

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Luciana de Castro Patricio Pimenta

**FATORES QUE INFLUENCIAM A CONFIABILIDADE DO PLANEJAMENTO EM
OBRAS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL COM ÊNFASE NA
UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS**

Belo Horizonte
2022

Luciana de Castro Patricio Pimenta

**FATORES QUE INFLUENCIAM A CONFIABILIDADE DO PLANEJAMENTO EM
OBRAS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL COM ÊNFASE NA
UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Gestão na Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Andery

Belo Horizonte

2022

P644f

Pimenta, Luciana de Castro Patricio.

Fatores que influenciam a confiabilidade do planejamento em obras de habitação de interesse social com ênfase na utilização de sistemas construtivos industrializados [recurso eletrônico] / Luciana de Castro Patricio Pimenta. – 2022.

1 recurso online (92 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Paulo Roberto Pereira Andery.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 88-92.

Bibliografia: f. 82-87.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil - Teses. 2. Habitação- Teses. 3. Construção industrializada - Teses. 4. Planejamento - Teses. I. Andery, Paulo R. P. (Paulo Roberto Pereira) II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Curso de Pós-Graduação em Construção Civil

Mestrado
UFMG

FOLHA DE APROVAÇÃO

FATORES QUE INFLUENCIAM A CONFIABILIDADE DO PLANEJAMENTO EM OBRAS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL COM ÊNFASE NA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS

LUCIANA DE CASTRO PATRICIO PIMENTA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CONSTRUÇÃO CIVIL, como requisito para obtenção do grau de Mestre em CONSTRUÇÃO CIVIL, área de concentração TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

Aprovada em 27 de julho de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Paulo Roberto Pereira Andery - Orientador
UFMG

Paulo Roberto
Pereira
Andery:7148121
4691
Assinado de forma digital
por Paulo Roberto Pereira
Andery:71481214691
Dados: 2022.09.22
19:55:12 -03'00'

Assinado de forma digital por Luiz
Antonio Melgaco Nunes
Branco:48639435634
Dados: 2022.09.20 16:42:11 -03'00'

Prof(a). Luis Antonio Melgaco Nunes Branco
UFMG

Prof(a). Flávia Rodrigues de Souza
Escola Politécnica da USP



Documento assinado digitalmente
FLAVIA RODRIGUES DE SOUZA
Data: 22/09/2022 18:44:26-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Belo Horizonte, 27 de julho de 2022.

Dedico este trabalho aos meus pais,
Jurandy e Maria da Glória, por serem a
base de tudo que habita em mim.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Andery, não somente neste trabalho, como em tantos outros momentos acadêmicos e profissionais, por sempre me incentivar, acreditar e depositar sua confiança em mim ao longo de todos esses anos.

Aos meus pais, a quem dedico este trabalho, que nunca pouparam esforços para que eu chegasse até aqui e me ensinaram que educação é a maior herança que se pode deixar aos filhos.

Aos meus filhos, João e Julia, pela paciência e compreensão pelas muitas horas de ausência. Vocês são minha vida ! Tudo é por vocês !

Ao meu marido, Paulo Pimenta, por estar ao meu lado, por ser minha melhor companhia, por me ajudar a completar este ciclo, enfrentando uma pandemia, isolamento, duas crianças em casa, trabalho, estudo e ainda crescermos como família ao final deste processo.

Aos meus irmãos, Gustavo e Leticia, que sei que estão imensamente orgulhosos por mais essa vitória. Gu, você é um mestre brilhante e minha inspiração para seguir neste caminho acadêmico. Le, obrigada por me ensinar a perseverança e nunca soltar minha mão. Estes últimos anos não foram fáceis pra nós !

Aos meus sobrinhos, Pedro e Gabriel, que me inspiram com sua responsabilidade, obstinação e amor. Vocês são mais do que família pra mim. E à pequena Maria, que enche de energia nossos dias.

Às minhas amigas que sempre me incentivam, me colocam pra cima, acreditam em mim, se orgulham da minha história e fazem minha vida mais feliz !

A um amigo em especial, Jr, que contribuiu para este trabalho de inúmeras formas, sempre com disponibilidade e paciência para me ajudar profissionalmente e pessoalmente, me encorajando a seguir em frente.

RESUMO

Nas últimas décadas, o crescimento da concorrência e oferta de serviços na construção civil no Brasil tornou necessária a utilização de uma mão de obra cada vez mais especializada e um melhor gerenciamento dos processos, aumentando a importância do planejamento e das inovações tecnológicas para a execução dos serviços com maior produtividade e qualidade. Em obras habitacionais de interesse social, a assertividade de seu planejamento é especialmente importante, pois as margens de lucro das empresas são cada vez menores e qualquer variação na estrutura de custos causa impacto na lucratividade, ou até mesmo na viabilidade do empreendimento. O presente estudo teve como objetivo identificar os fatores que influenciam a confiabilidade do planejamento em obras de habitação com interesse social, com ênfase na utilização de sistemas industrializados. Como método de pesquisa, utilizou-se o estudo de caso exploratório em duas empresas construtoras e três empreendimentos com sistemas construtivos industrializados distintos: estrutura e vedações pré-fabricadas, parede de concreto moldada *in loco* e alvenaria estrutural com blocos de concreto. As análises foram feitas no âmbito de cada empreendimento e confrontadas as informações obtidas nos distintos projetos. Os resultados apontam que quanto mais características de industrialização o sistema construtivo apresenta, maior a confiabilidade de seu planejamento. Além disso, observou-se que a aplicação de algumas diretrizes de *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) em processos construtivos pode impactar a confiabilidade do planejamento.

Palavras-Chave: Habitação. Sistemas Construtivos Industrializados. Planejamento.

ABSTRACT

In recent decades, the growth of competition and supply of services in civil construction in Brazil has made it necessary to use an increasingly specialized workforce and better management of processes, increasing the importance of planning and technological innovations for the execution of projects with greater productivity and quality. In housing projects of social interest, the assertiveness of their planning is especially important, as the profit margins of companies are increasingly smaller and any variation in the cost structure impacts profitability, or even the viability of the enterprise. This present study aimed to identify the factors that influence the reliability of planning in social housing projects, with emphasis on the use of industrialized systems. As a research method, an exploratory case study was used in two construction companies and three projects with different industrialized construction systems: prefabricated structure and fences, cast-in-place concrete wall and structural masonry with concrete blocks. The analyzes were carried out within the scope of each project and the information obtained in the different projects was compared. The results indicate that the more industrialization characteristics the construction system presents, the greater the reliability of its planning. In addition, it was observed that the application of some Design for Manufacture and Assembly (DFMA) guidelines in construction processes can impact the reliability of the planning.

Keywords: Housing. Industrialized Building Systems. Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organização dos ciclos em diferentes sistemas construtivos	20
Figura 2 – Execução de alvenaria estrutural em bloco de concreto	22
Figura 3 – Execução de parede de concreto moldada in loco	25
Figura 4 – Engenharia Sequencial x Engenharia Simultânea.....	29
Figura 5 – Sistema Construtivo em Painéis Pré-Fabricados – Estudo de Caso 1	42
Figura 6 – Índice de Produtividade Mensal – Estudo de Caso 1	44
Figura 7 – Gráfico de Andamento Mensal – Estudo de Caso 1.....	45
Figura 8 – Planilha de Andamento Físico – Estudo de Caso 1.....	45
Figura 9 – Análise de Custo da Obra – Estudo de Caso 1	46
Figura 10 – Gráfico de Desvio de Custo Acumulado – Estudo de Caso 1.....	47
Figura 11 – Gráfico de Desvio de Custo Acumulado por Atividade – Estudo de Caso 1	47
Figura 12 – Sistema Construtivo Paredes de Concreto moldadas in loco – Estudo de Caso 2	50
Figura 13 – Mapa de Chuvas – Estudo de Caso 2.....	52
Figura 14 – Gráfico de Avanço Físico Mensal – Estudo de Caso 2.....	53
Figura 15 – Curva S de Avanço Físico Acumulado – Estudo de Caso 2	54
Figura 16 – Gráfico por Atividades – Estudo de Caso.....	55
Figura 17 – Gráfico Comercial – Estudo de Caso 2	55
Figura 18 – Planilha P x R – Estudo de Caso 2	56
Figura 19 – Análise Geral da Obra – Estudo de Caso 2.....	57
Figura 20 – Quadro IEC – Estudo de Caso 2.....	58
Figura 21 – Resumo de Concretagem da Estrutura – Estudo de Caso 2	59
Figura 22 – Sistema de Alvenaria Estrutura com blocos de concreto – Estudo de Caso 3...	63
Figura 23 – Curva de Avanço Físico Mensal – Estudo de Caso 3.....	65
Figura 24 – Curva S de Avanço Físico Acumulado – Estudo de Caso 3	66
Figura 25 – Gráfico por Atividades – Estudo de Caso 3.....	67

Figura 26 – Gráfico Comercial – Estudo de Caso 3	67
Figura 27 – Planilha P x R – Estudo de Caso 3	68
Figura 28 – Análise Geral da Obra – Estudo de Caso 3.....	69
Figura 29 – Quadro IEC – Estudo de Caso 3.....	70
Figura 30 – Curva Previsto Acumulado x Realizado Acumulado da Estrutura	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos relativos aproximados entre as estruturas convencionais e a alvenaria estrutural (Brasil)	23
Tabela 2 – Produtividade Prevista x Realizada – Estrutura – Estudo de Caso 1	48
Tabela 3 – Variação (dias) Execução Estrutura – Estudo de Caso 1	48
Tabela 4 – Planejamento 1ª Etapa Estrutura – Estudo de Caso 3	71
Tabela 5 – Planejamento 2ª Etapa Estrutura – Estudo de Caso 3	71
Tabela 6 – Planejamento 3ª Etapa Estrutura – Estudo de Caso 3	72
Tabela 7 – Planejamento 4ª Etapa Estrutura – Estudo de Caso 3	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro Preliminar de Fontes de Evidência	39
Quadro 2 – Sistemas Construtivos quanto à Caracterização de Construção Industrializada	76
Quadro 3 – Diretrizes de DFMA x Impacto no Planejamento x Sistemas Construtivos Industrializados	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC - *Architecture, Engineering and Construction Industry*

BIM – *Building Information Modeling*

DATec – Documentos de Avaliação Técnica

DFA – *Design for Assembly*

DFM – *Design for Manufacture*

DFMA – *Design for Manufacture and Assembly*

ES – Engenharia Simultânea

HIS – Habitação de Interesse Social

INCC – Índice Nacional de Custo da Construção

NBR – Norma Brasileira

PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

STP – Sistema Toyota de Produção

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	15
1.2 Objetivo	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Construção Industrializada e Sistemas Construtivos	18
2.1.1 Sistema de Alvenaria Estrutural com blocos de concreto	21
2.1.2 Sistema de Parede de Concreto moldada in loco.....	24
2.2 Construção Industrializada e a Gestão da Produção	27
2.3 O Planejamento de Obras e a Utilização de Sistemas Industrializados.....	33
3 METODOLOGIA.....	37
3.1 Definição do Método.....	37
3.2 Protocolo de Estudo de Caso	37
3.2.1 Definição do problema de pesquisa	37
3.2.2 Definição de hipóteses de pesquisa.....	38
3.2.3 Planejamento de revisão da literatura	38
3.2.4 Planejamento de estudo de caso	38
3.3 Condução do Estudo de Caso	40
4. ESTUDO DE CASO.....	41
4.1 Estudo de Caso 1.....	41
4.1.1 Caracterização do empreendimento	41
4.1.2 Sistema Construtivo	41
4.1.3 Sistema de Planejamento e Controle	43

4.1.4 Análise Intra Caso.....	48
4.2 Estudo de Caso 2.....	49
4.2.1 Caracterização do empreendimento	49
4.2.2 Sistema Construtivo	49
4.2.3 Sistema de Planejamento e Controle	51
4.2.4 Análise Intra Caso.....	60
4.3 Estudo de Caso 3.....	62
4.3.1 Caracterização do empreendimento	62
4.3.2 Sistema Construtivo	62
4.3.3 Sistema de Planejamento e Controle	63
4.3.4 Análise Intra Caso.....	70
4.4 Análise Inter Casos.....	74
5 CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A – Roteiro da Entrevista	88
APÊNDICE B – Documentos de Planejamento e Acompanhamento de obra – Estudos de Casos.....	90

1 INTRODUÇÃO

A construção industrializada no Brasil iniciou-se a partir de 1960, utilizando-se sistemas de pré-fabricação e desenvolvendo equipamentos para executar a montagem desses elementos na formação das edificações. Para atender a esses novos projetos, tornou-se necessário o uso de uma mão de obra cada vez mais especializada e um melhor gerenciamento dos processos, aumentando, assim, a importância do planejamento e das inovações tecnológicas para a execução dos serviços com maior produtividade e qualidade. Em obras habitacionais de interesse social (HIS), como o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), a confiabilidade de seu planejamento é especialmente importante, pois as margens de lucro das empresas realizadoras destes projetos são cada vez menores, e qualquer variação na estrutura de custos causa impacto na lucratividade, ou até mesmo na viabilidade do empreendimento. O objetivo deste trabalho é realizar um estudo dos fatores que interferem na confiabilidade do planejamento de obras de habitação de interesse social, com foco mais específico na avaliação do impacto da implementação de conceitos de industrialização. O método utilizado será o de estudos de casos exploratórios, focados em empreendimentos habitacionais pertencentes ao Programa Minha Casa Minha Vida, onde serão confrontados os sistemas industrializados utilizados, analisando sua influência na confiabilidade do planejamento.

1.1 Justificativa

O déficit habitacional e os programas de incentivo à habitação de interesse social, como o PMCMV e, atualmente, o Programa Casa Verde Amarela, tem impulsionado as construtoras brasileiras a adotarem o uso de sistemas construtivos industrializados, bem como técnicas de gestão que atendam aos princípios da construção enxuta a fim de garantir uma construção de baixo custo, de rápida execução e alto desempenho (CRUZ *et al.*, 2016).

Em atendimento a essa nova realidade, faz-se necessária especial atenção quanto à sua produtividade e custo que podem ser comprometidos caso seus projetos não estejam devidamente compatibilizados, seu planejamento confiável e seu acompanhamento rigoroso.

A literatura sugere que o uso de sistemas construtivos industrializados contribui para uma menor variabilidade nos processos de execução, menor incerteza com relação a logística de suprimentos e conseqüente aumento de sua produtividade. De tal forma que o fluxo de trabalho se torna mais previsível, havendo menores variações de prazo no planejamento das obras (CRUZ, SANTOS e MENDES, 2018).

Além disso, diversas pesquisas apontam as deficiências no processo de planejamento e controle da produção (PCP) das obras como causas principais da baixa produtividade da mão de obra, da baixa qualidade de seus produtos e de elevadas perdas em sua produção (FORMOSO *et al.*, 2002).

Nesse contexto, torna-se relevante, tanto do ponto de vista acadêmico como do ponto de vista de melhorias de práticas do mercado, identificar como conceitos de construção industrializada impactam na confiabilidade do planejamento desses empreendimentos.

Como a industrialização, em suas várias formas, é uma tendência no mercado (CRUZ *et al.*, 2016), a identificação do impacto dos conceitos de industrialização poderá também contribuir para a identificação de medidas práticas que aumentem a construtibilidade dos empreendimentos.

1.2 Objetivo

O objetivo desta pesquisa é estudar os fatores que impactam na ocorrência ou não de desvios de custo e prazo de empreendimentos de habitação de interesse social, destacando a influência da aplicação de sistemas construtivos industrializados.

São objetivos específicos deste trabalho:

- a) realizar um estudo sobre as características dos sistemas construtivos industrializados utilizados nos empreendimentos estudados;
- b) realizar um estudo comparativo entre ciclos de execução dos sistemas construtivos e suas variações;

- c) com base na análise dos sistemas construtivos, identificar possibilidades de utilização de princípios de *Design for Manufacture and Assembly* no projeto dos sistemas construtivos utilizados em empreendimentos habitacionais de interesse social.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta histórico sobre a evolução da construção industrializada no Brasil e no mundo e suas características, assim como dos sistemas construtivos industrializados que serão alvo dessa pesquisa. Em seguida, aborda os sistemas de gestão da produção e sua influência no processo construtivo. Apresenta, por fim, a importância do planejamento no gerenciamento de obras que utilizam sistemas construtivos industrializados.

2.1 Construção Industrializada e Sistemas Construtivos

A construção industrializada teve uma grande evolução a partir do processo que alguns autores chamam de Segunda Revolução Industrial, com a utilização de novos materiais como o ferro fundido, vidro, aço e concreto, além dos já habituais tijolo cerâmico, pedra e madeira. Ainda assim, inicialmente, a introdução desses materiais na construção civil não se caracterizou por um processo de construção industrializada, uma vez que eram usados métodos construtivos tradicionais (BRUNA, 1976).

De acordo com Ordonéz (1974 apud PIGOZZO; SERRA; FERREIRA, 2006), foi no período pós Segunda Guerra Mundial, no continente europeu, que começou, verdadeiramente, o ciclo da pré-fabricação como evidência expressiva da industrialização na construção civil, com a necessidade de reconstrução rápida de suas edificações. Para isso, foram criados sistemas e equipamentos que permitissem a reconstrução de suas cidades no menor espaço de tempo, com o surgimento de sistemas de pré-fabricação dos elementos das obras e desenvolvidos equipamentos para executar a montagem desses elementos na formação das edificações.

Gibb (1999) cita benefícios importantes em se substituir algumas atividades realizadas no canteiro de obras para dentro das fábricas. Dentre eles, a diminuição das interrupções no processo produtivo e dos deslocamentos dos componentes, a melhoria no controle sobre as atividades desenvolvidas, o treinamento especializado dos trabalhadores envolvidos, a repetição dos processos produtivos se torna mais simples e a possibilidade da utilização de ferramentas e técnicas inovadoras.

Além disso, com o uso da padronização, através de elementos pré-fabricados, é possível prever os resultados e antecipar as correções desde que esteja associada à compatibilidade entre os diferentes elementos, de modo a permitir que os mesmos, produzidos por diferentes indústrias, possam ser usados na mesma edificação (GIBB, 2001).

No Brasil, os primeiros sinais de utilização da racionalização e industrialização de sistemas construtivos aconteceu no final da década de 50, com a construção de galpões de estruturas pré-moldadas no próprio canteiro de obras (VASCONCELOS, 2002), mas ainda há um largo campo a ser estudado em relação aos sistemas construtivos industrializados (OLIVEIRA, 2019).

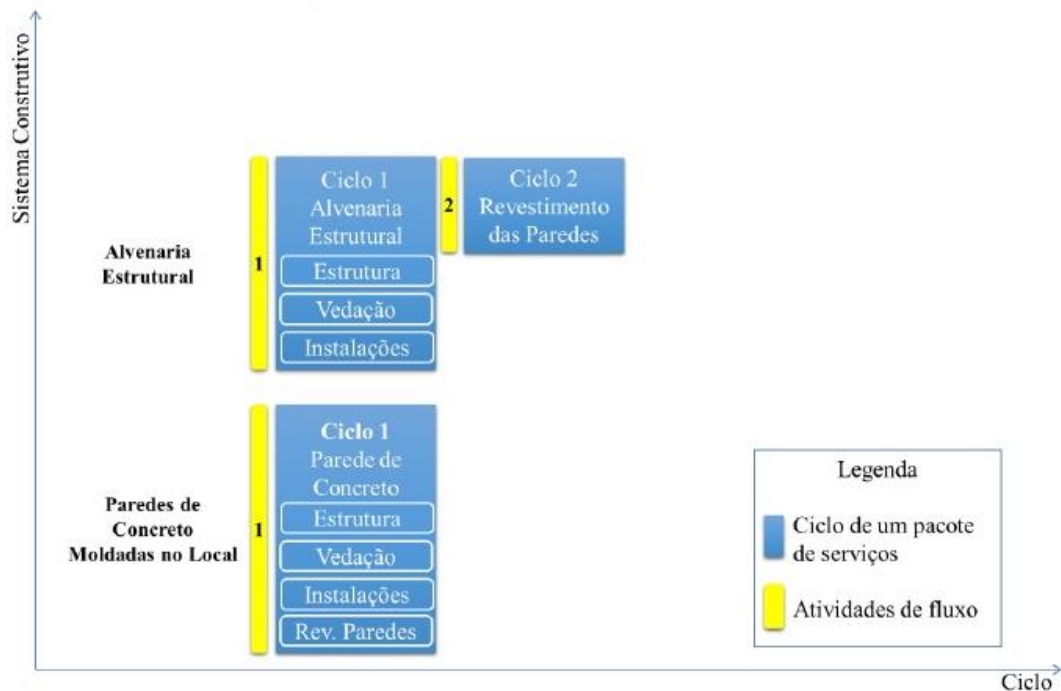
Para Fabricio (2013), ainda no século 20, a industrialização no Brasil foi marcada como uma indústria manufatureira, com mão de obra sem conhecimento técnico e com a maioria de suas atividades no canteiro de obras, ocasionando uma baixa produtividade e qualidade nos edifícios.

Ainda que tenha havido um aumento do investimento no setor da construção civil nos últimos tempos, no que diz respeito às inovações tecnológicas, a indústria da construção não acompanhou as inovações e modernizações das demais indústrias, sendo considerada ainda conservadora (GOH; LOOSEMORE, 2017).

Os sistemas construtivos industrializados são amplamente utilizados nas obras habitacionais de interesse social e alguns deles serão objeto de análise dessa pesquisa. Entre os sistemas empregados pode-se citar o sistema de alvenaria estrutural usando bloco de concreto, o sistema de paredes de concreto moldadas *in loco* e outros sistemas inovadores, nem sempre normatizados, como é o caso de painéis pré-moldados com várias composições de concreto, painéis pré-fabricados constituídos de polímeros, etc. Vários desses sistemas foram objeto de Documentos de Avaliação Técnica (DATec) no âmbito do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H).

As principais características que diferem alguns desses sistemas são suas atividades executivas e seus ciclos de serviços, conforme Figura 1.

Figura 1 – Organização dos ciclos em diferentes sistemas construtivos



Fonte: Adaptado de Cruz (2017).

Segundo Formoso (2002), com a redução do número de ciclos de pacotes de serviço, ocorre a redução das atividades de fluxo e, portanto, menor chance de desvios de prazo, retrabalhos e falhas que possam prejudicar o próximo serviço.

As atividades de fluxo são representadas pelos quadros com moldura branca e os ciclos pelos quadros azuis com seus serviços.

Pela análise da Figura 1, nota-se que, para que sejam executados os serviços de alvenaria, estrutura, instalações elétricas e hidráulicas e revestimento de paredes (reboco), são necessários dois ciclos no sistema de alvenaria estrutural e um ciclo no sistema de paredes de concreto moldadas no local.

Para Cruz, Santos e Mendes (2018), ciclos em menores quantidades que contemplam maior número de atividades diminuem a entrega de trabalhos entre equipes (*handoffs*) gerando menor deslocamento delas no fluxo de produção, podendo dificultar a variação do tempo de execução.

Outro sistema construtivo utilizado no Brasil, como mencionado acima, é o sistema de painéis pré-fabricados de concreto. Esse sistema apresenta dupla função, assim como os demais sistemas construtivos citados neste trabalho: vedação e estrutural. Sua utilização permite o aumento da produtividade e qualidade, além da redução do desperdício e, conseqüentemente, do custo da obra, através do melhor aproveitamento dos materiais (EL DEBS, 2000).

Apesar de muito utilizado nos países mais desenvolvidos, principalmente por seu comportamento apropriado em regiões sujeitas a sismos, no Brasil sua utilização ainda é pouco significativa devido a seus custos com equipamentos de transporte e montagem, com mão de obra mais qualificada e a sua dificuldade de mudanças em projetos (TOMO, 2013).

Outras edificações utilizam de painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e bloco cerâmico. Neste caso, sua utilidade é apenas de vedação. São painéis utilizados em edifícios habitacionais de até 16 pavimentos, produzidos nas fábricas e transportados até o canteiro de obras através de carretas e montados no local. A estrutura dos edifícios que atendem a esses painéis é do tipo pré-fabricada em concreto armado com elementos estruturais convencionais (vigas, pilares e lajes), conforme projeto específico.

2.1.1 Sistema de Alvenaria Estrutural com blocos de concreto

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo composto por blocos ou unidades, graute e armadura (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

De acordo com Alves (2018), no Brasil, as unidades mais utilizadas são feitas em concreto (Figura 2), cerâmicos e sílico-calcáreas e podem ser classificadas quanto à sua forma em: maciças (índice de vazios de, no máximo, 25% da área total da unidade) ou vazadas (índice de vazios superior a 25% da área total da unidade).

Neste tipo de sistema, onde não há os elementos convencionais estruturais, como vigas e pilares, a parede exerce dupla função: resistência e vedação. Desta forma,

antes de qualquer remoção ou abertura deve se levar em consideração a análise dos esforços (Figura 2).

Figura 2 – Execução de alvenaria estrutural em bloco de concreto



Fonte: A autora (2014).

Segundo KALIL (2010, p. 4):

Alvenaria Estrutural não pode ser vista meramente como um conjunto de paredes superpostas, resistindo o seu peso próprio e outras cargas adicionais. Deve ser compreendida como UM PROCESSO CONSTRUTIVO racionalizado, projetado, calculado e construído em conformidade com as normas pertinentes.

Ramalho e Corrêa (2003) apresentam em seu livro *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural* os pros e contras do uso da alvenaria estrutural em relação ao sistema convencional.

Segundo esses autores, alguns aspectos que justificam seu uso são:

- a) redução no consumo de formas de madeira e, conseqüentemente, economia com a contratação de carpinteiros;

- b) redução no uso de armaduras e, conseqüentemente, economia com a contratação de armadores;
- c) maior velocidade de execução;
- d) redução de desperdício de materiais;
- e) menor custo;
- f) maior organização do canteiro de obras.

Para Mohamad (2007, p. 9):

A grande vantagem econômica proporcionada pela alvenaria foi a otimização de tarefas na obra, por meio de técnicas executivas simplificadas, facilidade de controle nas etapas de produção e eliminação de interferências, gerando uma diminuição no desperdício de materiais produzido pelo constante re-trabalho. Como conseqüência, o sistema construtivo em alvenaria estrutural consegue proporcionar uma flexibilidade no planejamento das etapas de execução das obras. Isso tornou o sistema em alvenaria competitivo no Brasil, quando comparado com o concreto armado e o aço.

Em sua tese de doutorado, Mohamad (2007) apresenta uma tabela comparativa entre os custos relativos aproximados de estruturas convencionais e de alvenaria estrutural, demonstrando a redução na escolha pelo sistema de alvenaria estrutural de acordo com o número de pavimentos da edificação (Tabela 1).

Tabela 1 – Custos relativos aproximados entre as estruturas convencionais e a alvenaria estrutural (Brasil)

Características da Obra	Economia (%)
Quatro pavimentos	25-30
Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria não armada	20-25
Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria armada	15-20
Sete pavimentos com pilotis	12-20
Doze pavimentos sem pilotis	10-15
Doze pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	8-12
Dezoito pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	4-6

Fonte: Mohamad (2007).

Outras vantagens são citadas por Hoffmann *et al.* (2012):

- a) redução de custos com revestimentos (como argamassas e placas de gesso) uma vez que são aplicados diretamente sobre os blocos, sem necessidade de chapisco para aderência, economizando em material e mão de obra;
- b) racionalização das instalações elétricas (abertura apenas em posição vertical) e instalações hidráulicas (com a construção de shafts), evitando a geração de entulhos e maior rendimento da mão de obra;
- c) redução de desperdício de materiais, como blocos de concreto que possuem maior resistência do que os blocos usados em alvenaria de vedação e evitam quebras em sua execução;
- d) redução nos custos com esquadrias com vãos padronizados, economizando no corte das barras e na produção dos caixilhos;
- e) redução de custos com forma, visto que o sistema dispensa a existência de pilares e vigas, proporcionando a economia de material (como concreto e aço) e mão de obra (uso de carpinteiros e armadores).

Algumas conclusões foram tiradas por esses autores que fizeram um trabalho de levantamento das principais vantagens e desvantagens do uso desse sistema construtivo por meio de uma pesquisa baseada nos resultados encontrados na literatura nacional. Além das vantagens citadas acima, são apresentadas ainda a melhoria da produtividade, a racionalização do processo construtivo e a adaptação aos princípios da construção enxuta.

Além disso, segundo esse mesmo estudo, algumas variações de custo podem ocorrer devido às peculiaridades do local e às características de cada projeto.

2.1.2 Sistema de Parede de Concreto moldada in loco

O sistema de parede de concreto moldada *in loco* é uma parede maciça de concreto, moldada no local definitivo de sua existência e que se caracteriza pela capacidade de distribuir as cargas por toda sua estrutura. Ou seja, a vedação e a estrutura são compostas pelo mesmo componente que é moldado em uma única etapa de concretagem (MISURELLI; MASSUDA, 2009).

De acordo com Sacht (2008), o sistema construtivo de paredes de concreto é um sistema racionalizado, de painéis monolíticos de concreto moldado *in loco*, através de formas duplas, usualmente metálicas, e que podem englobar, em seu processo de produção, parte das instalações dos sistemas prediais e instalação de esquadrias (Figura 3).

Figura 3 – Execução de parede de concreto moldada *in loco*



Fonte : A autora (2017).

De acordo com a norma brasileira NBR16.055:2012 – Parede de Concreto Moldada no local para a construção de edificações: Requisitos e Procedimentos – da ABNT :

Todas as paredes de cada ciclo construtivo de uma edificação são moldadas em uma única etapa de concretagem, permitindo que, após a desforma, as paredes já contenham, em seu interior, vãos para portas e janelas, tubulações ou eletrodutos de pequeno porte, elementos de fixação para coberturas e outros elementos específicos quando for o caso.

Neste sistema, as paredes e lajes são concretadas em uma única etapa. Inicia-se o processo com as instalações afixadas às armaduras (telas soldadas) das paredes. A armadura é posicionada e, posteriormente, é feita a fixação dos eletrodutos e tubos

sanitários. Somente após montadas as armaduras e instalações, é realizada a montagem das formas das paredes que servem como estruturas de apoio para a montagem das formas das lajes. Em seguida, é montada a armaduras da lajes, posicionados seus eletrodutos e feita concretagem única de todo o sistema. Após um período de 14 horas, é feita a desforma e inicia-se o processo de cura úmida. A próxima etapa é a fixação de consoles da mísula às paredes externas capazes de permitir a montagem de guarda-corpos para proteção dos operários na execução do pavimento acima (SANTOS, 2016).

A execução do sistema de paredes de concreto não exige mão de obra especializada. Os funcionários recebem treinamento específico e são capazes de desempenhar a função de montadores, bem como executar outras atividades do processo como armação, instalações, concretagem e desforma dos painéis metálicos.

Para Lordsleem Junior (1998), o sistema de parede de concreto moldada *in loco* possui algumas vantagens em relação ao sistema de alvenaria estrutural, tais como: alta produtividade, baixo índice de perdas, rapidez na execução e menores custos de mão de obra.

A execução de paredes de concreto atende os princípios da construção enxuta uma vez que é um sistema racionalizado que envolve vários processos construtivos, como alvenaria, estrutura, reboco e instalações elétricas em uma única etapa (CRUZ *et al.*, 2016).

Em contrapartida, pela rapidez que lhe é característica, o sistema de parede de concreto merece atenção quanto à sua produtividade e custo que podem ser prejudicados caso os projetos não sejam bem compatibilizados e seu planejamento preciso.

Além disso, segundo Cruz, Santos e Mendes (2018), por se tratar de um processo construtivo mecanizado, aumenta-se a dependência com as falhas de equipamentos e ferramentas.

2.2 Construção Industrializada e a Gestão da Produção

Uma outra abordagem sobre a industrialização na construção diz respeito às ações organizacionais, à gestão de produção voltada à racionalização do processo. É o que afirma Sabbatini (1989) quando diz que a evolução da industrialização no processo construtivo deve se dar através de ações organizacionais e operativas. Esse crescimento deve ocorrer não somente com a utilização de novos processos construtivos, mas, sobretudo, com o avanço na organização das atividades em todas as suas fases.

Para Martinez *et al.* (2008), existem outros meios para ocorrer a industrialização na construção além dos processos de pré-fabricação. É preciso associar os processos produtivos com os conceitos de racionalização e produtividade.

Um conjunto de conceitos, métodos e ferramentas associadas à redução do desperdício e aumento da produtividade foi desenvolvido no que é conhecida como *Lean Construction* (Construção Enxuta).

O conceito de *Lean Construction* iniciou-se com o trabalho publicado pelo finlandês Lauri Koskela (1992), chamado *Application of the new production philosophy to construction*. Antes disso, porém, o conceito *lean* (enxuto) foi desenvolvido na indústria automobilística, baseado no Sistema Toyota de Produção (STP) ou Toyotismo.

A partir das publicações de Womack e Daniel T. Jones, a filosofia *lean* ganhou notoriedade e diversos setores da indústria saíram em busca do emprego de seus conceitos dentro de seus ambientes (PICCHI, 2003). Eles foram os criadores do termo *Lean Thinking* (Pensamento Enxuto) que se baseava em cinco princípios:

- a) valor: entendimento do que gera valor para o cliente em seu produto e oferta de um produto com maior valor agregado possível, com redução de desperdícios;
- b) fluxo de valor: identificação de quais etapas agregam valor ao produto e eliminação das demais;

- c) fluxo contínuo: criação de um ambiente de produção contínua, sem interrupções;
- d) produção puxada: produção sob demanda do cliente, sem geração de estoque;
- e) melhoria contínua: melhoria contínua através da rápida identificação de problemas e aplicação de soluções.

Em seu trabalho, Koskela (1992) incorporou os princípios de mentalidade enxuta no ambiente da construção civil à procura por eliminar atividades que não agregavam valor, diminuindo as chances de variabilidade na execução dos processos construtivos.

Apesar da indústria manufatureira, onde foi criado, inicialmente, o pensamento enxuto (*Lean Thinking*), apresentar diversas diferenças em seu processo de produção em relação à indústria da construção, algumas semelhanças podem ser apontadas (PICCHI, 2003). Em seu trabalho em 1999, Santos aponta algumas ferramentas *lean* que podem ser úteis no ambiente da construção, referentes à redução de tempo de ciclo, redução de variabilidade, aumento de transparência e melhoria contínua. A aplicação dessas ferramentas foi testada e as mesmas foram constatadas como úteis para utilização na construção.

Embora tenha se iniciado dentro da indústria de produção seriada, os fundamentos da produção enxuta são aplicáveis ao ambiente da construção desde que adaptados às especificidades deste ramo de atividade, contribuindo positivamente para racionalização do processo construtivo (PEDRINI, 2012).

Lean Construction é um conjunto de princípios que, aplicados na gestão de processos de sistemas de produção, tem o maior sucesso no controle de desperdícios e na antecipação de incertezas (ALVARENGA; SILVA; MELLO, 2017).

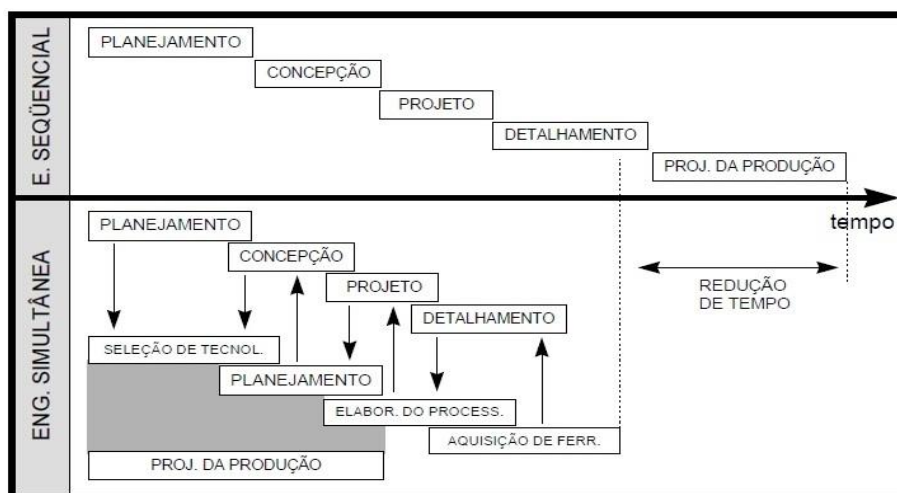
Uma das principais ferramentas de gestão dentro da filosofia de produção enxuta, chamada Engenharia Simultânea (ES), reconhece o método como um conjunto de atividades interligadas e interdependentes (PEDRINI, 2012).

Segundo Pretti (2013), ainda que diversos autores apresentem variados objetivos para a implantação da Engenharia Simultânea como ferramenta de gestão na construção, segue um consenso quanto à redução de custos e tempo e ao aumento da qualidade do produto.

A ES iniciou-se a partir da demanda das empresas em lançar novos produtos com ciclos de desenvolvimento maiores em um menor espaço de tempo para se manterem competitivas no mercado. Um dos recursos para esse atendimento visa aumentar o paralelismo entre suas atividades (PEDRINI, 2012), evitando a natureza sequencial e segmentada dos processos. Para Fabricio (2002), um elemento fundamental é a concepção do produto e a valorização do projeto, ou seja, a fase de desenvolvimento do processo de produção caminhando em paralelo com a concepção e projeto do produto.

A Figura 4, adaptada de Weck *et al.* (1991) apud Takahashi (1996), mostra a comparação entre a Engenharia Sequencial e a Engenharia Simultânea e suas fases de desenvolvimento do produto com o paralelismo promovendo redução de tempo na ES.

Figura 4 – Engenharia Sequencial x Engenharia Simultânea



Fonte: Adaptado de Weck *et al.* (1991 apud TAKAHASHI, 1996).

A ES pode ser utilizada durante várias etapas do processo construtivo, mas possui uma atenção principal na fase inicial, auxiliando durante a concepção do produto, na contratação de projetos, no estudo das tecnologias e na escolha dos sistemas

construtivos. Além disso, seu emprego permite maior detalhamento das atividades de montagem, podendo auxiliar, inclusive, na redução de interferências e na eliminação de imprevistos (VIVAN; PALIARI; NOVAES, 2010).

No que diz respeito à fabricação e montagem de um produto, o emprego do *Design for Manufacture and Assembly (DFMA)*, dentre outras ferramentas auxiliares, visa aumentar a eficiência no processo de produção.

DFMA é tanto uma filosofia de design quanto um método de desenvolvimento de projetos que pode auxiliar durante o processo de produção (WEISHENG, 2020). Essa ferramenta concilia as duas metodologias – *Design for Manufacture (DFM)* e *Design for Assembly (DFA)*, atuando ao mesmo tempo na facilidade de fabricação e na eficiência da montagem. Os dois conceitos (DFM e DFA) estão interligados na medida em que, ao simplificar o design de um produto, facilita-se sua fabricação e montagem.

A metodologia *Design for Manufacture* abrange qualquer procedimento, método ou abordagem que vise a concepção de um produto com menor custo e de fabricação mais simples. O objetivo é avaliar e melhorar o design do produto, considerando os processos depois da fabricação e montagem (BRALLA, 1996). Este produto deve garantir alguns benefícios, como:

- a) funcionalidade e desempenho: o produto deve trabalhar com regularidade e constância;
- b) segurança: o produto deve assegurar a segurança a todos os envolvidos em todos os processos;
- c) qualidade, confiabilidade e durabilidade: o produto deve ser durável, confiável e possuir qualidade;
- d) usabilidade: o produto deve ser fácil de manusear;
- e) sustentabilidade: o produto deve ser projetado conforme as normas de sustentabilidade ambiental;
- f) facilidade de manutenção: o produto deve ter baixo custo de manutenção e com processos fáceis de reparação;
- g) boa aparência: o produto deve ser atrativo;
- h) custo e tempo: o produto deve garantir pequeno tempo de desenvolvimento com baixo custo.

Para isso, de acordo com Bralla (1996), o projetista deve considerar algumas premissas:

- a) promover a montagem através de projetos mais simples e práticos, com menor número de peças e interligações;
- b) atentar-se à conformidade das peças, facilitando a montagem e reduzindo ajustes;
- c) padronizar peças e arranjos, a fim de limitar processos e usos de equipamentos;
- d) adequar o projeto a processos conhecidos de fabricação, optando por materiais e equipamentos conhecidos.

O DFM tem como objetivo desenvolver produtos de fácil fabricação, com processos simplificados e redução de custos que atendam sua funcionalidade (BARBOSA, 2012).

Já o *Design for Assembly* visa a elaboração de um projeto específico, voltado para as instruções de montagem, resultando numa simplificação do processo de produção através do aprimoramento de peças, componentes e atividades de montagem (LAI; GERSHENSON, 2008). Esses projetos favorecem a construtibilidade do produto, pois definem as atividades essenciais à construção, através da otimização entre o sistema construtivo escolhido e as condições do canteiro de obras e da mão de obra empregada (VIVAN; PALIARI, 2012).

DFA significa projetar os componentes de construção de modo a atender os requisitos de montagem, melhorando sua capacidade de montagem (ZHENMIN, CHENGSHUANG; YAOWU, 2018).

Assim como as outras ferramentas de gestão, o *Design for Assembly* (DFA) também foi desenvolvido no ambiente das indústrias manufatureiras. De acordo com Kuo, Huang e Zhang (2001), os projetos na época eram voltados apenas para partes do produto e não para a fabricação das peças e montagem do produto final.

Para Lai e Gershenson (2008), o DFA tem o objetivo de facilitar o processo de produção, através da redução do número de peças do produto, simplificando sua montagem e proporcionando o encurtamento do ciclo de produção.

Salustri e Chan (2003) corroboram com essa afirmativa quando definem DFA como “um processo para aprimorar o projeto do produto, para uma montagem fácil e de baixo custo, com foco na funcionalidade e na capacidade de montagem simultaneamente.”

A combinação das duas metodologias – DFA e DFM – visa simplificar o processo produtivo, atendendo à redução da quantidade de componentes e à otimização da cadeia de atividades.

Segundo Weisheng *et al.* (2020), a efetivação das diretrizes de DFMA começou na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC – *Architecture, Engineering and Construction Industry*) e se estende em uma variedade de ferramentas e técnicas como BIM (*Building Information Modeling*), construção inteligente, pré-fabricados, construção enxuta, dentre outras, para aprimorar o projeto, a fabricação e a montagem e aumentar o valor na indústria.

Apesar disso, na construção civil brasileira ainda há uma grande deficiência em relação ao processo de projeto, pois as construtoras não se encontram preparadas para exercer a comunicação e a interatividade necessárias entre as várias disciplinas que um projeto residencial necessita. Isso significa que a etapa de processo de projeto não se comunica com a etapa de produção e algumas idéias acabam se perdendo no processo (VIVAN; PALIARI, 2012), dificultando a prática dos conceitos de DFMA.

De acordo com Yun *et al.* (2018), são necessárias diretrizes estruturadas para executar o processo de DFMA, com estudo das informações exigidas pelas etapas de fabricação e montagem na etapa de projeto.

Tan *et al.* (2020) defendem que a metodologia DFMA ainda segue muito as diretrizes desenvolvidas a partir da manufatura, desconsiderando a existência de diferenças importantes entre fabricação e construção, no que diz respeito aos processos de

produção e aos produtos finais. Apesar dessas diferenças, alguns sistemas construtivos industrializados, como painéis pré-fabricados e paredes de concreto, possibilitam uma chance de adaptação do DFMA à construção.

Diante disso, propõem cinco diretrizes de DFMA orientadas para a construção que devem ser usadas como referência para a avaliação da capacidade de fabricação e montagem, sem esquecer que as mesmas devem ser analisadas e ponderadas para cada situação, devido à singularidade de cada projeto:

- a) o projeto deve ser feito baseado num contexto, ou seja, deve considerar as questões físicas e culturais relacionadas ao local e tentar valer-se dessas características para fabricação e montagem;
- b) uso de tecnologia como facilitador para a implementação do DFMA, atentando-se para os requisitos de processos de fabricação e montagem e sua disponibilidade, especialmente em áreas remotas;
- c) otimização logística, considerando a gestão da cadeia de suprimentos e todos os processos de produção;
- d) orientação da produção de componentes com base na superfície acabada da edificação e com foco no dimensionamento de juntas de dilatação, ajudando o produto a se aproximar dos requisitos de montagem final;
- e) redução do peso dos materiais: uso de materiais leves que garantam sua eficiência estrutural.

O DFMA pode concentrar-se na avaliação do projeto como capacidade de construção, bem como na relação entre fabricação e montagem. O grau de introdução de suas diretrizes pode ser desde um componente até o edifício inteiro, evidenciando sua consideração nos processos posteriores, visando a redução de custos e o aumento do valor geral (WEISHENG *et al.*, 2020).

2.3 O Planejamento de Obras e a Utilização de Sistemas Industrializados

A construção civil no Brasil é uma atividade que compreende muitas variáveis, com processos executados ainda artesanalmente, criando vários empecilhos para um bom gerenciamento (MATTOS, 2010).

Dentre as dificuldades enfrentadas pelas construtoras, uma das mais desafiadoras é a execução das atividades conforme sua programação. Os desvios de prazo de algumas atividades das obras são bastante comuns, podendo afetar todo o fluxo de produção devido à sequência de sua realização (TOMMELEIN, RILEY; HOWELL, 1999).

Existem duas linhas de estudo sobre esses atrasos no campo das pesquisas. Alguns autores (TOMMELEIN; RILEY; HOWELL, 1999; WAMBEKE; HSIANG; LIU, 2011; RUSSELL *et al.*, 2013) destacam a variabilidade no tempo de execução dos processos construtivos individualmente. Outros autores (MYDIN *et al.*, 2014; DE FILIPPI; MELHADO, 2015; REIS *et al.*, 2016) focam seus estudos nos atrasos das obras como um todo (CRUZ; SANTOS; MENDES, 2018).

De toda forma, constata-se a presença da variabilidade e de seus impactos para a construção, tornando-se importante conhecer suas causas e tentar reduzi-las (CRUZ, 2017).

Segundo Hamzeh, Ballard e Tommelein (2009), um dos objetivos do correto gerenciamento da produção é aumentar a confiabilidade do fluxo de trabalho, tornando-o mais previsível durante o projeto e a construção.

Os resultados de um estudo de Liu e Ballard (2008) mostraram que a produtividade pode melhorar quando o fluxo de trabalho se torna mais previsível, correspondendo o trabalho planejado com o trabalho real concluído (HAMZEH; ARIDI, 2013).

A utilização de sistemas construtivos industrializados assegura maior rapidez e qualidade nas obras, mas, por outro lado, demandam uma maior coordenação de projetos, um planejamento de obras mais detalhado e assertivo e um projeto de canteiro de obras mais elaborado (CRUZ *et al.*, 2016).

Segundo estudo feito por Santos *et al.* (2020), o baixo nível de implantação de conceitos da filosofia *lean* no canteiro de obras compromete o fluxo de equipamentos, pessoas e ferramentas, impossibilitando que o trabalho seja realizado com segurança, eficiência e dentro do prazo.

De acordo com Sabbatini (1989), o emprego de sistemas industrializados exigem não só inovações tecnológicas e novos processos de execução, mas requerem também novas formas de planejamento e gestão da produção, a fim de garantirem total eficiência destes sistemas quanto à agilidade, redução de perdas e economia.

Em estudo comparativo de diferentes sistemas construtivos, Cruz, Santos e Mendes (2018) identificaram que os sistemas mais industrializados apresentam maior quantidade de causas que se classificam como de alto risco para o aumento do tempo na execução da obra. De Filippi e Melhado (2015), em estudo realizado em 32 empreendimentos imobiliários da grande São Paulo, apontam fatores internos e de organização dentro do canteiro de obras como sendo os mais significativos e impactantes para o atraso na entrega das obras, sugerindo a importância de investimentos em qualificação e em sistemas metodológicos de planejamento e controle.

Segundo Leite (2002), o conhecimento dos índices de produtividade de mão de obra, bem como as causas de variabilidade dos mesmos são ferramentas importantes para o planejamento das obras de construção civil, na medida em que permitem um melhor dimensionamento das equipes e maior precisão na definição dos prazos de execução dos empreendimentos.

O conhecimento dos índices de produtividade é um elemento importante no controle de custos e prazos de um empreendimento, podendo contribuir na melhoria na execução dos serviços, na organização do canteiro de obras e na racionalização de seus recursos, aumentando o poder de competitividade das empresas.

Para Alves (2000), o planejamento baseado em dados da produção (mão de obra) e de fornecedores (material) é uma ferramenta de gerenciamento importante no processo de identificação e combate às causas de variabilidade na construção.

De maneira independente à ferramenta usada para planejamento e controle de uma obra, o conhecimento dos índices de produtividade de seus principais serviços é

fundamental para a estimativa de prazos e custos e o dimensionamento de suas equipes (LEITE, 2002), sendo uma ferramenta valiosa ao gerenciamento de obras.

Para Farghal e Everett (1997), a curva de aprendizagem, juntamente com outras ferramentas de controle de custo e prazo, mostra-se uma técnica eficaz na previsão do tempo necessário para concluir uma atividade em andamento.

Curva de aprendizagem é uma ferramenta de monitoramento da performance dos trabalhadores na execução de serviços manuais repetitivos (ANZANELLO; FOGLIATTO, 2007).

Quanto mais repetitiva se torna uma tarefa, melhor o aprendizado da equipe que a executa e, portanto, maior o índice de produtividade da mesma. As medições e análises das variações desses índices de produtividade, durante um período de tempo, contribuem para a assertividade do planejamento de obras futuras de uma mesma empresa.

Em obras com sistemas construtivos industrializados, onde há maior padronização dos processos e tarefas repetitivas, é possível acompanhar a performance dos trabalhadores e estabelecer uma curva de aprendizagem. Essa curva poderá ser utilizada pela empresa no planejamento de seu próximo empreendimento.

Em sua dissertação de mestrado, Leite (2002) desenvolve um modelo para a coleta de dados e a determinação de curvas de aprendizagem de seis serviços onde foram determinados seus índices de produtividade e analisados os principais motivos de suas variações.

Neste trabalho, a curva de aprendizagem apresenta-se como ferramenta de planejamento e controle em um dos estudos de caso analisados, onde há emprego de um sistema construtivo industrializado, sistema de paredes de concreto *in loco*, contribuindo para um melhor dimensionamento de equipes, melhor alocação de recursos financeiros e melhor organização do canteiro de obras.

3 METODOLOGIA

3.1 Definição do Método

O objetivo desta pesquisa é fazer um estudo exploratório sobre os fatores que influenciam na confiabilidade do planejamento em obras habitacionais de interesse social que se utilizam de sistemas construtivos industrializados. Em outras palavras, entender como foram realizados os planejamentos em obras que utilizam sistemas construtivos industrializados, como o uso de ferramentas de gestão da produção podem influenciar na confiabilidade destes planejamentos, como foram executados esses sistemas na obra, verificar se o que foi executado equivale ao que foi planejado e como a utilização desses sistemas construtivos industrializados impactou nas variações desses planejamentos. Trata-se de um estudo qualitativo, uma vez que seu objetivo é compreender uma realidade existente, com um olhar analítico, preocupando-se tanto (ou mais) com o processo quanto com o produto, observando como os fenômenos ocorrem (TURATO, 2000).

3.2 Protocolo de Estudo de Caso

Diante de uma pesquisa realizada através de um estudo de caso de caráter exploratório, faz-se necessária a utilização de um protocolo de estudo de caso para melhor orientação ao pesquisador, auxiliando-o na coleta de dados, proporcionando maior confiabilidade ao trabalho (YIN, 2015).

3.2.1 Definição do problema de pesquisa

O que se pretende estudar nesta pesquisa é como foram executados os planejamentos de obras de habitação de interesse social que utilizam sistemas construtivos industrializados e como esses sistemas influenciam na sua confiabilidade.

3.2.2 Definição de hipóteses de pesquisa

Algumas questões foram criadas para nortear o processo investigatório da pesquisa.

São elas:

- a) uma maior padronização nas atividades desenvolvidas na construção aumenta a confiabilidade de seu planejamento?
- b) uma construção industrializada que se utiliza de projetos mais desenvolvidos, mais detalhados e compatibilizados implica em menos erros de execução e, portanto, melhor confiabilidade do planejamento?
- c) a adoção de princípios de DFMA em projetos que utilizam sistemas construtivos industrializados, além de aumentar a construtibilidade, reduz a variabilidade dos processos, aumentando a assertividade do planejamento?

3.2.3 Planejamento de revisão da literatura

Para a realização desse estudo é fundamental o conhecimento de conceitos de construção industrializada, quais são os sistemas construtivos industrializados utilizados em obras de habitação de interesse social, quais são as ferramentas de gestão da produção voltadas à racionalização dos processos e quais os fatores que impactam na confiabilidade do planejamento.

Foi feita pesquisa bibliográfica sobre os aspectos mencionados anteriormente durante todo o desenvolvimento do trabalho.

3.2.4 Planejamento de estudo de caso

O planejamento do estudo de caso é tão importante quanto à condução do mesmo e requer alguns elementos para seu sucesso.

3.2.4.1 Critérios para seleção de empreendimentos

Os critérios utilizados para escolha dos empreendimentos a serem estudados neste trabalho foram:

- a) empreendimentos que utilizam sistemas construtivos industrializados;

- b) empreendimentos que possuam processos padronizados, de tal forma que a execução dos sistemas construtivos e os processos de planejamento representem a realidade de distintos empreendimentos da empresa, ou não sofram variação ao longo do processo de execução dos empreendimentos;
- c) empreendimentos que possuam rastreabilidade dos processos e documentação que forneça evidências para o estudo de caso;
- d) empreendimentos que ofereçam disponibilidade de compartilhamento de informação à pesquisa.

3.2.4.2 Definição preliminar de fontes de evidência

Com o objetivo de elevar a confiabilidade da pesquisa e facilitar a execução da mesma durante visita ao local do estudo de caso, foi criada um quadro preliminar de fontes de evidência (Quadro 1).

Quadro 1 – Quadro Preliminar de Fontes de Evidência

Fontes de Evidência	Para Que
Projeto Arquitetônico / Projeto Estrutural	Caracterizar o empreendimento e verificar se possui características de industrialização. Verificar construtibilidade do projeto. Verificar se foram utilizados princípios de DFMA. Verificar qualidade dos documentos (erros de projeto).
Observação presencial e registro fotográfico	Verificar os sistemas construtivos utilizados e suas características .
Documentos do Sistema de Gestão da Qualidade	Verificar se existe uma estrutura de planejamento.
Master Plan	Verificar se existe um planejamento macro dos serviços a serem executados.
Documentos de Planejamento	Verificar se existem documentos de planejamento e controle da produção, planejamento da sequência ou método do trabalho.
Documentos de medição de serviços executados	Verificar se existem registros dos serviços que foram executados.
Entrevista	Entrevista presencial com engenheiro de obra, engenheiro de planejamento (se houver), funcionários diretos dos sistemas construtivos industrializados.

Fonte: A autora (2020).

3.2.4.3 Elaboração de roteiro para entrevistas

Uma das fontes de evidência mais importantes para esse estudo de caso é a entrevista com colaboradores dos empreendimentos estudados (encarregados, mestres de obra, engenheiros de planejamento e engenheiros de produção). Desta forma, para melhor orientação da pesquisadora, foi elaborado roteiro de entrevista

preliminar, antes de sua visita aos canteiros de obra e escritórios das construtoras, ressaltando que o mesmo sofreu alterações durante a condução das entrevistas, quando necessário. O roteiro da entrevista está apresentado no Apêndice A.

3.3 Condução do Estudo de Caso

O método do estudo de caso desta pesquisa buscou evidências a partir da coleta e análise de dados nos empreendimentos estudados.

Foram realizadas visitas aos empreendimentos objetos de estudo para coleta de dados relevantes à pesquisa como planilhas de acompanhamento de obra, atas de reunião de acompanhamento de obra e documentos como: planos de ação, replanejamentos, apuração de produtividade da mão de obra, acompanhamento de estoque de materiais e outros. Os documentos mais representativos estão apresentados no Apêndice B.

Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com profissionais como engenheiros de obra, engenheiros de planejamento, mestres de obra e observações diretas da pesquisadora no local, ressaltando que, nos estudos de caso 2 e 3, a pesquisadora atuou diretamente no planejamento da obra e seu controle durante a execução.

As análises foram feitas no âmbito de cada empreendimento (análise intra caso), e cruzando as informações obtidas nos distintos projetos (análise inter casos).

4. ESTUDO DE CASO

O objeto desta pesquisa compreende três obras de habitação de interesse social, participantes do Programa Minha Casa Minha Vida e Casa Verde Amarela, situadas na região metropolitana de Belo Horizonte (MG), que utilizam sistemas construtivos industrializados.

4.1 Estudo de Caso 1

4.1.1 Caracterização do empreendimento

O estudo de caso 1 trata de um empreendimento residencial situado na região metropolitana de Belo Horizonte (MG), composto por seis torres, sendo quatro torres de dez pavimentos tipo e duas torres de doze pavimentos tipo, com quatro apartamentos por pavimento, totalizando duzentos e cinquenta e seis unidades. Seu quadro de colaboradores era de trinta e dois funcionários na equipe operacional e uma equipe técnica formada por um gerente de obra e um coordenador de obra (ambos compartilhados com outros empreendimentos em execução da mesma empresa), um engenheiro de obra, um engenheiro de planejamento e controle compartilhado, um auxiliar de engenharia, um técnico de segurança, um mestre de obra, um encarregado geral de obra, um almoxarife, um auxiliar de almoxarife e quatro estagiários.

4.1.2 Sistema Construtivo

O sistema construtivo utilizado no estudo de caso 1 foi o sistema de estrutura e vedações pré-fabricadas, com montagem em canteiro realizada com ajuda de grua, constituído por vigas, pilares, escadas, painéis divisórios e pré-lajes produzidos em fábrica (Figura 5).

Figura 5 – Sistema Construtivo em Painéis Pré-Fabricados – Estudo de Caso 1



Fonte: A autora (2020).

Cada atividade realizada dentro do sistema construtivo de painéis pré-fabricados foi acompanhada de uma "Instrução de Trabalho" orientativa, contendo objetivo, abrangência, identificação das condições iniciais e descrição das atividades.

A equipe destinada à montagem do seu sistema estrutural foi composta por doze colaboradores: um técnico de montagem, um encarregado, três montadores, um armador, um sinaleiro, três pedreiros e três ajudantes, além de dois funcionários de empresas terceirizadas responsáveis pela operação da grua e pela operação da betoneira. Ao término da etapa de estrutura do empreendimento a equipe foi desmobilizada para outro empreendimento para realizar a mesma tarefa e assim por diante. Tratava-se, portanto, de uma equipe especialista no sistema estrutural utilizado pela empresa em todos os seus empreendimentos.

O ciclo de execução de cada pavimento consistiu na montagem dos pilares (cada pilar atingia a altura de três pavimentos) com duração de dois dias, montagem de vigas com duração de meio dia, montagem de painéis com duração de um dia e meio, vinculação das vigas com duração de meio dia, montagem da pré-laje com duração de meio dia e concretagem da laje com duração de meio dia. Desta forma, a execução do pavimento tipo de cada uma das torres durou, em média, 4,17 dias.

4.1.3 Sistema de Planejamento e Controle

O empreendimento do estudo de caso 1 contou com um planejamento master com as principais atividades da obra e utilizou a ferramenta MSProject para fazer seu acompanhamento de prazo. Na etapa estrutural, seu planejamento foi realimentado com as informações adquiridas em seu acompanhamento semanal, realizado por um engenheiro de planejamento e controle em sua visita à obra. Considera-se um controle rigoroso, uma vez que a maioria das construtoras utiliza um controle mensal de prazo de seus serviços. Além disso, usou outros métodos de acompanhamento como a Linha de Balanço e o Método do Caminho Crítico, visando introduzir maior confiabilidade ao planejamento.

A rotina de acompanhamento de suas atividades abrangeu visitas do engenheiro de planejamento e controle ao empreendimento na última semana de cada mês para, juntamente com a equipe técnica da obra, consolidar as informações observadas no mês. As análises físico-financeiras foram realizadas, como mostra a Figura 6, com a apuração de alguns índices definidos pela empresa, como a meta de porcentagem de avanço físico (5,49%) e de quantidade de unidades produzidas no mês (14,05 unidades), porcentagem de avanço físico (4,19%) e quantidade de unidades produzidas no mês (10,73 unidades), porcentagem de avanço físico acumulado até o mês analisado (81,39%) e quantidade de unidades produzidas até o mês analisado (208,36 unidades). Esses resultados geraram um percentual de "IDP Meta Mês" – índice de produtividade meta no mês de análise, correspondente ao avanço de unidades produzidas sobre a meta de unidades produzidas (76%).

Os resultados mensais do IDP foram apresentados através de um termômetro de cores, onde o ponteiro indicava a situação da obra no mês analisado: entre 0% e 33% (cor vermelha) indicava um resultado ruim, entre 34% e 66% (cor amarela) indicava um resultado razoável, entre 67% e 100% (cor verde) indicava resultado bom (esperado).

Figura 6 – Índice de Produtividade Mensal – Estudo de Caso 1



Como o planejamento de execução da estrutura da obra foi definido a partir da experiência da empresa em empreendimentos com o mesmo perfil - mesmo sistema construtivo, mesma equipe de execução do sistema construtivo e mesma equipe de suprimentos -, a expectativa foi de se alcançar uma grande assertividade.

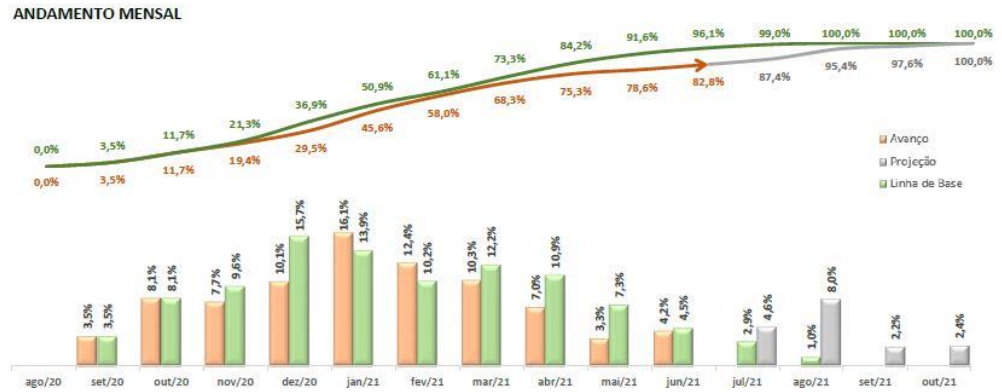
Seu custo foi acompanhado também mensalmente, com a ajuda de um sistema de gestão integrado bastante utilizado pelas empresas do setor.

Outros acompanhamentos foram realizados através de planilhas de excel:

- a) planilha de andamento físico: planilha de acompanhamento mensal, utilizada pelo coordenador de planejamento. Nesta planilha foram atualizados os dados de avanço físico de todas as atividades realizadas no período, gerando gráficos de acompanhamento das atividades, como:

- gráfico de andamento mensal (Figura 7): gráfico com barras verticais, indicando mensalmente o percentual de avanço físico previsto e executado, e com curva de avanço físico mensal acumulado previsto (linha de base), curva de avanço realizado acumulado e curva de projeção, mantendo a data final de término da obra;

Figura 7 – Gráfico de Andamento Mensal – Estudo de Caso 1



- planilha de andamento físico: planilha com as atividades previstas para serem realizadas no mês, planejamento (meta) de unidades produzidas para cada atividade, unidades produzidas para cada atividade, variação entre o planejado e o realizado (indicando variação positiva ou negativa no mês) e a justificativa para cada resultado (Figura 8).

Figura 8 – Planilha de Andamento Físico – Estudo de Caso 1

ATIVIDADE	META UNID. PROD.	UNID. PROD.	PERDA ATUAL UNID. PROD.	GANHO ATUAL UNID. PROD.	JUSTIFICATIVA
TOTAL	9,23	7,04	-2,91	0,72	
Redes	3,1	1,99	-1,12	0	Cabo externo telecom (Empreiteiro compra do material) / instalações externa - baixa produtividade; Redes de esgoto, drenagem e água não foram finalizados por completo. MAIOR PERDA ESTÁ NAS CANALETAS E NO CABO DE TELECOM
Kit Cerâmico e Rejunte	1,14	0,4	-0,74	0	Falta de mão de obra - Empreiteiro novo desistiu de executar a obra; Estamos em busca de um novo empreiteiro.
Fachada (Encunhamento, impermeabilização, moldura e selador)	1,08	1,02	-0,06	0	Programações de mudança de balanço com a locosolo;
Textura Apartamentos	0,72	0,86	0	0,14	
Bancada e Tanque/Lavatório	0,45	0,42	-0,03	0	Serviços anteriores não foram finalizados; (Cerâmica nas paredes)
Fixação do TAF	0,45	0,9	0	0,45	
Meia cana, engradamento, cobrimento, calhas rufos	0,41	0,21	-0,21	0	Baixa Produtividade e falta de material (calhas e rufos); Empreiteiro é novo na preçon e está adaptando com o novo projeto.
Instalação Elétrica Elevador e SPDA	0,39	0,24	-0,16	0	Serviços anteriores não foram finalizados - regularização do fosso do elevador; Escarificação das vigas dos elevadores para adequação do fosso.
Montagem Elevador	0,38	0,38	0	0	
Muros Áreas Privativas	0,26	0,09	-0,16	0	Baixa Produtividade do empreiteiro;
Passeios e Plantio de Grama	0,23	0,11	-0,12	0	Serviços Anteriores não foram finalizados - Falta de mão de obra Elvis empreiteira são joão estava fazendo o acerto e a compactação dos passeios. Devido a retirada dele para atender outras obras perdemos algumas frentes de serviço estamos em busca de outro empreiteiro.
Estrutura Shaft	0,16	0,16	0	0	
Abrigo e Hidrante	0,13	0	-0,13	0	Empreiteiro de instalações com baixa mão de obra atacando rede externa, instalações elétrica elevador e taf
Kit Pex	0,13	0,08	-0,04	0	Serviços anteriores não foram finalizado - fixação dos shafts prevista para 29/06 e 30/06
Forro de gesso apto e Hall	0,12	0	-0,12	0	Empreiteiro com demandas de outras obras - Alison estava em juiz de fora e já tinha iniciado os serviços em nossa obra
Fechamento Telecom	0,04	0,02	-0,02	0	Empreiteiro com demandas de outras obras - Leo está com previsão de voltar em nossa obra no final dessa semana para fechar o restante das caixas
Impermeabilização do box	0,04	0,04	0	0	
Portas de Madeira	0	0,13	0	0,13	

b) planilha de controle financeiro da obra: planilha atualizada mensalmente com as informações de percentual de avanço físico do mês de apuração de todas as atividades do orçamento, informações de custo de material estocado em obra no último dia do mês, informações de valores de todas as contas pagas

e a pagar e informações de custos de atividades realizadas por empreiteiros cujas notas fiscais ainda não se encontravam no relatório de contas a pagar. Os dados foram classificados dentro de um plano de contas (grupos) com as principais atividades do orçamento, gerando:

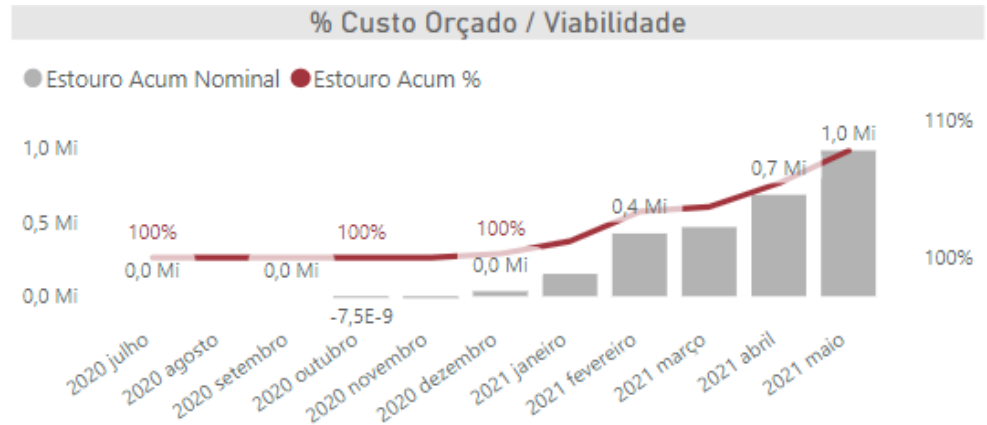
- quadro resumo por atividade: com base nestas informações, foi gerado um quadro resumo por atividade do plano de contas com os valores de orçamento (custo orçado viabilidade), percentual do custo da atividade dentro do orçamento total, custo orçado por apartamento, custo previsto atual (de acordo com o avanço físico), percentual do custo previsto atual, custo atual por apartamento. Comparando-se esses resultados, foram apresentadas as variações do custo em relação ao orçado em valor e em percentual e, em seguida, a mesma variação da análise do mês anterior (Figura 9). Ao final, foram apresentados: custo total orçado, custo orçado para as atividades desenvolvidas até o mês de análise, custo realizado e a variação entre os dois últimos em valor e percentual, destacando se o empreendimento encontrava-se abaixo ou acima do orçamento.

Figura 9 – Análise de Custo da Obra – Estudo de Caso 1

ITEM	DESCRIÇÃO	CUSTO ORÇADO VIABILIDADE				CUSTO PREVISTO ATUAL				GASTO ACUMULADO		VARIAÇÃO ORÇAMENTO VIABILIDADE		VARIAÇÃO MÊS ANTERIOR	
		RS	%	RS / APT	%	RS	%	RS / APT	%	RS	%	RS	%	RS	%
GRUPO 01	PROJETOS TÉCNICOS E CONSULTORIAS	RS 80.995,00	0,65%	RS 313,65	RS 79.779,00	0,60%	RS 311,64	RS 79.778,53	100,00%	RS (516,00)	-0,64%	RS -	-	0,00%	
GRUPO 02	FUNDAÇÃO	RS 1.040.239,19	8,38%	RS 4.063,43	RS 1.159.172,71	8,65%	RS 4.528,02	RS 1.158.738,34	99,96%	RS 118.933,52	11,43%	RS -	-	0,00%	
GRUPO 03	ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA	RS 3.189.636,67	25,68%	RS 12.459,60	RS 3.269.159,09	24,93%	RS 12.770,15	RS 3.186.612,19	97,47%	RS 79.502,42	2,49%	RS 1.395,00	0,04%		
GRUPO 04	MONTAGEM DA ESTRUTURA	RS 1.749.633,20	14,09%	RS 6.693,23	RS 1.858.912,58	13,87%	RS 7.263,38	RS 1.789.496,30	96,28%	RS 109.093,38	6,23%	RS 6.337,57	0,36%		
GRUPO 05	DIVISÓRIA / SHAFT / REITORIL	RS 111.189,12	0,90%	RS 434,33	RS 124.590,12	0,93%	RS 486,68	RS 94.074,12	75,51%	RS 13.401,00	12,05%	RS -	-	0,00%	
GRUPO 06	REVESTIMENTO INTERNO	RS 301.677,32	2,43%	RS 1.178,43	RS 319.371,91	2,38%	RS 1.247,55	RS 259.088,16	81,12%	RS 17.694,59	5,87%	RS 1.395,00	0,08%		
GRUPO 07	FACHADA	RS 335.387,59	2,70%	RS 1.302,11	RS 344.241,94	2,57%	RS 1.344,70	RS 221.564,04	64,39%	RS 8.851,03	2,64%	RS -	-	0,00%	
GRUPO 08	FSOS, RODAPÉS E SOLEIRAS	RS 146.995,70	1,18%	RS 571,86	RS 188.306,34	1,41%	RS 735,57	RS 93.622,70	49,72%	RS 41.910,64	28,63%	RS 21.541,00	14,71%		
GRUPO 09	PINTURA	RS 268.484,09	2,16%	RS 1.048,77	RS 339.239,09	2,49%	RS 1.301,72	RS 119.728,18	35,93%	RS 64.755,00	24,31%	RS (3.545,00)	-1,32%		
GRUPO 10	ESQUADRIA	RS 213.299,04	1,72%	RS 830,30	RS 291.592,04	2,18%	RS 1.129,03	RS 2.011,24	0,69%	RS 78.293,00	36,31%	RS 2.100,00	1,02%		
GRUPO 11	COBERTURA E FORROS	RS 144.605,46	1,16%	RS 564,87	RS 171.995,46	1,28%	RS 671,86	RS 89.613,34	46,87%	RS 27.350,00	18,84%	RS 10.337,00	7,01%		
GRUPO 12	IMPERMEABILIZAÇÃO	RS 49.846,59	0,40%	RS 194,71	RS 56.462,59	0,42%	RS 220,56	RS 24.733,49	43,81%	RS 6.618,00	13,27%	RS (3.951,00)	-7,93%		
GRUPO 13	SERRALHERIA	RS 38.262,00	0,31%	RS 149,46	RS 37.220,00	0,28%	RS 145,39	RS 37.210,59	100,00%	RS (1.042,00)	-2,72%	RS -	-	0,00%	
GRUPO 14	ÁREA PRIVATIVA	RS 62.381,31	0,50%	RS 243,68	RS 62.381,31	0,47%	RS 243,68	RS 15.187,55	24,35%	RS -	-	RS -	-	0,00%	
GRUPO 15	INSTALAÇÕES	RS 1.008.024,55	8,12%	RS 3.937,60	RS 1.253.294,55	9,35%	RS 4.895,68	RS 692.978,99	55,29%	RS 245.170,00	24,33%	RS 70.042,00	6,95%		
GRUPO 16	LOUÇAS E METAS	RS 122.734,08	0,99%	RS 479,43	RS 135.148,08	1,01%	RS 527,92	RS 96.296,32	71,25%	RS 12.414,00	10,11%	RS 480,00	0,39%		
GRUPO 17	ELEVADOR SOCIAL	RS 488.910,96	3,94%	RS 1.909,81	RS 488.910,96	3,63%	RS 1.909,81	RS -	-	RS -	-	RS -	-	0,00%	
GRUPO 18	SERVICIOS FINAIS	RS 67.783,20	0,55%	RS 264,78	RS 67.783,20	0,51%	RS 264,78	RS -	-	RS -	-	RS -	-	0,00%	
GRUPO 19	IMPLANTACAO DO EMPREENDIMENTO	RS 1.262.027,87	10,16%	RS 4.929,80	RS 1.453.272,70	10,84%	RS 5.676,85	RS 701.930,12	48,30%	RS 191.241,83	15,15%	RS 140.839,00	11,16%		
GRUPO 20	EQUIPAMENTO COMPLEMENTAR	RS -	0,00%	RS -	RS -	0,00%	RS -	RS -	-	RS -	-	RS -	-	0,00%	
GRUPO 21	DESPESAS INDIRETAS	RS 1.493.846,34	12,01%	RS 5.835,34	RS 1.640.111,34	12,24%	RS 6.406,68	RS 1.143.199,19	69,70%	RS 146.245,00	9,79%	RS 46.946,00	3,10%		
GRUPO 22	BENEFICIOS EMPREITEIROS	RS -	0,00%	RS -	RS 67.351,00	0,50%	RS 263,09	RS 30.304,12	44,99%	RS 67.351,00	0,00%	RS 4.000,00	0,00%		
GRUPO 23	ITENS NÃO PREVISTOS	RS 245.884,15	1,98%	RS 960,41	RS -	0,00%	RS -	RS -	-	RS (245.884,15)	-100,00%	RS -	-	0,00%	
RESULTADO	TOTAL	RS 12.420.731,77		RS 61.225,71	RS 13.402.298,00		RS 66.064,15	RS 9.827.486,59	73,33%	RS 981.566,23	7,90%	RS 297.222,57	2,99%		
	TOTAL RS / m²			RS 1.573,04			RS 1.697,35			SALDO POSITIVO					
										RS 3.574.817,41	26,97%				

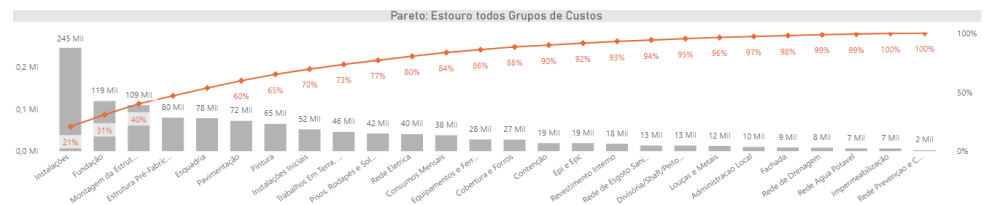
- gráfico de desvio de custo acumulado: gráfico com variação entre o custo orçado (viabilidade) e o custo real da obra acumulado mensalmente (Figura 10);

Figura 10 – Gráfico de Desvio de Custo Acumulado – Estudo de Caso 1



- gráfico de desvio de custo acumulado por atividade: gráfico apresentado mensalmente com valor acumulado de custo acima do orçado por atividade (Figura 11);

Figura 11 – Gráfico de Desvio de Custo Acumulado por Atividade – Estudo de Caso 1



Os resultados obtidos foram apresentados em reuniões gerenciais mensais, chamadas "Reuniões Operacionais de Apresentação de Resultados", que ocorreram na primeira semana dos meses seguintes às análises e contaram com a participação do CEO da empresa, coordenador de engenharia, engenheiro e auxiliar de engenharia da obra e coordenador de planejamento da empresa. Nestas reuniões também foram apresentadas as boas práticas e lições aprendidas a partir das dificuldades enfrentadas pela obra durante o mês de análise e a situação atualizada do tratamento dos atrasos e variações de custo identificados nos meses anterior.

4.1.4 Análise Intra Caso

Na obra de estrutura pré-fabricada, estudo de caso 1, por ser um sistema construtivo bastante empregado na empresa, com uma equipe experiente, observou-se um baixo desvio do prazo planejado (7 dias) na execução da estrutura (Tabelas 2 e 3). Porém, por se tratar de um sistema construtivo mecanizado, apresentou uma maior dependência com relação às falhas de equipamentos e ferramentas, embora estas não tenham impactado de maneira significativa em desvios na comparação entre atividades planejadas e executadas.

Tabela 2 – Produtividade Prevista x Realizada – Estrutura – Estudo de Caso 1

PRODUÇÃO ESTRUTURA (DIAS/PAV.)	Montagem de Pilares	Montagem de Vigas	Montagem de Painéis	Vinculação de Vigas	Montagem de Pré Laje	Concretagem Laje	TOTAL
Previsto	0,55	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	4,05
Realizado	0,67	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	4,17

Fonte: A autora (2021).

Tabela 3 – Variação (dias) Execução Estrutura – Estudo de Caso 1

PRODUÇÃO ESTRUTURA 256 UNIDADES	TOTAL (DIAS /PAV.)	TOTAL (UNID / DIA)	TOTAL (DIAS)	VARIAÇÃO (DIAS)
Previsto	4,05	0,99	259,2	-7,47
Realizado	4,17	0,96	266,67	

Fonte: A autora (2021).

Ainda que a etapa estrutural do empreendimento tenha acompanhado seu planejamento, após o seu término, atrasos ocorreram devido aos processos internos da empresa para aprovação de compra de materiais para a realização das atividades subsequentes. Apesar da logística de suprimentos ser bem definida, os prazos para aprovação dentro de cada hierarquia não foram respeitados, provocando, por vezes, a interrupção de uma atividade, comprometendo todo o planejamento da obra.

Outra dificuldade recorrente foi a baixa produtividade da mão de obra em atividades que não envolviam o sistema construtivo estrutural. A contratação de empreiteiros sem comprometimento com os prazos, com mão de obra inexperiente ou com

demanda em outros empreendimentos simultaneamente, prejudicou o andamento da obra, gerando atrasos.

A planilha de andamento físico, apresentada nas reuniões mensais de gerenciamento, em sua coluna de "Justificativa", expõe cada uma dessas adversidades enfrentadas pelo gestor da obra em cada atividade em atraso.

4.2 Estudo de Caso 2

4.2.1 Caracterização do empreendimento

O estudo de caso 2 trata de um empreendimento residencial, situado na região metropolitana de Belo Horizonte (MG), composto por trinta e oito torres, sendo trinta e seis torres de quatro pavimentos e duas torres de três pavimentos, com quatro apartamentos por pavimento, totalizando 600 unidades. Sua construção foi realizada em duas fases: Fase 1 com 376 unidades: vinte e duas torres de quatro pavimentos e duas torres de três pavimentos; Fase 2 com 224 unidades, sendo catorze torres de quatro pavimentos.

Seu quadro de funcionários foi de quarenta e três colaboradores na equipe operacional e uma equipe técnica formada por um gerente de obra que também atendeu a outras obras da mesma empresa, um engenheiro de obra, um engenheiro de planejamento que atendeu a outras obras da empresa, um assistente de planejamento e controle exclusivo da obra, um auxiliar de engenharia, um técnico de segurança compartilhado, um mestre de obra, dois encarregados de obra, um almoxarife, um auxiliar de almoxarife e dois estagiários.

4.2.2 Sistema Construtivo

A sistema construtivo utilizado no estudo de caso 2 foi o sistema de paredes de concreto moldadas *in loco* com a utilização de um conjunto de formas metálicas que abrangia dois apartamentos e um hall de escada (Figura 12).

Figura 12 – Sistema Construtivo Paredes de Concreto moldadas in loco – Estudo de Caso 2



Fonte: A autora (2018).

A equipe destinada à execução de seu sistema estrutural foi composta inicialmente por dezoito funcionários: um encarregado, um líder de montagem, doze montadores, dois eletricitas e dois armadores. Mas essa equipe foi variando durante o processo de execução da estrutura, adaptando-se ao ritmo que a obra necessitava para cumprir os prazos estabelecidos em seu planejamento inicial.

Uma empresa de consultoria especialista em paredes de concreto foi contratada para auxiliar no processo executivo e também no processo de planejamento, uma vez que esse foi o primeiro empreendimento da empresa a utilizar esse tipo de sistema construtivo. Toda a equipe, direta e indiretamente ligada à execução do sistema, recebeu treinamento direcionado à sua função. Para a execução da estrutura, o ciclo de execução de cada pavimento foi, em média, de 2,68 dias, incluindo montagem e desmontagem das formas, armação, instalação elétrica e concretagem de paredes e laje.

4.2.3 Sistema de Planejamento e Controle

O empreendimento do estudo de caso 2 dispôs de um planejamento detalhado e realizou seu acompanhamento de prazo e custo mensalmente, usando outro sistema de gerenciamento de obras (software de Enterprise Resource Planning) também bastante empregado pelas construtoras. Utilizou como método de acompanhamento de prazo o Método do Caminho Crítico e Gráfico de Gantt, além de planilhas auxiliares de Excel para realizar sua análise físico-financeira mensal. Entretanto, na etapa de execução de estrutura, especificamente, seu acompanhamento foi diário devido à própria característica do sistema em apresentar uma alta velocidade de execução, elevando o risco de comprometimento de todo o fluxo da produção, caso ocorressem atrasos.

Especialmente nas obras que utilizam paredes de concreto, o planejamento da equipe responsável pela estrutura deve ser assertivo, pois representa uma etapa dos serviços que não pode sofrer atrasos. Para isso, alguns indicadores foram monitorados, como taxa de absenteísmo e rotatividade na equipe.

Outros fatores que podem influenciar o cronograma da obra são as condições de clima e tempo. No estudo de caso 2, foi criado um mapa de chuva para acompanhamento dos índices pluviométricos, especialmente nesta etapa da construção. Apenas as chuvas fortes foram capazes de influenciar o ciclo de concretagens da estrutura. A Figura 13 mostra a ocorrência das chuvas no período de um mês da obra objeto de estudo de caso 2. Este controle permitiu o monitoramento das concretagens, uma vez que as chuvas foram consideradas no planejamento da execução da atividade.

Figura 13 – Mapa de Chuvas – Estudo de Caso 2



Fonte: A autora (2017).

A organização do canteiro de obras também é fundamental para garantir o fluxo das atividades, utilizando-se o melhor posicionamento de equipamentos, ferramentas e materiais, especialmente em obras com sistemas industrializados.

O planejamento de execução da estrutura da obra foi estabelecido pela empresa de consultoria contratada, a partir de sua experiência em obras que utilizam o mesmo sistema construtivo, mas que foram realizadas por outras equipes. Desta forma, alguns ajustes na equipe desta obra foram necessários até que se chegasse a um ciclo de produção esperado. Uma vez estabelecida uma curva de aprendizagem com mão de obra treinada, não foram mais registrados atrasos em seu planejamento por esse motivo.

O uso deste sistema construtivo foi uma decisão estratégica da construtora para se manter competitiva no mercado. O objetivo ao introduzir o sistema de paredes de concreto em suas obras de habitação de interesse social foi a continuidade de emprego desse sistema em suas obras futuras, inclusive fazendo uso do mesmo projeto para total aproveitamento das formas metálicas. Além disso, a expectativa era

de que a medição dos índices de produtividade e a análise de suas variações servissem de parâmetro para o planejamento desses novos empreendimentos.

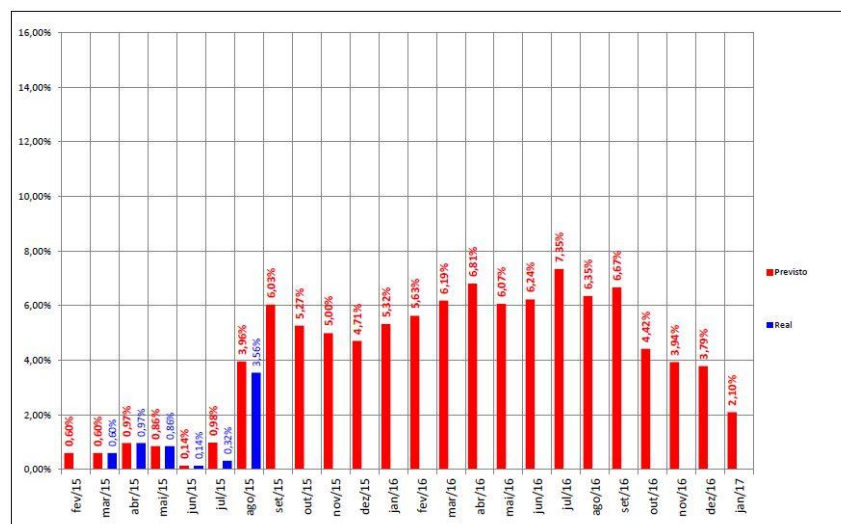
O uso de planilhas de excel para acompanhamento de obras de habitação é uma prática comum a várias empresas, uma vez que o planejador tem facilidade na criação, edição e atualização das informações nessa ferramenta. As planilhas de acompanhamento são criadas no início do empreendimento e atualizadas rotineiramente durante a execução da obra.

Neste empreendimento foram utilizadas algumas planilhas de uso habitual da empresa como:

- a) planilha de avanço físico-financeiro: planilha de acompanhamento mensal, utilizada pelo engenheiro e pelo assistente de planejamento da obra. O assistente de engenharia responsável pelo acompanhamento da obra atualizou os dados diariamente e o engenheiro de planejamento visitou a obra uma vez por mês para consolidação das informações obtidas. Nesta planilha foram atualizados os dados de avanço físico de todas as atividades realizadas no período, gerando gráficos de acompanhamento das atividades, como:

- gráfico de avanço físico mensal (Figura 14): gráfico com barras verticais indicando, mensalmente, o percentual de avanço físico previsto, executado e, quando ocorrido, replanejado;

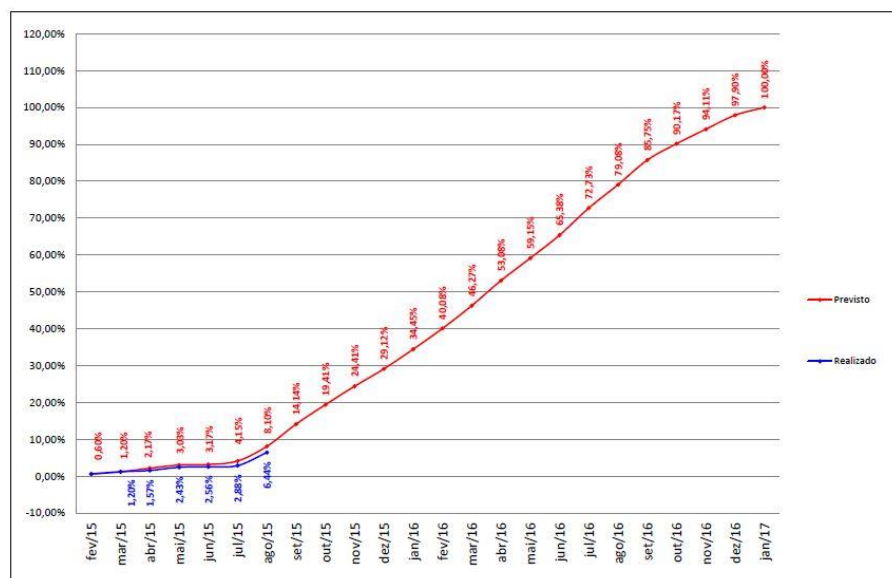
Figura 14 – Gráfico de Avanço Físico Mensal – Estudo de Caso 2



Fonte: A autora (2015).

- curva S de avanço físico acumulado: gráfico com percentual de avanço físico acumulado mensal (Figura 15). Nesta curva foi possível notar um descolamento entre o percentual previsto e o executado, permitindo que fossem analisadas tendências e traçadas metas para manter o cronograma em dia.

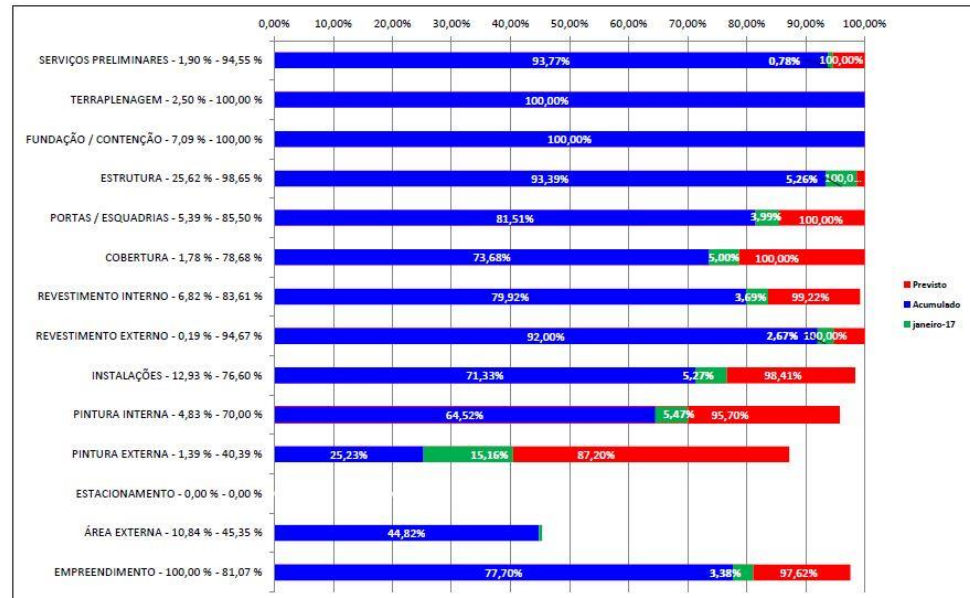
Figura 15 – Curva S de Avanço Físico Acumulado – Estudo de Caso 2



Fonte: A autora (2015).

- gráfico por atividades: gráfico com barras horizontais, indicando mensalmente o percentual de avanço físico acumulado até o mês anterior (representado na cor azul), o percentual executado naquela atividade no mês de apuração (representado pela cor verde) e o percentual previsto de execução das principais atividades no mês de apuração (representado pela cor vermelha). Na descrição das atividades (legenda do lado esquerdo do gráfico) é possível ver, primeiramente, o percentual (peso) que a atividade representa no orçamento da obra e, em seguida, o percentual acumulado (mês anterior mais mês atual) de avanço da atividade no mês de apuração (Figura 16);

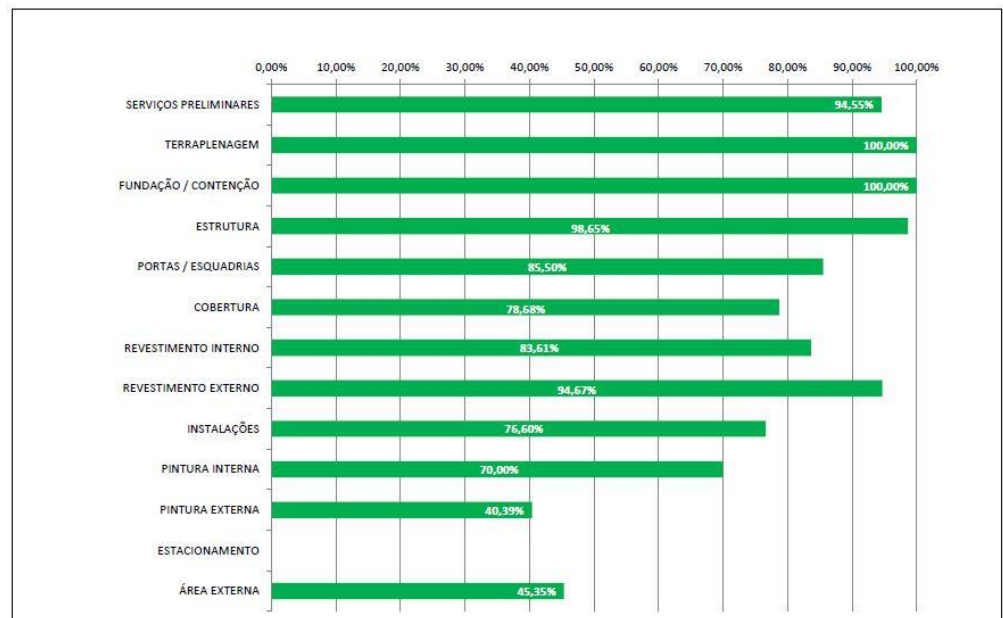
Figura 16 – Gráfico por Atividades – Estudo de Caso



Fonte: A autora (2017).

- gráfico comercial: gráfico com barras horizontais, indicando mensalmente o percentual de avanço físico acumulado nas atividades sugeridas pelo departamento comercial da empresa para apresentação ao cliente (Figura 17);

Figura 17 – Gráfico Comercial – Estudo de Caso 2



Fonte: A autora (2017).

- planilha P x R: descrição de todas atividades do orçamento com o percentual previsto no mês e acumulado, e percentual realizado no mês e acumulado. A coluna seguinte serviu como um alerta para as atividades que se encontravam em atraso e as que estavam dentro do planejamento (ok). Nesta planilha era possível filtrar o mês de análise e obter as mesmas informações de qualquer mês dentro do seu planejamento (Figura 18);

Figura 18 – Planilha P x R – Estudo de Caso 2

			jan-17				
			Previsto		Realizado		
Item	Serviço	Descrição	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	Status
1	Item	SERVIÇOS TÉCNICOS / PRELIMINARES					
01.01	Item	SERVIÇOS TÉCNICOS					
01.01.01	Item	SONDAGEM					
01.01.01.01	SEI006	Sondagem	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02	Item	PROJETOS					
01.01.02.01	STC565	Taxa de aprovação de projeto diversos	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.02	STC509	Projeto Arquitetônico	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.03	STC522	Projeto de Fundação com Consultoria	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.04	STC511	Projeto Estrutural	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.05	STC519	Projeto de Instalações Elétrica, Hidráulica e Telefônica	0,00%	100,00%	0,00%	90,00%	Atrasado
01.01.02.06	STC010	Projeto Instalações Anti-Incêndio	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.07	STC577	Licenciamento Ambiental	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.08	STC096	Projeto de terraplenagem	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.09	STC024	Projeto Planialtimétrico	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.03	Item	CONTROLE TECNOLÓGICO					
01.01.03.01	STC002	Controle Tecnológico de Concreto	0,00%	100,00%	3,73%	99,30%	Atrasado
01.01.03.02	STC117	Consultoria em serviços de fundação	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	Atrasado
01.02	Item	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS					
01.02.01	SEI043	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	0,00%	100,00%	1,45%	97,10%	Atrasado
01.03	Item	LOCAÇÃO DA OBRA					
01.03.01	STC574	Serviços de Topografia	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
2	Item	FUNDAÇÃO DA OBRA					
02.01	Item	FUNDAÇÃO RASA (Radier,Blocos e Cintas)					
02.01.01	SUP577	Armação com Aço - Cortado e Dobrado	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.01.02	SUP099	Aço - Montagem -Subempreiteiro	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.01.03	SUP017	Forma em Chapa Compensada Resinada	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.01.04	INF026	Apilamento de Fundo de Vais com Mapa de 30 Kg	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.01.05	SUP041	Concreto Usinado Bombeado Fck= 25 Mpa	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.01.06	SUP059	Polimento de Laje Nivel Zero (Subempreiteiro)	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.02	Item	FUNDAÇÃO PROFUNDA					
02.02.01	INF084	Mobilização para Execução de Estacas Hélice Contínua	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.02.02	INF091	Execução de Estaca Hélice Contínua d=30,35,40cm	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.02.03	INF005	Corte e Preparo de Cabeça de Estacas	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.02.04	TER004	Bota Fora de Material Escavado	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.02.05	INF081	Concreto Usinado Fck= 20Mpa slump 22+2 para estaca hélice	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.02.06	SUP577	Armação com Aço - Cortado e Dobrado (material)	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.02.07	SUP099	Aço - Montagem -Subempreiteiro	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok

Fonte: A autora (2017).

b) planilha de análise de custo da obra: neste arquivo foram atualizadas mensalmente as informações de percentual de avanço físico do mês de apuração de todas as atividades do orçamento, informações de custo de material estocado em obra no último dia do mês, informações de valores de todas as contas pagas e a pagar (relatório extraído do software de gestão da empresa) e informações de custos de atividades realizadas por empreiteiros cujas notas fiscais ainda não se encontravam no software de gestão. Todos esses dados foram classificados dentro de um plano de contas com as principais atividades do orçamento e corrigidos ao valor presente pelo Índice

Nacional de Custo da Construção (INCC). Com base em todas as informações foram gerados os seguintes quadros:

- análise geral do empreendimento: quadro resumo com as principais informações para tomada de decisões da diretoria, contendo informações do acompanhamento físico, avaliação financeira e análise econômica da obra (Figura 19);

Figura 19 – Análise Geral da Obra – Estudo de Caso 2

ANÁLISE GERAL DO EMPREENDIMENTO			
POSIÇÃO ATÉ: set-15			
1 - ACOMPANHAMENTO DO CRONOGRAMA DA OBRA			
DATA DE TÉRMINO PREVISTA			31-Jan-17
DATA DE TÉRMINO ATUAL			5-fev-17
ATRASADO (DIAS CORRIDOS)			-5
DATA DE ENTREGA PARA CLIENTE			28-fev-17
STATUS DA ENTREGA PARA CLIENTE			ATRASADA
2 - AVALIAÇÃO DO ANDAMENTO FÍSICO			
% FÍSICO FINANCEIRO ACUMULADO PREVISTO ATÉ SETEMBRO / 15			13,71%
% FÍSICO FINANCEIRO ACUMULADO REALIZADO ATÉ SETEMBRO / 15			10,39%
ATRASADO (%)			-3,32%
3 - ANÁLISE ECONÔMICA DA OBRA			
			Valor (r\$)
ORÇAMENTO (base julho / 15)	=		R\$ 29.226.799,70
AVANÇO FÍSICO CORRIGIDO ATÉ SETEMBRO / 15 (medição base orçamento julho / 15)	(AF)		R\$ 3.037.447,58
3.1 - CUSTO REALIZADO			
ATÉ SETEMBRO / 15			
PAGAMENTOS REALIZADOS CORRIGIDOS	(A)		R\$ 1.381.383,61
CONTAS A PAGAR	(B)		R\$ 1.177.672,70
MEDIÇÕES	(C)		R\$ 734.246,20
ESTOQUE / ANTECIPAÇÃO FINANCEIRA	(D)		R\$ 1.056.192,76
CUSTO REALIZADO (A + B + C - D)	=		R\$ 2.237.109,75
3.2 - RESULTADO ECONÔMICO			
ATÉ SETEMBRO / 15			
RESULTADO ECONÔMICO	=		R\$ 800.337,84 26,35%
RESULTADO INDICA UMA VARIAÇÃO POSITIVA DA OBRA			
CUSTO POR M² (CONSTRUÇÃO)			
ÁREA EQUIVALENTE	=		32.394,17 m ²
ORÇAMENTO CORRIGIDO	=		902,22 r\$/m ²
REALIZADO	=		69,10 r\$/m ²

Fonte: A autora (2015).

- quadro IEC (Índice Econômico da Construção): quadro resumo por atividade do plano de contas estabelecido pela empresa com os valores de orçamento de cada atividade, os valores disponíveis deste orçamento de acordo com o percentual realizado de cada atividade

(avanço físico), o custo real para execução das atividades e a comparação entre o valor disponível e o custo real (saldo). A coluna IEC do quadro indicou a relação entre o custo e o valor disponível para a atividade (Figura 20). Desta forma, quando o índice foi inferior a 1,0, significou que a atividade encontrava-se sendo realizada dentro do orçamento previsto pra ela. E acima de 1,0, a atividade encontrava-se com custo superior ao orçado.

Figura 20 – Quadro IEC – Estudo de Caso 2

CUSTO OBRA	Orçamento	Avanço Físico (R\$)	Custo Total	Saldo	IEC
CUSTO DIRETO	24.200.105,01	2.583.009,88	2.074.843,07	508.166,80	0,80 ✓
01 SERVIÇOS TÉCNICOS	92.056,00	3.642,99	19.490,01	-15.847,02	5,35 ✗
02 SERVIÇOS PRELIMINARES / CANTEIRO	254.161,28	197.262,42	162.672,18	34.590,23	0,82 ✓
03 TERRAPLENAGEM / MOVIMENTO DE TERRA	750.000,00	750.000,00	649.218,46	100.781,54	0,87 ✓
04 CONTENÇÃO / FUNDAÇÃO (PROFUNDA / SUPERFICIAL)	2.132.601,05	970.168,01	732.513,50	237.654,51	0,76 ✓
04.01 Fundação Profunda	893.782,98	187.756,60	39.966,84	147.789,76	0,21 ✓
04.02 Fundação Superficial	1.238.818,08	782.411,42	692.546,66	89.864,76	0,89 ✓
05 SUPER ESTRUTURA	7.702.415,38	288.516,82	237.732,85	50.783,97	0,82 ✓
06 IMPERMEABILIZAÇÕES / ISOLAMENTOS TÉRMICOS / ACÚSTICOS	176.806,80	18.175,56	3.396,50	14.779,06	0,19 ✓
07 COBERTURA	535.300,04	0,00	0,00	0,00	0,00 ✗
08 REVESTIMENTO INTERNO	1.874.002,65	0,00	0,00	0,00	0,00 ✗
09 REVESTIMENTO EXTERNO	56.689,08	0,00	0,00	0,00	0,00 ✗
10 INSTALAÇÕES	3.513.370,00	279.043,27	231.008,92	48.034,34	0,83 ✓
11 LOUÇAS E METAIS	372.718,86	0,00	0,00	0,00	0,00 ✗
12 ESQUADRIAS METÁLICAS / PORTAS DE MADEIRA / SERRALHERIA	1.621.455,27	0,00	0,00	0,00	0,00 ✗
13 PINTURA (INTERNA E EXTERNA)	1.662.031,22	0,00	0,00	0,00	0,00 ✗
14 LIMPEZA	162.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00 ✗
15 SERVIÇOS COMPLEMENTARES	36.469,02	0,00	0,00	0,00	0,00 ✗
16 ÁREA EXTERNA / PISO EXTERNO / PAVIMENTAÇÃO / INSTALAÇÕES EXTERNAS	3.258.028,36	76.200,81	38.810,65	37.390,16	0,51 ✓
CUSTO INDIRETO	5.026.694,69	454.437,71	169.844,78	284.592,92	0,37 ✓
17.01 CONSUMOS	557.600,00	59.515,70	38.450,40	21.065,30	0,65 ✓
17.02 BENEFÍCIOS	882.889,40	94.235,63	33.333,58	60.902,05	0,35 ✓
17.03 MEDICINA E SEGURANÇA DO TRABALHO	271.824,00	29.013,27	1.952,89	27.060,38	0,07 ✓
17.04 ADMINISTRAÇÃO DA OBRA	2.267.322,12	242.003,72	87.787,23	154.216,49	0,36 ✓
17.05 EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS	1.047.059,17	29.669,39	8.125,68	21.543,71	0,27 ✓
TOTAL OBRA	29.226.799,70	3.037.447,58	2.244.687,86	792.759,73	0,74 ✓

Fonte: A autora (2015).

Outra planilha de uso específico para acompanhamento da estrutura com informações atualizadas diariamente sobre os ciclos de concretagem das paredes de concreto com datas de início e final da montagem das formas, datas de concretagem, equipe necessária, volume de concreto utilizado, local das concretagens (pavimento, bloco, torre) e demais observações relevantes, gerou resumos atualizados para tomada de decisão da obra/diretoria (Figura 21).

Figura 21 – Resumo de Concretagem da Estrutura – Estudo de Caso 2

Resumo do Empreendimento Estrutura

Início da etapa de estrutura do empreendimento	10-ago-15
Total de dias uteis trabalhados na estrutura	374
Unidades Habitacionais do empreendimento	600
Unidades Habitacionais concretadas	600
Unidades Habitacionais a concretar	0
Ciclo histórico do empreendimento	1,27
Ciclo médio do empreendimento	2,68
Quantidade de fôrmas ativas	1
Previsão de término estrutural - Planejamento	31-dez-16
Previsão de término estrutural - Ciclo	13-jan-17
Volume médio de concreto por concretagem	30,13
Volume total de concreto no empreendimento	9253
Entrega do empreendimento	31-mar-17
Avanço Físico da Estrutura	100,00%

Fonte: A autora (2017).

No estudo de caso 2, os resultados obtidos através das planilhas de acompanhamento e controle foram apresentados em reuniões gerenciais mensais de acompanhamento de projeto realizadas com a participação de todos os departamentos da empresa: diretoria, planejamento de obra, gerenciamento de obra, comercial, suprimentos, projetos, orçamento, financeiro e contábil, para tomada de decisões estratégicas relacionadas à própria obra e também a outros departamentos da empresa. Nesses encontros, estabeleceu-se os planos de ataque necessários para manter o empreendimento dentro do custo e prazo definidos no planejamento inicial. Como resultado, relatórios mensais de acompanhamento de obra com todas as informações obtidas nos meses e discutidas nesses encontros foram elaborados e entregues a diretoria.

4.2.4 Análise Intra Caso

Na obra de estrutura em parede de concreto moldada *in loco*, seu planejamento inicial assumiu uma curva de aprendizagem da mão de obra envolvida na montagem das formas, concretagem e desmontagem que previu que o ciclo de produção (execução de um pavimento) atingiria estabilidade em um período de 90 dias, a partir do qual a produtividade implicaria em um ciclo de produção de 2 dias por pavimento. Mas, como já dito anteriormente, esses índices de produtividade foram baseados em experiências anteriores, realizados por outra equipe de trabalho, em outro canteiro de obras.

Nesse planejamento foi estabelecido que, antes desses 90 dias, a produtividade cresceria gradativamente, de tal forma que o valor médio, considerando o período de aprendizado e de regime estável de produção, implicaria em um ciclo de produção de 3,3 dias por pavimento .

Esse valor foi considerado para efeitos de determinação de todos os aspectos de produção envolvidos: fluxo financeiro de recursos, manutenção das formas, aspectos de logística, fornecimento de concreto e coordenação com a equipe de montagem das instalações elétricas.

No entanto, a análise dos ciclos de planejamento semanal e os registros de controle “planejado x realizado” mostraram uma realidade distinta.

Observou-se que a estabilidade na produção, ou seja, uma produtividade estável gerando ciclos de produção estáveis, foi alcançada com 36 dias desde o início dos trabalhos, ao invés dos 90 dias previstos. Ou seja, houve uma antecipação de quase 60 dias. Nesse período de aprendizado, como indicado anteriormente, a produtividade da atividade de montagem das instalações e execução das paredes moldadas *in loco* foi crescendo de maneira gradativa.

Em função dessa antecipação, ou seja, dessa aceleração da curva de aprendizagem, a produtividade média global, ao longo de todo o empreendimento do estudo de caso 2, foi de 2,68 dias por pavimento ao invés dos 3,3 dias inicialmente previstos. O ciclo mínimo registrado foi de 1,27 dias. Por consequência, conseguiu-se uma alta

confiabilidade no planejamento de médio e curto prazo, com ciclos de produção fixados em 2 dias por pavimento, a partir de pouco mais de um mês de obra.

Dessa forma, a percentagem de atividades completadas em comparação com as previstas atingiu valores próximos de 100% a partir do momento em que a produtividade da equipe atingiu o valor da prevista.

Esses resultados permitiram chegar a duas conclusões, aplicáveis a esse empreendimento específico.

Em primeiro lugar, é importante determinar, a partir de históricos de outros empreendimentos, uma curva de aprendizagem mais real. O planejamento de curto prazo antes de se atingir essa produtividade fica prejudicado, uma vez que não há assertividade sobre a produtividade das equipes. Por outro lado, o valor médio da produtividade estará relacionado à velocidade de aprendizado. No caso específico, um aprendizado mais rápido implicou em valor global de produtividade média maior que o esperado.

Em segundo lugar, verificou-se que o sistema industrializado, apresentando simplificação de processo de montagem, padronização das atividades e menor variabilidade dos insumos, de fato permite que sejam substancialmente reduzidas as fontes de variabilidade dos processos de execução, permitindo a estimativa de índices de produtividade estáveis e, portanto, previsíveis.

Em suma, desconsiderando a questão do aprendizado da mão de obra e correta alocação do número ótimo de profissionais para execução das atividades padronizadas, o sistema construtivo permitiu reduzir drasticamente a variabilidade do processo, introduzindo confiabilidade ao planejamento.

Constatou-se que aspectos como absenteísmo, rotatividade da equipe, chuvas e eventual falha no fornecimento de concreto ou atrasos na entrega de suprimentos foram pontuais, e não afetaram a confiabilidade do planejamento durante a execução.

4.3 Estudo de Caso 3

4.3.1 Caracterização do empreendimento

O estudo de caso 3 trata de um empreendimento residencial, situado na região metropolitana de Belo Horizonte (MG), composto por quinze torres, sendo cinco torres de três pavimentos com quatro apartamentos tipo por pavimento, um pavimento com quatro apartamentos com cobertura e um pavimento no subsolo com dois apartamentos tipo; oito torres de três pavimentos com quatro apartamentos tipo por pavimento e um pavimento com quatro apartamentos com cobertura e duas torres de quatro pavimentos, sendo o primeiro pavimento com apartamentos modificados para portadores de necessidades especiais, dois pavimentos com quatro apartamentos tipo por pavimento e um pavimento com quatro apartamentos com cobertura, totalizando 250 unidades . Seu quadro de funcionários foi de vinte e um funcionários na equipe operacional e uma equipe técnica formada por um gerente de obra e um coordenador de obra (ambos compartilhados com outros empreendimentos em execução da empresa), um engenheiro de obra, um engenheiro de planejamento e controle (compartilhado com outros empreendimentos em execução da empresa), um auxiliar de serviços gerais, um técnico de segurança, um mestre de obra, um almoxarife, um assistente administrativo e dois estagiários.

4.3.2 Sistema Construtivo

O sistema construtivo utilizado no estudo de caso 3 foi o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto (Figura 22), exceto na torre com apartamentos para portadores de necessidades especiais que possui uma laje de transição entre esse pavimento (primeiro pavimento) e os demais acima dele.

Figura 22 – Sistema de Alvenaria Estrutura com blocos de concreto – Estudo de Caso 3



Fonte: A autora (2017).

A equipe destinada à execução de sua estrutura foi composta por dezoito funcionários: quatro pedreiros, três armadores, sete ajudantes, um eletricista, dois carpinteiros e um operador de betoneira.

4.3.3 Sistema de Planejamento e Controle

O estudo de caso 3 dispôs de um planejamento detalhado e realizou seu acompanhamento de prazo e custo mensalmente, usando um sistema de gerenciamento de obras também bastante empregado pelas construtoras. Utilizou como método de acompanhamento de prazo e custo planilhas auxiliares de Excel para realizar sua análise físico-financeira mensal.

O estudo de caso 3 tratou de um empreendimento da mesma construtora do estudo de caso 2, mas executado anteriormente a esse empreendimento. As lições

aprendidas em sua execução foram compartilhadas entre todas as equipes da empresa com o objetivo de tentar evitar os mesmos erros nos projetos futuros.

Assim como no estudo de caso 2, os resultados obtidos através das diversas planilhas de acompanhamento e controle foram apresentados em reuniões gerenciais mensais de acompanhamento de projeto, realizadas com a participação de todos os departamentos da empresa, para tomada de decisões estratégicas relacionadas ao empreendimento. Os relatórios mensais de acompanhamento de obra com todas as informações obtidas nos meses e discutidas nesses encontros foram elaborados e entregues à diretoria.

Dentre as planilhas auxiliares de acompanhamento de obra, que geraram informações para um acompanhamento master mensal, utilizou-se um caderno de acompanhamento de serviços, onde cada atividade da obra (exemplo: fundação, concretagem das lajes, alvenaria estrutural, cobertura, esquadrias, revestimentos, etc.) foi controlada fisicamente, por unidade habitacional. Esta ferramenta foi atualizada diariamente pelo estagiário de planejamento e controle e seus resultados auxiliaram nos estudos desenvolvidos mensalmente para apuração dos desvios de prazo e custo da obra. O Apêndice B apresenta alguns exemplos das atividades acompanhadas por esta ferramenta.

No que diz respeito ao acompanhamento das instalações elétrica e hidráulica, foram considerados pesos para cada atividade e subatividade relacionadas a esses serviços. As planilhas de acompanhamento encontram-se no Apêndice B.

O estoque de material foi apurado mensalmente para análise econômico-financeira do empreendimento, bem como sua atualização, utilizando-se o índice nacional de custo da construção (INCC).

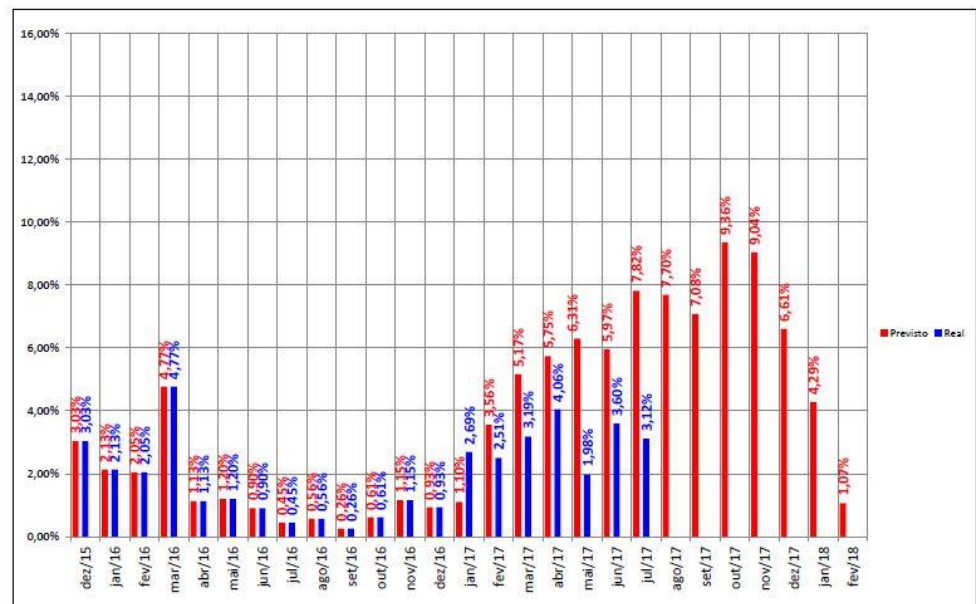
Algumas planilhas de acompanhamento de execução de serviços mensal foram as mesmas apresentadas no estudo de caso 2, pois ambos os empreendimentos foram executados pela mesma empresa. A equipe de planejamento e controle dos dois empreendimentos foi a mesma, utilizando-se os mesmos estudos e análises mensais físico-financeiras, respeitando-se o sistema construtivo de cada uma e seus

respectivos orçamento e planejamento. Desta forma, nota-se que as planilhas de acompanhamento são semelhantes:

a) planilha de avanço físico-financeiro: mesma rotina de acompanhamento descrito no estudo de caso 2, gerando os mesmos gráficos de acompanhamento de atividades:

- gráfico de avanço físico mensal (Figura 23): gráfico com barras verticais indicando, mensalmente, o percentual de avanço físico previsto e avanço físico realizado;

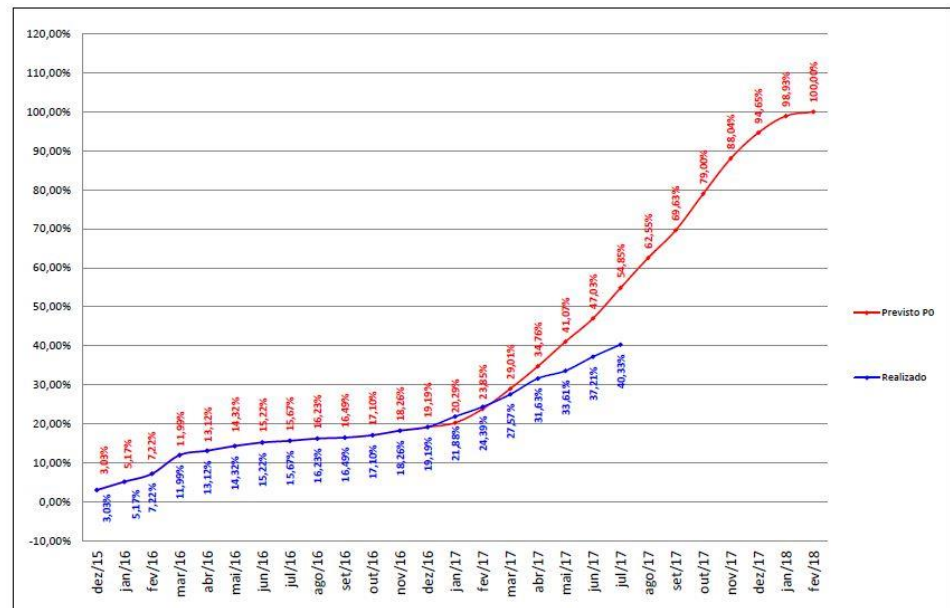
Figura 23 – Curva de Avanço Físico Mensal – Estudo de Caso 3



Fonte: A autora (2017).

- curva S de avanço físico acumulado: gráfico com percentual de avanço físico acumulado mensal (Figura 24).

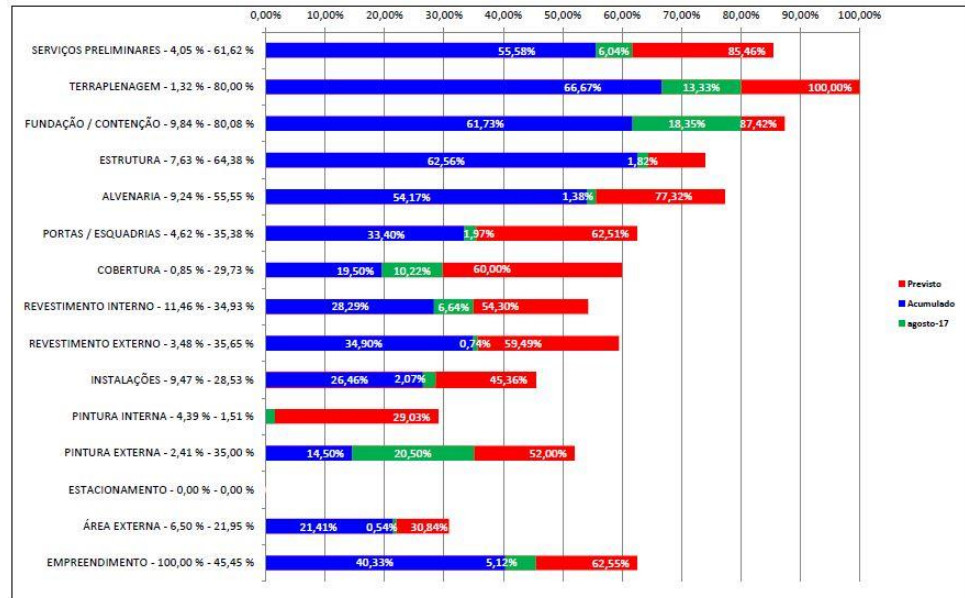
Figura 24 – Curva S de Avanço Físico Acumulado – Estudo de Caso 3



Fonte: A autora (2017).

- gráfico por atividades: gráfico com barras horizontais, indicando mensalmente o percentual de avanço físico acumulado até o mês anterior (representado na cor azul), o percentual executado naquela atividade no mês de apuração (representado pela cor verde) e o percentual previsto de execução das principais atividades no mês de apuração (representado pela cor vermelha). Na descrição das atividades (dados do lado esquerdo do gráfico) é possível ver, primeiramente, o percentual (peso) que a atividade representa no orçamento da obra e, em seguida, o percentual acumulado (mês anterior mais o mês atual) de avanço da atividade no mês de apuração (Figura 25);

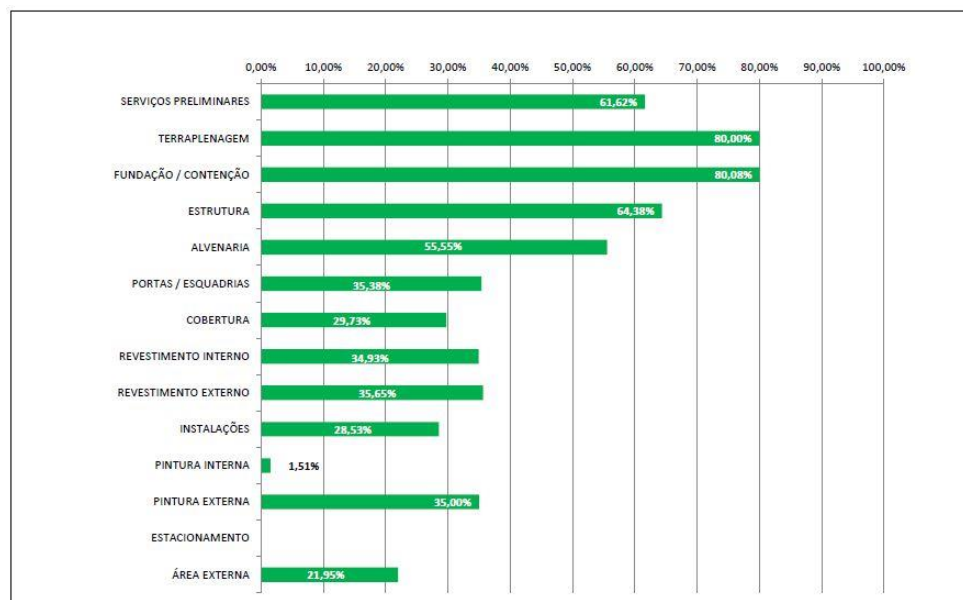
Figura 25 – Gráfico por Atividades – Estudo de Caso 3



Fonte: A autora (2017).

- gráfico comercial: gráfico com barras horizontais, indicando mensalmente o percentual de avanço físico acumulado nas atividades sugeridas pelo departamento comercial da empresa para apresentação ao cliente (Figura 26);

Figura 26 – Gráfico Comercial – Estudo de Caso 3



Fonte: A autora (2017).

- planilha P x R: descrição de todas as atividades do orçamento com o percentual previsto no mês e acumulado, e percentual realizado no mês e acumulado. A coluna seguinte foi um alerta para as atividades que se encontravam em atraso e as que estavam dentro do planejamento (ok). Nesta planilha foi possível filtrar o mês de análise e obter as mesmas informações de qualquer mês dentro do seu planejamento (Figura 27);

Figura 27 – Planilha P x R – Estudo de Caso 3

Item	Serviço	Descrição	ago-17				Status
			Previsto		Realizado		
			% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	
1	Item	SERVIÇOS TÉCNICOS / PRELIMINARES					
101	Item	SERVIÇOS TÉCNICOS					
01.01.01	Item	SONDAGEM					
01.01.01.01	SEI006	Sondagem	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02	Item	PROJETOS					
01.01.02.01	STCS65	Taxa de aprovação de projeto diversos	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.02	STCS09	Projeto Arquitetônico	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.03	STCS22	Projeto de Fundação com Consultoria	0,00%	100,00%	0,00%	60,00%	Atrasado
01.01.02.04	STCS11	Projeto Estrutural	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.05	STCS19	Projeto de Instalações Elétrica, Hidráulica e Telefonia	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.06	STCO10	Projeto Instalações Anti- Incêndio	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.07	STCS77	Licenciamento Ambiental	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.09	STCO96	Projeto de topografia	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.02.10	STCO34	Projeto Planialtimétrico	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
01.01.03	Item	CONTROLE TECNOLÓGICO / ENSAIOS					
01.01.03.01	STCO02	Controle Tecnológico de Concreto	6,37%	80,90%	19,03%	71,99%	Atrasado
102	Item	SERVIÇOS PRELIMINARES					
01.02.01	SEI043	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	3,65%	78,06%	0,00%	52,50%	Atrasado
103	Item	LOCAÇÃO DA OBRA					
01.03.01	STCS74	Serviços de Topografia	0,00%	100,00%	0,00%	45,00%	Atrasado
01.03.02	SEI509	Locação da Obra	0,00%	100,00%	23,33%	90,00%	Atrasado
2	Item	FUNDAÇÃO DA OBRA					
201	Item	FUNDAÇÃO RASA (Radier,Blocos e Cintas)					
02.01.01	SUP577	Armação com Aço - Cortado e Dobrado(material)	0,00%	100,00%	0,00%	60,00%	Atrasado
02.01.02	SUP099	Aço - Montagem -Subempreiteiro	0,00%	100,00%	0,00%	60,00%	Atrasado
02.01.03	SUP017	Forma em Chapa Compensada Resinada	0,00%	100,00%	0,00%	60,00%	Atrasado
02.01.04	INF026	Apilamento de Fundo de Valas com Muro de 30 Kg	0,00%	100,00%	0,00%	60,00%	Atrasado
02.01.05	SUP041	Concreto Usinado Bombeado Fck= 23 Mpa	0,00%	100,00%	0,00%	60,00%	Atrasado
02.01.06	SUP059	Polimento de Laje Nivel Zero (Subempreiteiro)	0,00%	100,00%	0,00%	60,00%	Atrasado
02.01.07	INF023	Escavação Manual de Fundação (Sapatas e Blocos)	0,00%	100,00%	0,00%	60,00%	Atrasado
02.01.08	TER004	Bota Fora de Material Escavado	0,00%	100,00%	0,00%	60,00%	Atrasado
202	Item	FUNDAÇÃO PROFUNDA (ESTACAS HÉLICE)					
02.02.01	INF084	Mobilização para Execução de Estacas Hélice Contínua	0,00%	100,00%	40,00%	100,00%	Ok
02.02.02	INF091	Execução de Estaca Hélice Contínua di=30,35,40cm	0,00%	100,00%	40,00%	100,00%	Ok
02.02.03	INF005	Corte e Preparo de Cabeça de Estacas	0,00%	100,00%	40,00%	100,00%	Ok
02.02.04	TER004	Bota Fora de Material Escavado	0,00%	100,00%	40,00%	100,00%	Ok
02.02.07	INF081	Concreto Usinado Fck= 20Mpa slump 22+-2 para estaca hélice	0,00%	100,00%	40,00%	100,00%	Ok
02.02.08	SUP577	Armação com Aço - Cortado e Dobrado (material)	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	Ok
02.02.09	SUP099	Aço - Montagem -Subempreiteiro	0,00%	100,00%	40,00%	100,00%	Ok
203	Item	CONTENÇÕES					
02.03.01	Item	ARRIMO EM CONCRETO ARMADO					
02.03.01.01	ALV111	Muro de Arrimo com Bloco de Concreto Vazado	10,00%	30,00%	10,00%	70,00%	Adiantado

Fonte: A autora (2017).

b) planilha de análise de custo da obra: neste arquivo foram atualizadas mensalmente as informações de percentual de avanço físico do mês de apuração de todas as atividades do orçamento, informações de custo de material estocado em obra no último dia do mês, informações de valores de todas as contas pagas e a pagar (relatório extraído do software de gestão da empresa) e informações de custos de atividades realizadas por empreiteiros cujas notas fiscais ainda não se encontravam no software de gestão. Todos esses dados foram classificados dentro de um plano de contas com as principais atividades do orçamento e corrigidos ao valor presente pelo Índice

Nacional de Custo da Construção (INCC). Com base em todas as informações foram gerados os seguintes quadros:

- análise geral do empreendimento: quadro resumo com as principais informações para tomada de decisões da diretoria, contendo informações do acompanhamento físico, avaliação financeira e análise econômica da obra (Figura 28);

Figura 28 – Análise Geral da Obra – Estudo de Caso 3

ANÁLISE GERAL DO EMPREENDIMENTO			
POSIÇÃO ATÉ: jun-17			
1 - ACOMPANHAMENTO DO CRONOGRAMA DA OBRA			
DATA DE TÉRMINO PREVISTA			28-fev-18
DATA DE TÉRMINO ATUAL			19-mai-18
ATRASADO (DIAS CORRIDOS)			-90
STATUS DA ENTREGA PARA CLIENTE			ATRASADA
2 - AVALIAÇÃO DO ANDAMENTO FÍSICO			
% FÍSICO FINANCEIRO ACUMULADO PREVISTO ATÉ JUNHO/ 17			47,03%
% FÍSICO FINANCEIRO ACUMULADO REALIZADO ATÉ JUNHO/ 17			37,21%
ATRASADO (%)			-9,82%
3 - ANÁLISE ECONÔMICA DA OBRA			
			Valor (r\$)
ORÇAMENTO (base setembro / 15)	=		R\$ 17.444.090,39
AVANÇO FÍSICO ATÉ JUNHO /17 (medição base orçamento setembro / 15) (AF)			R\$ 6.491.059,98
3.1 - CUSTO REALIZADO ATÉ JUNHO/ 17			
PAGAMENTOS REALIZADOS (A)			R\$ 6.135.856,49
CONTAS A PAGAR (B)			R\$ 261.700,37
MEDIÇÕES (C)			R\$ 693.193,51
ESTOQUE / ANTECIPAÇÃO FINANCEIRA (D)			R\$ 382.578,15
CUSTO REALIZADO (A + B + C + D)	=		R\$ 6.708.172,21
3.2 - RESULTADO ECONÔMICO ATÉ JUNHO/ 17			
RESULTADO ECONÔMICO	=		-R\$ 217.112,23 -3,34%
RESULTADO INDICA UM DESVIO NEGATIVO DA OBRA			
CUSTO POR M ² (CONSTRUÇÃO)	ÁREA EQUIVALENTE	=	15.991,90 m ²
	ORÇAMENTO	=	1.090,81 r\$/m ²
	REALIZADO	=	1.127,29 r\$/m ²

Fonte: A autora (2017).

- quadro IEC (Índice Econômico da Construção): quadro resumo por atividade do plano de contas estabelecido pela empresa com os valores de orçamento de cada atividade, os valores disponíveis deste orçamento de acordo com o percentual realizado de cada atividade (avanço físico), o custo real para execução das atividades e a comparação entre o valor disponível e o custo real (saldo). A coluna IEC do quadro indicou a relação entre o custo e o valor disponível para a atividade (Figura 29). Desta forma, quando o índice foi inferior

a 1,0, significou que a atividade encontrava-se sendo realizada dentro do orçamento prevista pra ela. E acima de 1,0, a atividade encontrava-se com custo superior ao orçado.

Figura 29 – Quadro IEC – Estudo de Caso 3

CUSTO OBRA	Orçamento	Avanço Físico	Custo Total	Saldo	IEC
CUSTO DIRETO	13.515.257,83	4.956.753,99	5.185.633,90	-228.879,91	1,05 *
01 SERVIÇOS TÉCNICOS	553.693,22	438.808,12	410.783,23	28.024,89	0,94 ✓
02 SERVIÇOS PRELIMINARES / CANTEIRO	468.301,64	245.858,36	322.901,97	-77.043,61	1,31 *
03 TERRAPLENAGEM / MOVIMENTO DE TERRA	230.000,00	138.000,00	201.331,13	-63.331,13	1,46 *
04 CONTENÇÃO / FUNDAÇÃO (PROFUNDA / SUPERFICIAL)	1.716.363,45	906.443,17	1.164.700,90	-258.257,73	1,28 *
04.01 Contenção	308.437,25	61.687,45	60.000,00	1.687,45	0,97 ✓
04.02 Fundação Profunda	784.589,06	470.753,44	666.436,16	-195.682,72	1,42 *
04.03 Fundação Superficial	623.337,14	374.002,28	438.264,74	-64.262,45	1,17 *
05 SUPER ESTRUTURA	1.330.867,27	822.707,09	708.781,46	113.925,63	0,86 ✓
06 ALVENARIA	1.612.072,27	852.912,88	960.383,77	-107.470,89	1,13 *
07 IMPERMEABILIZAÇÕES / ISOLAMENTOS TÉRMICOS / ACÚSTICOS	172.470,39	34.430,74	13.241,93	21.188,81	0,38 ✓
08 COBERTURA	148.694,42	19.826,28	12.578,70	7.247,58	0,63 ✓
09 REVESTIMENTO INTERNO	1.923.867,20	431.174,71	240.369,93	190.804,78	0,56 ✓
10 REVESTIMENTO EXTERNO	509.068,22	170.263,26	185.433,04	-15.169,78	1,09 *
11 INSTALAÇÕES	1.479.859,15	367.979,33	473.594,78	-105.615,46	1,29 *
12 LOUÇAS E METAIS	171.844,75	0,00	0,00	0,00	0,00 *
13 ESQUADRIAS METÁLICAS / PORTAS DE MADEIRA / SERRALHERIA	806.785,41	230.000,85	219.285,77	10.715,08	0,95 ✓
15 PINTURA (INTERNA E EXTERNA)	1.186.800,09	61.008,19	37.312,90	23.695,28	0,61 ✓
17 LIMPEZA	52.500,00	0,00	0,00	0,00	0,00 *
18 SERVIÇOS COMPLEMENTARES	17.550,20	0,00	0,00	0,00	0,00 *
19 ÁREA EXTERNA / PISO EXTERNO / PAVIMENTAÇÃO / INSTALAÇÕES EXTERNAS	1.134.520,15	237.341,01	234.934,39	2.406,62	0,99 ✓
21 CUSTO INDIRETO	3.928.832,56	1.534.305,99	1.522.338,31	11.767,68	0,99 ✓
21.01 CONSUMOS	370.200,00	136.703,19	278.393,42	-141.690,23	2,04 *
21.02 BENEFÍCIOS	649.787,30	239.945,97	190.548,05	49.397,92	0,79 ✓
21.03 MEDICINA E SEGURANÇA DO TRABALHO	193.912,00	71.605,59	100.667,18	-29.061,59	1,41 *
21.04 ADMINISTRAÇÃO DA OBRA	2.102.804,60	894.476,49	655.458,38	239.018,11	0,73 ✓
21.06 EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS	612.128,66	191.574,75	297.471,28	-105.896,53	1,55 *
TOTAL OBRA	17.444.890,39	6.491.059,88	6.708.172,21	-217.112,23	1,033 *

Fonte: A autora (2017).

Assim como no estudo de caso 2, os resultados obtidos através das planilhas de acompanhamento e controle foram apresentados em reuniões gerenciais mensais de acompanhamento de projeto realizadas com a participação de todos os departamentos da empresa: diretoria, planejamento de obra, gerenciamento de obra, comercial, suprimentos, projetos, orçamento, financeiro e contábil, para tomada de decisões estratégicas relacionadas à própria obra e também a outros departamentos da empresa. Nesses encontros, estabeleceu-se os planos de ataque necessários para manter o empreendimento dentro do custo e prazo definidos no planejamento inicial. Como resultado, relatórios mensais de acompanhamento de obra com todas as informações obtidas nos meses e discutidas nesses encontros foram elaborados e entregues à diretoria.

4.3.4 Análise Intra Caso

Na obra do estudo de caso 3, onde utilizou-se o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto, seu planejamento inicial foi realizado baseado no conhecimento

de dados de produtividade de obras realizadas com o mesmo sistema construtivo na empresa.

A previsão inicial de duração de toda sua estrutura (lajes, vigas e alvenaria estrutural) foi de dezessete meses, divididos em quatro etapas, de acordo com a produção de unidades prevista. A primeira etapa, prevista para acontecer a partir do quarto mês de obra, previu a produção de oito unidades/mês e um total de trinta e duas unidades (Tabela 4) em seus quatro meses de duração.

Tabela 4 – Planejamento 1ª Etapa Estrutura – Estudo de Caso 3

PLANEJAMENTO ESTRUTURA	Mês Estrutura	Mês 1		Mês 2		Mês 3		Mês 4	
		% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.
VIGAS /LAJES PRE-MOLDADAS/ALVENARIA ESTRUTURAL	%	3,20%	3,20%	3,20%	6,40%	3,20%	9,60%	3,20%	12,80%
	UNID.	8	8	8	16	8	24	8	32

A segunda etapa, em seguida da primeira, teria a duração de cinco meses, com produção mensal prevista de doze unidades, totalizando noventa e duas unidades acumuladas (Tabela 5).

Tabela 5 – Planejamento 2ª Etapa Estrutura – Estudo de Caso 3

PLANEJAMENTO ESTRUTURA	Mês Estrutura	Mês 5		Mês 6		Mês 7		Mês 8		Mês 9	
		% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.
VIGAS /LAJES PRE-MOLDADAS/ALVENARIA ESTRUTURAL	%	4,80%	17,60%	4,80%	22,40%	4,80%	27,20%	4,80%	32,00%	4,80%	36,80%
	UNID.	12	44	12	56	12	68	12	80	12	92

A terceira etapa, em seguida da segunda, teria a duração de quatro meses, com produção mensal prevista de dezesseis unidades, totalizando cento e cinquenta e seis unidades acumuladas (Tabela 6).

Tabela 6 – Planejamento 3ª Etapa Estrutura – Estudo de Caso 3

PLANEJAMENTO ESTRUTURA	Mês Estrutura	Mês 10		Mês 11		Mês 12		Mês 13	
		% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.
VIGAS /LAJES PRE-MOLDADAS/ALVENARIA ESTRUTURAL	%	6,40%	43,20%	6,40%	49,60%	6,40%	56,00%	6,40%	62,40%
	UNID.	16	108	16	124	16	140	16	156

E a quarta e última etapa, em seguida da terceira, teria a duração de quatro meses, com produção mensal prevista de vinte e quatro unidades, totalizando as duzentas e cinquenta unidades do empreendimento (Tabela 7).

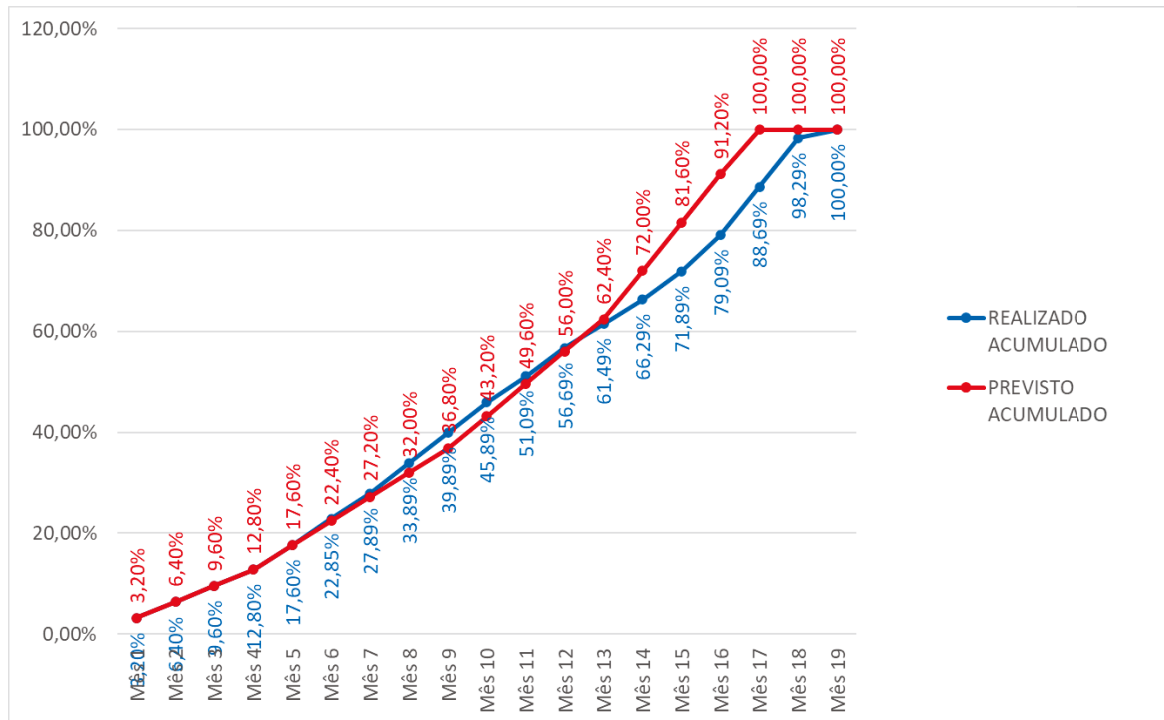
Tabela 7 – Planejamento 4ª Etapa Estrutura – Estudo de Caso 3

PLANEJAMENTO ESTRUTURA	Mês Estrutura	Mês 14		Mês 15		Mês 16		Mês 17	
		% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.	% Mês	% Acum.
VIGAS /LAJES PRE-MOLDADAS/ALVENARIA ESTRUTURAL	%	9,60%	72,00%	9,60%	81,60%	9,60%	91,20%	8,80%	100,00%
	UNID.	24	180	24	204	24	228	22	250

O planejamento da execução da estrutura em etapas contínuas, sem intervalo da execução em nenhum mês, previu o aproveitamento da mobilização das equipes de mão de obra de execução da estrutura no local e a utilização dos índices de produtividade da atividade apurados, através de uma curva de aprendizagem, para dimensionamento das equipes e maior precisão no comprimento dos prazos previstos.

Analisando as curvas do gráfico da Figura 30, nota-se que até o sétimo mês de execução da estrutura, as equipes foram capazes de produzir de acordo com o planejamento. Do oitavo até o décimo segundo mês, a produtividade foi maior do que o planejado. Mas a partir do décimo terceiro mês, não foi possível acompanhar a curva do planejamento, gerando, inclusive, um atraso de dois meses para término da atividade.

Figura 30 – Curva Previsto Acumulado x Realizado Acumulado da Estrutura



Fonte: A autora (2017).

Alguns análises justificam os resultados demonstrados pela curva:

- a contratação das equipes para a execução da 1ª etapa da estrutura (mês 1 ao mês 4) foi equivalente à dimensionada pelo planejamento;
- a produtividade das equipes contratadas para a execução da 1ª etapa da estrutura (mês 1 ao mês 4) foi equivalente à planejada;
- na 2ª e 3ª etapas da estrutura (mês 5 ao mês 13), foram feitas novas contratações com produtividade superior ao planejamento, ocasionando uma variação positiva em relação ao previsto. Neste período, outras atividades que aconteceram em paralelo à atividade de execução da estrutura, incluindo atividades predecessoras a ela, sofreram atraso e alguns integrantes das equipes de estrutura foram mobilizados na tentativa de recuperar esse atraso;
- o período correspondente à 4ª etapa de execução do estrutura (mês 14 ao mês 17) previu uma produtividade mais desafiadora (24 unidades por mês) que demandava o aumento das equipes para sua realização. Nesta etapa, a variação negativa entre o previsto e realizado ocorreu devido a alguns fatores:
 - planejamento arrojado, com prazos difíceis de serem cumpridos;

- atividade predecessora em atraso, comprometendo o início da atividade de estrutura;
- equipe desfalcada, devido ao remanejamento para outras atividades;
- produtividade da equipe abaixo da planejada;
- contratação de mão de obra tardia em relação ao planejamento.

Como a atividade da estrutura é uma atividade do caminho crítico da obra, a mesma causou atraso na entrega do empreendimento.

A má gestão com relação aos recursos necessários para atender o planejamento (mão de obra, material e equipamentos) causou variação no prazo e, conseqüentemente, no custo da obra.

4.4 Análise Inter Casos

Neste capítulo, procurou-se fazer uma análise conjunta dos estudos de caso apresentados neste trabalho, confrontando os sistemas industrializados utilizados, identificando sua influência na assertividade do planejamento.

No estudo de caso 1, onde utilizou-se o sistema de estrutura e vedações pré-fabricadas, por se tratar de um sistema construtivo há muitos anos utilizado pela empresa, observou-se uma grande experiência por parte da equipe destinada à atividade, acarretando em um baixo desvio do prazo planejado. Pequenos atrasos foram registrados devido à falhas nos equipamentos e à atrasos na entrega do material, mas que não afetaram de forma relevante no planejamento da atividade.

Por outro lado, após o término da estrutura, ocorreram atrasos comprometendo o andamento da obra significativamente, ocasionados por falha na gestão da equipe de suprimentos que não cumpriu com os prazos acordados para aprovação de compra de materiais e pelo descompromisso da mão de obra contratada para execução de outras atividades.

No estudo de caso 2, com sistema construtivo de paredes de concreto moldada *in loco*, observou-se uma aceleração da curva de aprendizagem em relação ao

planejamento inicial, alcançando uma alta confiabilidade no planejamento de médio e curto prazos.

Verificou-se, também, que o sistema, com montagem simplificada, padronização das atividades e menor variedade dos insumos, possibilitou a redução das causas de variabilidade dos processos de execução, permitindo a estimativa de índices assertivos de produtividade.

No estudo de caso 3, onde utilizou-se o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto, constatou-se que o atraso registrado na execução do sistema deveu-se à dificuldade de se acompanhar um planejamento arrojado, com prazos apertados, e à uma má gestão da mão de obra, responsável por um remanejamento equivocado das equipes e uma contratação tardia de novos profissionais com baixa produtividade.

Nos estudos de caso 1 e 2, os resultados apontaram para uma pequena variabilidade, independente do sistema utilizado. Isso significa que as variáveis críticas de planejamento não foram as do sistema em si, mas do domínio da tecnologia, do investimento financeiro disponível, da padronização do processo de montagem e da logística de chegada de suprimentos. Efetivamente, observou-se pouca ou nenhuma variabilidade em função de aspectos comumente observados em outros sistemas menos industrializados.

Uma vez que essas variáveis estejam controladas, qualquer que seja o sistema, a assertividade de seu planejamento é alta. O que reforça a teoria de que quanto mais industrializada a obra, maior sua organização, produtividade e agilidade e, portanto, maior a confiabilidade de seu planejamento.

O estudo de caso 3, se comparado aos dois primeiros, apresentou uma maior dependência da gestão dos insumos e da mão de obra, levando a atrasos mais significativos em seu planejamento. A assertividade do planejamento estava associada a questões de gestão da produção como qualificação da mão de obra e questões associadas ao fornecimento de suprimentos.

Nesse sentido, os estudos de caso corroboraram a hipótese que aponta para o fato de que um maior nível de industrialização implica em redução da variabilidade dos processos, com um maior potencial de aumento da confiabilidade do planejamento.

As características indicadas no Quadro 2 fazem referência a um sistema construtivo convencional, como é o caso da alvenaria não racionalizada. Assim, o sistema de alvenaria estrutural racionalizada teria um nível de padronização médio quando comparado com um sistema convencional e o sistema de estrutura e vedações pré-fabricadas e o sistema de parede de concreto moldada *in loco* apresentariam um nível alto de padronização. E assim, sucessivamente, para as demais características de construção industrializada.

Quadro 2 – Sistemas Construtivos quanto à Caracterização de Construção Industrializada

Caracterização de Construção Industrializada	Sistema construtivo		
	Estrutura e vedações pré-fabricados (Estudo de Caso 1)	Parede de concreto moldada <i>in loco</i> (Estudo de Caso 2)	Alvenaria estrutural (Estudo de Caso 3)
Nível de padronização de produto	Alto	Alto	Médio
Nível de padronização de processo de produção	Alto	Alto	Médio
Otimização de insumos	Alto	Alto	Médio
Redução do uso de mão de obra	Médio	Alto	Médio
Simplificação de processos construtivos através da mecanização e automação	Médio	Alto	Baixo
Utilização de Sistemas pré-fabricados	Alto	Baixo	Baixo

Fonte: A autora (2022).

As características que traduzem o nível de industrialização da construção, representadas de maneira sucinta no Quadro 2, permitem observar que o nível de industrialização está intimamente relacionado com princípios de diretrizes descritos na literatura como fatores de aumento da construtibilidade, como ressaltados, por exemplo, em Gao, Jin e Lu (2020), Lam *et al.* (2012) ou Barbosa e Andery (2014), entre outros autores. Entre esses aspectos estão providências como planejamento e detalhamento das soluções de arquitetura orientados à modularização e montagem de sistemas construtivos, implantação de uma sequência lógica de montagem vinculada à logística de suprimentos, determinação de estratégias de gestão de

contratos com subempreiteiros com base em experiências anteriores e previsão de condições de transporte.

O Quadro 3 apresenta como as diretrizes de DFMA impactam na confiabilidade do planejamento em obras que utilizam os sistemas construtivos industrializados objetos de estudo deste trabalho. O símbolo “+” caracteriza um alto impacto no planejamento, “+ - ” caracteriza um médio impacto no planejamento e o símbolo “-” caracteriza um baixo impacto no planejamento.

Quadro 3 – Diretrizes de DFMA x Impacto no Planejamento x Sistemas Construtivos Industrializados

Diretrizes DFMA	Impacto na confiabilidade do planejamento	Sistema Construtivo		
		Estrutura e vedações pré-fabricadas (Estudo de Caso 1)	Parede de concreto moldada in loco (Estudo de Caso 2)	Alvenaria estrutural (Estudo de Caso 3)
Projeto do produto (design) estabelece sequência de montagem que reduza erros (a prova de erros)	Alto. O projeto mais simples e prático, com menor número de peças, torna-se mais seguro, evita retrabalhos desnecessários e reduz o tempo e o custo	+ -	+	-
Design para facilitar a fabricação	Baixo. O projeto bem executado, pensando na eficiência da fabricação, reduz o tempo e os custos de fabricação, mas não impacta diretamente no planejamento da obra	-	-	-
Design para orientação e manuseio de peças simples	Alto. O projeto com orientação e uso de peças simples e fáceis de montar reduz o esforço manual e, consequentemente, o tempo de montagem	+	+ -	-
Projeto com técnicas de montagem estabelecidas e padronizadas	Alto. O projeto com técnicas de montagem preestabelecidas reduz o tempo de montagem	+	+ -	-
Utilização de projetos modulares	Alto. O projeto modulado reduz o tempo devido ao design e montagem simplificados	+	+	+ -
Considera o projeto para montagem mecanizada ou automatizada	Alto. Um processo mecanizado impacta fortemente na assertividade do planejamento, pois melhora a eficiência, a qualidade e a segurança da montagem	-	+ -	-
Uso de componentes padrão e prontos para uso	Alto. Reduz o "lead time" (tempo de espera) entre o pedido do material e a chegada em obra	+	+	+ -
Uso de materiais tão semelhantes quanto possível	Médio. O uso de materiais semelhantes reduz o tempo com menos processos de fabricação e junção simplificada.	+ -	+ -	-
Uso ao máximo materiais tão ecologicamente corretos	Baixo. O uso de materiais ecologicamente corretos reduz os danos ao meio ambiente, mas não interfere no planejamento da obra.	-	-	-
Redução de tipos de componentes	Alto. Quanto menor os tipos de componentes pré-moldados, menor o tempo com projeto e mais simples a fabricação e montagem.	-	+	-
Redução dos tipos e a quantidade de conectores	Alto. Reduz o tempo com fabricação, montagem e ajustes.	+	+	-
Reduz o uso de peças frágeis	Baixo. Essa diretriz diz respeito a projetos com componentes mecânicos	-	-	-
Não especifica demais as tolerâncias ou o acabamento da superfície	Baixo. Reduz custos com fabricação mais fácil, mas não impacta no prazo da obra	-	-	-
Projeta peças multifuncionais e multiuso	Alto. O projeto reduz o tempo com menos processos de fabricação e ligações simplificadas	+	+	-

Fonte: A autora (2022).

Em obras que utilizam o sistema de estrutura e painéis de vedação pré-fabricados, o impacto de diretrizes de DFMA em seu planejamento ocorre fortemente no que diz

respeito à projetos para orientação e manuseio de peças simples e com técnicas de montagem estabelecidas e padronizadas.

Em obras que empregam o sistema de parede de concreto moldada *in loco*, o impacto de diretrizes de DFMA em seu planejamento é alto no que se refere a projetos que visam a redução de tipos de componente e que estabeleçam sequência de montagem que reduza erros.

Em obras com sistema de alvenaria estrutural, o impacto de diretrizes de DFMA é menos recorrente, uma vez que se trata de um sistema menos industrializado que os demais estudados.

Algumas diretrizes de DFMA como design para facilitar a fabricação, projetos que visam o uso de materiais ecologicamente corretos, projetos que propõem a redução do uso de peças frágeis e a especificação das tolerâncias ou o acabamento da superfície, têm baixo impacto no planejamento de obras industrializadas, independente do sistema utilizado.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo estudar os fatores que impactam na confiabilidade do planejamento em obras de habitação de interesse social que utilizam sistemas construtivos industrializados, através de um estudo exploratório em duas empresas construtoras que utilizaram três sistemas construtivos industrializados distintos.

Primeiramente, apresentou-se um contexto quanto aos conceitos e definições relevantes ao tema estudado, procurando compreender as características dos sistemas construtivos industrializados utilizados nos estudos de caso, bem como as ferramentas de gestão da produção que permitem associar os processos produtivos aos conceitos de racionalização e produtividade.

Como método de pesquisa, utilizou-se o estudo de caso exploratório, realizado através de um protocolo de estudo de caso, que se revelou apropriado para o trabalho, visto que este estudo permite a coleta de dados para sejam analisados e comparados entre si.

No estudo de caso 1, o sistema construtivo de estrutura e vedações pré-fabricadas se mostrou um sistema que permitiu uma pequena variabilidade em seu planejamento, pois possui padronização em suas atividades e uma equipe experiente na execução do sistema. Mas, assim que esta etapa se encerrou, a má gestão de suprimentos e mão de obra causou atrasos significativos em seu planejamento.

No estudo de caso 2, o sistema construtivo de parede de concreto moldada *in loco* com montagem simplificada, padronização das atividades e menor variabilidade dos insumos possibilitou a redução das causas de variabilidade dos processos de execução, permitindo a estimativa de índices de produtividade confiáveis.

Os dois sistemas avaliados têm níveis de industrialização distintos, mas apresentaram as mesmas variáveis associadas a confiabilidade do planejamento.

No estudo de caso 3, o sistema construtivo de alvenaria estrutural com blocos de concreto, por se tratar de um sistema menos industrializado que os dois anteriores, apresentou uma maior dependência da gestão dos insumos e da mão de obra, causando atrasos mais relevantes em seu planejamento.

De uma forma geral, do ponto de vista do planejamento de obras que utilizam sistemas construtivos industrializados, os resultados apontam para uma pequena variabilidade, independente do sistema utilizado. Isso significa que uma maior efetividade do seu planejamento está associada a questões de gestão da produção, como qualificação da mão de obra, aprendizado com relação a processos de montagem padronizados e eventuais questões associadas ao fornecimento de suprimentos.

Quando comparados os estudos de caso e seus sistemas construtivos, as hipóteses levantadas nesta pesquisa de que quanto mais industrializada uma obra, com maior número de processos racionalizados, maior padronização, com projetos mais detalhados e compatibilizados, maior a confiabilidade de seu planejamento foram comprovadas.

Por outro lado, este trabalho explorou uma questão ainda pouco trabalhada na literatura recente brasileira que é a aplicação de diretrizes de DFMA nos processos construtivos. Foi realizada uma conceituação do DFMA e suas diretrizes foram aplicadas de modo comparativo aos vários sistemas construtivos, observando-se seu impacto no planejamento.

Observou-se que algumas diretrizes de DFMA, como projetos com orientação e uso de peças simples e fáceis de montar, projetos com técnicas de montagem preestabelecidas e projetos modulados, causam grande impacto na confiabilidade do planejamento de obras com sistema construtivo de estrutura e vedações pré-fabricadas.

Diretrizes de DFMA, como projetos mais práticos, que visam a redução de tipos e quantidade de componentes e conectores e que estabeleçam sequência de montagem que reduza erros, causam alto impacto na confiabilidade do planejamento de obras com sistema construtivo de parede de concreto moldada *in loco*.

No caso da utilização de sistema de parede de concreto moldada *in loco*, como se trata de um sistema construtivo desenvolvido a partir da montagem de formas metálicas, visando a redução de prazo e custo, a etapa do processo de projeto é fundamental para o êxito do empreendimento. A aplicação de diretrizes de DFMA nessa etapa do projeto é recomendada para conciliar projeto arquitetônico, fabricação e instalação.

Constatou-se também que em obras com sistema de alvenaria estrutural, as diretrizes de DFMA causam pouco impacto na confiabilidade de seu planejamento por se tratar de um sistema menos industrializado que os já mencionados.

A principal contribuição do trabalho é, mais do que mostrar que a confiabilidade do planejamento é proporcional ao nível de industrialização do sistema construtivo empregado na obra, mas que aspectos da industrialização e de DFMA são mais valorizados e tem um impacto na forma como o planejamento apresenta sua assertividade.

Para trabalhos futuros, sugere-se um estudo mais aprofundado dos conceitos de DFMA associados às técnicas de construtibilidade.

Sugere-se também um estudo dos fatores que impactam na confiabilidade do planejamento de obras que utilizam sistema construtivo modular montado off-site.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, T. W.; SILVA, E. N.; MELLO, L. C. B. BIM and Lean Construction: the evolution obstacle in the Brazilian Civil Construction Industry. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 7, n. 5, p. 1904-1908, 2017.
- ALVES, N. S. D. **Argamassa de assentamento em blocos de concreto para alvenaria estrutural** – estudo de desempenho. 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.
- ALVES, T. C. L. **Diretrizes para a Gestão dos Fluxos Físicos em Canteiros de Obras: Proposta Baseada em Estudo de Caso**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- ANZANELLO, M. J.; FOGLIATTO, F. S. Curvas de aprendizado: estado da arte e perspectivas de pesquisa. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 14, n. 1, p. 109-123, jan./abr. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.055: Parede de Concreto Moldada no local para a construção de edificações: Requisitos e Procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- BARBOSA, P.; ANDERY, P. Contribuição ao Estudo de medidas para melhoria da construtibilidade no processo de projeto de uma empresa construtora. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, Maceió. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2014.
- BARBOSA, G. F. **Desenvolvimento de um modelo de análise para implantação de automação na manufatura aeronáutica, orientado pelos requisitos das metodologias de Projeto para Excelência (DFX Design for Excellence) e Produção Enxuta (Lean Manufacturing)**. 2012. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo (USP), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), São Carlos, 2012.
- BRALLA, J. G. **Design for Excellence**. 2. Ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1996.
- BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. 2. ed. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1976.
- CRUZ, H. M. **Análise das causas da variabilidade do tempo de execução dos processos em diferentes sistemas construtivos**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa (POSGRAP) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.
- CRUZ, H. M.; SANTOS, D. de; MENDES, L. A. Causas da variabilidade do tempo de execução dos processos em diferentes sistemas construtivos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 49-65, jan./mar. 2018.

CRUZ, H. M. *et al.* Identificação de conceitos enxutos: Estudo de caso em uma obra de paredes de concreto. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 16., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2016.

DE FILIPPI, G. A.; MELHADO, S. B. Um estudo sobre as causas de atrasos de obras de empreendimentos imobiliários na região Metropolitana de São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 161-173, jul./set. 2015.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos: EESC/USP, 2000.

FABRÍCIO, M. M. Industrialização das construções: revisão e atualização de conceitos. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, São Paulo, v. 20, n. 33, jun. 2013.

FABRÍCIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FARGHAL, Sherif H; EVERETT, John G. Learning Curves: accuracy in predicting future performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, Nova York, v. 123, n. 1, p. 41-45, 1997.

FORMOSO, C. T. *Lean Construction: princípios básicos e exemplos*. **Construção Mercado: custos, suprimentos, planejamento e controle de obras**, Porto Alegre, v. 15, p. 50-58, 2002.

FORMOSO, C. T. *et al.* Material Waste in Building Industry: main causes and prevention. **Journal of Construction Engineering and Management**, Nova York, v. 128, n. 4, p. 316-325, 2002.

GAO, S.; JIN, R.; LU, W. Design for manufacture and assembly in construction: a review. **Building Research and Information**, v. 48, n. 5, p. 538-550, 2020.

GIBB, A. G. F. **Off-site fabrication – prefabrication, pre-assembly and modularization**. Scotland: Whittles Publishing, 1999.

GIBB, A. G. F. Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research. **Construction Management and Economics**, Loughborough, v. 19, n. 3, p. 307-315, 2001.

GOH, E.; LOOSEMORE, M. The impacts of industrialization on construction subcontractors: resource based view. **Construction Management and Economics**, v.35, n. 5, p. 288-304, 2017.

HAMZEH, F.R.; ARIDI, O. Z. Modeling the Last Planner System metrics: a case study of an AEC company. *In: ANNUAL CONFERENCE ON THE IGLC*, 21., 2013, Fortaleza. **Proceedings [...]**. Fortaleza, 2013.

HAMZEH, F.R., BALLARD, G., TOMMELEIN, I.D. Is the Last Planner System Applicable to Design? A Case Study. *In: ANNUAL CONFERENCE ON THE IGLC*, 17., 2009, Taipei. **Proceedings** [...]. Taipei, 2009.

HOFFMANN, L. G. *et al.* Alvenaria estrutural: um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em uma pesquisa bibliográfica nacional. SIMPGEU III SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 2012, Maringá. **Anais** [...]. Maringá, 2012.

KALIL, S. M. B. **Alvenaria Estrutural**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.politecnica.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Estruturas_de_Madeira/Alvenaria.pdf. Acesso em: 13 dez. 2019.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Cife, Technical Report, 1992.

KUO, T.-C.; HUANG, S. H.; ZHANG, H.-C. Design For Manufacture and Design For "X": concepts, applications and perspectives. **Computers and Industrial Engineering**, v. 41, n. 3, p. 241-260, 2001.

LAI, X.; GERSHENSON, J.K. Representation of Similarity and Dependency For Assembly Modularity. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 37, n. 7/8, p. 803-827, 2008.

LAM, P. *et al.* A scheme design buildability assessment model for building projects. **Construction Innovation**, v. 12, n. 2, p. 216-238, 2012.

LEITE, M. O. **A utilização das curvas de aprendizagem no planejamento da construção civil**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LIU, M.; BALLARD, G. Improving Labor Productivity through Production Control. *In: 16th ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUPS FOR LEAN CONSTRUCTION, IGLC 16*, 2008, Manchester. **Proceedings** [...]. Manchester, United Kingdom, 2008

LORDSLEEM JUNIOR, A. C. O processo de produção das paredes maciças. *In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS VEDAÇÕES VERTICAIS – TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS*, 1998, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil – PCC, 1998.

MARTINEZ, S. *et al.* Building industrialization: robotized assembly of modular products. **Assembly Automation**, v. 28, n. 2, p. 134-142, 2008.

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

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Como construir parede de concreto. **Revista Técnica**, e. 147, p.74-80, 2009.

MOHAMAD, G. **Mecanismo de Ruptura da Alvenaria de Blocos à Compressão**. 2007. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Portugal, 2007.

MYDIN, O. M. A. *et al.* Assessment of Influential Causes of Construction Project Delay in Malaysian Private Housing From Developer's Viewpoint. *In: EMERGING TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT CONGRESS*, Bangi, 2014. **Proceedings** [...]. Bangi, 2014.

OLIVEIRA, A. B de F. **Processo de Produção Integrado**: aplicabilidade na construção industrializada. 2019. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

PEDRINI, M. K. **Engenharia Simultânea**: planejamento e controle integrado do processo de produção/projeto na construção civil. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

PICCHI, F. A. Oportunidades da aplicação do *Lean Thinking* na construção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 7-23, jan./mar. 2003.

PIGOZZO, B. N.; SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A. A influência dos pré-fabricados em concreto armado no ciclo de industrialização da construção. XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 2006, Florianópolis. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac/entac2006_artigos.html. Acesso em: 27 jan. 2020.

PRETTI, S. M. **Engenharia Simultânea em Construtoras-Incorporadoras**: uma análise de maturidade. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: PINI, 2003.

REIS, C. J. L. *et al.* Identificação das Causas de Atrasos de Obras: um estudo de caso na região metropolitana de Belém. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUIDO*, 16., São Paulo, 2016. **Anais** [...]. São Paulo, 2016.

RUSSELL, M. M. *et al.* Application of Time Buffers to Construction Project Task Durations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 10, 2013.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos** – formulação e aplicação de uma metodologia. 1978. Tese (Doutorado) – Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldados in loco**: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos. 2008. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SALUSTRI, F. A.; CHAN, V. **Design for Assembly**. Disponível em: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html>. Acesso em: 23 jan. 2020.

SANTOS, A. **Application of flow principles in the production management of construction sites**. 1999. Thesis (Doctor of Philosophy) – School of Construction and Property Management, University of Salford, Salford, 1999.

SANTOS, E. M. *et al.* Avaliação do nível de implantação da construção enxuta em três pequenas construtoras do Ceará. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

SANTOS, P. V. **Ações evolutivas em edifícios de paredes de concreto e de alvenaria, considerando a interação com o solo**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

TAKAHASHI, V. P. **Proposta de um modelo de auxílio à tomada de decisão na adoção de técnicas de engenharia simultânea**. 1996. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

TAN, T. *et al.* Construction-Oriented Design for Manufacture and Assembly Guidelines. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 8, 2020.

TOMMELEIN, I.; RILEY, D. R.; HOWELL, G. A. Parade Game: impact of work flow variability on trade performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 5, p. 304-310, 1999.

TOMO, F. C. **Critérios para projetos de edifícios com paredes portantes de concreto pré-moldado**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

TURATO, E. R. Introdução à metodologia da pesquisa clínico-qualitativa: definição e principais características. **Revista Portuguesa de psicossomática**, Porto, v. 2, n. 1, p. 93-108, jan./jun. 2000.

VASCONCELOS, A. C. **O concreto no Brasil**: pré-fabricação, monumentos, fundações. v. 3, São Paulo: Studio Nobel, 2002.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C. Design for Assembly aplicado ao projeto de habitações em Light Steel Frame. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 101-115, out./dez. 2012.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C.; NOVAES, C. C. Vantagem Produtiva do Sistema Light Steel Framing: da construção enxuta à racionalização construtiva. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 13., 2010, Canela. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2010.

WAMBEKE, B. W.; HSIANG, S. M.; LIU, M. Causes of Variation in Construction Project Task Starting Times and Duration. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 9, p. 663-677, 2011.

WEISHENG, L. *et al.* Design for Manufacture and Assembly (DFMA) in construction: the old and the new. **Architectural Engineering and Design Management**, v.17, n. 1-2, p. 77-91, 2020.

Yin, R. K. **Estudo de Caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHENMIN, Y.; CHENGSHUANG, S.; YAOWU, W. Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings. **Automation in Construction**, v. 88, p. 13-22, 2018. *In*: <https://www.sciencedirect.com/journal/automation-in-construction/issues>. Acesso em: 28 jan. 2020.

APÊNDICE A – Roteiro da Entrevista

1 - CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

CONSTRUTORA:

EMPREENDIMENTO:

PADRÃO DE CONSTRUÇÃO:

SISTEMA CONSTRUTIVO:

Nº UNIDADES TOTAL:

Nº TORRES:

Nº PAVIMENTOS / TORRE:

Nº APTOS / PAVIMENTO:

ÁREA APTO:

ÁREA TOTAL:

2 - EQUIPE TÉCNICA INDIRETA

GERENTE/COORDENADOR DE OBRA:

ENGENHEIRO DE OBRA:

ENGENHEIRO DE PLANEJAMENTO:

TÉCNICOS:

MESTRE DE OBRA / ENCARREGADO:

AUXILIARES:

ESTAGIÁRIOS:

3 - EQUIPE TÉCNICA DIRETA

MONTADOR:

AJUDANTE:

PEDREIRO:

ARMADOR:

ELETRICISTA:

4 – DADOS DA EXECUÇÃO - (SUPERESTRUTURA)

CICLO DE EXECUÇÃO:

UNIDADE:

SERVIÇO:

DURAÇÃO:

OBSERVAÇÕES:

5 – DADOS PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRA

INÍCIO DA OBRA:

PRAZO DE ENTREGA PREVISTO:

DATA DE ENTREGA PREVISTA:

DATA DE ENTREGA REALIZADA:

VARIAÇÕES DE PRAZO IDENTIFICADAS:

VARIAÇÕES DE CUSTO IDENTIFICADAS:

FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO UTILIZADAS:

FERRAMENTAS DE ACOMPANHAMENTO UTILIZADAS:

FERRAMENTAS DE CONTROLE FINANCEIRO:

REPLANEJAMENTOS NECESSÁRIOS:

PLANOS DE AÇÃO:

APÊNDICE B – Documentos de Planejamento e Acompanhamento de obra – Estudos de Casos

Caderno de Acompanhamento de Serviços

Execução de Alvenaria

Bloco 1	Quantidade (m2)	%	Acompanhamento	Bloco 2	Quantidade (m2)	%	Acompanhamento
101	110,25	0,31%		101	110,25	0,31%	
102	110,25	0,31%		102	110,25	0,31%	
103	110,25	0,31%		103	110,25	0,31%	
104	110,25	0,31%		104	110,25	0,31%	
201	110,25	0,31%		201	110,25	0,31%	
202	110,25	0,31%		202	110,25	0,31%	
203	110,25	0,31%		203	110,25	0,31%	
204	110,25	0,31%		204	110,25	0,31%	
301	110,25	0,31%		301	110,25	0,31%	
302	110,25	0,31%		302	110,25	0,31%	
303	110,25	0,31%		303	110,25	0,31%	
304	110,25	0,31%		304	110,25	0,31%	
401	110,25	0,31%		401	110,25	0,31%	
402	110,25	0,31%		402	110,25	0,31%	
403	110,25	0,31%		403	110,25	0,31%	
404	110,25	0,31%		404	110,25	0,31%	
501	78,97	0,23%		501	78,97	0,23%	
502	78,97	0,23%		502	78,97	0,23%	
503	78,97	0,23%		503	78,97	0,23%	
504	78,97	0,23%		504	78,97	0,23%	
Subsolo 01	131,45	0,38%		Subsolo 01	131,45	0,38%	
Subsolo 02	131,45	0,38%		Subsolo 02	131,45	0,38%	
Caixa água	161,27	0,46%		Caixa água	161,27	0,46%	
Total			0,00%	Total			0,00%

Bloco 3	Quantidade (m2)	%	Acompanhamento	Bloco 4	Quantidade (m2)	%	Acompanhamento
101 - PNE	119,75	0,34%		101 - PNE	119,75	0,34%	
102 - PNE	119,75	0,34%		102 - PNE	119,75	0,34%	
103 - PNE	119,75	0,34%		103 - PNE	119,75	0,34%	
104 - PNE	119,75	0,34%		104 - PNE	119,75	0,34%	
201	110,25	0,31%		201	110,25	0,31%	
202	110,25	0,31%		202	110,25	0,31%	
203	110,25	0,31%		203	110,25	0,31%	
204	110,25	0,31%		204	110,25	0,31%	
301	110,25	0,31%		301	110,25	0,31%	
302	110,25	0,31%		302	110,25	0,31%	
303	110,25	0,31%		303	110,25	0,31%	
304	110,25	0,31%		304	110,25	0,31%	
401	110,25	0,31%		401	110,25	0,31%	
402	110,25	0,31%		402	110,25	0,31%	
403	110,25	0,31%		403	110,25	0,31%	
404	110,25	0,31%		404	110,25	0,31%	
501	78,97	0,23%		501	78,97	0,23%	
502	78,97	0,23%		502	78,97	0,23%	
503	78,97	0,23%		503	78,97	0,23%	
504	78,97	0,23%		504	78,97	0,23%	
Caixa água	161,27	0,46%		Caixa água	161,27	0,46%	
Total			0,00%	Total			0,00%

Área Alvenaria	35.007,75
Percentual Executado	

Área Alvenaria Executada m ²	
---	--

Caderno de Acompanhamento de Serviços

Concretagem Lajes

Bloco 1	Quantidade (m2)	%	Acompanhamento
101	48,6	0,35%	
102	48,6	0,35%	
103	48,6	0,35%	
104	48,6	0,35%	
201	48,1	0,35%	
202	48,1	0,35%	
203	48,1	0,35%	
204	48,1	0,35%	
301	48,1	0,35%	
302	48,1	0,35%	
303	48,1	0,35%	
304	48,1	0,35%	
401	48,1	0,35%	
402	48,1	0,35%	
403	48,1	0,35%	
404	48,1	0,35%	
501	23,29	0,17%	
502	23,29	0,17%	
503	23,29	0,17%	
504	23,29	0,17%	
Subsolo	100,44	0,72%	
Caixa água	20,61	0,15%	
Total			0,00%

Bloco 2	Quantidade (m2)	%	Acompanhamento
101	48,6	0,35%	
102	48,6	0,35%	
103	48,6	0,35%	
104	48,6	0,35%	
201	48,1	0,35%	
202	48,1	0,35%	
203	48,1	0,35%	
204	48,1	0,35%	
301	48,1	0,35%	
302	48,1	0,35%	
303	48,1	0,35%	
304	48,1	0,35%	
401	48,1	0,35%	
402	48,1	0,35%	
403	48,1	0,35%	
404	48,1	0,35%	
501	23,29	0,17%	
502	23,29	0,17%	
503	23,29	0,17%	
504	23,29	0,17%	
Caixa água	20,61	0,15%	
Total			0,00%

Bloco 3	Quantidade (m2)	%	Acompanhamento
101 - PNE	50,91	0,37%	
102 - PNE	50,91	0,37%	
103 - PNE	50,91	0,37%	
104 - PNE	50,91	0,37%	
201	50,91	0,37%	
202	50,91	0,37%	
203	50,91	0,37%	
204	50,91	0,37%	
301	50,91	0,37%	
302	50,91	0,37%	
303	50,91	0,37%	
304	50,91	0,37%	
401	50,91	0,37%	
402	50,91	0,37%	
403	50,91	0,37%	
404	50,91	0,37%	
501	23,29	0,17%	
502	23,29	0,17%	
503	23,29	0,17%	
504	23,29	0,17%	
Caixa água	20,61	0,15%	
Total			0,00%

Bloco 4	Quantidade (m2)	%	Acompanhamento
101 - PNE	50,91	0,37%	
102 - PNE	50,91	0,37%	
103 - PNE	50,91	0,37%	
104 - PNE	50,91	0,37%	
201	50,91	0,37%	
202	50,91	0,37%	
203	50,91	0,37%	
204	50,91	0,37%	
301	50,91	0,37%	
302	50,91	0,37%	
303	50,91	0,37%	
304	50,91	0,37%	
401	50,91	0,37%	
402	50,91	0,37%	
403	50,91	0,37%	
404	50,91	0,37%	
501	23,29	0,17%	
502	23,29	0,17%	
503	23,29	0,17%	
504	23,29	0,17%	
Caixa água	20,61	0,15%	
Total			0,00%

Área Laje m ²	13.868,67
Percentual Executado	

Área Laje Executada m ²	
------------------------------------	--

Planilha de Acompanhamento das Instalações

Instalações Hidráulicas

Prumadas Hidráulicas – Tubulações, Caixas e Conexões Hidráulicas

Atividades	Peso atividades	Avanço atividades	Pavimentos Prontos
Prumadas	23,00%	0,0000%	XX de 80
Distribuição interna de Esgoto	23,00%	0,0000%	XX de 80
Distribuição interna de Água fria	30,00%	0,0000%	XX de 80
Barrilete	10,00%	0,0000%	XX de 15
Intalação Hidráulica no Radier	14,00%	0,0000%	XX de 15
Avanço Geral →		0,0000%	

Instalações Elétricas

Atividades	Peso atividades	Sub atividades	Peso sub atividades	Avanço atividades	Pavimentos prontos
Prumadas e distribuição	30,0%	Radier	7,5%	0,0000%	XX de 15
		Alvenaria e Lajes	22,5%	0,0000%	XX de 80
Enfição	35,0%	Item único	35%	0,0000%	XX de 80
Acabamento	35,0%	Painel quadro medidor bloco	15%	0,0000%	
		Montagem dos disjuntores, tomadas, interruptores e acabamentos.	20%	0,0000%	
Avanço Geral →				0,0000%	