste numa avaliação completa das condições de içamento de cada peça. É elaborado considerando as características das peças, acessórios, condições do terreno e identificação dos equipamentos a serem mobilizados, definindo assim o passo a passo da estratégia de içamento. Isso resulta na redução de imprevistos e retrabalho, estabelecendo parâmetros confiáveis de segurança operacional.

O içamento da estrutura completa pode ser resumido em algumas etapas principais:

• Pré-montagem, içamento e montagem do anel de compressão, onde toda a estrutura metálica é dividida em módulos e içada para a sua posição final de içamento;

• Distribuição dos cabos e suspensão do anel de tração superior através de macaqueamento – 1ª etapa de *Big Lift*. Nessa etapa, os cabos radiais são tracionados até determinada posição, levantando todo o conjunto através e pinados no anel de compressão;

• Montagem dos primeiros elementos aéreos – mastros suspensos são conectados aos cabos radiais e ao anel de tração superior;

• Suspensão do anel de tração inferior através do macaqueamento dos cabos radiais inferiores até a conexão com todos os mastros suspensos e içamento de todo o conjunto – 2º *big lift* – levantando toda a tensoestrutura para sua posição final de projeto e pinando-a no anel de compressão;

• Montagem do restante das peças portantes – arcos, treliças e *catwalk*, finalizando a utilização de guindastes para içamento das peças metálicas.

### 2.3.2 MONTAGEM DA MEMBRANA PTFE

Ao chegarem ao canteiro, os painéis de membrana, importados dos EUA, foram inspecionados e içados para sua posição de montagem, e cumpriram um procedimento executivo rigoroso, feito por profissionais especializados, devido ao risco inerente ao trabalho em altura.

Cada painel foi aberto sobre fitas-guia para encaminhar a correta maneira de desdobra, tensionado através de catracas e fixado nas quatro extremidades com peças de aço inoxidável. Os bordos laterais são fixadas nas treliças adjacentes com braçadeiras, assim como a extremidade interna no cabo do anel central que passa na ponta das treliças, enquanto a extremidade do anel de compressão é fixada na sua própria viga através de parafusos sobre tiras de neoprene.

## 2.4 IMPERMEABILIZAÇÃO

Por fim, para que a cobertura do estádio passe ao seu estado de serviço, deve conter a água da chuva, e dar a ela o destino adequado. Por cima das treliças onde são fixados os painéis de membrana foi projetada a colocação de um painel de fechamento de PTFE soldado, dando caimento da água no sentido do anel de compressão.

Por sua vez, a impermeabilização do anel de compressão foi executada compreendendo três camadas distintas cobrindo os pórticos da estrutura metálica. A primeira camada da solução de cobertura adotada para o anel de compressão são telhas de perfil trapezoidal, fabricadas em aço galvanizado e fixadas nas vigas. Sobre a parte mais baixa do seu perfil, a telha é preenchida com EPS, com a finalidade de nivelar o deck metálico para o posicionamento do próximo componente da solução adotada — placas de espuma rígida de Poliisocianurato revestidas em ambas as faces com uma camada de fibra de vidro, que cumprem o papel de isolante acústico e térmico.

Por fim, todo o telhado é coberto por uma membrana denominada "TPO" pelo fabricante, uma liga plástica que aceita a fusão térmica com material semelhante, reforçada internamente com uma malha de poliéster, que tem a característica de ser totalmente impermeável e estanque às intempéries, além de não ter suas fixações aparentes.

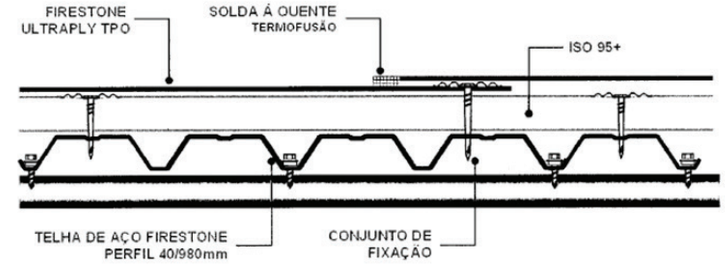



**FIGURA 11** • Detalhe esquemático do sistema de impermeabilização

Após todo o telhado ser coberto e todos os painéis serem executados, a cobertura foi finalmente colocada em serviço no que tange à sua impermeabilização, passando, então, por um período final de obra, onde foram realizados exaustivos testes de funcionamento do seu curso d'água. Todos os pontos de ligação entre estrutura metálica e membranas foram testados isoladamente a fim de garantir total adequação da estrutura construída com a impermeabilização e estanqueidade.

Toda a água pluvial que cai sobre a cobertura da Arena Fonte Nova é direcionada no sentido radial para o anel de compressão que, por sua vez, a direciona para uma calha posicionada em sua borda exterior ao longo de todo o perímetro do estádio. A partir da calha, toda essa água é captada por tubos que a conduzem para os reservatórios de água de reúso que o sistema hidráulico do estádio possui, gerando, assim, créditos para a certificação ambiental da obra.

**FIGURA 12** • Cobertura da Arena Fonte Nova em fase de finalização

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo foi realizado graças à oportunidade que tive de estagiar na construção da Arena Fonte Nova, desde o início, e buscou abordar conceitos de construções de aço mistas com tecidos estruturais, passando pelo histórico das tensoestruturas, por estudos de cargas de vento, especificação dos materiais e a tendência de utilização deste tipo de estrutura na arquitetura contemporânea.

Também devido ao conhecimento adquirido, foi possível discorrer com detalhes sobre cada etapa do processo de concepção, estudo, fabricação e montagem da estrutura, servindo, principalmente, como um claro registro do processo adotado. Foi interesse do trabalho, também, levantar as justificativas para a utilização deste modelo de tensoestrutura, inclusive as suas características natas que o fazem tão interessante para que seja adotado em diversas aplicações.

# CONTRAPISO AUTONIVELANTE: DIRETRIZES PARA EXECUÇÃO

Helen Miranda Barbosa dos Santos [1]
Vanessa Silveira Silva [2]

## *Resumo*

“O sistema de contrapiso autonivelante é utilizado desde a década de 1980 na Europa, tendo sido introduzido no Brasil somente nos anos 1990, estando presente há muito pouco tempo no mercado brasileiro, e apenas recentemente no cenário da construção civil da cidade de Salvador, na Bahia. Atualmente, empreendimentos comerciais e industriais vêm se utilizando desta técnica, porém, um dos maiores fatores que prejudicam sua difusão é ainda a falta de conhecimento a respeito da tecnologia, além da ausência de normas para o produto/sistema, e da escassez de referências nacionais. O presente trabalho tem como objetivo propor diretrizes com base em estudos de caso, focado em aspectos construtivos para o desenvolvimento de piso autonivelante com argamassa autoadensável, avaliando o seu desempenho através do estudo das propriedades reológicas da argamassa autoadensável e das suas propriedades mecânicas. Os resultados desta pesquisa contribuíram para a potencialização dos processos de produção, além de estabelecer limites em relação a estes, de forma a garantir as tão preconizadas propriedades de alto desempenho, autoadensabilidade e capacidade de autonivelamento, aliadas à alta fluidez e facilidade de execução.”

***Palavras-chave*** » contrapiso; propriedades reológicas; aspectos construtivos; argamassa autoadensável; patologias.

[1] E-mail: *hbmirandinha@yahoo.com.br.*
[2] E-mail: *vanessass@ufba.br.*

# 1 INTRODUÇÃO

Com a entrada em vigor da  NBR-15.575, que trata da abrangência do desempenho dos sistemas de pisos destinados às áreas de uso comum e áreas privativas das unidades, o desempenho do piso depende também da interação entre todos os componentes, e não só da camada de acabamento. A segurança da utilização desse sistema de revestimento horizontal tem atraído cada vez mais a atenção da comunidade técnica para a questão da proteção do ambiente construído.

O desempenho de suas funções, assim como a qualidade e durabilidade do revestimento horizontal, depende das características intrínsecas dos materiais empregados, bem como da dosagem adequada para a solicitação de uso. Outros fatores influenciam diretamente, tais como o sistema de mistura e transporte e a técnica de execução. (BARROS & SABBATINI, 1991)

Muitos autores consideram a execução do contrapiso com argamassa autoadensável um balizador na mudança da concepção do processo, representando um progresso na cadeia destes e proporcionando benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais para a construção civil, tais como melhor desempenho, maior velocidade de execução, um menor número de homens/hora empregados e a consequente redução de custos, além da rápida liberação para a aplicação dos revestimentos finais em sua superfície. (ORTEGA, 2003 *apud* MARTINS, 2009, NAKAKURA & BUCHER, 1997)

A argamassa autoadensável utilizada detém propriedades de autoadensabilidade, alta fluidez e autonivelamento por ação da gravidade. É produzida de modo contínuo em um dosador/misturador, permitindo, assim, que seja projetada sobre o substrato, sem necessidade de desempeno, garantindo a horizontalidade da superfície e a liberação para entrar em serviço com a idade de 8 a 24 horas, depois de concluída a instalação. (NAKAKURA & BUCHER, 1997)

Segundo Nakakura e Bucher, (1997), o processo é marcado pela celeridade na produção do piso, executado correntemente a um ritmo de 50 a 100 m² por homem/hora. Este resultado é proporcionado pela mecanização do sistema e a consequente redução da interferência humana, num processo até então totalmente artesanal. Isso elimina etapas que antes eram consideradas primordiais para a garantia da planicidade, como a imprescindível interferência humana, que levava ao aumento dos custos, desperdícios e excessos.



Atualmente, empreendimentos comerciais e industriais vêm se utilizando desta técnica, porém, alguns dos maiores fatores que impedem a sua difusão são a falta de conhecimento a respeito da tecnologia, a ausência de normas para o produto/sistema e a escassez de referências nacionais.

# 2 ASPECTOS CONCEITUAIS BÁSICOS RELACIONADOS A CONTRAPISO AUTONIVELANTE E REOLOGIA

O contrapiso é constituído de uma camada de argamassa aplicada sobre laje, terreno, ou sobre uma camada intermediária de isolamento ou impermeabilização. Como parte integrante do piso, compõe o sistema de vedação horizontal interno, formando um conjunto constituído de diversas camadas.  As argamassas do tipo fluidas, como no caso do piso autonivelante executado com argamassa autoadensável, apresentam seus grãos em suspensão na pasta, devido à ação dispersante de aditivos do tipo superplastificante.

Segundo Martins (2009), a argamassa autoadensável é caracterizada pela elevada capacidade de fluidez e autoadensamento, fomentada pelo arranjo de alta fluidez com grande mobilidade e moderada viscosidade, promovendo o preenchimento dos espaços vazios pela ação do efeito da gravidade, sem que ocorra segregação.

A propriedade de autoadensabilidade é diretamente influenciada por parâmetros reológicos de tensão de escoamento, fazendo-se necessário o estudo do comportamento deformacional e do fluxo de matéria submetido a tensões — que é tratado pela reologia dos materiais e inclui propriedades como elasticidade, plasticidade, viscosidade, índice de comportamento (n) e índice de consistência (K) (CASTRO, 2007).

O comportamento das argamassas autoadensáveis é semelhante ao do fluido de Bingham, podendo variar desde um fluido newtoniano viscoso até um sólido pseudoplástico, ou seja, diminuição da viscosidade à medida que se aumenta a taxa, e/ou da tensão de cisalhamento, facilitando o espalhamento, nivelamento e acabamento, e apresentando, após as etapas de aplicação, elevada viscosidade, ou uma considerável tensão de escoamento para se conservar estável (BANFILL, 1991 *apud* COSTA, 2007 e CARDOSO, 2005).

A logística do piso autonivelante é mecanizada, sendo o transporte da argamassa

autoadensável realizado através de bombas para pavimentos superiores, e por mangotes, que a lançam no substrato. O espalhamento e o nivelamento são auxiliados pela ferramenta destinada a criar ondas, responsável pela distribuição uniforme da argamassa e a conformidade de espessura e planicidade definidas em projeto para o piso final. A propriedade de autonivelamento dispensa etapas como sarrafeamento e desempenamento para o acabamento da camada superficial. Apresenta acabamento similar ao piso queimado/polido, com planicidade satisfatória para receber o piso. (FREITAS, 2013)

Após a execução, o piso é isolado, sendo liberado depois de 24 horas para o trânsito de pessoas e o processo de cura. Permite o assentamento do revestimento cerâmico após sete dias. (NAKAKURA & BUCHER, 1997)

Entretanto para avaliação do processo/produto não existem critérios, normas ou ensaios que estabeleçam parâmetros ideais para o projeto e a concepção do contrapiso executado com argamassa autoadensável. Com isso, verifica-se atualmente no mercado um aumento de patologias decorrentes de materiais e do processo construtivo.

# 3 MÉTODO DE PESQUISA

A presente pesquisa constituiu-se em duas etapas, sendo elas:

» **ETAPA 1**: Estudo do processo de produção

Nesta etapa, sucederam-se visitas em cinco obras, para acompanhamento técnico da execução do contrapiso.

• Acompanhamento do processo, com observação da execução do revestimento realizada por empresas especializadas na execução de contrapiso autonivelante, na cidade de Salvador.

• Levantamento de subsídios pertinentes ao método executivo e ao material utilizado. Esta coleta foi obtida através de ensaios realizados durante o seu recebimento em obra e aplicação *in loco*. Foram obtidos através do acompanhamento em todas as fases citadas anteriormente.

» **ETAPA 2**: Controle de aceitação do piso autonivelante

• Estudo em campo: foram realizados ensaios de resistência de aderência à tração em campo, conforme a NBR 13528, para contrapiso executado nas obras definidas na **ETAPA 1**.



## *3. 1. Apresentação e discussão dos resultados*

A seguir, são apresentados os resultados obtidos no processo de produção do contrapiso nas cinco obras analisadas.

### 3.1.1. ATIVIDADES ENVOLVIDAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO PISO AUTONIVELANTE - ETAPA 1

A Tabela 1 apresenta o comparativo das principais atividades envolvidas no processo de produção do piso autonivelante entre as obras analisadas. Observa-se a ausência de projeto de contrapiso, mostrando uma não conformidade do processo de execução do piso. Não existe nenhuma definição de espessuras, materiais empregados, sequência construtiva ou processo adequado em diferentes casos; nem parâmetros de controle da dosagem e recebimento da argamassa.

A falta de projeto pode acarretar a ocorrência de problemas, como o uso de materiais inadequados, argamassa mal dosada e espessuras inadequadas de contrapiso, além da ausência de juntas, impermeabilizações e caimentos adequados, podendo isso gerar fragilidade da tubulação subterrânea, submetida a esforços.

| OBRA | PARÂMETROS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Projeto de contrapiso | Controle de recebimento | Execução do contrapiso | Medidas de prevenção e preservação | Controle de qualidade |
| A | NC | NC | NC | NC | C |
| B | NC | C | NC | C | C |
| C | NC | C | NC | C | C |
| D | NC | NC | NC | NC | C |
| E | NC | C | NC | C | C |

C = CONFORME NC = NÃO CONFORME

**TABELA 1** • Comparativo entre as obras das atividades envolvidas no processo de produção do piso autonivelante

As atividades de limpeza da base compreendem desde a retirada de incrustações, reparos e trabalhos de varrição, até a lavagem do substrato, e são predominantes em quase todas as obras analisadas (Tabela 2). A limpeza da base, realizada de modo eficiente, promove uma maior ligação entre o substrato e a argamassa de regularização,

contribuindo para o aumento da aderência inicial e a consequente melhora no desempenho nas solicitações.

A existência de barreiras nos vãos das portas, a fixação das tubulações devidamente testadas por meio de telas ou grampos metálicos e o umedecimento da base são ações que previnem o surgimento de patologias e os possíveis retrabalhos que são realizados na maioria das obras. Entretanto a utilização de juntas de entorno e dessolidarização é um fator desconhecido no cenário das cinco obras, embora seja importante para a erradicação de patologias, tais como a desagregação do piso nas regiões de entorno devido à sucção da água envolvida no processo de hidratação do cimento pela alvenaria.

| PARÂMETROS | OBRA A | OBRA B | OBRA C | OBRA D | OBRA E |
|---|---|---|---|---|---|
| Reparos da base | O | O | NO | NO | O |
| Varrição para remoção de partículas soltas | O | O | O | O | O |
| Lavagem para retirada de incrustações | NO | O | O | NO | O |
| Uso de ponte de aderência | NO | O | O | NO | O |
| Umedecimento da base | O | O | O | O | O |
| Execução de barreiras | NO | O | O | O | O |
| Fixação de tubulações | O | O | O | NO | NO |
| Rebaixamento de tubulações | O | NO | NO | O | NO |
| Fixação de juntas de dessolidarização | NO | NO | NO | NO | NO |

NO - NÃO OCORRÊNCIA O - OCORRÊNCIA

**TABELA 2 •** Atividades envolvidas no preparo da base para o recebimento do revestimento

### 3.1.2. DIRETRIZES PROPOSTAS PARA PROJETO E EXECUÇÃO DO CONTRAPISO AUTONIVELANTE PARA AUMENTO DO SEU DESEMPENHO

Os procedimentos abordados a seguir têm como objetivo apresentar diretrizes para a execução de contrapiso autonivelante que otimizam algumas ações já incorporadas ao processo de produção, tendo sido observados no acompanhamento das atividades de produção nos estudos de caso analisados. Outras ações são incorporadas ao processo com base em normas europeias, e são também resultantes de outros trabalhos realizados com pisos de alto desempenho. Destacam-se algumas etapas importantes que poderão influenciar o desempenho final do piso.



**• QUANTO AOS PARÂMETROS DE PROJETO:**

A ausência de projeto de contrapiso em todos os canteiros visitados é um fator de grande peso no que diz respeito a falhas no processo. Assim como nos projetos de fachadas, o contrapiso deve ser respaldado por um projeto detalhado, contemplando a espessura da camada, os desníveis, os níveis finais dos revestimentos do piso e o posicionamento de juntas. Além disso, deve prever locais de impermeabilização interna, especificações sobre o tipo de argamassa a ser usada e técnicas mais adequadas para a execução e seus detalhes construtivos.

O projeto detalhado de contrapiso é fundamental para minimizar problemas referentes à manutenção precoce e manifestações patológicas.

**• QUANTO À LOGÍSTICA DO SISTEMA:**

A própria logística do sistema autonivelante contribui para o surgimento de patologias, pois o transporte por meio de bomba acentua problemas de segregação oriundos da própria reologia da argamassa autoadensável. O uso do aditivo modificador de viscosidade no traço, não empregado por nenhuma das empresas acompanhadas no estudo de caso, pode minimizar a segregação.

**• DIRETRIZES QUANTO AO PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO:**

**1.** É aconselhável a execução de painel teste para simular e avaliar a interação entre a argamassa e o substrato existente. Nesta etapa, é possível avaliar a eficiência de diferentes atividades anteriores à execução, como soluções eficientes para limpeza da base e o uso de produtos de ponte de aderência. Adicionalmente, como atividade posterior à aplicação, recomenda-se a adoção de melhores métodos de prevenção.

**2.** Sabbatini *et al.* (2006) recomendam alguns cuidados necessários quanto à execução do contrapiso para o tipo convencional, podendo ser adotados para o piso autonivelante. Devem ser executadas previamente a marcação e elevação da alvenaria, e a superfície deve apresentar-se plana, em níveis adequados para o recebimento do contrapiso. Aconselha-se que as instalações elétricas e hidráulicas estejam devidamente concluídas e testadas, para que não acarretem a necessidade de quebra do contrapiso.

**3.** Deve-se limpar o material aderido à superfície do substrato com hidrojateamento, uma opção mais mecanizada, de produtividade satisfatória e eficiente. O processo remove a sujeira e os contaminantes depositados sobre a superfície, lavando-a com o auxílio de um equipamento de alta pressão de água, que varia entre 15.000 psi e 40.000 psi,

atingindo graus de limpeza mais eficazes e uma aspereza suficiente para receber a base do revestimento.

**4.** A superfície lavada antes da aplicação da argamassa deve ser deixada úmida, sem estar saturada, retirando-se o excesso de água.

**5.** É recomendado fazer o mapeamento da base (Figura 1) por meio de planilha eletrônica para auxiliar o mapeamento das espessuras do contrapiso, possibilitando estimar a quantidade média de argamassa utilizada na regularização do piso estudado. Isso favorece um estudo prévio da base quanto à variação das cotas, a utilização do método de execução e decisões quanto ao preparo da base.

Está inclusa uma ficha de verificação, com informações sobre presença de contaminantes; limpeza da base; verificação de cotas da base e de tubulações e suas fixações; umidade do suporte; temperatura; tempo total de execução do serviço; instalação de barreiras nos vãos e portas para o desenvolvimento das atividades de produção do contrapiso; e medidas de preservação, sendo este documento datado e firmado, para posteriores ocorrências.

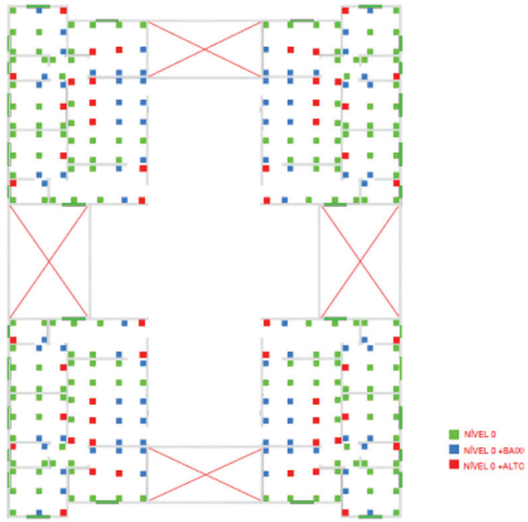



**FIGURA 1** • Mapeamento do contrapiso

**6.** É importante executar barreiras nos vãos de porta onde serão assentadas futuras soleiras e, também, para contenção do material, de forma a evitar a execução de panos de contrapiso com grande extensão. (Figura 2)

**FIGURA 2** • Barreiras no vão da porta executadas em madeira

**7.** Devem-se fixar juntas de isopor no contorno das paredes circundantes nos encontros com as alvenarias, mostrados na figura 3, além de aplicar tinta impermeabilizante em um trecho de, aproximadamente, 10 cm a 15 cm entre o contrapiso e as alvenarias, para diminuição de fissuras decorrentes da absorção de água pela alvenaria ou reboco. Nos encontros dos pilares com o piso, usar tela galvanizada a fim de garantir um deslocamento horizontal livre.

**FIGURA 3** • Detalhe de junta de contorno das paredes circundantes. (FREITAS, 2013)

**8.** As redes de instalações que passem pelo piso poderão provocar o aumento da espessura do contrapiso, devendo ser fixadas com telas metálicas com diâmetro de armadura igual a 2 mm e garantir, sobre estas, uma espessura mínima de massa de cerca de 2,5 cm, de modo a reforçar esta reduzida seção do contrapiso, impedindo a formação de fissuras e lesões.

**9.** Devem-se criar pontos de referência para o nivelamento com uso de mestras metálicas e nível a laser, metodologia já utilizada por todas as empresas analisadas, mas não para mapear o substrato.

**10.** A ordem de execução deve respeitar uma sequência lógica de aplicação, seguindo um conjunto de linhas paralelas, para uma melhor distribuição uniforme da argamassa autoadensável, como mostrado na Figura 4.

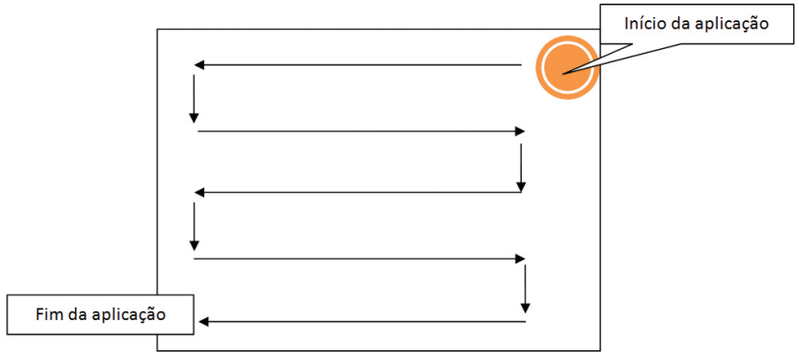



**FIGURA 4** • Sequência de aplicação seguindo conjunto de linhas paralelas (FREITAS, 2013)

Respeitar a altura de lançamento e variação de espessuras na área executada. Tendo cuidado com o manuseio da ferramenta que auxilia o nivelamento e espalhamento durante muito tempo no mesmo ponto, de modo a contribuir para a ocorrência da exsudação, com o consequente aumento da porosidade superficial e alongamento dos tempos de secagem.

**11.** Na ocorrência de interrupção do espalhamento do contrapiso durante mais de uma hora, ou no caso de continuação a partir de faixas já endurecidas, recomenda-se, para a retomada das atividades de produção, aplicar junto à seção terminal endurecida uma mistura de aderência à base de látex, água e ligante a fim de obter-se uma ligação entre as superfícies já endurecidas e a argamassa fresca.

### • QUANTO ÀS MEDIDAS DE PREVENÇÃO E CONTROLE DE ACEITAÇÃO:

Observa-se, na realização da etapa de cura, a exposição à camada hidráulica por tempos prolongados, uma vez que esse fator interfere nos resultados de arrancamento promovido pela alta concentração de umidade residual (Figura 5) no contrapiso após os 28 dias. Propõe se a introdução do uso de curas químicas como medidas de prevenção.



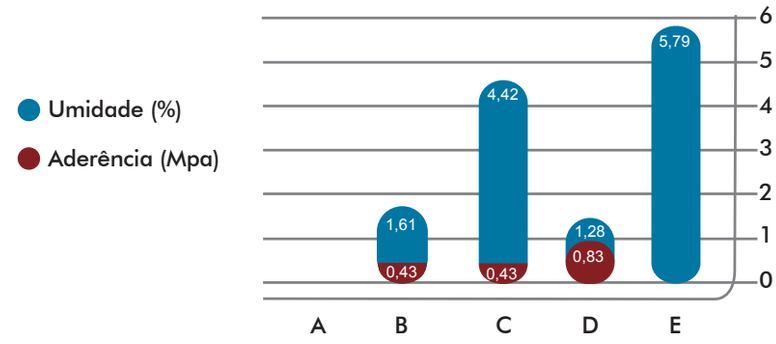



**FIGURA 5** • Influência da umidade nos valores de resistência de aderência à tração

Normalmente, para controle de qualidade de contrapiso do tipo convencional, são realizados ensaios de aderência e de percussão com martelo, procedendo se à reconstrução do piso em pontos onde for constatada a presença de som cavo. Para contrapiso autonivelante, recomenda-se o uso desses ensaios como controle, com base nos limites estabelecidos pela EN 196, já usados por Nakakura & Bucher (1997).

A norma exige para resistência ao arrancamento por tração um mínimo de 1,0 MPa após cura de 28 dias para pisos residenciais. Analisando os dados coletados, a obra D apresentou maior valor de resistência de aderência na tração de 0,83 MPa aos 28 dias e menor umidade residual, conforme os gráficos das Figuras 5 e 6.

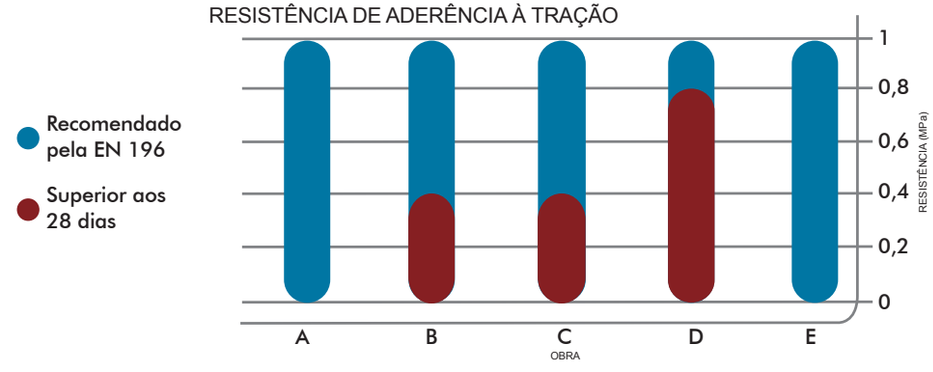



**FIGURA 6** • Gráfico de resistência de aderência

# 4 CONCLUSÃO

A importância do estudo realizado e das diretrizes propostas pressupõe o atendimento das expectativas em relação ao sistema de revestimento horizontal. O maior controle dos materiais envolvidos e das etapas de concepção, assim como o controle de aceitação, asseguram que a seleção do sistema de vedação horizontal atenda os requisitos de desempenho, com máxima racionalização construtiva, adequação aos demais subsistemas, elementos e componentes do edifício — especialmente a laje e a alvenaria —, e que minimizem as patologias decorrentes do processo e do material descritos trabalho; ou mesmo as eliminem.



# REFERÊNCIAS

**NBR 15.575- Edificações Habitacionais – Desempenho. 2013.**

**NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 1995.**

BARROS, M. M. S. B; SABBATINI, F. H. **Tecnologia de produção de contrapiso para edifícios habitacionais e comerciais**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991. 100.

CARDOSO, F A.; PILEGGI, R G.; JOHN, V M. **Caracterização reológica de argamassas pelo método de** squeeze-flow. X - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2005, 23 p.

CASTRO, A. L. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. São Carlos, 2007. 334 p. Tese em Engenharia de Materiais - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 101.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. São Paulo, 2007. 148 p. Tese em Engenharia-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FREITAS, J. de A. Jr. **Construção Civil II (TC-025)**: Pisos em edificações. Apresentações. Universidade Federal do Paraná, Paraná.

MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante**. 2009. 139 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Curitiba, Paraná.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos autonivelantes: Propriedades e instalações**. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, 1997.

SABBATINI, FERNANDO H. E OUTROS. **Produção de contrapisos em edifícios**. Tecnologia da construção civil II. São Paulo. (Nota de Aula). Escola de Engenharia de São Paulo, 2006, 19 p.



# USO DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE EM PAREDES DE CONCRETO VISANDO MELHORIAS DE DESEMPENHO

Túlio Rodrigues Torres [1]
Dayana Bastos Costa [2]

## *Resumo*

“A Construção Civil brasileira tem se desenvolvido muito nos últimos anos, porém a ineficiência de alguns processos e os métodos construtivos artesanais utilizados em determinadas operações têm provocado uma produtividade ainda satisfatória nos processos. Apesar dos avanços do setor em termos de materiais e técnicas construtivas, grande parte do subsetor de edificações ainda utiliza mão de obra de baixa qualificação profissional, bem como pouca mecanização, com a utilização de processos convencionais e técnicas simples. Diante disto, surge a necessidade de mensuração e comparação de indicadores de produtividade relacionados a processos construtivos entre diferentes empreendimentos, especialmente o processo de paredes de concreto, por ser este um sistema mais recente no mercado brasileiro, e que apresenta ausência de dados de desempenho de produtividades. Este trabalho tem como objetivo principal implementar um sistema de indicadores para processos construtivos de estrutura em parede de concreto, por meio da mobilização do setor e comparação de seus desempenhos. O método de pesquisa deste trabalho envolve as seguintes etapas: (a) sensibilização e capacitação das empresas participantes, (b) seleção das obras e concepção dos indicadores, (c) coleta dos dados e visitas de acompanhamento, (d) análise dos dados e reuniões para troca de resultados e experiências e, por fim, (e) uma análise comparativa entre as obras e processos nelas utilizados. Esta pesquisa contribui para a criação de um banco de dados com informações sobre produtividade em paredes de concreto, que retratará o desempenho das obras de Salvador, fornecendo subsídios para planejamentos, orçamentos e avaliação de produtividade dentro da obra.”

***Palavras-chave*** » produtividade, indicadores de desempenho, *benchmarking*, paredes de concreto.

[1] E-mail: *tuliotorrestt@hotmail.com*.
[2] E-mail: *dayanabcosta@gmail.com*.

# 1 INTRODUÇÃO

A competitividade do mercado da construção civil e a exigência cada vez maior dos clientes pela qualidade estão fazendo com que as empresas do ramo da construção civil busquem melhorias nos seus processos construtivos e a redução nos custos do seu orçamento. Uma meta importante, que deve ser considerada para as empresas alcançarem esse objetivo, é o aumento da produtividade nas diversas etapas dos processos construtivos.

A escassez de mão de obra qualificada vem impactando na produtividade dos serviços, principalmente aqueles processos menos tradicionais, tais como execução de fôrmas metálicas, argamassa projetada e paredes de concreto (GUIMARÃES, 2012). Apesar do crescente aumento da inserção do sistema paredes de concreto em habitações no país, não existia um banco de dados com índices de produtividade para o processo executivo deste sistema.

Por outro lado, as empresas que já trabalham com o sistema de paredes de concreto dispõem de poucas informações que mensurem e representem de fato a produtividade dos seus funcionários, comprometendo assim as composições de custo e, consequentemente, os seus orçamentos. Por ser um sistema mais novo no mercado e ainda pouco consagrado, as empresas carecem de informações de produtividade da parede de concreto para tomadas de decisão e, até mesmo, adoção deste método construtivo.

As empresas da construção civil, de forma geral, partem da premissa de que os problemas durante a execução de uma obra originam-se no canteiro de obras e devem ser resolvidos no âmbito operacional (SACOMANO *et al.*, 2004). Entretanto, a falta de uma visão estratégica para a obra de construção civil interfere diretamente na produtividade.

Frente a esta realidade, observa-se que para melhorar é preciso controlar a produtividade, e para isto a sua mensuração é imprescindível, possibilitando a comparação de indicadores de processos construtivos voltados à produção, como, por exemplo, as paredes de concreto. Esses indicadores fornecem informações essenciais, tanto para o planejamento e controle dos processos gerenciais quanto para o monitoramento e o controle dos objetivos e metas estratégicas (GUIMARÃES, 2012).

O sistema de paredes de concreto surgiu no Brasil por volta dos anos 80, sendo inspirado em experiências consagradas e bem-sucedidas de construções industrializadas em concreto celular (sistema Gethal) e concreto convencional (sistema Outinord), que eram mundialmente conhecidas desde a década de 70 (MASSUDA, 2009).

Embora seja um sistema concebido desde a década de 70, as paredes de concreto tiveram seus altos e baixos, não sendo tão frequentes no cenário nacional (ARÊAS, 2013). Hoje, com os diversos incentivos e parcerias do poder público e privado, o volume de obras de interesse social no país cresceu, aumentando ainda mais a opção pelo sistema construtivo de paredes de concreto. Este sistema tem como características projetos padronizados, alto grau de repetitividade, execução simultânea de estrutura e vedação, o fato de os construtores obterem alta produtividade, produção em larga escala e redução de custos com mão de obra.

O presente trabalho tem como objetivo principal a mensuração e análise da produtividade por meio da implantação de um sistema de indicadores para averiguar a eficiência dos modos de execução dos serviços de estrutura (fôrma, armação e concretagem) em paredes de concreto. Este trabalho faz parte do projeto Sistema de Indicadores de Produtividade e Perdas em Processos à Base de Cimento, financiado pela Comunidade da Construção e desenvolvido pelo Grupo de Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC) da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Este projeto, que encontra-se no seu segundo ciclo, envolve a mobilização do setor e a criação de um Clube de *Benchmarking*, em que serão coletados dados referentes à produtividade nas empresas estudadas (COSTA *et al.*, 2013).

# 2 PAREDES DE CONCRETO

O processo executivo de parede de concreto é resumido, basicamente, na montagem de fôrmas metálicas, plásticas ou mistas, e ao preenchimento de concreto. Entre as fôrmas de paredes são posicionadas as ferragens e os itens de instalações prediais elétricas, hidráulicas e de gás. Porém, as instalações prediais hidrossanitárias são, geralmente, executadas por fora das paredes (através de *shafts*), assim, se houver algum tipo de vazamento na tubulação não há necessidade de rompimento do concreto para execução dos devidos reparos. A industrialização deste processo construtivo está, justamente, no modo prático de se construir as paredes (MASSUDA, 2009).

Segundo Arêas (2013), a viabilidade do processo de parede de concreto está bastante relacionada ao tempo da construção. Há construtoras no Brasil que, através do processo construtivo de parede de concreto, executam cerca de 100 m² de estrutura predial para cada jogo de fôrma presente na obra. Logo, a partir da fundação/laje piso pronta, executam-se as paredes e lajes, já com todos os itens de instalações prediais posicionados, em apenas um dia. A Figura 1 mostra as atividades do processo construtivo de paredes de concreto.

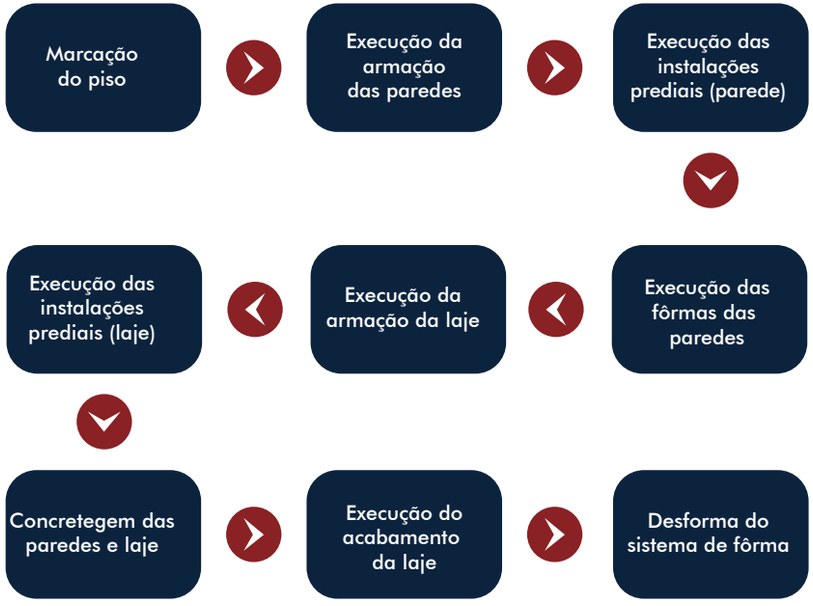



**FIGURA 1** • Ciclo de execução de paredes de concreto (Fonte: Arêas, 2013)

O processo de paredes de concreto é sistematizado, pois se baseia em conceitos de industrialização de materiais e equipamentos, mecanização, modulação, controle tecnológico e multifuncionalidade. Desta forma, a obra se transforma em uma linha de montagem, como na indústria automobilística (ABCP, 2007). De acordo com a sequência apresentada na figura 1, serão descritas as principais etapas para a execução das paredes de concreto:

**a) MARCAÇÃO DO PISO -** É necessário marcar no piso de apoio (fundação ou laje) as linhas das faces das paredes, de modo a orientar o posicionamento dos painéis. A marcação da laje consiste na primeira atividade deste processo de produção, podendo ser utilizado barbante e "pó de xadrez", ou régua de alumínio e um riscador metálico para sua realização. Para a separação dos painéis de fôrma são instalados espaçadores plásticos no chão (ABCP, 2007).

**b) ARMAÇÃO -** De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland — ABCP — (2007), a armação adotada na prática no sistema parede de concreto é a tela soldada posicionada no eixo vertical da parede; para isto são instalados espaçadores plásticos responsáveis pelo posicionamento correto das telas. Bordas, vãos de portas e janelas recebem reforços de telas ou barras de armadura convencional. Em edifícios mais altos, as paredes devem receber duas camadas de telas soldadas, posicionadas verticalmente, e reforços verticais nas extremidades das paredes. As armaduras devem atender a três requisitos básicos: resistir a esforços nas paredes, controlar a retração do concreto e estruturar e fixar as tubulações de elétrica, hidráulica e gás (ABCP, 2007).

**c) FÔRMAS -** O sistema de fôrma pode ser constituído de madeira, aço, plástico ou uma composição de materiais como, por exemplo, chapa de madeira leve estruturada com perfil de aço. No Brasil, em obras de edificações prediais é possível observar a predominância do uso de fôrmas fabricadas com chapas e perfis estruturados de alumínio nas construções de parede de concreto. A ABCP (2009) sugere que todo conjunto de fôrmas deve vir acompanhado de projeto e deve ser checado se todos os materiais estão presentes, realizando um armazenamento adequado e seguindo orientações do fornecedor, a fim de se aproveitar ao máximo a sua vida útil.

**d) INSTALAÇÕES -** No caso das instalações elétricas, os eletrodutos, as caixas de interruptores, de tomadas, de passagem etc., são fixadas nas ferragens de acordo com a posição indicada nos respectivos projetos. Para as instalações hidrossanitárias, o ideal é buscar agrupar os banheiros e a cozinha nas unidades projetadas. Os tubos horizontais podem ficar "escondidos" através do sistema de rebaixamento das lajes; já os verticais, por dentro de *shafts*. Este tipo de procedimento torna mais fácil uma futura manutenção, caso haja algum problema, como, por exemplo, uma infiltração (ARÊAS, 2013).

**e) CONCRETAGEM -** Para a Comunidade da Construção (2012), as produções mais eficientes ocorrem a partir de concretos dosados em centrais e fornecidos ao canteiro em caminhões betoneiras, o que resulta em melhor controle da qualidade. O concreto deve apresentar grande fluidez e alta trabalhabilidade, sendo comum adicionar a ele, ainda no caminhão betoneira, fibras têxteis de polipropileno para combater tensões de

retração. O lançamento, geralmente, é feito por bomba lança ou estacionária, seguindo um adensamento por meio de vibrador mecânico (quando necessário) e, por fim, é realizado o acabamento na superfície da laje com o uso de sarrafeamento e até mesmo de nivelador helicóptero.

A figura 2 apresenta os serviços de armação, fôrmas e concretagem em paredes de concreto.

**FIGURA 2** • Da esquerda para a direita: Armaduras em tela soldada, Sistema de fôrmas em alumínio e Concretagem por meio de bomba lança

## 3 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO E NECESSIDADE DE *BENCHMARKING*

Nos últimos anos, as empresas de construção têm buscado inserir a medição de desempenho em suas rotinas organizacionais. Como forma de dar suporte a elas, a comunidade acadêmica, muitas vezes em conjunto com entidades setoriais, tem desenvolvido mecanismos que possibilitam a medição de desempenho e a prática do *benchmarking* (DUARTE, 2011). O objetivo destes indicadores de desempenho não é a qualificação das empresas de forma isolada, nem em relação a uma escala pré-definida, mas, sim, criar a possibilidade de cada empresa avaliar a sua prestação em relação aos seus concorrentes. É a partir deste propósito que começa a se pensar nos clubes de *Benchmarking*.

Para Costa (2008), os clubes de *Benchmarking* funcionam como um fórum de aprendizagem sobre princípios de gestão e de melhores práticas, através da disseminação de uma cultura de medição de desempenho e partilha de informações, permitindo a cada empresa participante aprender com as demais através de uma criação conjunta de conhecimento que visa a melhoria do desempenho dos participantes.



Para o caso particular da indústria da construção, foram desenvolvidos sistemas de indicadores de desempenho que permitem efetuar práticas de *benchmarking*, uma vez que as medidas utilizadas possibilitam não só uma comparação dos resultados das diferentes áreas funcionais e operacionais de uma empresa, mas, também, com os obtidos por outras de suas concorrentes (COSTA, 2008). Desta forma, podem-se estabelecer novos patamares de desempenho, oportunidades de melhoria e equiparação ou ultrapassagem das melhores práticas usadas na indústria, baseados em dados concretos e originários na atividade corrente das empresas às quais pretendem dar respostas.

Sendo assim, é interessante analisar que um sistema de *benchmarking* só funciona se as empresas fornecerem dados para ele, em quantidade e qualidade; e só o farão, voluntariamente, se reconhecerem que ganham algo com isso, seja em notoriedade, seja em competitividade, ou se esse esforço se puder refletir-se numa valorização que seja reconhecida pelos seus clientes, públicos ou privados.

A utilização de diferentes valores para a produtividade da mão de obra e o uso de nomenclaturas distintas tem gerado dificuldades de se comparar valores propostos por entidades de referência ou, até mesmo, outras empresas. Mais do que isto, é importante afirmar-se que os valores de produtividade podem variar muito de uma obra para outra. Portanto, puder se refletir para medir a produtividade e entender as razões que induzem sua variação tornam-se importantes instrumentos para subsidiar a gestão da execução dos diversos sistemas construtivos (SOUZA, 2006).

Neste trabalho, mediu-se a produtividade dentro da construção civil por meio de um indicador parcial, denominado Razão Unitária de Produção (RUP), que correlaciona o esforço dos trabalhadores (medido em homens/hora demandados) pela quantidade líquida de serviço realizado (ARAÚJO, 2000), conforme a figura 3.

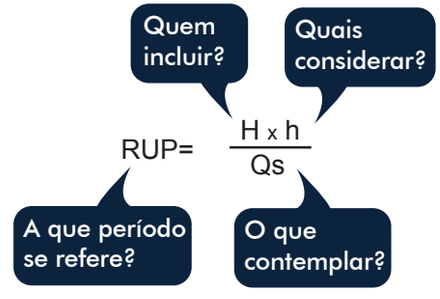



**FIGURA 3** • Aspectos a padronizar quanto à mensuração da RUP (Adaptado de SOUZA, 2006)

Onde *H* representa os funcionários ligados somente ao serviço cuja produtividade se está calculando, *h* representa a hora normal efetivamente trabalhada, e *Qs* representa a quantidade de serviço para o qual se está calculando a RUP.

Existem várias classificações e denominações para os tipos de RUP, que vão depender do seu uso e aplicação. Neste trabalho, foram analisadas a RUP por ciclo e a RUP cumulativa. A RUP por ciclo corresponde à quantidade de homens/hora da equipe direta trabalhada em relação à quantidade de serviço do ciclo de coleta, que, no caso deste trabalho, é o *pavimento tipo*. Já a RUP cumulativa representa o desempenho cumulativo nesses ciclos, levando em conta a somatória das quantidades de homens/hora da equipe direta e a somatória da quantidade de serviço realizado durante o período de estudo.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho foi desenvolvido por meio das seguintes etapas: revisão bibliográfica, sensibilização e capacitação das empresas participantes, seleção das obras e concepção dos indicadores, coleta dos dados, visitas de acompanhamento, análise dos dados, reuniões para troca de resultados e experiências e, por fim, uma análise comparativa entre as obras e seus processos utilizados.

A sensibilização e capacitação das empresas participantes ocorreram por meio de uma reunião realizada no dia 19 de setembro de 2013, em Salvador, Bahia, com a participação de 10 empresas construtoras de Salvador, sendo que três destas empresas possuem obras com o sistema de estrutura em parede de concreto. Destas três obras, duas estavam em estágios que possibilitaram o início da coleta. Dessa forma, essas duas obras se disponibilizaram a participar da implantação do projeto, sendo denominadas obra A e obra B. Após a seleção das obras, foi discutida a concepção dos indicadores de produtividade específicos para paredes de concreto, quais sejam: fôrma, armação e concretagem. Os indicadores selecionados estão apresentados no Quadro 1.

| PROCESSO | INDICADOR DE PRODUTIVIDADE |
|---|---|
| Estrutura em parede de concreto (parede e laje) | Fôrma (Hh/m²) |
| | Armação (Hh/Kg) |
| | Concretagem (Hh/m³) |

**QUADRO 1** • Indicadores de produtividade para paredes de concreto



Após a seleção dos indicadores, foram desenvolvidas e apresentadas as planilhas de coleta dos dados para os responsáveis pelas obras, seguindo-se o acompanhamento da implantação por meio de visitas às obras para apoio na coleta, no período de 24 de setembro a 14 de dezembro.

Na obra A, foram coletados e analisados dados de 5 ciclos (de 24 de setembro de 2013 a 19 de novembro de 2013), e na obra B, 10 ciclos (de 20 de novembro a 14 de dezembro), com ambas no processo de estrutura das paredes de concreto, incluindo fôrma, armação e concretagem. Cada ciclo refere-se à execução de um pavimento tipo completo. Cada ciclo teve uma média de 7 dias, sendo que o da obra B foi de 2 dias. A periodicidade da coleta dos dados foi diária para o levantamento da quantidade de horas de trabalho, e por ciclo de pavimento para a quantidade de serviço produzida.

Por fim, foram realizadas duas reuniões de troca de resultados dos indicadores, nos dias 29 de outubro de 2013 e 19 de dezembro de 2013, que tiveram como objetivos discutir o porquê de algumas obras conseguirem alcançar um indicador maior ou menor em relação à outra obra e verificar se a presença de tecnologia de alguma forma interfere na produtividade. Além disso, avaliar, diante de tantos métodos construtivos diferentes, qual era o mais eficiente, e, também e principalmente, avaliar uma forma de melhorar a eficiência nos processos onde for necessário.

## 5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os itens a seguir descrevem o processo de paredes de concreto utilizado em cada uma das obras, destacando os principais resultados, seguido da análise comparativa dos dados.

### *5.1 Obra A*

A obra A é localizada no bairro de São Rafael, em Salvador, Bahia, e corresponde a um empreendimento formado por duas torres residenciais de 14 e 15 pavimentos, possuindo 8 apartamentos por pavimento, totalizando 232 unidades habitacionais de padrão econômico. Os dados foram coletados na torre 01.

A arquitetura do pavimento era simétrica, com uma área de 519,48 m² e o pavimento

dividido em dois lados (A e B). O lado A corresponde a 44% da área total do pavimento, e o lado B, que contempla a escada e poço do elevador, corresponde a 56% daquele total. Devido à simetria, a obra utilizava fôrma para metade do pavimento, envolvendo as fôrmas de 4 apartamentos, mais as fôrmas da escada e do poço do elevador. O sistema de produção seguia esta divisão entre lado A e lado B.

O ciclo se inicia com a marcação no piso e a montagem das armaduras e instalações das paredes do lado B, e na sequência são montadas as fôrmas das paredes e lajes, e a equipe de armação vai para este lado para seguir com a armação das lajes, sendo acompanhada pela equipe de instalações. Em seguida, este lado do pavimento é concretado, executando-se paredes e lajes de uma só vez. Levando, em média, 4 dias para a conclusão do lado B.

Após a montagem das armaduras do lado B, as equipes de armadores e instaladores já iniciam os trabalhos no lado A. A equipe de fôrma realiza a desmontagem dos painéis do lado B (concretado no dia anterior) e, logo em seguida, o transporte para o lado A (a ser concretado). Em seguida, inicia-se a montagem das fôrmas utilizando a mesma sequência apresentada anteriormente, sendo o ciclo finalizado com a concretagem do lado A do pavimento. O lado A foi executado em uma média de 3 dias.

Para a execução da armação das paredes e lajes foram utilizadas telas de aço soldadas. As bordas, vãos de portas e janelas receberam reforços de telas e barras de aço. Cada pavimento possuía, em média, 8.933 Kg de aço, computando-se as telas das paredes e lajes e os reforços dos vãos de janela. O aço era cortado e dobrado na obra, e o transporte das ferragens era feito de forma manual, do estoque até o térreo da torre, sendo depois elevado até o pavimento por meio de guincho foguete. O serviço de armação foi realizado pela equipe própria da obra A, formada por 6 armadores e 6 serventes.

As fôrmas usadas nesta obra foram de alumínio, e chegavam ao canteiro de obras prontas para a montagem, com uma área de 2012,56 m² por pavimento. O sistema de fôrmas era modulado e cada peça tinha o seu local específico na montagem, sendo elas, portanto, numeradas, para facilitar a identificação e montagem. A equipe responsável pelo serviço de fôrma era composta por mão de obra própria que realizava todas as atividades, desde as montagens e desmontagens até o transporte dos painéis. No início da obra, a empresa realizou seus treinamentos específicos, e a cada ciclo completo das fôrmas existiam, em média, 10 montadores e 20 serventes trabalhando.

O concreto era usinado e fornecido à obra A por caminhão betoneira. Nos ciclos coletados, o concreto foi transportado até o pavimento de concretagem por meio de bomba lança. Seguindo a mesma sequência das fôrmas e das armaduras, a concretagem do pavimento foi dividida entre os dois lados, A e B. O controle tecnológico do concreto foi feito por uma empresa terceirizada e pela equipe responsável pela concretagem da obra A, também terceirizada, sendo composta, em média, por nove pedreiros e oito serventes. Eles eram responsáveis pelo lançamento, espalhamento, adensamento e acabamento do concreto na laje.

Para ilustrar a coleta de dados nesta obra, a figura 4 apresenta as RUPs de armação e fôrma, para oficiais e serventes. Como a coleta de dados começou desde o primeiro pavimento (ciclo 1), pôde-se observar o efeito aprendizagem nos serviços de armação e fôrma para ambos os profissionais. No caso de armação, os armadores da obra A iniciaram o processo com RUP de 0,023 Hh/Kg e no ciclo 5 já atingiram RUP de 0,013 Hh/Kg. O comportamento das RUPs de fôrma também mostrou um efeito aprendizagem, pois os montadores iniciaram com 0,43 Hh/m², e no ciclo 5 atingiram 0,20 Hh/m².

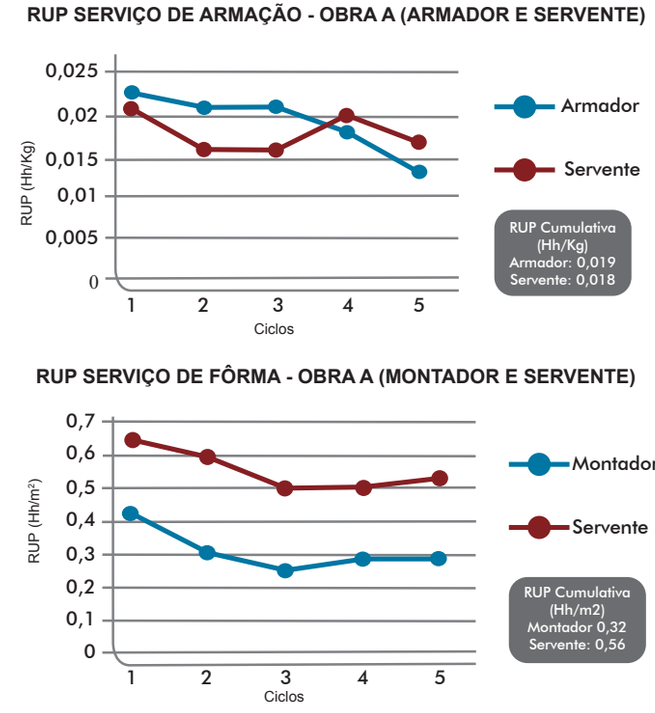



**FIGURA 4** • Gráficos de tendência de produtividade dos serviços de armação e fôrma para oficiais e serventes da obra A

## *5.2 Obra B*

Localizada na Estrada das Pedreiras, próximo ao Centro de Abastecimento de Salvador (CEASA), a obra B constitui um empreendimento formado por 90 blocos residenciais de 5 pavimentos cada um, possuindo 4 apartamentos por pavimento, totalizando 1.800 unidades habitacionais. A obra faz parte do Programa Federal "Minha Casa Minha Vida" (na faixa 0 – 3 salários mínimos). Os dados foram coletados nos blocos 13 e 14.

A obra B possuía 5 jogos de fôrma, sendo que cada jogo de fôrma possibilita a concretagem diária de 2 apartamentos em blocos diferentes, dando um total diário de 10 apartamentos. Cada bloco é erguido com um jogo completo de fôrma, que possui uma equipe fixa de profissionais para os serviços de armação e fôrmas. A fôrma divide o pavimento de 191,22 m² em dois lados (A e B), o lado A contemplando 2 apartamentos, hall e escada, e o lado B, 2 apartamentos, realizando assim, com um jogo de fôrma, um pavimento com quatro apartamentos a cada dois dias.

O ciclo se inicia com a marcação do piso e a armação das armaduras das paredes e instalações do lado A; em seguida, as fôrmas das suas paredes e lajes já estão montadas no local, com as armaduras do lado B sendo executadas em paralelo. Estas duas tarefas são finalizadas ainda no turno da manhã. No final da manhã, ainda são executadas a armação e instalações da laje do lado A. Desta forma, no início da tarde começa a concretagem de todo o lado A do pavimento. No dia seguinte, as fôrmas são retiradas do lado A e montadas no lado B, seguindo a mesma sequência adotada anteriormente, e ao final da tarde tem-se um pavimento completo executado em dois dias.

Assim como na Obra A, na Obra B foram utilizadas telas de aço soldadas para a execução da armação das paredes e lajes e dos reforços feitos com barras de aço. Cada pavimento possuía em média 1.565 Kg de aço, computando as telas das paredes e lajes e os reforços dos vãos de janela. O aço era cortado e dobrado na obra, e o transporte das ferragens até o pavimento, feito com o auxílio de um manipulador telescópico. O serviço de armação era realizado por equipe própria da obra A, formada por 4 armadores e 2 serventes.

As fôrmas usadas nesta obra foram de alumínio, e chegavam ao canteiro de obras prontas para a montagem, com uma área de 871,38 m² por pavimento. Semelhante à obra A, o sistema de fôrmas da obra B era modulado, e cada peça tinha o seu local específico na montagem e, portanto, elas também numeradas para facilitar a identificação e montagem.



A equipe responsável pelo serviço de fôrma era composta por mão de obra própria que realizava todas as atividades de montagem, desmontagem e transporte dos painéis. A equipe possuía, em média, 14 montadores e 10 serventes trabalhando no ciclo completo das fôrmas.

Na obra B, o concreto também era usinado e fornecido por caminhão betoneira. O concreto sempre era transportado até o pavimento de concretagem por meio de bomba lança. Seguindo a mesma sequência das fôrmas e das armaduras, a concretagem do pavimento foi dividida entre os dois lados, A e B, e a cada dia um lado do pavimento era concretado. Possuindo assim concretagem em todos os dias de trabalho. O controle tecnológico do concreto foi feito por uma empresa terceirizada. A equipe responsável pela concretagem da obra A também era terceirizada, sendo composta, em média, por 4 pedreiros e 3 serventes, que eram responsáveis pelo lançamento, espalhamento, adensamento e acabamento do concreto na laje.

O sistema de produção adotado pela obra B é distinto da obra A, pois ocorre definição de tarefas diárias e o operário (oficial e servente) chega a cumprir suas atribuições em, aproximadamente, meio turno de trabalho, sendo dispensado ao fim do serviço por não ter como alocá-lo em outra atividade e pelo esforço físico demandado pelo ritmo de trabalho intenso para cumprimento de meta. Esta demanda pelo alto ritmo está diretamente ligada ao ciclo de produção adotado pela obra e ao plano de ataque seguido, pois as equipes de fôrma, armação e instalações precisam finalizar a sua atividade em um turno para garantir a realização da concretagem de 2 apartamentos todos os dias no turno da tarde como planejado.

Mesmo cumprindo as metas das suas atividades em praticamente meio turno, a equipe é remunerada por todo o dia de trabalho, e em muitos casos, ainda são adicionadas bonificações de incentivos aos seus salários. Por este motivo, foram calculadas duas RUPs para os serviços de armação e fôrmas nesta obra: a RUP efetiva, que relaciona as horas efetivamente trabalhadas (variando de 4h a 5h) por funcionário no cumprimento de sua meta de serviços diário, e a RUP trabalhada, que relaciona as horas da jornada completa de trabalho por legislação, podendo ser 8h ou 9h, a depender do dia.

Desta maneira, pode-se observar uma variação entre as RUPs trabalhada e efetiva — por exemplo, de armação e fôrma — por meio da análise dos exemplos gráficos apresentados na Figura 5.

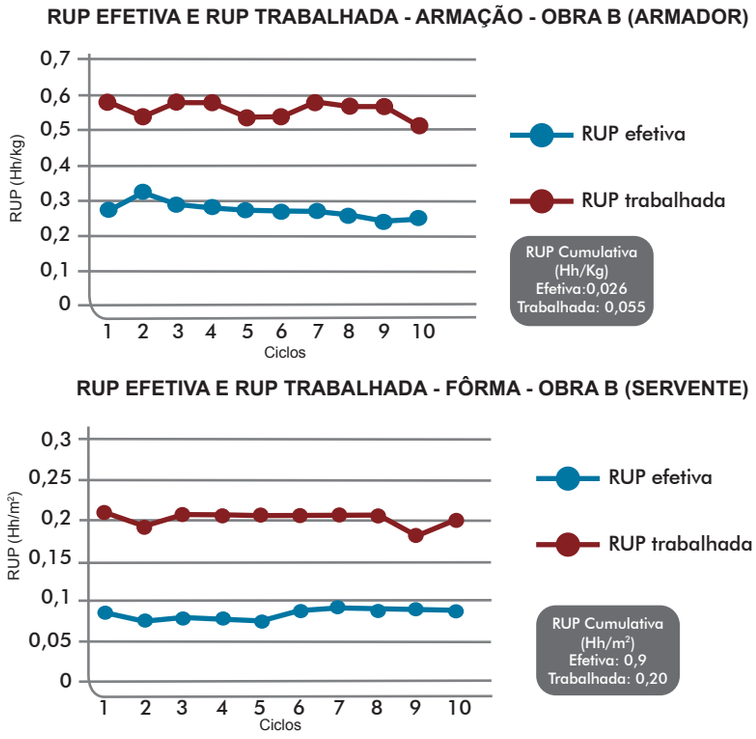



**FIGURA 5** • Gráficos de tendência de produtividade dos serviços de armação (armador) e fôrma (servente) da obra B

Observa-se uma diferença de mais de 100% entre a RUP efetiva e a RUP trabalhada. Contudo, percebe-se a baixa variabilidade da RUP no decorrer dos ciclos. Desta forma, não foi evidenciando o efeito aprendizagem, pois, no inicio da coleta, a obra já possuía em torno de 30 blocos executados e, consequentemente, uma equipe bem experiente e treinada.

## *5.3 Análise Comparativa entre as obras A e B*

A partir da análise de cada estudo individualmente, é interessante avaliar comparativamente as duas obras, analisando os seus desempenhos no serviço de execução das paredes de concreto.

A Tabela 1 apresenta os valores das RUPs de pavimento como valores mínimos (*benchmarking*) e máximos do processo de paredes de concreto para as duas obras estudadas, para os serviços de armação, fôrma e concretagem, além da RUP cumulativa.

| INDICADOR | FUNÇÃO | RUP PAV *BENCHMARKING* | RUP PAV MÁXIMO | RUP CUMULATIVA | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | OBRA A | OBRA B |
| RUP Armação (Hh/Kg) | Armador | 0,0130 | 0,032 | 0,019 | 0,026 |
| | Servente | 0,0049 | 0,021 | 0,018 | 0,005 |
| RUP Fôrma (Hh/m²) | Montador | 0,109 | 0,430 | 0,320 | 0,130 |
| | Servente | 0.077 | 0,650 | 0,560 | 0,090 |
| RUP Concretagem (Hh/m³) | Pedreiro | 0,064 | 0,630 | 0,560 | 0,080 |
| | Servente | 0,068 | 0,920 | 0,670 | 0,090 |

**TABELA 1** • Indicadores de produtividade para paredes de concreto

Para o serviço de armação, os dados da Tabela 1 mostram uma RUP cumulativa um pouco maior para os armadores da obra B (0,026 Hh/Kg) em relação a armadores da obra A (0,019 Hh/Kg). Porém, para os serventes isto não acontece, pois a RUP de 0,005 Hh/Kg dos serventes na obra B foi muito inferior à alcançada pelos serventes da obra A, que foi de 0,018 Hh/Kg. Esta divergência de resultados se dá, principalmente, pelo dimensionamento da equipe, pois enquanto a obra A utilizou uma equipe de 6 armadores e 6 serventes, a obra B utilizou 4 armadores e 2 serventes. É importante destacar que a análise comparativa neste caso tem que ser a proporção entre armadores e serventes, e não a quantidade de funcionários.

Em relação à fôrma, o tipo de produção utilizada em cada obra também foi o fator predominante para os resultados obtidos de RUPs cumulativas. Enquanto a obra A obteve para os seus montadores uma RUP de 0,32 Hh/m², a obra B conseguiu uma RUP de 0,13 Hh/m², um valor 60% menor que o da a obra A. Como já foi citado anteriormente, a obra B utilizou um sistema de produção por tarefas diárias atribuídas às equipes de operários, sendo que para cada meta cumprida, a obra ainda bonificava o funcionário com até 80 % do valor do serviço, e ainda o dispensava antes do final do horário de expediente, caso ele tivesse concluído sua tarefa.

Para o serviço de concretagem não havia diferenciação das RUPs para nenhuma obra, considerando desta forma o valor efetivo para os dois casos. Contudo, as variações das RUPs cumulativas entre as obras alcançaram diferenças ainda maiores. A obra B obteve uma RUP para pedreiro de 0,08 Hh/m³, enquanto a obra A alcançou

0,56 Hh/m³ de RUP para o mesmo profissional do serviço. Para os serventes isso não foi diferente, já que a RUP da obra A foi de 0,67 Hh/m³ contra os 0,09 Hh/m³ de RUP da obra B.

Os fatores que mais influenciaram a baixa produtividade no serviço da concretagem da obra A foram a ociosidade de alguns membros da equipe e a complexidade dos serviços. A concretagem na obra A era interrompida constantemente pelo atraso no fornecimento do concreto, gerando assim uma grande ociosidade por parte dos funcionários. Além disso, uma equipe grande tendeu a diminuir ainda mais a produtividade, uma vez que o seu controle e divisão do trabalho são mais complicados. Entretanto, a equipe responsável pela concretagem da obra B realiza em um só dia a concretagem em cinco blocos no canteiro da obra; com isso, o tempo de espera para a realização da concretagem era praticamente nulo. A concretagem na obra B se destacou por ser um serviço muito rápido e eficiente, com as tarefas muito bem definidas para cada funcionário e a concreteira muito próxima da obra. Isto contribui para o cumprimento rigoroso dos horários programados e evitou ao máximo a ociosidade e, consequentemente, a improdutividade da equipe.

Por meio da análise dos dados deste trabalho, constatou-se que existe uma melhoria em termos de produtividade no processo construtivo da obra B em relação aos dados da obra A. Esta diferenciação se dá principalmente pelo ciclo de produção adotado pela obra B para cumprir os seus prazos e plano de ataque planejado. Pode-se dizer que o método utilizado pela obra B chega a ser industrializado, devido à baixa variabilidade, rotina dos serviços e eficácia dos pacotes de trabalho planejados diariamente. Para alcançar esses resultados, a obra contou com uma adequada logística e organização do canteiro, com profissionais bastante qualificados para todas as suas áreas tanto para a produção e planejamento quanto para as atividades de suporte. Quanto à obra A, é necessário incrementar algumas melhorias para se visualizar um aumento na produtividade. Verificou--se que o essencial é melhorar a postura de todos os envolvidos nos processos, uma vez que foi observada muita ociosidade e equipes mal dimensionadas. Em contrapartida, as duas obras disponibilizaram treinamento para os seus funcionários, principalmente para os envolvidos com o serviço de fôrmas.



# 6 CONCLUSÃO

Mesmo já tendo implantado o Sistema de Indicadores de Perdas e Produtividade há dois anos em obras de Salvador, este foi o primeiro estudo de medição de desempenho desenvolvido pela Comunidade da Construção da Bahia envolvendo paredes de concreto. As empresas tiveram interesse em participar da concepção destes novos indicadores e da criação do banco de dados de produtividade, contribuindo assim para a caracterização deste sistema ainda pouco usado na região. Os dados e informações obtidas não só ajudarão as empresas participantes, mas contribuirão com outras empresas que precisam avaliar e conhecer o potencial desempenho produtivo do sistema de paredes de concreto em Salvador e sua região metropolitana.

O procedimento de coleta foi feito de forma padronizada, respeitando as diferenças de cada empresa, mas priorizando que elas coletassem da mesma forma, para serem possíveis comparações e estabelecer critérios bem definidos de como e o que contemplar na assimilação dos dados, gerando total transparência quanto às informações obtidas. Diante disso, puderam-se obter dados confiáveis que representam fielmente o atual desempenho das empresas estudadas, contribuindo como ferramenta para posteriores tomadas de decisões e utilização nas composições de orçamentos futuros.

Com os dados coletados e avaliando os resultados das duas obras, foi possível concluir que o sistema de produção e o plano de ataque adotado pelas empresas podem interferir diretamente na sua produtividade. O sistema de paredes de concreto apresenta características que apontam para um processo com alto nível de industrialização; com isso, é imprescindível a adoção de um ciclo de produção eficiente que potencialize a produção em escala, uma vez que as paredes de concreto se apresentam como boa alternativa do ponto de vista da imperativa necessidade de aumento de produtividade através da industrialização dos processos e redução do emprego da mão de obra.

# REFERÊNCIAS


ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLLAND - ABCP. **Parede de Concreto** - Coletânea de ativos 2007/2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLLAND - ABCP. **Parede de Concreto** - Coletânea de ativos 2009/2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16005**. Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos. ABNT: Rio de Janeiro, 2012.

ARAÚJO, L. O. C. de. **Método para a previsão e controle da produtividade da mão de obra na execução de fôrmas, armação, concretagem e alvenaria**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ARÊAS, D. M. **Descrição do Processo Construtivo de Parede de Concreto para Obra de Baixo Padrão**. Projeto de Graduação - Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013. 70p.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Boas Práticas**, 2012. Disponível em: <http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/boas-praticas/14/uso-do-agentedesmoldanteadequado.html>. Acesso em: 20 nov. 2013.

COSTA, D. B. **Diretrizes para a realização de processo de benchmarking colaborativo visando à implementação de melhorias em empresas de construção civil**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2008. 310p.

COSTA *et al*. **Caderno de Resultados Sistema de Indicadores de Produtividade e Perdas**. Comunidade da Construção, Salvador, 2013.





DUARTE, C. M. de M. **Desenvolvimento de sistema de indicadores para Benchmarking em empresas de construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2011.

GUIMARÃES, C. D. **Análise de Indicadores de Produtividade e Perdas na Fase de Estrutura de Obras de Edificações**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2012. 130p.

MASSUDA, C. **Como construir Parede de concreto**. 2009. Disponível em: <http://www.engemix.com.br/cserie/attach/manual/revista_techne.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2012.

PEREIRA, E. A. **Diretrizes de Gestão para Obras Habitacionais de Interesse Social**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2008. 174 p.

SACOMANO *et al*. **Administração de Produção na Construção Civil: o gerenciamento de obras baseado em critérios competitivos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2004. 204p.

SOUZA, U.E.L. **Como Aumentar a Eficiência da mão de obra - Manual de Gestão da Produtividade na Construção Civil**. São Paulo; Editora Pini; 2006. 100p.

# UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA

Alex Dias [1]
Cecília Robbe [2]

## *Resumo*

“Este artigo busca demonstrar a viabilidade da utilização de resíduos da construção civil (gesso, concreto e blocos de concreto), em substituição aos agregados, e em diferentes proporções, na fabricação de blocos de concreto para vedação. A reutilização de subprodutos, além de diminuir os custos por bloco, reduz a energia gasta na fabricação, assim como possibilita uma alternativa de construção cíclica, limpa e mais eficaz. O artigo inicia-se tratando a importância de se utilizar resíduos da construção civil, traçando um breve histórico da sua utilização no Brasil e no mundo. Relata o processo de fabricação dos blocos de concreto e as substituições parciais dos seus agregados por resíduos da construção civil. A partir dos resultados encontrados através da análise dos blocos, é realizado um comparativo do custo de produção e uma avaliação de sua utilização no mercado. Por fim, demonstrando a viabilidade e o baixo custo de se produzir blocos de concreto reaproveitando os resíduos da própria obra e diminuindo os impactos que estes resíduos geram para a sociedade.”

***Palavras-chave*** » resíduos; blocos de concreto; gesso; concreto.

[1] E-mail: *dias.alex86@gmail.com*.
[2] E-mail: *crobbe@terra.com.br*.

# 1 INTRODUÇÃO

Segundo Pinto (1999), 50% dos resíduos sólidos gerados no Brasil são provenientes da indústria da construção civil. Este número pode ser comprovado avaliando o crescimento do setor ao longo dos últimos 12 anos, quando houve uma elevação do número de empreendimentos e um consequente aumento da participação do setor no PIB nacional.

De maneira geral, no Brasil, a massa de resíduos da construção é maior do que a massa de resíduos gerada nos domicílios. Em Salvador, os resíduos gerados pela construção civil correspondem a 41% da massa total de resíduos sólidos urbanos, um valor abaixo da média quando comparado a outras capitais.

A possibilidade de diminuir os impactos causados na sociedade, gerar novas fontes de receita, diminuir os gastos públicos e alcançar um novo patamar de gestão de resíduos com base nos resultados obtidos em países desenvolvidos tende a ser constante, e não deve ser esquecida nos planos futuros de empresas e municípios.

De acordo com Angulo (2004), os resíduos de construção e demolição (RCD), são, se observarmos o âmbito geral, uma preocupação recente no Brasil, se comparado com países europeus os próprios EUA, onde existem ações dos governos para que produtos ambientalmente sustentáveis tenham um mercado desenvolvido e rentável.

Em Salvador, se compararmos com o Brasil, a situação é ainda pior, pois não existem políticas públicas adequadas para o tratamento destes resíduos, fazendo com que eles sejam depositados irregularmente na malha urbana, gerando custos para a sociedade e ocasionando a degradação de áreas urbanas. A remoção destes resíduos depositados irregularmente custa aos municípios uma quantia significativa de recursos, os quais poderiam estar sendo direcionados para a criação de melhor infraestrutura para a população em geral (PINTO, 1999).

Atualmente, podemos citar o exemplo da Holanda como principal caminho a ser seguido, onde 95% de todo o resíduo da construção civil é reutilizado e, desde o ano 2000, é expressamente proibido pelas autoridades que qualquer empresa da construção envie para os aterros sanitários resíduos possíveis de serem reutilizados.



# 2 BLOCOS DE CONCRETO

## *2.1 Breve histórico de utilização no Brasil*

As primeiras utilizações no Brasil datam de 1940, porém, seu uso mais expressivo acontece na década de 80, impulsionado principalmente pelo Estado de São Paulo e pela busca em construir com maior rapidez, sem perder a qualidade.

Coincidentemente, o início da utilização dos blocos de concreto no Brasil deve-se ao fato de as grandes pedreiras do estado de São Paulo possuírem um volume excessivo de rejeitos de pó-de-pedra e pedrisco. Como não possuíam encaminhamento para estes materiais, a utilização para a fabricação dos blocos foi uma solução economicamente viável, e resolveu um problema histórico de gestão de resíduos das pedreiras.

## *2.2 Processo de fabricação*

O processo de fabricação de blocos de concreto se inicia na seleção dos materiais utilizados para a moldagem. Os blocos são produzidos basicamente através da mistura de 4 componentes: aglomerante, agregados graúdos e miúdos, e água (podendo-se adicionar um aditivo a esta mistura). Estes materiais devem ser combinados de modo a se conseguir o máximo grau de compactação dos blocos durante a moldagem nas vibro-prensas. Deve-se trabalhar com agregados de dimensões máximas inferiores à metade da menor espessura da parede dos blocos, a não ser que se faça uma verificação experimental comprobatória da viabilidade de outra dimensão.

A dosagem é o próximo passo de fabricação, onde é estabelecido o traço do concreto, com a especificação das quantidades de aglomerante, agregados, água e, eventualmente, aditivos. Na dosagem do bloco de concreto, devem-se tomar alguns cuidados devido à sua consistência ser de terra úmida, diferente do normalmente utilizado em estruturas, com consistência plástica. No concreto para fabricação de blocos existe a presença significativa de ar em volume e, com isso, ele não segue a regra do concreto de estruturas, onde o menor volume de água aumenta a resistência do concreto. Neste passo, os valores de traço são

escolhidos objetivando a resistência média visada na idade de interesse. Espera-se que o traço médio seja a estimativa inicial para a resistência requerida.

A moldagem dos blocos nas máquinas vibro-prensas – máquina onde ocorre a vibração e adensamento da mistura nos moldes – é uma etapa fundamental no processo de fabricação dos blocos, já que o adensamento feito de forma eficaz diminui os espaços vazios entre os agregados, tornando o bloco mais coeso.

O armazenamento e a cura são as últimas etapas para fabricação dos blocos de concreto. É necessário armazenar os blocos em um ambiente coberto para que não sofram com a retração devido à perda de água para o ambiente. Os blocos permanecerão úmidos e protegidos contra a ação dos ventos pelo menos durante os 7 primeiros dias após a moldagem. Vale lembrar a importância da cura para os resultados finais de resistência do bloco que se pretende alcançar.

## *2.3 Utilização de resíduos para a fabricação de blocos de concreto*

A utilização de resíduos da construção civil na fabricação do concreto abrange uma gama muito grande de possibilidades de reciclagem dentro da própria obra. Sua utilização só deve ser recomendada para casos em que o concreto a ser utilizado não seja estrutural, sempre substituindo os agregados (areia e brita) pelo resíduo reciclado.

Segundo Zordan (1997), existem vantagens e desvantagens na utilização de resíduos para a fabricação de concreto, e dentre elas podemos citar:

**a) VANTAGEM:** Melhoria no desempenho do concreto quando comparado aos agregados convencionais ao se utilizar um baixo consumo de cimento.

**b) DESVANTAGEM:** Devido à grande absorção de água gerada pela maioria dos resíduos, o consumo de água passa a ser um pouco maior.

Para Brito (1999), o agregado reciclado deve estar saturado para que os resultados de resistência do concreto sejam satisfatórios, visto que as resistências encontradas em concretos que utilizam agregados reciclados são cerca de 20% menores que as encontradas em concretos convencionais.



| Características | Tolerâncias | |
|---|---|---|
| | Agregado Miúdo | Agregado Graúdo |
| Granulometria | Atender uma das faixas granulométricas da Norma | Atender à faixa granulométrica da norma, indicada para brita zero. |
| | Módulo de finura variar mais que 0,2 para materiais de mesma origem. | Dimensão máxima característica menor ou igual à metade da espessura do molde da prensa. |
| Torrões de Argila NBR 7218 | 1,50% | 1,00% |
| Impurezas Orgânicas NBR 7220 | 300ppm | - |
| Material Pulverulento NBR 7219 | 5,00% | 1,00% |

**QUADRO 1** • Tolerâncias para substituição de agregados

Com base no Quadro 1, podemos observar que, para reduzir o custo de produção dos blocos de concreto para alvenaria de vedação, podemos optar por materiais alternativos. Estes materiais resultam em produtos que competem de forma igualitária com os convencionais, quando analisadas as propriedades desejadas para os blocos de concreto. A utilização de agregados alternativos deve ser acompanhada de uma análise experimental para avaliar, principalmente, a proporção de uso dos materiais e o desempenho dos componentes ao longo do tempo.

Para viabilizar a fabricação dos blocos, substituímos os agregados por resíduos que são encontrados em larga escala nas construções em Salvador: o gesso, o concreto e os próprios blocos de concreto.

### 2.3.1 RESÍDUO DE GESSO

A utilização do gesso na construção civil vem crescendo de forma contínua, principalmente a partir dos anos 90, onde o sistema de drywall começou a ser utilizado em todos os tipos de edificações que utilizam sistemas de vedação.

Além da utilização do gesso em drywall, observamos seu uso também em peças de decoração, sancas, bancadas, molduras, e material de revestimento, entre outras aplicações. Esta variedade de opções de utilização tem um preço a ser pago pela sociedade: a sua imensa geração de resíduos.

O resíduo de gesso é um material que deve ser manipulado com cautela e responsabilidade, pois se trata de um material altamente contaminante em relação aos demais resíduos da construção, tornando-se um grande problema de saúde pública,

determinado, principalmente, pelas limitações impostas pelas leis para a sua disposição nos aterros sanitários existentes.

Em função das exigências das atuais regulamentações brasileiras, a gestão dos resíduos de gesso no canteiro de obra passou a demandar uma atenção maior dos gestores no canteiro de obras. Uma boa gestão do resíduo de gesso também é importante, pois, além de reduzir os custos de produção, ocasiona a diminuição das perdas e a consequente diminuição da destinação de resíduos.

Nos estudos de Abreu (2009) podemos verificar a aplicabilidade do resíduo de gesso na fabricação de blocos de concreto, com valores de resistência à compressão maiores do que os limites da norma. Além dos testes realizados neste trabalho, é importante verificar a durabilidade do gesso e a sua expansão durante o processo, já que o gesso não se encontra na Classe A, não sendo classificado como resíduo passível de ser utilizado como agregado.

### 2.3.2 RESÍDUOS DE BLOCOS DE CONCRETO

Os resíduos gerados pela utilização de blocos de concreto são, em grande parte, causados pelos desperdícios no momento do transporte, onde a deficiência da armazenagem, aliada ao transporte incorreto, causam fissuras nos blocos inferiores e intermediários. Outros problemas identificados que causam fissuras e a consequente perda dos blocos são: falhas no processo de cura; má execução da alvenaria em campo; falta de paginação de projetos; transporte interno na obra; traço mal realizado; e a falta de fabricação de blocos compensadores. Ao observar algumas obras em Salvador, podemos perceber perdas que atingem até 45% de toda a produção, observando estas perdas desde a fabricação até o uso final.

### 2.3.3 RESÍDUOS DE CONCRETO

Os resíduos de concreto são gerados, principalmente, da falha no controle do volume solicitado pela obra em relação ao volume pedido, gerando perdas por excesso. As perdas por excesso são ocasionadas por vários fatores em uma construção, porém, se repetem com frequência e, normalmente, não são contabilizadas pelas empresas que gerenciam a produção.

Estudos efetuados por Lordsleem (2012) demonstram que existe uma variação enorme de perda, que oscila entre 6,97% e 42,16% na execução da concretagem.



Ao realizar uma análise do estudo de Lordsleem (2012) com a realidade das obras em Salvador, que em maioria assumem como perda 5% do concreto a ser utilizado, podemos chegar em uma taxa absurda de desperdício não contabilizado.

## 3 ESTUDO EXPERIMENTAL

Para realizar a moldagem dos blocos é necessário definir as especificações técnicas, principalmente para efeito de comparação de resultados com os blocos usuais. Neste artigo, faremos o estudo para blocos da classe D, família 39, medindo (14x19x39)cm, conforme a Figura 1, e que não possuem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo, de acordo com a NBR-6136 (2007). Os testes realizados obedecem à NBR-12118 (2013), e foram realizados em uma empresa especializada.

Os agregados reciclados foram classificados de acordo com a NBR-15116 (2004). Os materiais que foram utilizados como resíduos tiveram a sua coleta realizada em obras em Salvador, sendo armazenados em local seco, para posterior trituração.

Não houve a necessidade de separar os materiais, pois eles já eram coletados "*in loco*" assim que descartados, evitando a mistura com os demais entulhos e garantindo uma qualidade maior para o bloco. No caso do resíduo de concreto, o material foi coletado diretamente na usina de beneficiamento de resíduos da Revita Engenharia Sustentável, sendo coletado já no aspecto de brita 3/8" e pó-de-pedra.

Vale ressaltar que o resíduo de concreto proveniente da Usina de Beneficiamento da Revita é menos oneroso, custando, em média, 50% abaixo do valor de mercado da brita convencional.

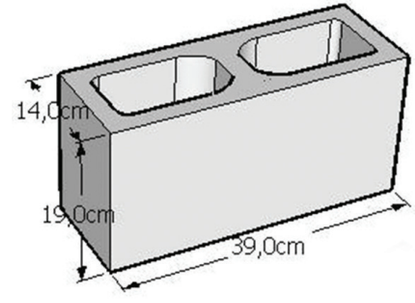



**FIGURA 1** • Dimensões do bloco. (NBR-12118 (2013)

## 3.1 Definição do traço a ser utilizado

O traço utilizado seguiu o padrão da empresa onde foram realizadas as moldagens dos blocos experimentais, sendo estabelecido da seguinte forma: 1:6:1 (Cimento : Agregados : relação água/cimento). Este traço alcança uma resistência média de 5,2MPa nos testes de resistência realizados pela empresa, e se enquadra na norma técnica nos testes de absorção de água (<10% em média).

A escolha do traço utilizado por esta empresa se apoia no fato do efeito comparativo dos resultados obtidos, já que todos os materiais utilizados para a fabricação também foram oriundos da mesma empresa, buscando diminuir ao máximo a contribuição de fatores externos.

Mesmo com valores que atingem mais que o dobro da resistência mínima exigida para os blocos da Classe D, este traço é utilizado para alvenaria de vedação, e está de acordo com o usado no mercado soteropolitano.

## 3.2 Porcentagem de utilização dos agregados

Os resíduos de concreto e de blocos de concreto não devem ser utilizados para substituir a areia no traço citado, pois o concreto já é disponibilizado na própria usina de beneficiamento em forma de brita 3/8" e pó-de-pedra. A granulometria do bloco de concreto triturado se enquadra nas características da brita 3/8", sendo estes agregados substituídos em 100% nos dois casos. No caso do resíduo de gesso triturado, a sua granulometria é similar à da areia, portanto, substituiremos este agregado (areia) em 25% e 50%.

| RESÍDUO UTILIZADO | % SUBSTITUÍDA | AGREGADO(S) SUBSTITUÍDO(S) |
|---|---|---|
| Concreto | 100 | Brita 3/8" e Pó-de-pedra |
| Bloco de concreto | 100 | Brita 3/8" |
| Gesso | 25 | Areia |
| Gesso | 50 | Areia |

**QUADRO 2** • Blocos moldados utilizando resíduos



## 3.3 Trituração dos resíduos

Durante a fase experimental, foram executadas duas formas de trituração dos resíduos por um material mais rígido que os demais, o concreto teve a sua trituração realizada na usina de beneficiamento de resíduos da Revita Engenharia, onde todo o material proveniente da construção civil (Classe A) é despejado e separado em pequenos lotes. Após a coleta, os resíduos de gesso e de bloco de concreto foram triturados manualmente no próprio local de descarte, até obter a granulometria esperada para a moldagem dos blocos. Esta forma de trituração levou em consideração a situação real ocorrida na maioria dos canteiros de obras.

## 3.4 Mistura e moldagem dos blocos

A mistura dos materiais é uma etapa de enorme importância para a qualidade e uniformidade dos blocos gerados. A depender dos equipamentos utilizados, existe uma sequência de adição de materiais, não podendo ser generalizada para todos os casos. A máquina vibro-prensa foi utilizada para garantir o grau de compactação previsto e o atendimento às normas, utilizando os tempos pré-estabelecidos de alimentação e vibração do equipamento.

## 3.5 Cura

A cura referenciada neste trabalho foi uma cura natural, devido às condições climáticas de Salvador, onde os blocos permaneceram "descansando" na sombra, para que não houvesse perda de água em quantidades significativas. Os blocos permaneceram úmidos e protegidos contra a ação dos ventos durante, pelo menos, os 7 primeiros dias após a moldagem. Vale lembrar a importância da cura para os resultados finais de resistência do bloco que se pretende alcançar.

# 4 REALIZAÇÃO DOS TESTES DE RESISTÊNCIA, ABSORÇÃO DE ÁGUA E DIMENSÕES.

Os blocos moldados foram submetidos, de acordo com a NBR-12118 (2013), a três testes para verificar a viabilidade da comercialização. Foram executados os testes de dimensões, de resistência à compressão e de absorção de água.

## *4.1 Análise dimensional dos blocos*

A avaliação das dimensões foi o primeiro teste realizado, assim que os blocos chegaram ao laboratório. Apesar de se tratar de um teste simples de ser executado os resultados alcançados são importantes para avaliar os métodos construtivos. Para todas as avaliações de análise dimensional foram utilizadas réguas metálicas com 1mm de resolução, conforme a norma solicita.

A primeira etapa para a execução do teste foi a verificação da largura, do comprimento e da altura dos blocos. Neste momento, foram realizadas três determinações em pontos distintos dos blocos, buscando verificar também a uniformidade na fabricação.

Após esta etapa, foram realizadas as determinações das espessuras das paredes, sendo tomadas do ponto mais estreito, e seu resultado expressado como a média das paredes medidas e separadas em transversal e longitudinal.

A última etapa de verificação das dimensões realizadas neste trabalho foi a análise dimensional dos furos internos dos blocos, sendo realizadas duas determinações no centro de cada furo do bloco, sendo uma na direção longitudinal do bloco e outra na direção transversal, tomada na face de maior espessura, com aproximação de 1mm.

Os resultados de análise dimensional nos blocos moldados com resíduos foram dispostos no Quadro 3.

| IDENTIFICAÇÃO DO BLOCO | COMPRIMENTO(MM) | LARGURA(MM) | ALTURA(MM) |
|---|---|---|---|
| Gesso (25%) | 391 | 141 | 190 |
| Gesso (50%) | 390 | 140 | 191 |
| Concreto | 390 | 140 | 191 |
| Bloco de concreto | 390 | 141 | 191 |

**QUADRO 3** • Blocos moldados utilizando resíduos



De acordo com a NBR-12118 (2013), existe uma tolerância de ±3 mm para altura e comprimento e de ±2 mm para a largura, desta forma, todos os blocos avaliados neste artigo estão em conformidade com a norma, considerando a análise dimensional.

## *4.2 Resistência à Compressão*

Para a realização dos testes de resistência à compressão foram recolhidas 1 amostra de cada tipo de bloco fabricado e, após a cura, os blocos foram levados para o local de armazenamento, onde permaneceram até completar o 28º dia.

Após atingir a idade de 28 dias, os blocos foram encaminhados para o laboratório de análise, onde foram capeados com argamassa capaz de resistir às tensões do ensaio e armazenados por mais 2 dias para a realização dos testes.

Para a execução dos testes, os blocos foram posicionados na prensa hidráulica, sendo que seu eixo central permaneceu durante todo o teste no centro da máquina. Após o aumento gradativo da tensão, o bloco chega ao rompimento, que é evidenciado numa tela acoplada à própria prensa.

De acordo com a NBR-12118 (2013), a resistência à compressão mínima individual para blocos de concreto sem função estrutural é de 2,0Mpa.

| IDENTIFICAÇÃO DO BLOCO | RESISTÊNCIA (MPA) |
|---|---|
| Gesso (25%) | 1,9 |
| Gesso (50%) | 1,4 |
| Concreto | 4,7 |
| Bloco de concreto | 2,9 |

**QUADRO 4** • Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Com base nos resultados encontrados, podemos observar que os blocos de gesso não se adequam à NBR-6136 (2007), com resistências menores do que as exigidas por norma, porém, é importante verificar que o bloco com substituição de 25% de areia por gesso alcançou resistência de 1,9MPa, muito próximo do limite estabelecido pela norma, e, considerando os diversos fatores que influenciam na resistência dos blocos, não se descarta sumariamente o uso deste tipo de bloco, cabendo mais testes para uma melhor avaliação

futura. No caso dos blocos de resíduos de concreto e blocos de concreto, alcançamos resistências até 2 vezes maior que o limite da norma. Este resultado indica que a troca do agregado por resíduos da construção é válida para estes critérios.

### *4.3 Absorção de água*

Os testes de absorção de água pelos blocos foram realizados no mesmo laboratório dos demais testes, e constitui uma etapa essencial para a realização deste trabalho, já que a interferência da água no processo construtivo é relevante para a qualidade do bloco produzido.

Para a realização do teste, os blocos foram encaminhados para a empresa Concreta, ao atingir os 28 dias, dando início ao procedimento padrão, descrito a seguir.

**SECAGEM:**

**a)** Os corpos de prova foram levados à estufa por 24 horas.

**b)** Foi determinada a massa do corpo de prova após este período.

**c)** Os blocos foram colocados novamente na estufa por 2 horas.

**d)** A operação foi repetida até que a massa do bloco não sofresse alteração significativa. Foi registrada a massa seca de cada bloco, denominada "m1".

**SATURAÇÃO:**

**a)** Os blocos foram imersos em água por 24 horas.

**b)** Os blocos foram pesados, considerando-os saturados.

**c)** A operação foi repetida até que a massa do bloco não sofresse alteração significativa. Foi registrada a massa saturada de cada bloco, denominada "m2".

Para realizar o cálculo de absorção de água pelo bloco, foi realizada a seguinte operação, demonstrada na Equação 1.

$$a = \frac{m2 - m1}{m1} x100$$

onde,

**a =** absorção de água total, em porcentagem;

**m1 =** massa seca de cada bloco;

**m2 =** massa saturada de cada bloco.

**EQUAÇÃO 1** • Cálculo de absorção de água pelo bloco



| IDENTIFICAÇÃO DO BLOCO | RESISTÊNCIA (MPA) |
|---|---|
| Gesso (25%) | 15,2 |
| Gesso (50%) | 18,5 |
| Concreto | 9,5 |
| Bloco de concreto | 12,8 |

**QUADRO 5** • Resultados dos ensaios de absorção de água dos blocos

De acordo com a NBR-6136 (2007) o valor máximo para a absorção de água pelo bloco de concreto é de 10% (em média) e de 15% (análise individual). Como podemos visualizar no Quadro 5, apenas os blocos que utilizaram resíduos de concreto e resíduos de blocos de concreto estão de acordo com a norma. Apesar de todos os tipos de bloco alcançarem resistências maiores, ou próximas da permitida por norma, os índices de absorção de água dos blocos de gesso não foram compatíveis, pois os resíduos utilizados, invariavelmente, possuem características de absorção da água maiores que as da areia utilizada.

## 5 ANÁLISE CONCLUSIVA DE CUSTO

Com base nos resultados dos ensaios, podemos equiparar os blocos de concreto convencionais com os blocos de concreto fabricados através da utilização de resíduos. A Figura 2 demonstra a composição do valor de fabricação do bloco de concreto, que será utilizado como base para a composição do valor dos blocos de resíduos.

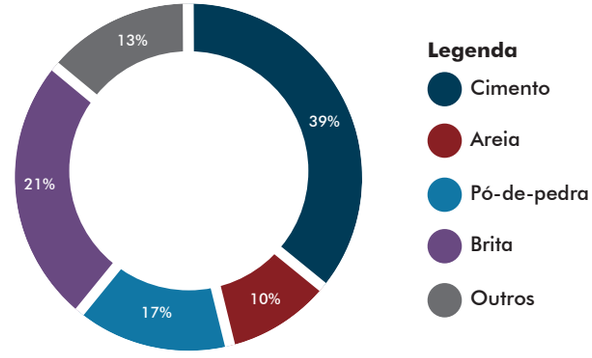



**FIGURA 2** • Composição de materiais para o bloco usual

Para efeito de comparação no Quadro 6, temos o demonstrativo do custo unitário do bloco de concreto usual, fabricado em Salvador.

| TIPO DE BLOCO | CUSTO UNITÁRIO (R$) |
|---|---|
| Bloco usual | 1,43 |

**QUADRO 6** • Custo médio unitário do bloco usual (14x19x39 – Classe D)

Com base na composição unitária dos blocos usuais, podemos chegar aos valores estimados de fabricação dos blocos de resíduos, lembrando que, para estes blocos, foram supostas duas situações diferentes:

- Os resíduos de concreto agregam valor aos blocos.
- Os resíduos de gesso e bloco de concreto não agregam valor aos blocos.

Com base na Figura 2 e no Quadro 6, pode-se chegar à seguinte conclusão, conforme os Quadros 7 e 8.

| TIPO DE BLOCO | CUSTO UNITÁRIO (R$) |
|---|---|
| Resíduo de gesso - Substituição de 25% de agregado miúdo | 1,38 |
| Resíduo de gesso - Substituição de 50% de agregado miúdo | 1,35 |
| Resíduo de blocos - Substituição de 100% de agregado graúdo | 1,12 |
| Resíduo de concreto - Substituição de 100% dos agregados | 1,07 |

**QUADRO 7** • Custo unitário dos blocos fabricados com agregados provenientes de resíduos

| TIPO DE BLOCO | CUSTO UNITÁRIO (R$) |
|---|---|
| Resíduo de gesso - Substituição de 25% de agregado miúdo | 3% |
| Resíduo de gesso - Substituição de 50% de agregado miúdo | 5% |
| Resíduo de blocos - Substituição de 100% de agregado graúdo | 22% |
| Resíduo de concreto - Substituição de 100% dos agregados | 25% |

**QUADRO 8** • Economia gerada em comparação ao bloco usual

Além de possuir um custo mais barato de fabricação, estes blocos gerariam uma economia no bota-fora de resíduos da obra.



# 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de resíduos como parte da fabricação de novos produtos dentro da construção civil já é uma realidade; embora ainda com desenvolvimento tímido dentro do mercado da construção soteropolitano, o aproveitamento de entulhos tende a ganhar força, já que cada vez mais são repensados os custos nas obras, e novas formas de economizar recursos são somadas aos processos construtivos.

Além do fator econômico, tem-se como principal fator a diminuição da agressão ao meio ambiente, criando um ciclo de produção dentro da própria obra, economizando tempo, transporte e espaço nos centros urbanos e evitando desperdícios.

Apesar das pontualidades, pode-se observar que é possível atingir excelentes resultados na produção de blocos utilizando resíduos, e o aperfeiçoamento das técnicas traz uma nova perspectiva, abrindo novas portas para um mercado emergente.

Conclui-se o estudo de forma positiva, acreditando-se que, com um aprofundamento do tema pode-se, em breve, produzir blocos com a utilização de resíduos com a qualidade e o padrão já alcançados nos blocos convencionais, e com uma enorme vantagem quando comparados a estes: custos até 25% menores e diminuição da agressão ao meio ambiente.

# REFERÊNCIAS


ANGULO, S.C. **Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD.** In: V SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL. IBRACON CT-206/IPEN, São Paulo, 2002. p. 293-308.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BRITO FILHO, J.A. **Cidades versus entulhos.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999. São Paulo. Anais. São Paulo: Editora Ibracon, 1999. p. 56-67.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; FUCALE, S. P. **Avaliação quantitativa da gestão de resíduos em canteiros de obras**. In: ENTAC 2010, Canelas. RS.

PINTO, T.P.; Metodologia para a gestão **diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo: 1999, 189f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ZORDAN, Sérgio Eduardo. A **Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto**. Campinas: 1997. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

ABREU, R.M.; **Bloco de vedação com entulho**. In: 2º International workshop advances in cleaner production, São Paulo, 2009.

# MODELAGEM 4D APLICADA AO PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO DE UM PAVIMENTO TIPO

Pedro Henrique do Prado Oliveira [1]
Emerson de Andrade Marques Ferreira [2]

## *Resumo*

“A construção civil vive um momento em que seu desempenho – em termos de prazo, segurança, qualidade e custo – está diretamente atrelado à eficiência no cumprimento do planejamento. Nesse contexto, o BIM surge com a proposta de facilitar a elaboração e o acompanhamento de todos os processos da construção civil, via sua parametrização e interoperabilidade. Esse artigo visa avaliar a aplicabilidade do BIM para elaboração de modelos 4D de curto prazo, contemplando elementos de logística, equipamentos, equipes de trabalho e materiais. Obteve-se, como principal resultado, a conclusão de que um modelo 4D é uma importante ferramenta voltada para a visualização do planejamento de obras.”

***Palavras-chave*** » BIM; 4D; planejamento de curto prazo; pavimento tipo.

[1] E-mail: *pedrohenriquedoprado@gmail.com.br*.
[2] E-mail: *emerson@ufba.br*.

# 1 INTRODUÇÃO

A complexidade nas decisões de um empreendimento se verifica pelo fato de que as consequências de cada decisão dependem de um grande número de variáveis, muitas vezes afetadas por outras decisões. Portanto, o desafio de planejar e orçar uma obra de forma eficaz e eficiente está fortemente atrelado à própria história da construção civil, ainda mais no atual cenário, em que a maioria das obras apresenta atrasos em seus cronogramas e desvios em seus orçamentos.

Tradicionalmente, o método utilizado para planejar as atividades de um empreendimento é o do caminho crítico (CPM – do inglês, *Critical Path Method*). No entanto, esse método condiciona o responsável pelo planejamento a fatiar os processos envolvidos na construção do empreendimento e ordená-los em uma sequência lógica. Nesse ponto, o sucesso do planejamento depende da experiência de quem o elabora, para que cada atividade esteja corretamente atrelada a seu predecessor; o que acaba se tornando um objetivo complexo, dado a visualização de um grande número de atividades conectadas em um gráfico de Gantt, por exemplo.

Outro ponto que eleva o grau de dificuldade do planejamento na construção civil é a constante variação espacial do local de produção. Diferente de uma indústria convencional, a indústria da construção é forçada a produzir em um canteiro dinâmico, onde a destinação de uso do espaço está em constante evolução. Dang; Tarar (2012) explicam que, de acordo com o processo tradicional, o gestor responsável pelo planejamento deve analisar plantas em 2D e estabelecer uma relação conceitual entre os componentes dessa construção e as atividades programadas no CPM, para que possa identificar as características espaciais do empreendimento. Essa análise pode se transformar em um processo complexo e problemático, limitando a possibilidade de identificação de sequências executivas, falhas e oportunidades.

Nesse cenário, a modelagem de informação da construção (do inglês *Building Information Modeling* - BIM) representa um novo paradigma para engenheiros, arquitetos e todos os envolvidos no universo da construção. Visto como a evolução direta do CAD (do termo inglês *Computer-aided Design*), o BIM traz consigo a proposta de um protótipo virtual da edificação, em vez de um desenho baseado em linhas, que requeria maior capacidade de interpretação de quem o analisava. Os objetos, antes representados por linhas, passam a ter uma configuração paramétrica, atribuindo-lhes significado semântico via propriedades associadas. São estabelecidas ligações que definem o modo de interação dos elementos entre si e com o modelo global. Os objetos são organizados de modo que ficam divididos por classes e níveis de detalhe (EASTMAN *et al.*, 2011).

Fundamentada nesses conceitos, a modelagem 4D surge para facilitar o processo de planejamento. Realizada via criação de um modelo virtual da construção, a modelagem em 4D alia o modelo tridimensional estático a um planejamento executivo da construção, possibilitando evidenciar a organização espacial do canteiro em cada etapa executiva. Desse modo, desafios como identificar locais para armazenamento de materiais, áreas administrativas e centrais de pré-fabricação podem ser resolvidos de forma mais segura e assertiva. A linha principal de trabalho do BIM é a modelagem de um protótipo virtual da edificação, como se fosse a construção da edificação no ambiente virtual. Aplica-se, inclusive, a denominação edifício virtual.

De acordo com Owen *et al*. (2012), a associação do BIM à construção enxuta (Lean Construction) resulta em um processo holístico semelhante ao de outras indústrias, inclusive, trabalhos realizando essa integração apontam para a concepção de novas ferramentas de gestão de projetos. O principal elo dessa associação é o princípio da transparência, definido como a capacidade que dado processo de produção possui de se comunicar com as pessoas, e essa capacidade se dará quando os processos se tornarem visíveis e compreensíveis do início ao fim (VALENTE, 2013). Com base nesse contexto, esse trabalho visa avaliar a aplicação do BIM para estudo do planejamento de curto prazo de obras aplicado a um pavimento tipo, com foco no serviço de alvenaria.

# 2 PLANEJAMENTO DE OBRAS

Dentre as diversas definições de planejamento na literatura, Formoso (2001) diz que planejar uma obra constitui um processo gerencial que envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los, sendo eficaz somente quando realizado em conjunto com o controle. Em outras palavras, planejar é pensar, aplicar, controlar e corrigir a tempo. O planejamento envolve várias etapas que

não podem ser descartadas por falta de tempo ou por excesso de confiança na própria experiência (MATTOS, 2010).

A construção de uma edificação consiste de um conjunto de atividades específicas, interdependentes e, muitas vezes, paralelas; todas ocorrendo em torno de um ambiente dinâmico e mutável. Além das peculiaridades de cada variável envolvida, o ato de construir traz consigo o desafio de consolidar todas essas diferentes tarefas em um único cronograma, de modo que o empreendimento seja realizado dentro do prazo, com segurança, qualidade e custo pactuados com clientes e acionistas.

Estando munido de todas as informações sobre o andamento da obra e seus serviços, o gestor passa a ter domínio pleno sobre a interferência de cada atividade, além de possibilitar a tomada de decisões de forma antecipada. Quanto mais cedo for a intervenção, melhor será o resultado que ela trará, caracterizando uma oportunidade construtiva. Pode-se entender oportunidade construtiva como a alteração do rumo de um serviço, ou do próprio planejamento, a um custo relativamente baixo. Com o passar do tempo, essa intervenção passa a ser menos eficaz, e sua implantação, mais cara — é a oportunidade destrutiva (MATTOS, 2010).

Como o planejamento da obra é complexo e abarca toda a sua extensão, o cronograma global não se presta como ferramenta de comunicação imediata com as equipes executoras (MATTOS, 2010). Nesse contexto surge o planejamento de curto prazo ou operacional, cujo principal objetivo é orientar diretamente a execução da obra. Em geral, é realizado em ciclos semanais, sendo caracterizado pela atribuição de recursos físicos (mão de obra, equipamentos e ferramentas) às atividades em pacotes menores, denominados tarefas (FORMOSO, 2001).

O planejamento neste nível deve ter forte ênfase no engajamento das equipes com as metas estabelecidas, sendo por isto denominado na bibliografia de *commitment planning* (planejamento de comprometimento) (FORMOSO, 2001). Pesquisas realizadas em países desenvolvidos revelaram que as equipes mais produtivas são aquelas que dedicam mais tempo para entender e comentar a programação, pois se comprometem mais, administram melhor os recursos, dialogam com os engenheiros com mais objetividade, enfim, adquirem uma visão mais realista da obra (MATTOS, 2010).

O *commitment planning* inicia-se com uma análise criteriosa das atividades planejadas em um horizonte de médio prazo. É feita uma triagem dos pacotes de trabalho que tiveram



suas restrições removidas, e somente esses devem ser considerados para comprometimento de execução em curto prazo. Ballard (2000) explica que os pacotes de trabalho devem ser definidos em acordo com os mecanismos de produção protegida, de modo a minimizar os impactos de condições incertas no fluxo de trabalho. O foco do planejamento de curto prazo é a prioridade.

Quanto mais próximo se está do início de uma atividade, maior a clareza com que se consegue enxergar os detalhes envolvidos. Por isso, a programação de curto prazo é, dentre as diversas ferramentas disponíveis para o gestor da obra, a mais indicada para identificar as causas por que as tarefas da semana se atrasaram, ou não ocorreram conforme o planejado (MATTOS, 2010).

## 3 BIM - BUILDING INFORMATION MODELING

Dois principais conceitos presentes no BIM o diferenciam dos sistemas CAD tradicionais: modelagem paramétrica e interoperabilidade (EASTMAN *et al.*, 2011).

O BIM, por excelência, é uma criação paramétrica – ou seja, inteligente – de modelos tridimensionais, em vez de desenhos bidimensionais "não inteligentes". A modelagem paramétrica é uma representação computacional orientada a objetos que possuem atributos fixos e variáveis, a depender das suas propriedades e utilizações. Eastman *et al*. (2011) afirmam que atributos são informações relativas a diversas características dos objetos. Em resumo, a estrutura de um modelo paramétrico é composta por "famílias" de objetos incluindo atributos de forma, atributos complementares e relações. Assim, diferentes instâncias de um tipo podem gerar uma grande variedade de objetos, com parâmetros diversificados e dispostos em posições variadas (ANDRADE; RUSCHEL, 2009). Além do mais, modelos de construção baseados em objetos paramétricos possibilitam a extração de relatórios e checagem de inconsistências.

Andrade; Ruschel (2009) explicam que um projeto envolve muitas fases e diversos participantes, o que requer grande troca de informações ao longo do seu ciclo de vida, sendo que cada especialidade utiliza tipos diferenciados de aplicativos computacionais. Nesse cenário, surge a importância da interoperabilidade. Com ela, se elimina a necessidade de replicar dados de entrada que já tenham sido gerados, reduzindo a energia despendida

com retrabalhos e, de forma rápida e automatizada, possibilita o fluxo de informações entre diferentes aplicativos durante o processo de projeto. Ou seja, interoperabilidade é a capacidade de o modelo se comunicar eficientemente com as diversas interfaces e aplicações presentes ao longo do ciclo de vida da edificação.

## *3.1 Aplicações do BIM*

O BIM oferece a proposta de um modelo tridimensional ao qual são adicionadas dimensões complementares, as chamadas modelagens "nD". O uso da nomenclatura 2D e 3D é facilmente compreensível, visto que se baseia na representação geométrica tradicional, via eixos coordenados. No entanto foi identificado por Aouad *et al*. (2003) que, a partir da quarta dimensão, a compreensão se torna cada vez mais abstrata. Dessa forma, definiu-se que o modelo nD é uma extensão do modelo 3D que incorpora aspectos referentes às informações para o projeto ao longo do ciclo de vida da edificação.

Sob a mesma ótica, definiram-se ferramentas para modelagem nD como uma série de interfaces multidisciplinares que possuem aplicações para projeto e análise de construções, comunicando-se por intermédio de um modelo nD interoperável de dados padronizados. De acordo com Aouad *et al*. (2003), as dimensões podem ser adicionadas para integrar informações de tempo, custo, construtibilidade, acessibilidade, sustentabilidade, acústica, iluminação e requisitos térmicos. O padrão comumente praticado encontra-se listado abaixo:

- **2D –** Estado plano
- **3D –** Tridimensional
- **4D –** Adiciona-se o Tempo ao projeto (planejamento)
- **5D –** Adiciona-se o Custo ao projeto (orçamento)
- **6D –** Aspectos do Ciclo de Vida da edificação (manutenção / gestão)

## *3.2 Modelo 3D*

O modelo 3D é a base do modelo interoperável criado para um empreendimento. Dang; Tarar (2012) explicam que o modelo tridimensional contém todas as relações espaciais, informações geográficas e geométricas da construção. Ao se utilizar um modelo 3D, inconsistências são facilmente identificadas, o que permite que eventuais interferências sejam sanadas antes do momento de execução. Nesses modelos, diferentes disciplinas podem ser unidas e comparadas, levando a um processo com custos e prazos reduzidos (EASTMAN *et al*., 2011).

## *3.3 Modelo 4D*

Modelos 4D são fruto da união de um modelo tridimensional ao planejamento da execução das atividades. Permitem representar a evolução da obra ao longo do tempo, bem como a logística do canteiro de obra, já que permitem que se analise a utilização do espaço ao longo da construção. Dang; Tarar (2012) afirmam que o modelo pode incorporar gruas, elevadores e equipamentos de transporte horizontal, bem como suas rotas e acessos. Eastman *et al*. (2011) atestam que também podem ser estudados elementos de segurança e construtibilidade imprescindíveis à construção.

Eastman *et al.* (2011) perceberam que os mecanismos envolvidos no processo de construção de um modelo 4D variam de acordo com as ferramentas adotadas. No entanto, existem diversos itens específicos que devem ser considerados para que o modelo traga resultados satisfatórios, sendo o principal deles o escopo do modelo. Antes do início de sua construção, o modelo deve ter seu propósito bem definido. Um modelo concebido para uma concorrência, por exemplo, possuirá uma vida útil curta. Portanto, o escopo desejado para o modelo está diretamente associado ao nível de detalhes, do termo inglês *Level of Detail* (LOD), necessário para uma dada demanda (BEDRICK, 2013). Em resumo, o LOD é uma medida da profundidade com que se representa a informação dentro do modelo, sendo diretamente afetado pelo tempo dedicado para a construção do modelo e sua dimensão.

A forma de apresentar as informações também possui grande importância. Segundo Chang *et al.*(2009), o principal desafio de modelos 4D é encontrar uma forma de transmitir informações de maneira fácil e objetiva aos usuários. Um modelo 4D típico conta com uma gama de cores para representar as diferentes

fases da construção; e essas cores são atribuídas ao modelo de acordo com os tipos de atividade.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a elaboração desse trabalho está sintetizada a seguir pelo quadro 01, relacionando os objetivos com seus resultados esperados.

| OBJETIVO GERAL | Avaliar a aplicação do BIM para estudo do planejamento de curto prazo de obras. | | |
|---|---|---|---|
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | METODOLOGIA | | |
| | ATIVIDADES | FERRAMENTAS | RESULTADOS ESPERADOS |
| Aplicar o BIM para estudo do planejamento de curto prazo de obras, envolvendo elementos característicos de produção. | Ajustar e exportar os projetos para o Navisworks, adicionando os elementos específicos da produção. | Softwares em Revit e Navisworks. | Criação do modelo 3D. |
| | Estudar sequência de execução, equipe, materiais e equipamentos de logística envolvidos em cada atividade. | Quantitativos, indicadores de produtividade, discussões com a equipe da construção. | Plano de ataque e plano de logística para execução das atividades do pavimento tipo. |
| Analisar a aplicabilidade de modelos 4D para o planejamento de curto prazo, elaborando recomendações para seu uso. | Inserir cronograma no Navisworks sincronizado com os componentes do modelo. | Softwares Navisworks e MS Project. | Criação do modelo 4D. |
| | Avaliar a capacidade de o modelo representar os planos de ataque, plano de logística e evolução espacial ao longo da construção. | Software Navisworks. | Identificar os benefícios e limitações da modelagem 4D aplicada ao planejamento de curto prazo e apresentar recomendações para sua aplicação. |

**QUADRO 1** • Metodologia para elaboração do trabalho

Para elaboração do trabalho, foram utilizados projetos fornecidos por uma construtora, referentes às disciplinas de arquitetura e estrutura de um pavimento tipo de um empreendimento residencial, composto por quatro apartamentos de três suítes. Adotou-se um pavimento tipo como objeto do estudo, por conta da repetição de seus processos, incorrendo em um forte ciclo de aprendizado para a produção.

Os projetos já foram disponibilizados no *software* Revit, da Autodesk. Considerando que o Revit é um *software* voltado para a construção do modelo tridimensional, utilizou-se o Autodesk Navisworks para associar o modelo ao planejamento. Por seu forte caráter gerencial, o Navisworks é uma excelente ferramenta para análise de incompatibilidades, planejamento e, em suas versões mais atuais, orçamento.



## 5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso realizado nesse trabalho teve o objetivo de analisar a aplicação de ferramentas BIM para a construção de um modelo 4D referente a um pavimento tipo. O escopo do modelo envolveu a execução dos componentes do pavimento e os elementos presentes durante a fase de construção. Esperava-se, assim, levantar e compreender os benefícios e limitações do BIM para o planejamento de obras.

Para construção do modelo, foi elaborado um procedimento – representado a seguir na Figura 01 discutido ao longo desse capítulo.

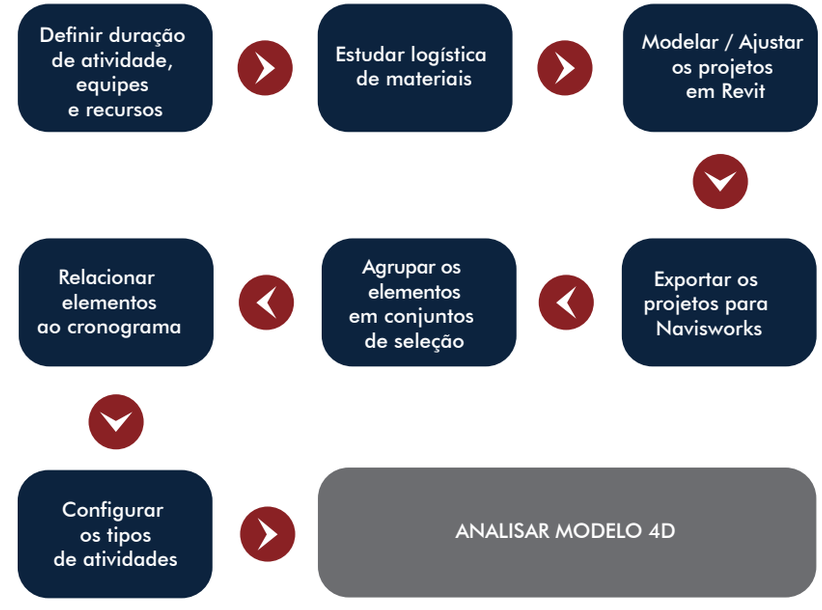



**FIGURA 1** • Procedimento para Construção de Modelo 4D

### *5.1 Levantamento de Dados*

Antes de iniciar a construção do modelo 4D, houve um levantamento de dados para identificar as principais informações necessárias para atender ao escopo previsto. É fundamental que haja dados sobre durações e sequência de tarefas, equipes previstas, consumo de materiais e equipamentos envolvidos. Essa análise só foi possível por conta

da participação dos integrantes da obra no processo, com destaque à contribuição dos encarregados. O procedimento adotado para realizar esse estudo será descrito a seguir, tendo como exemplo a execução de alvenaria, que serve como base para elaboração dos estudos referentes às demais disciplinas.

### » DEFINIR DURAÇÃO DE ATIVIDADES, EQUIPES E RECURSOS

De início, houve uma análise do planejamento e verificou-se que o serviço de alvenaria estava subdividido em duas etapas: alvenaria periférica e alvenaria interna. Cada etapa conta com a respectiva equipe, de modo a manter a continuidade dos serviços e elevar sua produtividade.

A primeira, alvenaria periférica, possui forte ligação com os sistemas de proteção coletiva, além de sofrer influência direta de agentes externos, como vento, chuva e sol. Já no caso da segunda, essas questões são minimizadas, porém, surge como complicação o fator espaço, por conta da grande densidade de paredes do pavimento.

Constatou-se, também, que cada etapa possuía uma meta planejada de cinco dias trabalhados (uma semana) por pavimento. Então, utilizando o próprio Navisworks, fez-se um cadastro de cada parede do pavimento. Sobre esses dados, aplicaram-se os indicadores de produtividade da própria construtora para definição das equipes. Assim, cada pedreiro recebeu um pacote de paredes para realizar em cada dia. Ainda com base nesse mesmo cadastro, pôde-se definir a quantidade de pallets de bloco de concreto necessária por pavimento. O quadro 02 resume esse dimensionamento.

| LOCAL | ESPESSURA (CM) | ÁREA (M²) | ÁREA/PALLET | PALLETS/PAV. |
|---|---|---|---|---|
| Escada e Poço | 14 | 99,54 | 6,08 | 16 |
| Externa | 14 | 281,06 | 6,08 | 46 |
| Interna | 14 | 33,54 | 6,08 | 6 |
| Interna | 9 | 549,28 | 9,60 | 57 |

**QUADRO 2** • Resumo de alvenaria por pavimento tipo

### » ESTUDAR A LOGÍSTICA DE MATERIAIS

O próximo passo foi estudar a logística dos materiais envolvidos, sendo o primeiro ponto analisado o preparo e transporte de argamassa. Ao dividir a execução da alvenaria em duas etapas, a obra passou a ter demanda de argamassa em dois pavimentos. A solução proposta foi instalar uma argamassadeira no pavimento superior – responsável por preparar a argamassa de ambas as equipes – e, então, distribuí-la entre os pavimentos.

A logística de distribuição dos *pallets* de bloco de concreto, o segundo ponto analisado, foi inicialmente prevista para ocorrer simultaneamente à execução da alvenaria. Para esse transporte vertical, a construtora prevê um elevador cremalheira e uma plataforma de grua. Contudo, por conta dos vãos de porta, os *pallets* seriam desmontados, e seus blocos, transportados em carrinhos ao longo do pavimento.

Para resolver essa problemática, surgiu a proposta de distribuir os *pallets* de bloco de concreto antes da marcação da alvenaria. Dessa forma, os blocos já estariam no local de uso ao iniciar sua demanda. A ideia foi aceita pela equipe de construção, que apresentou os principais critérios para alocação dos *pallets*, listados a seguir:

- Garantir 80 cm da parede cuja alvenaria será executada;
- Garantir 80 cm de uma das faces da parede, para que sua marcação possa ser realizada (os colaboradores podem caminhar sobre a marcação);
- Permitir que ambas as extremidades da parede tenham um caminho livre para os eixos do pavimento;
- Não alocar os *pallets* sobre os eixos do pavimento;
- Permitir passagens com um mínimo de 60 cm para o transporte dos "carrinhos masseira".

## *5.2 Construção do Modelo*

### » MODELAR / AJUSTAR DOS PROJETOS EM REVIT

A construtora do empreendimento objeto desse estudo forneceu os projetos arquitetônico e estrutural do pavimento tipo, no entanto, constatou-se que algumas características do modelo fornecido impossibilitavam a construção de um modelo 4D assertivo. Assim, houve um trabalho inicial para adequar alguns itens no projeto, de modo a atender ao nível de detalhes necessário para o modelo 4D.

Dentre os elementos adequados, destaca-se o exemplo da alvenaria. De início, constatou-se que faltava a divisão entre a primeira fiada (marcação) e o restante da parede. Em seguida, identificou-se que as paredes periféricas costumam ser erguidas em duas fases,

por conta de interferências de agentes externos (vento, chuva e sol) com a qualidade final da parede. Logo, o modelo fornecido foi ajustado, de tal modo que toda a sua alvenaria recebeu a separação da primeira fiada, e as paredes periféricas receberam uma segunda divisão à meia altura. Considerando que os projetos fornecidos são referentes à arquitetura final do empreendimento, faltava a inserção dos elementos relacionados à produção. Com base nas determinações de duração das atividades, das equipes, dos recursos e da logística, foram inseridos os componentes referentes à execução de cada atividade.

## » EXPORTAÇÃO DOS ARQUIVOS PARA NAVISWORKS

Estudaram-se duas formas de se transferir as informações do Revit ao Navisworks: Importação e Exportação. A primeira consiste na capacidade de o *software* Navisworks abrir um arquivo Revit (.rvt) sem que haja qualquer adaptação anterior, garantindo maior interoperabilidade. Todavia, o preço a pagar é um modelo lento em atualização e operação. Indica-se trabalhar com esse processo apenas para modelos com um nível de detalhes menor, ou durante o desenvolvimento do produto. Em seguida, mudou-se para a exportação direta do Revit. O processo, mais ágil que o anterior, gera um arquivo base do tipo *cache* (.nwc), contendo todos os elementos arquitetônicos do empreendimento. Dessa forma, todos os arquivos complementares gerados foram transformados em arquivos do tipo *file* (.nwf) e adicionados ao modelo base pelo comando *Append*.

## » AGRUPAR OS ELEMENTOS EM CONJUNTOS DE SELEÇÃO

Considerando a existência de um planejamento elaborado e fornecido pela construtora, o agrupamento de elementos em conjuntos de seleção — os chamados *selection sets* — deve estar de acordo com a Estrutura Analítica de Projeto (EAP) adotada. Contudo, algumas adaptações foram feitas à EAP original, pois esta contemplava os serviços divididos em pacotes de trabalho cuja unidade de referência é o pavimento tipo.

Avaliaram-se duas formas de realizar esse ajuste. A primeira consiste na inserção de todos os elementos individualmente na EAP, do modo que as datas de cada um fossem inseridas separadamente; já a segunda trata-se da criação de uma subatividade para cada dia de duração da atividade. O processo de formação dos sets iniciou-se com a primeira forma, a qual, entretanto, revelou-se trabalhosa e pouco eficaz; o que levou à adoção da segunda maneira. Desse modo, foi criado um set para cada elemento componente da atividade, e estes foram agrupados conforme sua data de execução dentro do respectivo serviço.

## » RELACIONAR ELEMENTOS AO CRONOGRAMA

Inicialmente, adotou-se o procedimento de gerar as tarefas automaticamente, baseadas nos *sets* existentes, e já vinculadas a estes. Essa forma foi escolhida no início, pois se esperava planejar cada elemento individualmente. No entanto, após a decisão de alterar a subdivisão da EAP, optou-se por inserir as tarefas e vinculá-las aos sets manualmente.

O Navisworks possui, via sua ferramenta *TimeLiner*, uma interface com os *softwares* MS Project e MS Excel, ambos com a função de inserir datas e predecessoras às tarefas do modelo. Por ser um *software* voltado para o planejamento de atividades, a escolha natural é o MS Project. No entanto, após a adequação da EAP à nova organização de *sets*, provou-se mais eficaz a adição de datas pela própria ferramenta *TimeLiner*, já que o número de atividades foi consideravelmente reduzido.

## » CONFIGURAR OS TIPOS DE ATIVIDADE

Os tipos de atividade definem a forma com que cada tarefa será representada durante a simulação da construção. O Navisworks possui alguns tipos padrões de atividade, dentre os mais utilizados estão as atividades de Construção (Construct), as Temporárias (Temporary) e as de Demolição (Demolish); representadas pelas cores verde, amarelo e vermelho, respectivamente. Contudo, para representar as diferentes equipes atuantes dentro de um mesmo serviço, surgiu a necessidade de se criar novos tipos de tarefa. O serviço de alvenaria periférica, por exemplo, possui três subequipes trabalhando em um mesmo pavimento. Desse modo, a melhor forma de representar o plano de ataque de cada subequipe era atribuindo-lhe uma cor diferente: vermelho, amarelo e verde; conforme ilustra a figura 02.

**FIGURA 2** • Vista do 2° dia do ciclo de alvenaria periférica

## *5.3 Análise e Discussão dos Resultados*

O estudo realizou a integração do planejamento da obra aos elementos construtivos presentes em um modelo tridimensional, caracterizando a construção de um modelo 4D. Além do próprio modelo, foram obtidos como produtos vídeos representando o planejamento executivo do pavimento tipo e projetos para execução de proteções coletivas e para alocação de materiais e equipamentos.

Foram identificados benefícios referentes ao uso do BIM como ferramenta na gestão da obra. Dentre elas, grande destaque deve ser dado à transparência, tanto na análise do planejamento quanto na transmissão dessas informações para outros integrantes. Os principais resultados obtidos são abordados a seguir.

### » PROJETOS DE LOGÍSITCA E PROTEÇÃO COLETIVA

A modelagem de elementos de logística e proteção coletiva realizada neste trabalho gerou projetos para execução dessas atividades. Desse modo, as equipes de produção poderão, por exemplo, distribuir os blocos antes do início da marcação e saber qual deve ser a sequência de utilização. O projeto foi gerado em Revit e exportado para PDF, para uso na obra.

### » RELAÇÃO DIRETA ENTRE PLANEJAMENTO E COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO

Um dos maiores desafios de elaborar um planejamento analisando plantas bidimensionais é estabelecer uma relação imaginária entre os elementos que compõem a construção e as atividades programadas. A grande questão que circunda essa análise é a falta de uma relação direta entre o planejamento e os componentes da construção, o que torna o processo complexo e suscetível a falhas. A análise do modelo 4D, por sua vez, permite que se visualizem detalhadamente as atividades em execução ao longo de cada mês, semana, dia ou hora. Consequentemente, a interpretação desse planejamento se torna muito mais visual do que conceitual, reduzindo consideravelmente a complexidade e aumentando sua assertividade.

As figuras 03, 04 e 05 representam fases distintas da obra, onde se vê claramente a evolução do pavimento tipo. Na figura 03, nota-se a distribuição dos *pallets* antes da marcação, bem como os equipamentos de transporte vertical e proteção coletiva adotados. Nesse momento, as lixeiras de coleta seletiva já estão presentes.

Alguns dias depois, obtém-se a figura 04, ilustrando o 2º dia de execução da alvenaria periférica. Destaca-se a divisão dos colaboradores em 3 subequipes: Vermelha (Escadas e Poços de Elevador), Amarela (Colunas 01 e 04) e Verde (Colunas 02 e 03). As paredes que estão em execução são representadas com a cor referente a cada subequipe, enquanto as paredes concluídas aparecem com seu aspecto final. Considerando que a figura retrata o horário de 12h00, algumas paredes estão à meia altura, indicando o avanço de metade do serviço. Nota-se que alguns *pallets* já foram consumidos, e os guarda-corpos conflitantes, removidos. Mais próxima ao elevador cremalheira, encontra-se a argamassadeira, responsável por abastecer as duas frentes de alvenaria.

Com base nesse modelo, os gestores da obra possuem plena visão do que ocorre em sua construção; além de poder caminhar pelo modelo como se estivessem na própria obra. Esse recurso ilustrado anteriormente pela figura 02 permite uma visão única do canteiro, na qual se analisam itens como obstrução de acessos e ocupação do espaço por equipes e materiais. Nota-se que, por retratar o mesmo momento da figura 04, a figura 02 fornece uma diferente perspectiva dos mesmos elementos.

Passados alguns dias, encontra-se a situação retratada pela figura 05: o 2º dia do ciclo de alvenaria interna. Nesse caso, a divisão dos colaboradores se dá em duas subequipes: Vermelha (Colunas 01 e 04) e Verde (Colunas 02 e 03). Assim como na etapa anterior, os planos de ataque são representados na cor das equipes. Nas colunas 01 e 02, nota-se que os *pallets* de blocos referentes à alvenaria periférica já foram consumidos, restando apenas alguns *pallets* em cada sala. Os demais *pallets* necessários ao serviço têm previsão de reabastecimento pelo elevador cremalheira e armazenamento na sala da coluna 03. Em acordo com o discutido anteriormente, nota-se que a argamassadeira, transportada para o pavimento superior, dá lugar a uma caixa plástica para estoque de argamassa.

### » TRANSPARÊNCIA

A capacidade de transmitir as informações sobre a sequência executiva para os demais integrantes da obra, utilizando o modelo 4D, provou-se eficaz. Com esse recurso, a comunicação entre equipes se fundamenta na percepção visual, em vez de uma interpretação conceitual sobre o que se diz. Dessa forma, conquista-se uma transparência

na tarefa de indicar a um encarregado qual deve ser a sequência executiva da alvenaria periférica, ou qual o pallet que cada pedreiro deve utilizar para executar seu serviço.

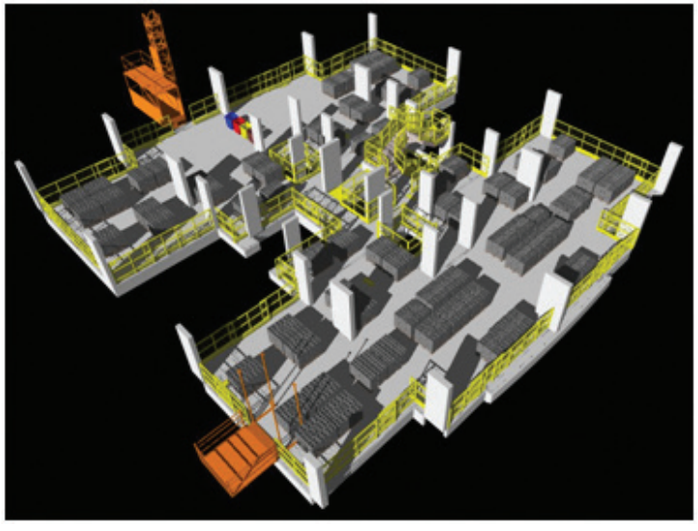


**FIGURA 3** • Distribuição dos *Pallets*

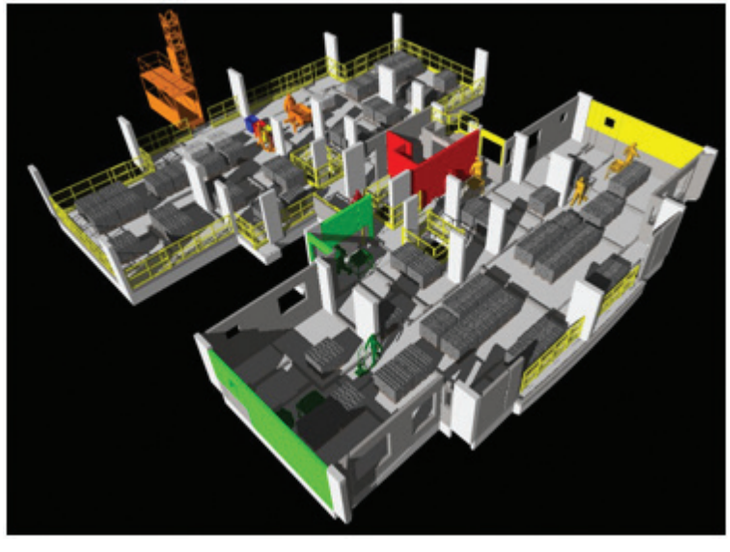


**FIGURA 4** • 2º dia do ciclo de alvenaria periférica



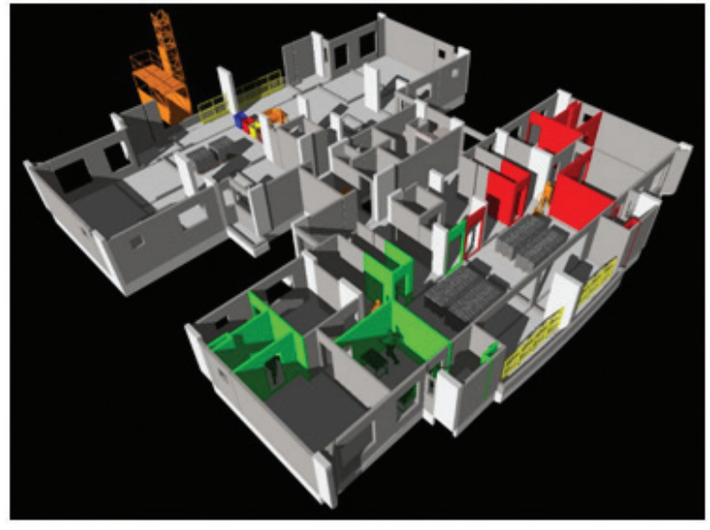


**FIGURA 5** • 2º dia do ciclo de alvenaria interna

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta uma contribuição na disseminação do uso do BIM, que, apesar de discutido há mais de 15 anos, ainda se apresenta de forma tímida no Brasil. Esse estudo permitiu compreender melhor o processo de construção de um modelo 4D. Ao abordar os processos de um pavimento tipo, a modelagem exigiu um nível de detalhes maior; justamente por se tratar de um objeto de escala menor no contexto da obra. Dessa forma, chegou-se à conclusão de que quanto mais se eleva o nível de detalhe de um modelo 4D, mais real se torna a representação da construção. Outro ponto importante é a assertividade das informações. Por conter dados referentes a processos executivos, a participação de integrantes diretamente ligados à produção torna-se fundamental, pois há fatores que teriam sido desconsiderados sem sua contribuição.

A aplicação de um modelo BIM a uma obra traz diversos benefícios. No entanto, essa ferramenta deve ser implantada de forma consciente, mantendo sempre em mente que a qualidade do produto final está diretamente relacionada com a assertividade

das informações inseridas. Portanto, o BIM deve ser uma mudança de cultura, conscientizando os envolvidos no processo de que não se trata da solução de todos os problemas, tampouco de uma ferramenta meramente visual. Trata-se de uma ferramenta com parametrização e interoperabilidade, ou seja, um protótipo virtual do empreendimento em todas as suas fases.



## REFERÊNCIAS


AOUAD, G. *et al*. **Developing a vision of nD-enabled construction**. Salford Centre for research & innovation, Salford, 2003.

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. **BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil** e Tendências. In: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído (SBQP), 9, 2009, São Carlos. Anais… São Carlos: 2009.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. Thesis (Doctor of Philosofy) – School of Civil Engineering, Faculty of Engineering. University of Birmingham, Birmingham.

BEDRICK, J. **A Level of Development Specification for BIM Processes**. 2013. Disponível em:< www.aecbytes.com/viewpoint/2013/issue_68.html >. Acesso em: 10 de agosto de 2013.

CHANG, H; CHEN, P.; KANG, S. **Systematic procedure of determining an ideal color scheme on 4D models**. Advanced Engineering Informatics, Taipei, Taiwan, 2009.

DANG, D.T.P.; TARAR, M. **Impact of 4D modeling on construction planning process**. 2012. Thesis (Master of Science) – Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook**: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2ª ed. Hoboken: Wiley, 2011.

FORMOSO,C. **Planejamento e Controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre, NORIE, UFRGS, 2001.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1º ed. São Paulo. PINI, 2010.

OWEN, R.L. **Integrated Design & Delivery Solutions Research Roadmap Report**. International Counsil for Research Inovation in Building and Construction, n.373, 2012.

VALENTE, R.C. **Implantação de práticas de transparência visando melhorias nos processes de planejamento, orçamento e qualidade das obras**. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.



# AVALIAÇÃO DO SISTEMA LAST PLANNER: INTEGRAÇÃO ENTRE PLANEJAMENTO E PRODUÇÃO DE OBRAS

Elana da Silva Pessoa [1]
Dayana Bastos Costa [2]

## *Resumo*

“A globalização dos mercados, o crescente nível de exigência por parte dos consumidores e a reduzida disponibilidade de recursos financeiros para a realização de empreendimentos têm estimulado empresas a buscar melhores níveis de desempenho, por meio de investimentos em gestão e tecnologia da produção. Neste contexto, o processo de planejamento e controle da produção (PCP) passa a cumprir um papel fundamental nas empresas, na medida em que tem forte impacto no desempenho da função produção, referente a custo, qualidade e prazo. O sistema *Last Planner* de controle da produção (LPS) foi uma das principais iniciativas realizadas para melhoria do PCP, em relação à integração entre o planejamento e a produção de obras. Um dos principais problemas relativos à gestão de obras é a excessiva informalidade, que dificulta a comunicação entre os setores, especialmente entre planejamento e produção. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o sistema *Last Planner* e seus impactos no desempenho da produção. Para tanto, foram realizados dois estudos de casos em obras residenciais, que envolveram a análise das principais ferramentas com base em indicadores associados ao PCP e nos constructos facilidade de uso, falhas do sistema e aprendizagem através do uso. A avaliação mostrou que a utilização de ferramentas do sistema pode aumentar significativamente o desempenho do empreendimento. Neste sentido, o trabalho contribui para difusão do conhecimento e capacidade de aprendizagem para incentivar empresas a implementar esse sistema, provendo benefícios que este pode apresentar.”

***Palavras-chave*** » *Last Planner*; integração; planejamento e produção.

[1] E-mail: *elanaspessoa@gmail.com*.
[2] E-mail: *dayanabcosta@ufba.br*.

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção no país tem sofrido, nos últimos anos, mudanças substanciais, provocadas, principalmente, pelo crescente grau de competição existente entre as empresas do setor. A globalização dos mercados, o crescente nível de exigência por parte dos consumidores e a reduzida disponibilidade de recursos financeiros para a realização de empreendimentos, entre outros fatores, têm estimulado as empresas a buscar melhores níveis de desempenho, através de investimentos em gestão e tecnologia da produção. Assim, a exemplo do que vem acontecendo em outros setores industriais, a função produção vem assumindo um papel cada vez mais estratégico na determinação do grau de competitividade das empresas de construção, assim como o setor como um todo (FORMOSO, 2001).

Neste contexto, o processo de planejamento e controle da produção passa a cumprir um papel fundamental nas empresas, na medida em que tem forte impacto no desempenho da função produção, obtendo aumento na produtividade para atendimento de prazos, diminuição de perdas na produção para menores custos e agregando qualidade aos produtos, sendo essencial para alcançar a eficiência e eficácia na execução dos empreendimentos de construção (FORMOSO, 2001).

Em que pese o custo relativamente baixo do processo de planejamento e controle da produção, e o fato de que muitos profissionais têm consciência da sua importância, poucas são as empresas que têm este processo bem estruturado (FORMOSO, 2001). De forma geral, a excessiva informalidade dificulta o estabelecimento de consistência entre diferentes níveis de planejamento, dificultando a comunicação entre os vários setores da empresa. Este fato reflete a ênfase excessiva que é dada ao setor de produção do empreendimento, em detrimento do planejamento e controle da produção, dificultando o engajamento entre eles (NAVARRO, 2005).

Para melhor estruturar o processo de planejamento e controle da produção, Ballard e Howell desenvolveram, na década de 90, um sistema de controle da produção para a construção civil, denominado Sistema *Last Planner* de Controle da Produção (LPS), a partir de conceitos, métodos e técnicas relacionados à filosofia da Produção Enxuta. Este sistema busca introduzir um mecanismo de proteção da produção, denominado *Shielding Production*, para a redução da variabilidade no curto prazo, e a análise sistemática de



restrições, que contribui para melhorar a confiabilidade dos fluxos de trabalho. O *Last Planner* envolve a coleta de alguns indicadores, sendo o principal deles o porcentual de planos concluídos (PPC), utilizado para monitorar a eficácia dos planos em relação à segurança, qualidade, prazo e custo (BALLARD, 2000).

Apesar da disseminação do *Last Planner*, ainda existe a necessidade de ações visando à melhoria na aderência entre o planejamento e a produção de obras. Essas ações vêm sendo almejadas por parte das empresas de construção, porém, muitas vezes, não são eficazes e eficientes para o desempenho da produção.

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar o Sistema *Last Planner* em obras, com foco na análise de restrições, no indicador PPC e na análise de causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, além de indicadores de aderência e indicador de retrabalho e trabalhos inacabados.

# 2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

Formoso *et al.* (1999) definem planejamento como um processo gerencial, que envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los, sendo eficaz somente quando realizado em conjunto com o controle.

A partir dessa definição, a aderência entre o planejamento e produção se faz necessária devido a diversos motivos, tais como facilitar a compreensão dos objetivos do empreendimento, aumentando, assim, a probabilidade de atendê-los; desenvolver uma referência básica para processos de orçamento e programação; melhorar o desempenho da produção através da consideração e análise de processos alternativos; e fornecer padrões para monitorar, revisar e controlar a execução do empreendimento (LAUFER; TUCKER, 1987).

Os conceitos de produção enxuta e redução de perdas propiciaram um contexto favorável para o sistema *Last Planner*, como um método de controle explicitamente dedicado à redução e gestão da variabilidade, com o objetivo principal de melhorar a confiabilidade do fluxo de trabalho. O planejamento estabelece metas e uma sequência desejada de eventos para atingir as metas. O controle faz aproximar os eventos da sequência desejada, pois inicia um replanejamento quando a estabelecida sequência de

atividades não é mais viável ou desejável, iniciando, assim, um processo de aprendizagem (BALLARD, 2000).

Segundo Ballard (2000), as falhas que acrescentam incertezas e diminuem a confiabilidade durante a etapa do planejamento de comprometimento podem ser atenuadas quando se considera o fluxo de trabalho que integra as unidades de produção. Assim, o sistema *Last Planner* foi dividido em dois componentes principais: controle da unidade de produção e controle do fluxo de trabalho.

O controle do fluxo de trabalho ocorre durante o plano de médio prazo, também chamado de *lookahead*, e procura garantir a melhor sequência executiva das atividades, no que diz respeito ao fluxo de projetos, fornecedores e instalações através das unidades de produção (BALLARD, 2000). A definição de pacotes de trabalho do curto prazo faz parte de um mecanismo de proteção da produção (*shielding protection*), que busca lidar com a incerteza que existe no fluxo de trabalho, e assim criar um ciclo de comprometimento com as equipes e fornecedores (BALLARD; HOWELL, 1998). De fato, a proteção da produção inicia-se no planejamento de médio prazo, a partir da identificação e remoção sistemática de restrições das atribuições programadas. O fato de analisar os pré-requisitos das tarefas durante essa etapa, antes de ingressá-las no plano de curto prazo, é uma aplicação explícita de técnicas que fazem do *Last Planner* um sistema de produção puxada (BALLARD, 2000). Neste sistema de produção, as ordens de trabalho são liberadas à produção de acordo com o status do sistema (HOPP; SPEARMAN, 1996). Assim, uma tarefa com as restrições removidas é a indicação de que já pode ser executada.

O controle da unidade de produção ocorre durante o plano de curto prazo, também chamado de plano de comprometimento, e visa coordenar a execução dentro da unidade de produção das equipes de construção, buscando melhorar a qualidade dos planos gerados por meio do aprendizado contínuo. É efetivo através do PPC (porcentual de pacotes concluídos), e, de acordo com Ballard (2000), este indicador corresponde ao número de pacotes concluídos dividido pelo número de pacotes planejados na semana, devendo ser rastreados os pacotes de trabalho que não foram concluídos durante a semana, e identificadas as razões de não terem sido realizados, criando um ciclo de aprendizagem.

Diversos autores já sugeriram alguns indicadores associados ao planejamento e controle da produção anteriormente. Dentre eles, serão explorados os seguintes neste trabalho: avanço físico, indicador de remoção de restrição, indicador de aderência e eficácia da implementação. A seguir, o Quadro 1 apresenta esses indicadores, seus objetivos, procedimento de coleta e por quais autores foram propostos.

| INDICADOR | OBJETIVO | PROCEDIMENTO DE COLETA | PROPOSTO |
|---|---|---|---|
| Avanço físico (AF) | Representar a relação entre a quantidade de trabalho executado e o total previsto no empreendimento | É definido dando-se um peso a cada tarefa. Em geral, considera-se o esforço para realizar a obra, expressos pelas quantidades previstas homens/hora. | AKKARI (2003) |
| Indicador de remoção de restrição (IRR) | Avaliar a eficácia do processo de remoção de restrições no nível de planejamento de médio prazo | Ao filtrar do plano de médio prazo os pacotes de trabalho que necessitam ser realizados no horizonte de curto prazo, identificam-se aqueles que tiveram suas restrições efetivamente removidas. | AKKARI (2003); CODINHOTO (2003) |
| Indicador de aderência (IA) | Medir o grau de aderência entre os planos de diferentes níveis gerenciais. | Ao filtrar do plano de hierarquia superior dos pacotes de trabalho previstos, identificam-se aqueles que devem ser efetivamente incluídos no plano de hierarquia inferior. | AKKARI (2003) |
| Eficácia da implementação (EI) | Medir a eficácia da implementação de boas práticas associadas ao PCP. | É definido dando-se um peso a cada prática, sendo aplicada uma entrevista com gestores da obra para avaliação das práticas. | BERNARDES (2003) |

**QUADRO 1** • Indicadores associados ao PCP

O indicador de eficácia da implementação levou em consideração as práticas associadas ao PCP propostas por Bernardes (2003), que possibilitava a avaliação do sistema *Last Planner*, tais como: padronização do PCP, hierarquização do planejamento, análise e avaliação qualitativa dos processos, análise dos fluxos físicos, análise de restrições, utilização de dispositivos visuais, formalização do planejamento de curto prazo, especificação detalhada das tarefas, programação de tarefas reservas, tomada de decisão participativa, utilização do PPC e identificação das causas dos problemas, utilização de sistemas de indicadores de desempenho, realização de ações corretivas a partir das causas dos problemas, e realização de reuniões para difusão de informações.

## 3 MÉTODO DE PESQUISA

Neste trabalho, a estratégia de pesquisa utilizada foi o estudo de caso com observação participante em duas obras de Salvador, buscando evidências para identificar as práticas de planejamento e controle de obra referentes ao sistema *Last Planner* já adotadas pela

empresa estudada, possibilitando a análise de ações e ferramentas de melhorias adotadas e a avaliação desse sistema em relação à integração entre o planejamento e a produção.

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio das seguintes etapas: (a) revisão bibliográfica; (b) seleção das obras; (c) diagnóstico das obras; (d) análise de ações e ferramentas de melhorias; e (e) avaliação do sistema *Last Planner*.

A seleção das obras levou em consideração o fato de as obras estudadas serem da mesma construtora em que a autora trabalha, facilitando o acesso aos documentos necessários, as entrevistas com a engenharia das obras e a participação de reuniões semanais de planejamento. Outro critério importante para a escolha das obras foi por estas possuírem uma estrutura organizacional de planejamento definida, e consequentemente trabalhos de planejamento e controle como o *Last Planner*.

O diagnóstico da obra ocorreu por meio de entrevistas realizadas com o engenheiro de planejamento de cada obra, acompanhadas de arquivos de planejamento para diagnosticar o processo de planejamento quanto ao desempenho da produção, identificando os trabalhos referentes ao sistema *Last Planner* já adotados, para posterior análise. Entre os arquivos, foram estudados: programações semanais de serviço, planejamento de médio prazo, avanço financeiro, índices econômicos, cronograma Gantt, linha de balanço, etc.

A análise de ações e ferramentas fruto deste sistema foi realizada por meio da coleta de dados, de indicadores e de reuniões semanais de planejamento que uniam todos os encarregados da obra, estagiários, engenheiros e gerente, que tinham como objetivos: acompanhar e discutir o andamento da aderência entre o planejamento e a produção; divulgar os resultados das ferramentas e ações do sistema por meio de fotos e indicadores; discutir os problemas envolvidos; e tomar as atitudes de mudanças corretivas necessárias. Além do indicador PPC, de origem do sistema *Last Planner*, os indicadores aplicados para analisar os frutos das ferramentas e ações do sistema e medir a aderência entre o planejamento e a produção das obras foram os seguintes: avanço físico (AF), indicador de remoção de restrição (IRR), índice de aderência (IA) e pacotes de retrabalho e trabalho inacabado (RI), sendo este último proposto neste trabalho.

O indicador de pacotes sem retrabalho ou trabalho inacabado (RI) tem como objetivo identificar pacotes de trabalho que se repetem de uma programação semanal de serviço para outra, referentes a retrabalhos e trabalhos inacabados, acarretando possíveis atrasos. É calculado filtrando do curto prazo os pacotes de trabalho que não se repetem, dividindo



pela quantidade total dos pacotes. Quanto mais próximo de 100%, maior cumprimento das atividades previstas, e maior fluxo contínuo de atividades.

Por fim, foi realizada uma avaliação final do sistema *Last Planner* referente à integração entre planejamento e produção de obras, tendo como base a análise de ações e ferramentas em estudo do sistema, que são a análise de restrições do plano de médio prazo, o indicador PPC aplicado ao plano de curto prazo e a análise de causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho com ação corretiva. Para avaliar o sistema, foi realizada em cada obra uma entrevista estruturada com o engenheiro de planejamento sobre um conjunto de boas práticas associadas ao processo do PCP, estas baseadas no sistema *Last Planner*, que foram apresentadas por Bernardes (2003). Em seguida, foi aplicado um indicador para essas práticas, também sugerido pelo mesmo autor, referente à eficácia da implementação em si, com os seguintes critérios: (a) peso 1,0 – prática já implementada de forma integral referente aos elementos do modelo; (b) peso 0,5 – prática já implementada de forma parcial referente aos elementos do modelo; e (c) peso 0,0 – prática nunca implementada, ou já implementada, referente aos elementos do modelo, mas que foi descartada do sistema ao longo do tempo.

# 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo do trabalho inicia-se com o diagnóstico das obras estudadas. Em seguida, apresenta as ações e ferramentas do sistema adotadas em cada obra. Logo após, avalia o sistema *Last Planner* através das boas práticas associadas ao PCP. Por fim, são discutidos os resultados das duas obras, apresentando os resultados obtidos dos indicadores aplicados para análise das ferramentas do sistema e a avaliação do sistema em si, fazendo uma comparação entre as obras.

## *4.1 Obra A*

É uma obra residencial de alto padrão, com bastante investimento em planejamento, um destaque em termo de qualidade, custo e prazo da empresa construtora. Apesar de alguns problemas devido ao atraso de fornecedores dos materiais e à baixa produtividade

de empresas terceirizadas, conseguiu ser realizada dentro do prazo previsto de 2 anos.

Na obra A, as práticas de planejamento referentes ao sistema foram adotadas desde o início da construção, em fevereiro de 2012. As principais ações e ferramentas foram análise de restrições do médio prazo, indicador PPC do planejamento de curto prazo e a análise de causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho com ação corretiva.

A Figura 1 apresenta o exemplo de uma planilha de restrição do mês de agosto como exemplo, indicando os serviços do mês; o início dos serviços; as restrições; a natureza, o status e os tipos das restrições; o prazo para eliminação das restrições; e os responsáveis. As atividades dessa planilha foram retiradas do plano de médio prazo, e as restrições normalmente eram resolvidas pelo gerente de contrato e pelo engenheiro de planejamento da obra, todo final do mês anterior ao mês de execução. A maioria das restrições era referente à chegada de material devido ao atraso dos fornecedores e à falta ou atraso de mão de obra de alguns serviços contratados de empresas terceirizadas como, por exemplo, assentamento cerâmico.

**Planilha de Restrição - Agosto 2013**

OBRA:

PERIODO: 01/08/2013 à 30/08/2013

| Serviço | Natureza da Restriç | Status da Rest | Restrição | Tipo da Restriçã | Início do Serviç | Prazo para Eliminação da Restrição | Responsável | Observações |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Instalações - Pressurização de Escadas | Crítica | OK | Chegada do Ventilador | Material | 10/08/2013 | 07/08/2013 | Magno | |
| | Crítica | | Fabricação do Duto | Material | 20/08/2013 | 17/08/2013 | TECTENGE / Thiago | |
| | Crítica | OK | Mão de Obra da Tectenge | Mão de Obra | 20/08/2013 | 17/08/2013 | TECTENGE / Thiago | |
| Piso de Alta Resistência - G1 e Rampas | Crítica | | Mão de Obra da Nordeste Pisos | Mão de Obra | 16/08/2013 | 13/08/2013 | NORDESTE / Igor | |
| Pintura (Selamento e Emassamento) - Hall | Crítica | OK | Execução dos Forros pela DrySytem | Mão de Obra | 03/08/2013 | 31/07/2013 | DrySystem / Igor / Edgard | |
| Pintura (Lixamento) - Hall dos Elevadores | Crítica | OK | Mão de Obra da DisquePinte | Mão de Obra | 09/08/2013 | 06/08/2013 | DisquePinte / Thiago | |
| Pastilha - Áreas Comuns | Crítica | OK | Chegada da Pastilha | Material | 13/08/2013 | 10/08/2013 | Magno | |
| Retirada da Cremalheira | Regular | OK | Reunião com RR Locações | Engenharia | 20/08/2013 | 17/08/2013 | Thiago | |
| | Importante | OK | Visita Técnica para escolha do Guindaste | Engenharia | 20/08/2013 | 17/08/2013 | Thiago | |
| | Crítica | OK | Agendar Guindaste para dia 25/09 | Engenharia | 25/08/2013 | 22/08/2013 | Thiago | |
| Contramarcos - Áreas Comuns | Regular | OK | Resolver Pedido do Material | Engenharia | 09/08/2013 | 06/08/2013 | Thiago / Magno | |

**FIGURA 1** • Planilha de Restrição da obra A

Após executada a remoção de restrições mensalmente, os serviços sem restrições foram passados para o plano de curto prazo como aptos para serem executados. No início de toda semana, o engenheiro de planejamento, junto com o engenheiro de produção, eram responsáveis por realizar reuniões de planejamento com toda a equipe da engenharia e da produção, incluindo mestre de obra, encarregados da empresa, cabo de turma, encarregados de empresas terceirizadas, estagiários e gerente de contrato. Durante essas reuniões, os responsáveis discutiam o andamento da obra da semana passada, com todos os problemas envolvidos, e através do porcentual de planos concluídos (PPC), media se o



que foi planejado, foi realmente executado, medindo a eficácia do planejamento. Na Figura 2, está apresentado o porcentual de planos concluídos (PPC) referente ao mês de agosto. A média do referido mês ficou em torno de 82,1%. O indicador foi calculado filtrando os pacotes de trabalho do plano de curto prazo que foram 100% executados, gerando um percentual sobre a totalidade das atividades do mesmo plano.

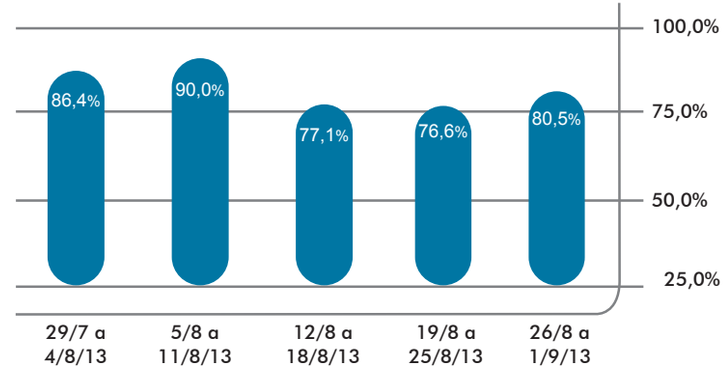



**FIGURA 2** • Variação dos porcentuais do plano concluído (PPC) da obra A

Ainda nas reuniões, através do PPC, os responsáveis apresentavam uma lista com os motivos do não cumprimento dos pacotes de trabalho, expondo fotos de locais com pendências e trabalho inacabado. O não cumprimento dos pacotes de trabalhos em agosto teve como principais causas: chuva, falta de material, atividade mal dimensionada, atraso na tarefa predecessora, baixa produtividade e falta de mão de obra. Sendo a mais frequente delas a falta de material, devido ao mau desempenho de alguns fornecedores, principalmente de cerâmica. A Figura 3 apresenta o resumo dessas causas durante o mês de agosto.

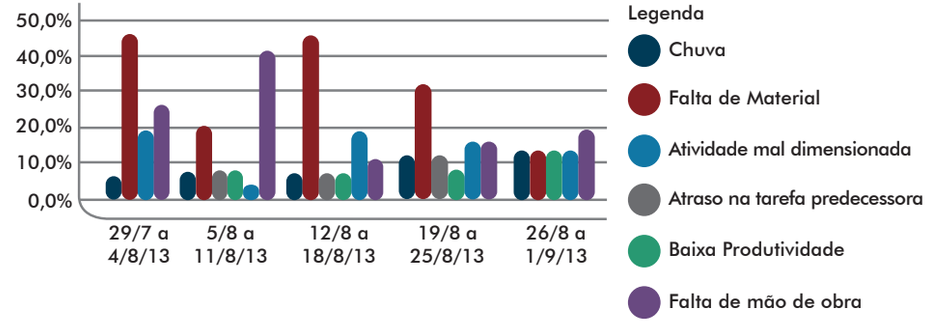



**FIGURA 3** • Principais causas do não cumprimento dos planos da obra A

Por meio destas causas era possível tomar as ações de mudanças corretivas necessárias para que os problemas apresentados não voltassem a se repetir; como consequência, na próxima semana, o mesmo item do pacote de trabalho era mais facilmente executado. No final das reuniões, os responsáveis apresentavam e discutiam as atividades a serem realizadas ao longo semana.

## *4.2 Obra B*

É uma obra residencial de médio padrão, que, apesar de ter uma estrutura organizacional de planejamento, não investe tanto nesse processo como a obra A. Frequentemente, não consegue realizar muitas atividades do plano de curto prazo, devido a algumas serem mal dimensionadas, deixando pendências e trabalho inacabado, que resultam em atrasos na atividade conseguinte. Possuía um prazo inicial de 2 anos, porém, com todos os atrasos e os problemas já citados de interrupção de atividades, a obra foi reorçada, e prazo, estendido para 4 anos.

Na obra B, as práticas de planejamento adotadas referentes ao *Last Planner* tiveram início de maneira sólida a partir do meio da construção, em agosto de 2013, seguindo o exemplo da obra A pelo sucesso do empreendimento, logo, a estrutura de planejamento estava tentando inserir o sistema e acompanhava seu desenvolvimento semanalmente. As principais ações e ferramentas foram o indicador PPC do planejamento de curto prazo e a análise de causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho com ação corretiva. Na Figura 4, está apresentado o porcentual de planos concluídos (PPC) referente ao final do mês de novembro até meados de dezembro. A média deste período ficou em torno de 72,5%.

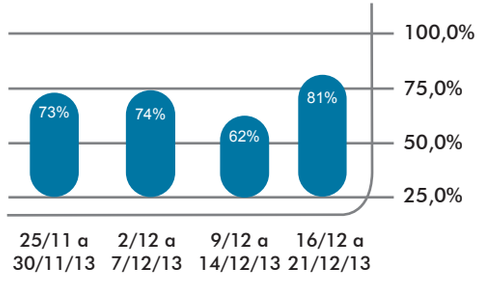



**FIGURA 4** • Variação dos porcentual do plano concluído (PPC) da obra B



Os responsáveis listavam os motivos de não cumprimento dos pacotes e os apresentavam para toda a equipe para serem discutidos e tomadas as ações corretivas. O não cumprimento dos pacotes de trabalhos teve como principais causas: falta de material, atividade mal dimensionada, direcionamento da equipe para outro serviço, baixa produtividade e defeito em equipamentos. Sendo a mais frequente delas a baixa produtividade, devido ao mau desempenho das equipes. A Figura 5 mostra o resumo dessas causas durante o final do mês de novembro até meados do mês de dezembro.

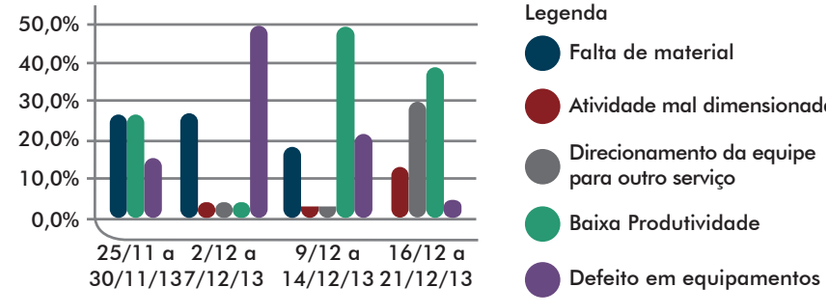



**FIGURA 5** • Principais causas do não cumprimento dos planos da obra B

## *4.3 Avaliação do sistema Last Planner*

O Quadro 2 apresenta os critérios das boas práticas de planejamento e o resultado do indicador de eficácia de implementação dessas práticas utilizadas na obra A e obra B para avaliar o sistema Last Planner, em cada uma das obras.

| PRÁTICAS | OBRA A | OBRA B |
|---|---|---|
| Padronização do PCP | 1,0 | 1,0 |
| Hierarquização do planejamento | 1,0 | 1,0 |
| Análise e avaliação qualitativa dos processos | 0,5 | 0,0 |
| Análise dos fluxos físicos | 1,0 | 1,0 |
| Análise de restrições | 1,0 | 0,0 |
| Utilização de dispositivos visuais | 1,0 | 0,5 |
| Formalização do planejamento de curto prazo | 1,0 | 1,0 |
| Especificação detalhada das tarefas | 1,0 | 1,0 |
| Programação de tarefas reservas | 1,0 | 1,0 |
| Tomada de decisão participativa | 0,5 | 0,5 |

| PRÁTICAS (Cont.) | OBRA A | OBRA B |
|---|---|---|
| Utilização do PPC e identificação das causas dos problemas | 1,0 | 1,0 |
| Utilização de sistema de indicadores de desempenho | 1,0 | 1,0 |
| Realização de ações corretivas a partir das causas dos problemas | 1,0 | 1,0 |
| Realização de reuniões para difusão de informações | 1,0 | 1,0 |
| Indicador de eficácia da implementação (EI): | 92,90% | 78,60% |

**QUADRO 2 •** Avaliação do sistema através de praticas utilizadas na obra A e B

De acordo com o quadro, verificou-se que na obra B a análise de restrições também nunca foi implementada. Sem essa prática, os planos de curto prazo eram elaborados a partir do plano de médio prazo, sem que as restrições fossem removidas, aumentando a variabilidade dos processos e o não cumprimento das atividades.

Ainda na obra B, a prática referente à utilização de dispositivos visuais foi considerada de forma parcial, pois, apesar de alguns indicadores e planilhas de controle serem expostos nos murais da sala de planejamento, não foi identificado nenhum dispositivo visual fora desta sala para toda a equipe de encarregados e empreiteiros.

Em relação à prática referente à tomada de decisão participativa, percebeu-se que ela estava sendo utilizada de forma parcial nas duas obras, pois, apesar das reuniões semanais de planejamento, alguns empreiteiros e encarregados discutiam os problemas isoladamente na execução dos serviços, e quando encontravam alguns imprevistos, direcionavam as equipes para a realização de outras atividades.

A prática referente à análise e avaliação qualitativa dos processos também foi considerada de forma parcial na obra A, pois os engenheiros só realizaram uma avaliação qualitativa de espaços físicos destinados ao armazenamento, movimentação e disposição de materiais e equipamentos para o início da obra, sem levar em consideração as possíveis alterações e evoluções do canteiro. Já na obra B, em nenhum momento houve essa avaliação dos espaços físicos.

Diante dessas evidências, a avaliação do sistema na obra A atingiu uma maior eficácia de implementação em relação à obra B, tendo como consequência maior integração entre planejamento e produção, aumentando o desempenho do empreendimento.

Em relação à avaliação do sistema referente à facilidade de uso, através das reuniões semanais de planejamento, verificou-se que a obra A tinha uma facilidade em adaptar as ferramentas do sistema maior do que a da obra B. Os engenheiros de planejamento



de ambas as obras implementaram as ferramentas com base em trabalhos sobre o Last Planner e experiências de outras obras. Na obra A, partir do plano de médio prazo e da análise de restrições, tornou-se mais fácil elaborar os planos de curto prazo e aumentar o seu cumprimento. Como na obra B não havia ainda essa ferramenta, consequentemente, parte dos pacotes de trabalho não eram cumpridos.

Em relação às falhas do sistema, verificou-se, durante as reuniões de planejamento, que mesmo com as ferramentas implantadas, o comprometimento dos envolvidos na produção era de fundamental importância para o funcionamento do sistema. O comprometimento dos envolvidos está relacionado a seguir a execução dos planos frente ao planejado, buscando resolver qualquer imprevisto ou problema através da tomada de decisão participativa. Uma vez que não houvesse comprometimento, a sequência do fluxo de atividades do curto prazo desandava, afetando o desempenho da produção. Dessa forma, nas duas obras, a equipe da produção da empresa era bastante comprometida, sendo que o encarregado que atingisse as metas dos planos era premiado no final de todo mês. Além disso, através da análise de causas do não cumprimento dos planos, era possível identificar a dificuldade do cumprimento dos planos devido a problemas que ocorriam nas obras, tais como condições adversas do tempo, absenteísmo, defeitos em equipamentos durante a execução de atividades, baixa produtividade, os quais não podiam ser resolvidos com as ferramentas dos sistema. A falta da planilha de restrições na obra B resultava em quantidades maiores desses problemas, comprometendo o funcionamento do sistema.

Em relação à aprendizagem do uso do sistema, percebe-se que, de acordo com entrevistas com o engenheiro de planejamento, a obra A alcançou melhorias no processo de planejamento e controle através da implementação das ferramentas do sistema, como a maior integração entre o planejamento e a produção, aumento da eficácia dos planos e atingimento dos prazos. O engenheiro de planejamento da obra buscava discutir as ferramentas do sistema com os outros engenheiros, estagiários e encarregados da produção durante reuniões semanais, identificando os erros e os resultados indesejáveis.

A obra B, por sua vez, precisava alcançar melhorias no processo de planejamento e controle, através da maior adequação das ferramentas do sistema já adotadas, e da implementação do sistema, como a utilização da importante prática referente à análise de restrições. De acordo com o engenheiro de planejamento da obra B, essa necessidade de melhoria já está sendo discutida com a gerência da obra, alegando faltar tempo para

implementar novas práticas, porém entendendo a necessidade da planilha de restrições, que com o modelo da obra A, em breve será implementada, visando melhorias na integração entre o planejamento e a produção e, portanto, o desempenho do empreendimento.

### *4.4 Discussão dos resultados*

O Quadro 3 apresenta a seguir um resumo dos resultados dos indicadores que foram aplicados nas duas obras estudadas, para que se possa fazer uma comparação entre as obras, analisando as ferramentas e ações do sistema e avaliando o sistema em si.

| INDICADORES | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Obras | PPC | IRR | IA | RI | EI |
| A | 82,1% | 89,1% | 86,3% | 89,8% | 92,9% |
| B | 72,5% | - | 33,6% | 65,5% | 78,6% |

**QUADRO 3** • Resumo comparativo dos indicadores entre as obras A e B

A evolução do indicador de aderência (IA) acompanha a evolução do indicador de remoção de restrição (IRR) porque quanto mais restrições removidas, maior a aderência entre os planos de médio e curto prazo. Nesse contexto, um maior número de pacote de trabalho vai estar apto para execução e, consequentemente, maior será o porcentual de plano concluído (PPC).

Através da análise de causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, foi possível perceber os principais motivos que ocasionavam interrupções e diminuição do ritmo de atividades. Realizada a análise, a tomada de ações corretivas diminui a variabilidade do processo, fazendo com que diminua a ocorrência dos problemas, ou que eles não tornem a se repetir. Consequentemente, com a tomada de ações corretivas em cima dos problemas, o indicador PPC aumenta, e um menor número de retrabalho e trabalho inacabado é propício acontecer, aumentando o indicador RI.

Percebe-se que os valores dos indicadores da obra A são significantemente maiores do que os da obra B. A diferença dos resultados do indicador de eficácia de implementação de boas práticas do PCP entre as duas obras, de 92,9% e 78,6%, reflete o fato de que a obra A investe mais em planejamento e controle do que a obra B.



A obra B ainda não possui a ferramenta de análise de restrições do médio prazo, o que afeta negativamente a execução dos serviços programados na semana. Consequentemente, sem as ações das restrições removidas, os valores dos indicadores ficaram mais baixos do que a os da obra A, que desenvolvia essas ações.

Dessa maneira, o sistema *Last Planner* foi implementado de maneira mais eficaz na obra A, melhorando a integração entre o planejamento e a produção, o que, por sua vez, teve como consequência o maior desempenho do empreendimento, alcançando o atingimento do prazo previsto, sem aumentar significativamente os custos da obra.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho explica e avalia as ferramentas do sistema *Last Planner*, mostrando seus benefícios, para que sirva como exemplo do processo de planejamento para ser adotado nas obras pelas empresas construtoras. Neste sentido, a principal contribuição do trabalho é apoiar a difusão do conhecimento, aumentando a capacidade de aprendizagem e entendimento dos engenheiros, para que o sistema seja implementado em um maior número de obras, aumentado a integração entre o PCP e a produção, e o desempenho do empreendimento.

O processo do sistema funciona da seguinte maneira. A partir do plano de médio prazo é feita a análise de restrições deste plano; removendo o maior número de restrições, maior será o número de pacotes de trabalho que vão estar aptos para serem executados. Depois de removidas as restrições, os pacotes de trabalho da semana que forem considerados aptos para execução entram no plano semanal de serviços, aumentando a integração entre o planejamento e a produção. Depois de executado o plano de curto prazo, é aplicado o indicador de porcentual de plano concluído (PPC), que mede essa aderência entre o planejado e o executado. Em seguida, são listadas as causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, fazendo uma análise dessas causas e tomando ações corretivas para que diminua a incidência dos problemas, até isso parar de ocorrer.

Ao adotar essas ações e ferramentas originadas do *Last Planner*, como a análise de restrições, o indicador PPC e a análise de causas do não cumprimento do plano com ação corretiva, as obras vão fazer com que o planejamento e a produção estejam mais engajados,

ou seja, vão melhorar a aderência entre o PCP e a produção. Como consequência, vai diminuir a variabilidade dos processos executivos, diminuir o custo, aumentar a produtividade e atingir o prazo da obra.

Em um segundo desdobramento, esse trabalho buscou identificar e propor indicadores para medição da aderência entre o PCP e a produção. Grande parte dos indicadores propostos foi identificada por meio da literatura, sendo proposto o indicador de pacotes sem retrabalho ou trabalho inacabado (RI). Os indicadores identificados e propostos foram: (a) eficácia de implementação de práticas do PCP (EI), que mede a eficácia da utilização de boas práticas associadas ao PCP e derivadas do sistema *Last Planner*; (b) avanço físico (AF), que representa a relação entre a quantidade de trabalho executado e o total previsto no empreendimento; (c) indicador de remoção de restrição (IRR), que avalia a eficácia do processo de remoção de restrições no nível de planejamento de médio prazo; (d) índice de aderência (IA), que mede o grau de aderência entre os planos de diferentes níveis gerenciais; e (e) pacotes de retrabalho e trabalho inacabado (RI), que identifica pacotes de trabalho que se repetem de uma programação semanal de serviço para outra, referente a retrabalhos e trabalhos inacabados, acarretando possíveis atrasos.



# REFERÊNCIAS


AKKARI, A.M.P. **Interligação entre o planejamento de longo, médio e curto prazo com o uso do pacote computacional MSProject**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control.** Birmingham: School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, 2000.

BALLARD, G.; HOWELL, G. **Implementing Lean Construction: Improving Downstream Performance**. In: ALARCÓN, L. (Ed.). Lean Construction. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997.
BALLARD, G.; HOWELL, G. Shielding production: an essential step in production control. Journal of Construction Engineering in Management, v. 124, n. 1, p. 18-24, 1998.

BERNARDES, M. **Planejamento e controle da produção para empresas da construção civil**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003. 190p.

CODINHOTO, R. **Diretrizes para o Planejamento e Controle Integrado dos Processos de Projeto e Produção na Construção Civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

COSTA, D.B. **Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas de construção civil**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

FORMOSO, C.T.; BERNARDES, M.M.S.; OLIVEIRA, L.F.M.; OLIVEIRA, A.K. **Termo de referência para o Processo de Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

FORMOSO, C.T. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

HOPP, W; SPEARMAN, M. **Factory Physics: foundation of manufacturing management**. Boston: McGraw Hill, 1996.

LAUFER, A.; TUCKER, R.L. I**s construction planning really doing its job?** A critical examination of focus, role and process. Construction Management and Economics, London, United States, n. 5, p. 243-266, 1987.

NAVARRO, G.P. **Proposta de Sistema de Indicadores de Desempenho para a Gestão da produção em Empreendimentos de Edificações Residenciais.** Tese – (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

Este livro foi projetado com a D´lemos Publish Desing pela Área de Comunicação da OAS como parte integrante do Prêmio OAS/EP-UFBA – Inovação, Produtividade e Empreendedorismo, edição 2013.

No texto foram usadas as famílias tipográficas Futura Std, projetada por Paul Renner, e Palatina, projetada por Zapf, que deu-lhe o nome em honra de Giambattista Palatino.

A capa e o miolo foram impressos na gráfica (Uniongraph Gráfica e Editora Ltda.) em papel-cartão Duo Design 300g/m2 e papel Couché fosco 115 g/m², respectivamente.

Tiragem de 500 exemplares.