

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Débora da Rosa Dadalt

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS CONSTRUTIVOS
DE ALVENARIA ESTRUTURAL E PAREDES DE CONCRETO
SOB OS ASPECTOS DE CUSTO E PRAZO: ESTUDO DE
CASO DE UM EMPREENDIMENTO DE HABITAÇÃO DE
BAIXA RENDA**

Porto Alegre

Novembro 2020

DÉBORA DA ROSA DADALT

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS
CONSTRUTIVOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL E
PAREDES DE CONCRETO SOB OS ASPECTOS DE CUSTO E
PRAZO: ESTUDO DE CASO DE UM EMPREENDIMENTO DE
HABITAÇÃO DE BAIXA RENDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil

Orientador: Carlos Torres Formoso

Porto Alegre

Novembro 2020

DÉBORA DA ROSA DADALT

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS
CONSTRUTIVOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL E
PAREDES DE CONCRETO SOB OS ASPECTOS DE CUSTO E
PRAZO: ESTUDO DE CASO DE UM EMPREENDIMENTO DE
HABITAÇÃO DE BAIXA RENDA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Torres Formoso (UFRGS)
Ph.D. pela University of Salford, Grã-Bretanha
Orientador

Prof. Iamara Rossi Bulhões (UFRGS)
Dra. pela Universidade Estadual de Campinas

Tatiane Righi Scaramussa (Mutual Engenharia)
M.Sc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais e meus queridos
irmãos que sempre me incentivaram a buscar
conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por me proporcionar um ensino gratuito e de qualidade, me dando a oportunidade de usufruir de sua estrutura e educação de excelência.

Agradeço a todos os professores dos quais tive a oportunidade de ser aluna, por contribuírem para meu desenvolvimento profissional e pessoal. Em especial, ao professor Carlos Torres Formoso, que me acompanha desde o início da graduação na iniciação científica, durante o estágio, nas disciplinas eletivas e no meu trabalho de conclusão de curso. Sou grata por todas as orientações, contribuições e correções deste trabalho e, principalmente, pela confiança depositada em mim durante todos estes anos.

Agradeço à Construtora pela oportunidade de realizar este trabalho, em especial aos diretores e à minha gestora Natacha, que esteve comigo desde o início do estágio e que sempre foi um exemplo de profissional para mim. Obrigada por sempre me apoiar e, principalmente, por todos os ensinamentos. Obrigada Hemanuel por acreditar em mim e me incentivar sempre, e pelas contribuições importantes para o desenvolvimento deste trabalho. Também agradeço à Taíse, Fernanda e Pedro, companheiros diários de trabalho, pelo trabalho em equipe, pelas palavras de apoio e por tornar este momento um pouco mais leve.

Agradeço à toda minha família, em especial meus pais Jorge Dadalt e Georgina Dadalt, pelo apoio, amor e colo de sempre. Sou muito grata pela educação que me deram e por me incentivarem a ser uma pessoa que busca a excelência. Obrigada aos meus companheiros para a vida toda, manos Diogo Dadalt, Vanessa Dadalt e Vítor Dadalt, pelo exemplo que representam para mim, por me amarem do jeito que eu sou, e pela ajuda essencial para tornar meu sonho em realidade. Obrigada Gladis Rigolli, pela ajuda e paciência durante todos os anos de graduação e curso pré-vestibular. Teu acolhimento também foi essencial para a realização deste sonho.

Agradeço ao meu namorado Eduardo Sfreddo, pelo amor e paciência nos momentos mais difíceis. Obrigada por estar sempre ao meu lado e pelos conselhos valiosos. Obrigada também Irene Sfreddo e Daniel Sfreddo por me acolherem na família.

Agradeço a todos meus companheiros de jornada desde o primeiro semestre, em especial aos meus grandes amigos Alessandro Franchetto, Alexandre Carvalho, Bianca Morandi, Émili Cappelari e Taíse Dalmás. Obrigada por tornarem essa caminhada mais leve e divertida.

Eu quero ser tudo que sou capaz de me tornar

Katherine Mansfield

RESUMO

Por apresentarem margens de lucro pequenas, os empreendimentos de habitações de baixa renda demandam das empresas que trabalham nesse segmento a busca por processos construtivos alternativos que visam ao aumento da produtividade, a racionalização e industrialização da construção, redução de prazos e custos. Nesse contexto, os processos construtivos de alvenaria estrutural e parede de concreto vêm sendo largamente utilizados. Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo entre esses dois processos construtivos, sob os aspectos de custo e prazo de execução, além de realizar uma análise geral dos riscos de cada processo construtivo. Para elaborar o estudo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os dois processos construtivos, com foco nas principais premissas de projeto, em seus componentes e sua forma de execução característica. O desenvolvimento deste trabalho foi baseado em um modelo que propõe a integração da gestão de custos ao planejamento e controle da produção, com apoio de BIM. Para o planejamento de longo prazo foi utilizada a abordagem do planejamento baseado na localização, que considera a relação entre local e tempo, por meio da ferramenta de linha de balanço, que permite a visualização dos fluxos de trabalho e do produto. Os sistemas de gestão de custos tradicionais não são aptos a lidar com a dinâmica, interdependência e complexidade dos processos que definem os custos ao longo do tempo. Por isto, buscou-se formas alternativas de modelagem de custos que consideram variáveis relativas à gestão da produção. Para o planejamento de custos foi elaborado um orçamento com visão operacional, com o qual foi possível integrar o planejamento da produção e classificar os custos para melhor análise dos mesmos, resultando numa análise comparativa de custos mais consistente. Como resultado, o processo construtivo de paredes de concreto apresentou 3% de economia em relação à alvenaria estrutural, assim como uma redução do tempo de ciclo do pavimento da torre, que é 70% menor nas paredes de concreto.

Palavras-chave: paredes de concreto, alvenaria estrutural, gestão de custo, planejamento e controle da produção, planejamento baseado na localização, PMCMV.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Obra em alvenaria estrutural	24
Figura 2 – Estrutura laminar alvenaria estrutural	25
Figura 3 – Tipos de blocos cerâmicos	29
Figura 4 – Etapas de execução da alvenaria estrutural	32
Figura 5 – Primeira fiada em alvenaria estrutural	33
Figura 6 – Configuração castelo da alvenaria	34
Figura 7 – Grauteamento e inspeção do graute por janela no pé do bloco.....	34
Figura 8 – Obra em parede de concreto.....	36
Figura 9 – Armadura das paredes montada com instalações embutidas	41
Figura 10 – Forma de plástico	43
Figura 11 – Forma de alumínio	43
Figura 12 – Pontos de concretagem.....	47
Figura 13 – Concretagem de paredes	48
Figura 14 – Exemplo de curva ABC	55
Figura 15 – Parte do modelo de Sauer (2020).....	62
Figura 16 – Classificação dos custos por Sauer (2020).....	65
Figura 17 – Resumo do método de trabalho.....	68
Figura 18 – Planta de implantação do empreendimento.....	70
Figura 19 – Planta baixa pavimento tipo	70
Figura 20 – Implantação de fases e canteiro da obra.....	72
Figura 21 – Modelos 3D desenvolvidos para o estudo.....	73
Figura 22 – Fluxo de trabalho do <i>software Vico Office</i>	73
Figura 23 – Itens de custo do orçamento referente ao gesso liso (exemplo).....	76
Figura 24 – Características da estrutura em alvenaria estrutural.....	78
Figura 25 – Características da estrutura em paredes de concreto moldadas no local.....	79
Figura 26 – Formas de alumínio previstas	82
Figura 27 – Divisão da LBS	83
Figura 28 – Processos de produção definidos para cada processo construtivo	84
Figura 29 – Integração orçamento (5D) e processos (4D).....	85
Figura 30 – Sequenciamento dos processos de produção da Alvenaria Estrutural para uma unidade base de pavimento.....	86
Figura 31 – Sequenciamento dos processos de produção da Parede de Concreto para uma unidade base de pavimento.....	87
Figura 32 – Sequenciamento dos processos de produção de fundações.....	87
Figura 33 – Sequenciamento dos processos de produção de telhado	87
Figura 34 – Escopo do processo de produção da estrutura da Alvenaria Estrutural	88
Figura 35 – Sequência das equipes de alvenaria e laje.....	89
Figura 36 – Módulos de concretagem	89
Figura 37 – Escopo do processo de produção da estrutura da Parede de Concreto	90
Figura 38 – Esquema comparativo de parte do planejamento da estrutura para os dois processos construtivos	91

Figura 39 – Foto da obra da estrutura em Parede de Concreto e Alvenaria Estrutural	92
Figura 40 – Plano de longo prazo da infraestrutura e áreas comuns da Alvenaria Estrutural ..	93
Figura 41 – Plano de longo prazo da infraestrutura e áreas comuns da Parede de Concreto ...	93
Figura 42 – Exemplos de <i>buffers</i> entre atividades na Alvenaria Estrutural	95
Figura 43 – Exemplos de <i>buffers</i> entre atividades na Parede de Concreto.....	96
Figura 44 – Exemplo de folgas causadas pelo fluxo ininterrupto entre as equipes.....	98
Figura 45 – Comparativo de custos da Habitação	101
Figura 46 – Comparativo de custos de material e mão de obra da Estrutura	103
Figura 47 – Custo versus tempo da Estrutura para 1 torre	103
Figura 48 – Comparação entre linhas de balanço.....	106
Figura 49 – Parte do relatório de Custo dos Processos.....	107
Figura 50 – Curva ABC de Material e Mão de Obra da Alvenaria Estrutural	107
Figura 51 – Curva ABC de Material e Mão de Obra da Parede de Concreto	107
Figura 52 – Histograma de funcionários da administração do canteiro de obras.....	111
Figura 53 – Classificação de custos Alvenaria Estrutural	113
Figura 54 – Classificação de custos Paredes de Concreto.....	113
Figura 55 – Classificação de custos (comparativo).....	114
Figura 56 – Comparativo de curvas de agregação de recursos.....	116
Figura 57 – Comparativo de desembolso mensal e curva S	117
Figura 58 – Comparativo de desembolso mensal Habitação.....	117
Figura 59 – Comparativo de desembolso mensal Máquinas, Equipamentos e Ferramentas..	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ferramentas e equipamentos utilizados na alvenaria estrutural	35
Quadro 2 – Resumo das tipologias de concreto	39
Quadro 3 – Comparativo entre os sistemas de formas	44
Quadro 4 – Grupos de custos propostos por Sauer (2020)	64
Quadro 5 – Faseamento do empreendimento	72
Quadro 6 – Soluções de engenharia para o grupo de custo da Habitação	77
Quadro 7 – Diferença de custo entre os sistemas por grupo de custo	99
Quadro 8 – Diferença de custo da Habitação	100
Quadro 9 – Diferença de custos de material e mão de obra da Estrutura.....	102
Quadro 10 – Custos grupo de custo Máquinas, Equipamentos e Ferramentas	109
Quadro 11 – Custos grupo de custo Instalações Provisórias e Consumos mensais	112
Quadro 12 – Custos influenciados pelo aumento de tempo da estrutura e prazo final da obra	115
Quadro 13 – Número de torres versus diferença de custo entre sistemas	119

LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BIM – *Building Information Modeling* (Modelagem da informação da construção)

CD – Centro de Distribuição

CEF – Caixa Econômica Federal

IGLC – *International Group for Lean Construction* (Grupo Internacional para Construção Enxuta)

LBM – *Location Based Management* (Gestão baseada em localização)

LBS – *Location Breakdown Structure* (Estrutura hierárquica de localização)

LOB – *Line of Balance* (Linha de balanço)

MEP – *Mechanical, Electrical, and Plumbing* (Mecânico, elétrico e hidráulico)

MFP – Mecanismo da Função Produção

NBR – Norma Brasileira

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PLS – Planilha de Levantamento de Serviços

PNE – Portador de Necessidades Especiais

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PSP – Projeto de Sistema de Produção

VO – *Vico Office*

WIP – *Work in progress* (Trabalho em progresso)

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{bk} – Resistência característica do bloco cerâmico

f_{ck} – Resistência característica do concreto

m – Metro

cm – Centímetro

MPa – Megapascal

kg/m² – Quilograma por metro quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 MOTIVAÇÃO PESSOAL	16
1.2 CONTEXTO.....	16
1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO	19
1.3.1 Objetivo principal.....	19
1.3.2 Objetivos secundários.....	19
1.4 DELIMITAÇÕES.....	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 PROCESSOS CONSTRUTIVOS	20
2.1 PROCESSO E SISTEMA CONSTRUTIVO	21
2.2 INDUSTRIALIZAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO	22
2.3 ALVENARIA ESTRUTURAL.....	23
2.3.1 Introdução.....	23
2.3.2 Definição	24
2.3.3 Projeto.....	25
2.3.4 Componentes	28
2.3.4.1 Blocos	29
2.3.4.2 Argamassa de assentamento	30
2.3.4.3 Graute	31
2.3.4.4 Armadura.....	31
2.3.5 Execução.....	31
2.4 PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL	35
2.4.1 Introdução.....	35
2.4.2 Definição	37
2.4.3 Projeto.....	37
2.4.4 Componentes	39
2.4.4.1 Concreto	39
2.4.4.2 Aço	40
2.4.4.3 Formas	41
2.4.5 Execução.....	45

3 INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DE CUSTOS E PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	49
3.1 GESTÃO DE CUSTOS	50
3.1.1 Introdução	50
3.1.2 Orçamento	51
3.1.3 Curva de agregação de recursos	53
3.1.4 Curva ABC	54
3.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	55
3.2.1 Elementos da gestão da produção.....	55
3.2.2 Conceitos básicos de gestão da produção.....	57
3.2.3 PCP baseado na localização	58
3.3 MODELO PARA INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DE CUSTOS AO PCP BASEADO EM LOCALIZAÇÃO COM APOIO DE BIM	60
3.3.1 Introdução.....	60
3.3.2 Descrição do modelo	61
4 DESCRIÇÃO DO ESTUDO.....	67
4.1 VISÃO GERAL DO MÉTODO DE TRABALHO.....	68
4.2 A EMPRESA.....	69
4.3 O EMPREENDIMENTO	70
5 RESULTADOS	71
5.1 ENTRADA DE DADOS	71
5.2 PROCESSOS DE CUSTOS	74
5.2.1 Grupo de Custo Habitação.....	76
5.2.2 Grupo de Custo Máquinas, Equipamentos e Ferramentas.....	81
5.2.3 Grupo de Custo Administração da Obra	82
5.2.4 Grupo de Custo Instalações Provisórias e Consumos Mensais	82
5.3 PROCESSOS DE PCP	83
5.3.1 Definição da LBS e dos processos e durações	83
5.3.2 Sequência executiva	86
5.3.3 Elaboração do plano de longo prazo.....	88

5.3.3.1 Estrutura	88
5.3.3.2 Fundações e infraestrutura.....	92
5.3.3.3 Acabamentos e instalações	95
5.4 INTEGRAÇÃO CUSTO – PCP	98
6 ANÁLISE COMPARATIVA	99
6.1 ANÁLISE DO GRUPO DE CUSTO HABITAÇÃO.....	100
6.2 ANÁLISE DA CLASSIFICAÇÃO ABC.....	106
6.3 ANÁLISE DO GRUPO DE CUSTO MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS	109
6.4 ANÁLISE DO GRUPO DE CUSTO ADMINISTRAÇÃO DA OBRA.....	110
6.5 ANÁLISE DO GRUPO DE CUSTO INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS E CONSUMOS MENSAIS.....	111
6.6 CLASSIFICAÇÃO DOS CUSTOS	112
6.7 FLUXO DE DESEMBOLSO MENSAL	115
6.8 ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	118
6.9 ANÁLISE GERAL.....	119
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
REFERÊNCIAS	125
APÊNDICE A – Orçamento executivo habitação	136
APÊNDICE B – Linhas de fluxo	140

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO PESSOAL

O desenvolvimento deste trabalho foi motivado principalmente pela vivência prática da autora, que é colaboradora da empresa construtora escolhida para este estudo, na área de planejamento e controle de custo e prazo das obras. A empresa está lançando, pela primeira vez, um empreendimento em paredes de concreto, sendo seus últimos empreendimentos construídos em alvenaria estrutural. Esse fato despertou o interesse da autora para entender melhor os dois processos construtivos, consolidar o conhecimento sobre planejamento de custo e prazo de obras e, por fim, contribuir para a empresa com uma análise comparativa mais sólida entre os dois processos construtivos.

1.2 CONTEXTO

A construção civil tem papel relevante no processo de crescimento do Brasil, pela geração de empregos e ganhos significativos em escala para o comércio e a indústria nacional (ABDI, 2015). Segundo Monteiro Filha, Costa e Rocha (2010), esse setor possui um longo caminho a ser percorrido, mas existem interesses comuns e ações em desenvolvimento entre empresas e governo, que possibilitam que a construção civil se modernize, aumente sua produtividade e passe a desenvolver atividades inovadoras que busquem a racionalização, a padronização e o aumento de escala, com sustentabilidade.

Segundo estimativa da Fundação João Pinheiro (2018) em relação ao estoque de domicílios particulares permanentes e improvisados do país, o déficit habitacional no Brasil para 2015 (último ano de dados) corresponde a 9,3%. Com o objetivo de reduzir o déficit habitacional no Brasil, o programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) foi lançado em 2009 pelo Governo Federal, oferecendo condições atrativas para o financiamento de moradias nas áreas urbanas para famílias de baixa renda, surgindo como uma oportunidade não apenas para quem deseja ter acesso à casa própria por meio de financiamento, mas também para incorporadoras e investidores do setor imobiliário (URBE.ME, 2019).

Os empreendimentos do PMCMV são caracterizados pelo número expressivo de unidades, geralmente padronizadas e de alta repetitividade, com curto prazo para execução e baixo preço de venda. Em função dos limites de financiamento por unidade, as margens de lucro proporcionadas por esses empreendimentos são bastante reduzidas, forçando as empresas a

obterem um sólido conhecimento sobre os custos de produção e a gestão dos prazos de construção, como forma de minimizar a incidência de custos fixos (SAUER, 2020).

Com o passar dos anos, a indústria da construção civil vem aperfeiçoando seus métodos construtivos em busca da elevação da qualidade de seus produtos e serviços através de ações focadas na redução de prazos e custos (BERR; FORMOSO, 2012). As constantes dificuldades devido ao aumento gradual da concorrência e dos níveis de exigência construtiva têm provocado nas empresas construtoras uma mudança nas estratégias, de forma a possibilitarem a introdução de melhorias na produção, empregando alternativas que levem à racionalização do processo (MOHAMAD; RIZZATTI, 2013a). Utilizando sistemas construtivos racionalizados, as empresas buscam transformar os canteiros de obras comparados à linhas de montagem, aumentando a produtividade, reduzindo custos e melhorando a qualidade (ABCP, 2012).

Dada a crescente industrialização dos processos na construção civil, buscam-se alternativas mais adequadas em relação à construtibilidade de métodos e vantagens econômicas de acordo com a tipologia e dimensão das obras, sendo essencial a definição do sistema estrutural para o custo final do empreendimento (ZILLI, 2017). Nesse contexto, os processos construtivos racionalizados de alvenaria estrutural e parede de concreto vêm sendo largamente utilizados em construções de habitações de baixa renda (ALEXANDRE, 2008; BERR, 2016; MONGE; MAYOR; SILVA, 2018).

Segundo Freire, Pugliesi Filho e Albessú (2018), a alvenaria como estrutura é provavelmente um dos sistemas construtivos mais antigos do mundo, existente desde as primeiras civilizações quando se buscava uma forma de organizar blocos de pedras e criar abrigos. Hoje, trata-se de um sistema complexo que agrega cálculos específicos, blocos industrializados com grande resistência e precisão geométrica, modularidade, racionalização e planejamento. Já a construção em grande escala de unidades habitacionais em parede de concreto tem sido um marco de ruptura nos padrões tecnológicos e de mercado para o setor de construção no Brasil (LIMA; COSTA, 2018). Estima-se que, em 2014, o sistema já estava presente em 36% das unidades produzidas pelo programa PMCMV, apresentando-se como solução técnica alinhada com as necessidades do país (MONGE; MAYOR; SILVA, 2018).

Os dois sistemas representam grande importância para a habitação de baixa renda e possuem vantagens e desvantagens semelhantes frente à sistemas convencionais, como estrutura armada de concreto com vedação em alvenaria, por apresentarem maior velocidade de execução e

menores custos (RICHTER, 2007; ARCARI, 2010; DORNELLES, 2012; GONÇALVES, 2016, MORAES, 2018).

Entre os dois processos, a alvenaria estrutural é mais conhecida pelos construtores, empregando atualmente muitos trabalhadores, sendo reconhecida por possuir bom desempenho termoacústico. No entanto, ainda é um sistema que se caracteriza como uma atividade mais artesanal, tendo mais margem para improvisações.

O sistema construtivo de paredes de concreto ainda aparece no Brasil como um sistema novo e pouco conhecido perante a maioria dos construtores, mas é reportada como uma opção que possui alta velocidade de execução devido ao seu maior grau de industrialização, requer uma equipe reduzida e multifuncional de execução, gera menos resíduos de material e necessita de uma quantidade reduzida de acabamentos (ABCP, 2009). Porém, apresenta alto custo inicial de investimento e sua viabilidade se dá apenas na produção repetitiva e em grande escala, possui desempenho termoacústico ainda muito questionado, como também torna possíveis problemas na estrutura e instalações embutidas mais difíceis de serem reparados.

Os investimentos no setor da construção civil envolvem riscos financeiros e recursos de montantes significativos (ARAUJO; JUNIOR, 2017) e a etapa de concepção de um empreendimento é quando se tem maior influência na redução do seu custo total, a um baixo custo de investimento (KERN, 2005). O estudo comparativo possibilita conhecer as técnicas construtivas, suas características específicas, custos de produção e velocidade de construção, o que auxilia na escolha do método para o tipo de projeto a ser utilizado pelas construtoras, considerando o equilíbrio entre custos, tempo de execução e qualidade da obra (ZILLI, 2017).

No entanto, os sistemas de gestão de custos tradicionais não são aptos a lidar com a dinâmica, interdependência e complexidade dos processos que definem os custos ao longo do tempo (KERN, 2005). Como consequência, a informação gerada por esses sistemas tem limitado uso como apoio à tomada de decisões para os gestores (KERN, 2005). Por isso, é importante buscar formas alternativas de gestão de custos que busquem maior consideração dos aspectos da produção.

O desenvolvimento deste trabalho foi baseado no modelo para integração da gestão de custos ao planejamento e controle da produção (PCP) baseado em localização com apoio de BIM, proposto por Sauer (2020). Este modelo considera a integração dos processos de gestão de custos e planejamento e controle da produção, a partir de uma estrutura de modelagem de custos

que explicita os custos de algumas atividades cujos custos não variam diretamente com as quantidades produzidas, permitindo uma análise mais transparente e de acordo com a realidade do ambiente da construção.

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.3.1 Objetivo principal

O objetivo do presente trabalho é realizar um estudo comparativo entre os sistemas construtivos de alvenaria estrutural e paredes de concreto armado moldadas no local para a tipologia de edifícios de apartamentos, sob os aspectos de custo e prazo de execução, analisando suas vantagens e desvantagens.

1.3.2 Objetivos secundários

Considerando que o estudo será realizado numa construtora que nos últimos anos utiliza o sistema de alvenaria estrutural em seus empreendimentos, esse trabalho visa também avaliar a viabilidade da troca desse sistema para paredes de concreto, sob os aspectos já citados.

O estudo pretende avaliar os impactos no custo de um empreendimento de habitação de baixa renda, frente a cada sistema construtivo, identificando os custos diretos proporcionais às quantidades de projeto (material e mão de obra), como também os custos vinculados à duração das tarefas e ao tempo total de obra, tais como equipe gerencial de obra e equipamentos de suporte à construção. Assim, o trabalho pretende contribuir também em relação à proposta de uma comparação de custos mais consistente.

A avaliação busca entender também os impactos da redução do tempo de ciclo de execução e a simplificação de atividades através da redução do número de passos ou partes, por meio da análise de cenários de execução de cada processo executivo.

1.4 DELIMITAÇÕES

O estudo delimita-se à comparação entre dois sistemas construtivos quanto aos custos e prazos para execução de um empreendimento de habitação de baixa renda de tipologia de edifícios de apartamentos. Não foram realizadas avaliações sob o aspecto de desempenho das edificações, tais como conforto térmico, conforto acústico, e durabilidade, decorrentes das características de cada sistema construtivo. O empreendimento está em fase lançamento e a obra tem seu início previsto para 2021, em paredes de concreto, na Região Metropolitana de Porto Alegre (RS).

Os dados necessários à realização deste trabalho foram obtidos da empresa construtora, sediada na cidade de Porto Alegre (RS), que possui larga experiência no sistema construtivo de alvenaria estrutural. Já para as paredes de concreto, os dados foram estimados através de fornecedores e entrevistas com especialistas da área, como também pela literatura existente. A autora deste estudo faz parte do corpo de colaboradores da empresa, assim, muitos dados foram levantados informalmente, como também pode trazer um viés a análise dos resultados.

Como o empreendimento estará em fase de lançamento até o final deste trabalho, não serão levantados dados reais de execução da obra, portanto, a análise está limitada apenas à projeção de custos e prazos.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A primeira etapa do trabalho consistirá na revisão bibliográfica na qual são apresentados: (a) os conceitos de processo e sistema construtivo e de industrialização e racionalização; (b) as características de cada processo construtivo em relação a projeto, seus componentes principais e a forma de execução; (c) revisão bibliográfica sobre o planejamento de custos e da produção.

A segunda etapa do trabalho apresentará as características do empreendimento analisado e o contexto da empresa no qual o projeto está inserido. Essa etapa também apresentará a descrição detalhada das etapas do estudo.

A última etapa apresentará os resultados obtidos em relação aos custos e prazo do empreendimento para cada processo construtivo de acordo com as considerações feitas. Por fim, será realizada uma análise comparativa dos resultados através de gráficos e quadros comparativos, destacando as vantagens e desvantagens de cada processo construtivo. Em seguida, serão discutidas as considerações finais para o estudo.

2 PROCESSOS CONSTRUTIVOS

O presente capítulo apresenta os conceitos de processo e sistema construtivo (seção 2.1), como também uma breve discussão sobre industrialização e racionalização na construção (seção 2.2).

Nas seções 2.3 e 2.4 são apresentados os dois processos construtivos comparados neste estudo, através de um breve histórico de cada um, seguido de recomendações técnicas de projeto, seus componentes principais e, por fim, a forma recomendada de execução.

2.1 PROCESSO E SISTEMA CONSTRUTIVO

Segundo Sabbatini (1989), processo construtivo é um modo organizado e bem definido de se construir um edifício e caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizado na construção da estrutura e das vedações do edifício. O mesmo autor define sistema construtivo como um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.

Um estudo da ABDI (2015) define processo construtivo como formado por: entradas ou insumos (materiais, componentes, energia, água, mão de obra e equipamentos) e processos de transformação (mais ou menos elaborados – equipamentos manuais ou mecânicos, ou tecnologias mais ou menos avançadas ou industrializadas) de acordo com um projeto e planejamento, e, como saídas ou resultados, tem-se o produto/edificação.

Para Koskela (1992) um processo de produção é um fluxo de materiais ou informações desde a matéria-prima até o produto final, sendo esse formado pelas atividades de processamento (correspondentes à transformação), inspeção, movimento e espera. As atividades de movimentação, espera e inspeção, são denominadas atividades de fluxos, e não agregam valor ao produto do ponto de vista do cliente (KOSKELA, 1992). Em processos complexos, como é o caso da construção de edificações, a maior parte dos custos é originada das atividades que não agregam valor (BULHÕES, 2009).

Sabbatini (1989) cita o exemplo de um processo construtivo de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, o qual está se referindo a um bem definido modo de se construir a estrutura e as vedações de um edifício com o emprego de paredes resistentes de alvenaria executadas com um determinado bloco cerâmico. Semelhantemente, se a referência for a um processo construtivo de paredes maciças de concreto, refere-se a um específico conjunto de métodos construtivos empregado na elevação de um edifício e que se caracteriza por possuir paredes estruturais de concreto armado moldadas *in loco*.

San Martin (1999) critica a definição de sistema construtivo por Sabbatini (1989), no sentido que envolve um certo grau de subjetividade quanto à interpretação do que são, na prática, elevados níveis de industrialização. Além disso, a definição de processo construtivo, utilizada pelo mesmo autor, não se harmoniza com a definição de processo dentro do paradigma apresentado por Koskela (1992) (SAN MARTIN, 1999). Por fim, a definição de San Martin

(1999) para sistema construtivo é: “conjunto de técnicas, elementos e intervenientes que interagem entre si de forma a construir uma edificação”.

Já a ABNT NBR 15575-1:2013 define sistema como "maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a atender a uma macrofunção que o define (por exemplo, fundação, estrutura, pisos, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura)". Segundo a mesma norma, componente é uma "unidade integrante de determinado sistema da edificação, com forma definida e destinada a atender funções específicas (por exemplo, bloco de alvenaria, telha, folha de porta)"; e elemento é uma "parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (por exemplo, parede de vedação de alvenaria, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura)".

2.2 INDUSTRIALIZAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO

Segundo a ABDI (2015), a construção executada com processo convencional é ainda largamente utilizada no Brasil, e é frequentemente marcada por processos com altos custos, baixo nível de planejamento, baixa qualificação do trabalhador, altos índices de desperdícios, baixa qualidade e incidências de manifestações patológicas e baixo desempenho ambiental. Para o mesmo autor, é fundamental que o setor inove para deter o domínio de produção, empregando os princípios do processo de industrialização de forma estruturada, com gestão planejada de produção e com planejamento do fluxo de produção.

Sabbatini (1989) diz que a industrialização da construção é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva. Industrializar a construção civil, segundo o mesmo autor, tem por objetivo construir mais e melhores edificações pelo mesmo custo ou construir a mesma quantidade, com a mesma qualidade, mas a um menor custo.

Já a racionalização construtiva é um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases (SABBATINI, 1989).

Lessing (2015) apresenta um conceito amplo e atualizado da construção industrializada com foco no processo e não no projeto. Para a mesma autora, a construção industrializada constitui um processo sistemático, controlado e padronizado de produção de sistemas de construção bem definidos, que permite monitorar e reunir experiências do projeto, produção e montagem do sistema de construção como base para melhorias contínuas, independentemente de os produtos serem fabricados fora da obra (fábrica) ou manualmente produzidos no local.

Semelhante aos sistemas de produção na manufatura, sistemas de produção para construção também fornecem resultados de manufatura em diferentes níveis, indicando que a escolha do sistema de produção afetará a competitividade da empresa (JONSSON; RUDBERG, 2014).

2.3 ALVENARIA ESTRUTURAL

2.3.1 Introdução

A alvenaria é um sistema construtivo muito tradicional, tendo sido muito utilizado desde o início da atividade humana, através de diversos materiais, como argila, pedra e outros (RAMALHO; CORREA, 2003). Segundo Mohamad e Rizzatti (2013a), o uso de alvenaria estrutural tem milhares de anos de existência e iniciou com a utilização do conhecimento empírico, onde os exemplos mais expressivos do seu uso na Antiguidade são as catedrais. Essas obras, existentes até hoje em excelente estado de conservação, comprovam o potencial, a qualidade e a durabilidade deste processo construtivo.

O sistema construtivo em alvenaria é utilizado no Brasil desde que os portugueses desembarcaram no país no início do século XVI (RAMALHO; CORREA, 2003). Segundo Mohamad e Rizzatti (2013a), a alvenaria no Brasil surgiu como uma técnica de construção apenas no final da década de 1960. Apesar de sua chegada tardia, o sistema acabou se firmando como uma alternativa eficiente e econômica para a execução de edificações residenciais e também industriais, e acabou sendo muito bem aceito, o que se pode perceber principalmente pelo número de empresas produtoras de blocos existentes na atualidade (RAMALHO; CORREA, 2003).

Segundo Santos (1998), em meados da década de 60 foi introduzida a alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, em prédios de até 4 pavimentos, com tecnologia e procedimentos baseados em normas estrangeiras. A partir desse momento, os processos em alvenaria estrutural, empregando também blocos sílico-calcários e blocos cerâmicos, começaram a ser

utilizados em escala crescente, principalmente no estado de São Paulo, com base em normas americanas, inglesas e alemãs, entre outras (SANTOS, 1998). Hoje, no Brasil, é um sistema bem consolidado, com investimentos em materiais e equipamentos específicos, e normas técnicas atualizadas, sendo referência no mercado mundial (FREIRE; PUGLIESI FILHO; ALBESSÚ, 2018).

Figura 1 – Obra em alvenaria estrutural



(fonte: Construtora)

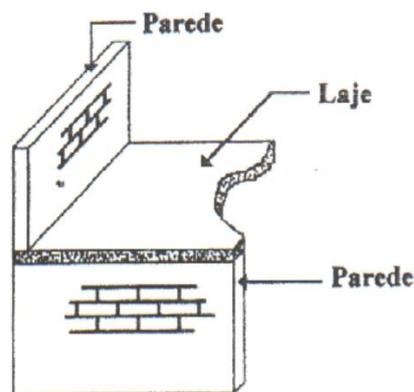
2.3.2 Definição

Sabbatini (2002) define a alvenaria como um componente complexo, constituído por tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. Camacho (2006) conceitua a Alvenaria Estrutural como um processo construtivo no qual, os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, sendo os mesmos projetados, dimensionados e executados de forma racional. A ABNT NBR 15270-1:2017 define alvenaria racionalizada como "alvenaria, participante ou não da estrutura, construída a partir de um projeto específico (projeto de produção) contendo compatibilização com instalações, coordenação modular e demais detalhes necessários para uma execução com o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis".

Segundo Sabbatini (1984), a alvenaria estrutural pode ser armada ou não armada. No Brasil, a alvenaria estrutural armada é executada com blocos vazados de concreto ou blocos vazados de cerâmica. A armadura, de barras de aço, é introduzida em certas cavidades e totalmente envolta com argamassa de injeção (graute). Essa tipologia que será estudada neste trabalho.

Manzione (2004), entende a alvenaria estrutural como um sistema construtivo completo, com alto grau de racionalidade, que suporta e organiza os outros subsistemas da edificação. Este sistema demanda forte integração entre os projetos e mantém o foco no processo de produção sendo fundamental o equacionamento da sua interface projeto-execução (MAZIONE, 2004). Sobre o aspecto de projeto, a principal característica da alvenaria estrutural é ter toda a carga do edifício transferida das lajes para as paredes portantes, que trabalham basicamente à compressão (MAZIONE, 2004). Segundo Duarte (1999 apud RICHTER, 2007, p. 51) o sistema em alvenaria estrutural é denominado laminar (Figura 2), já que tanto as paredes estruturais como as lajes atuam como lâminas.

Figura 2 – Estrutura laminar alvenaria estrutural



(fonte: Richter, 2007)

2.3.3 Projeto

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo onde a unidade básica modular é o bloco e, com a união proporcionada pela argamassa, solidarizam-se formando elementos denominados paredes, responsáveis por absorver a todas as ações atuantes (MOHAMAD; RIZZATTI, 2013a). A modulação é base do sistema de coordenação dimensional utilizado nos edifícios em alvenaria estrutural, daí destaca-se o conceito de coordenação modular, que é a técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares da unidade por meio de um reticulado especial de referência (MOHAMAD; RIZZATTI, 2013a).

Para o projeto de alvenaria estrutural, Rizzatti, Rauber e Mohamad (2013) destacam os seguintes itens a serem considerados:

a) Definição do partido arquitetônico: uma vez que a arquitetura e a estrutura estão inter-relacionadas, aspectos como volumetria, simetria, dimensões máximas dos vãos e a flexibilidade da planta devem ser estudados, como também definidos a forma do prédio, o comprimento e altura total das paredes, que inclui também a disposição das paredes. Parte-se sempre do princípio de que, na construção em múltiplos pavimentos, as paredes do andar sobrejacente devem estar apoiadas sobre as do andar subjacente;

b) A escolha do bloco: a definição do tipo de unidade implica em aspectos técnicos relativos ao próprio projeto (coordenação modular e cálculo estrutural), à execução (particularidades no manuseio e assentamento dos blocos), aspectos econômicos (custo da unidade e consumo de argamassa) e relativos ao desempenho durante a vida útil (desempenho térmico e acústico, estanqueidade à água, durabilidade e resistência ao fogo). Assim, alguns aspectos relevantes para a escolha são: capacidade de seu fornecimento na região onde a edificação será construída; custo das unidades; cultura construtiva da empresa executora; propriedades e características do material;

c) Escolha do tipo de lajes: as lajes maciças armadas nas duas direções são as mais indicadas pela rigidez que conferem na distribuição das solicitações devidas ao vento e as cargas verticais. Por outro lado, como geralmente são moldadas *in loco*, têm o inconveniente de necessitarem de formas, escoramentos, confecção de armaduras mais complexas, o que afeta a execução de obra e diminui a produtividade. Sob essa ótica a utilização de lajes pré-fabricadas é mais apropriada. Contudo, segundo recomendação de Roman, Mutti e Araújo (2015), para garantir o comportamento desejado as lajes adjacentes devem ser interligadas por barras de aço;

d) Vergas e contravergas em portas e janelas: esses elementos atuam de forma a resistir às solicitações de tração nos cantos das aberturas, locais de concentração das tensões. Podem ser constituídos de várias maneiras: blocos do tipo canaleta, devidamente armados e grauteados e peças de concreto armado moldadas *in loco* ou pré-fabricado;

e) Juntas de controle e juntas de dilatação: a primeira, têm por finalidade limitar as dimensões de um painel de alvenaria a fim de evitar elevadas concentrações de tensões decorrentes da variação volumétrica, de origem higroscópica e térmica dos elementos que o compõe. Podem ser utilizadas também para desvincular painéis de alvenaria que apresentam solicitações

diferenciadas, evitando o surgimento de fissuras. A segunda, têm por função absorver os movimentos que possam ocorrer na estrutura proveniente da variação da temperatura;

f) Previsão das instalações: rasgos horizontais ou inclinados nas alvenarias são totalmente indesejáveis, pois geram uma diminuição na capacidade resistente da alvenaria à compressão. Toda e qualquer instalação somente pode ser embutida na alvenaria verticalmente, ou seja, nos furos dos blocos. Assim, a instalação elétrica deve ser distribuída ao longo da laje, sendo os pontos de consumo alimentados por descidas (ou subidas) sempre na vertical. Para a instalação dos pontos elétricos (tomadas ou interruptores) existem blocos especiais que já apresentam o recorte necessário. Contudo, em função do custo do bloco especial ser maior, muitas vezes opta-se por utilizar um bloco convencional, realizando-se posteriormente, o corte na obra; e

g) Escadas: um tipo de escada que pode ser utilizada é a escada de concreto armado moldada *in loco* (apresenta como vantagem a execução sem auxílio de equipamentos especiais e, como desvantagem, a necessidade de execução de formas e escoramento, o que afeta a produtividade). Outro tipo são as escadas tipo jacaré, formada por vigas dentadas "jacaré", degraus, espelhos e patamares pré-moldados (apresenta como vantagem a fácil montagem da escada e, como desvantagem, o fato de ser viável apenas se houver parede central de apoio entre os lances). Por fim, existe o tipo de escada pré-moldada de concreto, que apresenta como vantagem a rapidez de instalação e, como desvantagem, a necessidade de equipamento especial (guindaste) para movimentação das peças.

Ainda sobre as instalações, Rizzatti, Rauber e Mohamad (2013) acrescentam que algumas medidas simples podem facilitar o percurso vertical das instalações: agrupamento das instalações hidrossanitárias de banheiros e cozinhas em parede hidráulica (sem função estrutural), com tubulações passando pelos furos dos blocos; adoção de *shafts* para as tubulações hidrossanitárias. Para possibilitar a trajetória horizontal das tubulações, algumas soluções racionais podem ser adotadas alternativamente aos rasgos na alvenaria: percurso horizontal da tubulação embutida no piso; tubulações executadas sob as lajes, ocultas por forro rebaixado; emprego de blocos mais estreitos na alvenaria, formando reentrâncias para a passagem da tubulação na horizontal; utilização de blocos do tipo canaleta para a passagem de trechos horizontais de tubulação.

A coordenação modular deve ser considerada na definição de vãos de portas e janelas, considerando-se as dimensões externas de marcos e folgas necessárias para a instalação

(RIZZATTI; RAUBER; MOHAMAD, 2013). Se as dimensões usuais das aberturas não obedecerem ao mesmo módulo adotado no projeto das alvenarias ou houver a necessidade de ajuste de dimensões não moduladas dos projetos, a adoção de blocos especiais, chamados compensadores, é uma alternativa para ajustar as dimensões dos vãos (RIZZATTI; RAUBER; MOHAMAD, 2013). Quanto maior a variedade das peças utilizadas na alvenaria, tanto maior a dificuldade de execução e, conseqüentemente, menor o grau de construtibilidade do edifício, o que afeta diretamente a produtividade da obra, como o emprego de muitas peças especiais pode trazer também impactos sobre o custo da edificação (RIZZATTI; RAUBER; MOHAMAD, 2013).

Os encontros entre as paredes e suas amarrações são premissas fundamentais do sistema construtivo em alvenaria estrutural, pois garantem o monolitismo e o acréscimo da rigidez de uma edificação (MOHAMAD; RIZZATTI, 2013a). Dentro dessa perspectiva, percebe-se que é muito importante que o comprimento e a largura dos blocos sejam ou iguais ou múltiplos, de maneira que efetivamente se possa ter um único módulo em planta (RAMALHO; CORREA, 2003). Rizzatti, Rauber e Mohamad (2013) também destacam que uma iniciativa que contribui o incremento da rapidez de execução do edifício é a adoção de plantas simétricas, de onde se conclui que a mão de obra estará mais rapidamente familiarizada com o projeto.

Tendo como referência a coordenação modular em ambas as direções (vertical e horizontal), o projetista deve detalhar as alvenarias, gerando plantas de primeira e segunda fiadas, bem como uma elevação de cada parede (RIZZATTI; RAUBER; MOHAMAD, 2013). Nas elevações devem constar a posição de cada bloco, a existência de pontos elétricos e hidráulicos, vergas, contravergas e armaduras (RIZZATTI; RAUBER; MOHAMAD, 2013).

2.3.4 Componentes

Segundo Ramalho e Correa (2003), entende-se por um componente da alvenaria uma entidade básica, ou seja, algo que compõe os elementos que, por sua vez, compõem a estrutura. Os componentes principais da alvenaria estrutural são: blocos, ou unidades; argamassa; graute e armadura. Já os elementos são uma parte suficientemente elaborada da estrutura, sendo formados por pelo menos dois dos componentes anteriormente citados (RAMALHO; CORREA, 2003). Como exemplo de elementos podem ser citados: paredes, pilares, cintas, vergas, etc.

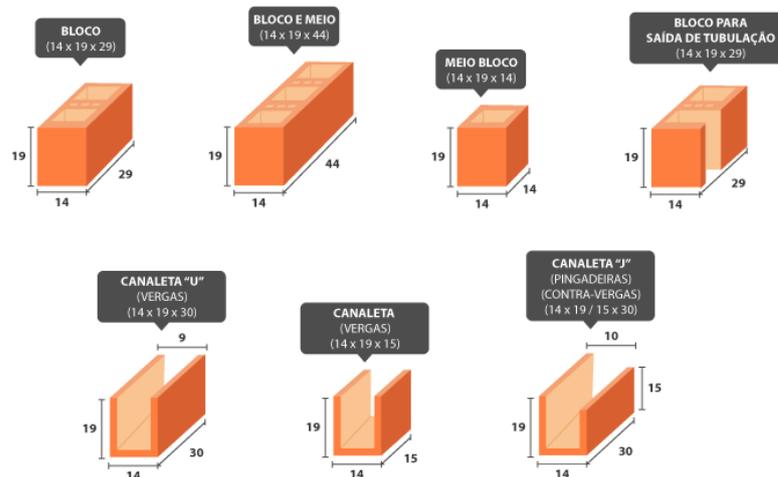
2.3.4.1 Blocos

Segundo Ramalho e Correa (2003), os blocos são os componentes básicos da alvenaria estrutural, sendo os responsáveis por definirem as características resistentes da estrutura. Os blocos são comercializados pela sua resistência característica (f_{bk}), que é medida em relação à sua área bruta (MANZIONE, 2004). Existem 3 tipos de blocos utilizados na alvenaria estrutural: cerâmico, sílico-calcário e concreto. Neste trabalho será estudado apenas o cerâmico, pois é o material atualmente utilizado pela construtora em estudo.

A ABNT NBR 15270-1:2017 especifica os requisitos dimensionais, propriedades físicas e mecânicas de blocos e tijolos cerâmicos a serem utilizados em obras de alvenaria com ou sem função estrutural e executadas de forma racionalizada ou não. A resistência mínima de compressão dos blocos estruturais é de 4 MPa.

A ABNT NBR 15270-1:2017 define os blocos cerâmicos estruturais como "componentes de alvenaria que possuem furos ou vazados prismáticos, perpendiculares às faces que os contêm, produzidos para serem assentados com furos ou vazados na vertical, com propriedades específicas para alvenaria estrutural".

Figura 3 – Tipos de blocos cerâmicos



(fonte: Sienge¹, 2017)

Os principais tipos de blocos cerâmicos estruturais, considerando espessura de 14 cm são (DALDEGAN, 2017):

¹ Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/alvenaria-estrutural/>>. Acesso em: 08 de setembro de 2020.

- a) Bloco inteiro (ou principal): 14x19x29 cm;
- b) Meio bloco: 14x19x14 cm;
- c) Bloco de amarração: 14x19x44 cm;
- d) Canaleta J: 14x19x29 cm;
- e) Canaleta U: 14x19x29 cm;
- f) Canaleta U baixa: 14x09x29 cm;
- g) Compensador: dimensão variável.

Os três primeiros tipos de blocos são os mais utilizados na execução da alvenaria estrutural, considerados os elementos básicos. O bloco de amarração é utilizado especificamente para o encontro de alvenarias. As canaletas são adotadas para a execução de vergas e contra vergas. Essas também são utilizadas para a execução da cinta superior da parede, que receberá a laje. A canaleta em forma de J é específica para a execução de cintas para o apoio das lajes.

O bloco compensador é utilizado em alvenarias que não tenham dimensões adequadas para a utilização dos blocos principais e, também é muito utilizado para complementar paredes de alvenaria com vãos de portas e janelas. Existem também blocos especiais que já possuem a abertura para receber as tubulações e caixas necessárias para as instalações elétricas e hidráulicas.

2.3.4.2 Argamassa de assentamento

A argamassa de assentamento possui as funções básicas de solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar as tensões entre as unidades de alvenaria, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e de vento nas edificações (RAMALHO; CORREA, 2003). Segundo Mohamad e Rizzatti (2013b) é por meio desta que se garantem o monolitismo e a solidez necessária à parede.

Usualmente composta de areia, cimento, cal e água, a argamassa deve reunir boas características de trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade para o desempenho de suas funções (RAMALHO; CORREA, 2003). Manzione (2004) recomenda usar argamassas industrializadas para o assentamento das unidades de alvenaria com o uso de argamassadeiras de eixo horizontal

ao invés de betoneiras convencionais, pois aquelas permitem uma adequada incorporação de ar.

2.3.4.3 Graute

O graute é um concreto com agregados de pequena dimensão e relativamente fluido (RAMALHO; CORREA, 2003). Tem a finalidade de aumentar a capacidade de resistência à compressão da parede e de solidarizar as armaduras à alvenaria, preenchendo as cavidades onde essas se encontram (MOHAMAD; RIZZATTI, 2013b).

Para definição dos traços e, conseqüentemente, das resistências, deve-se considerar dois fatores: a resistência à compressão dos blocos usados e a dosagem da argamassa utilizada na parede (MOHAMAD; RIZZATTI, 2013b). A ABNT NBR 15812-1:2010 recomenda que quando especificado o graute, a influência do mesmo na resistência da alvenaria deve ser devidamente verificada em laboratório nas condições de sua utilização e a avaliação da influência do graute na compressão deve ser feita mediante o ensaio de compressão de prismas.

As principais propriedades que o graute deve apresentar são: consistência, retração e resistência à compressão, essa última, combinada com as propriedades mecânicas dos blocos e da argamassa, definirá as características à compressão da alvenaria (MOHAMAD; RIZZATTI, 2013b).

Para Mazione (2004), sob o aspecto de produtividade da alvenaria, a operação de grauteamento diminui o ritmo da produção, por isso é desejável que o projetista estrutural procure reduzir ao mínimo necessário o uso do graute, o que irá também gerar economia de material.

2.3.4.4 Armadura

As barras de aço são utilizadas juntamente com o graute embutidas nos furos dos blocos e têm como função combater os esforços de tração (MANZIONE, 2004). Esta tensão provocada pelos esforços de tração deve ser compatível com a deformação da alvenaria, sendo adotadas tensões bem baixas (MANZIONE, 2004).

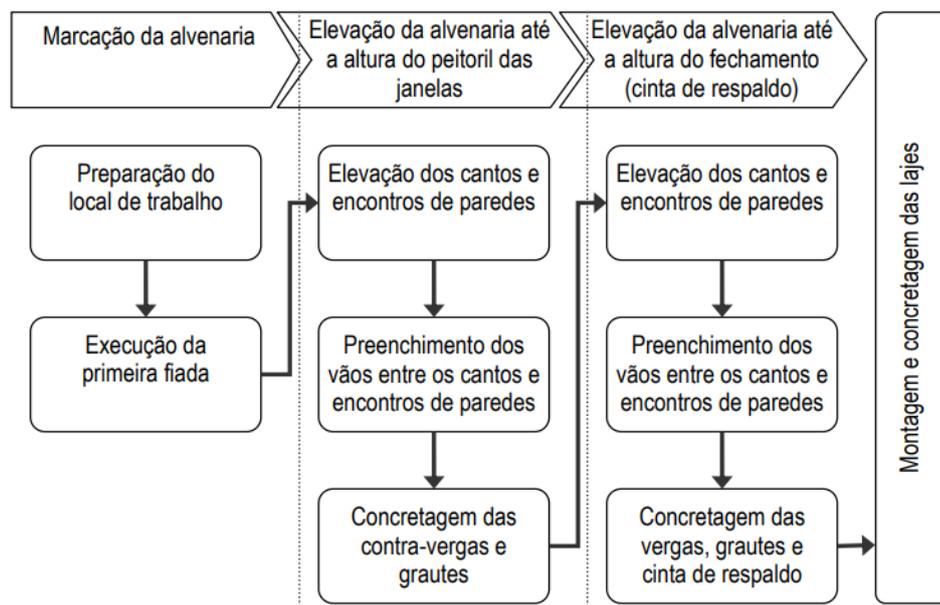
2.3.5 Execução

Segundo a ABNT NBR 15812-2:2010, a execução da alvenaria estrutural só pode ser realizada com base em um projeto estrutural devidamente compatibilizado com os demais projetos complementares. A construção de edifícios em alvenaria estrutural deve ser feita em obediência

a técnicas específicas e métodos construtivos para se obter estruturas seguras, confiáveis e com a durabilidade esperada (SABBATINI, 2002). Mohamad e Rizzatti (2013a) destacam a importância de procedimentos técnicos para a aceitação dos materiais e controle na execução da alvenaria estrutural, pois a falta deles pode comprometer o sistema construtivo.

A execução da alvenaria estrutural está dividida em duas etapas principais: marcação e elevação. A Figura 4 representa de forma esquemática a sequência de execução da alvenaria elaborada por Richter (2007) através de trabalhos de diversos autores.

Figura 4 – Etapas de execução da alvenaria estrutural



(fonte: Richter, 2007)

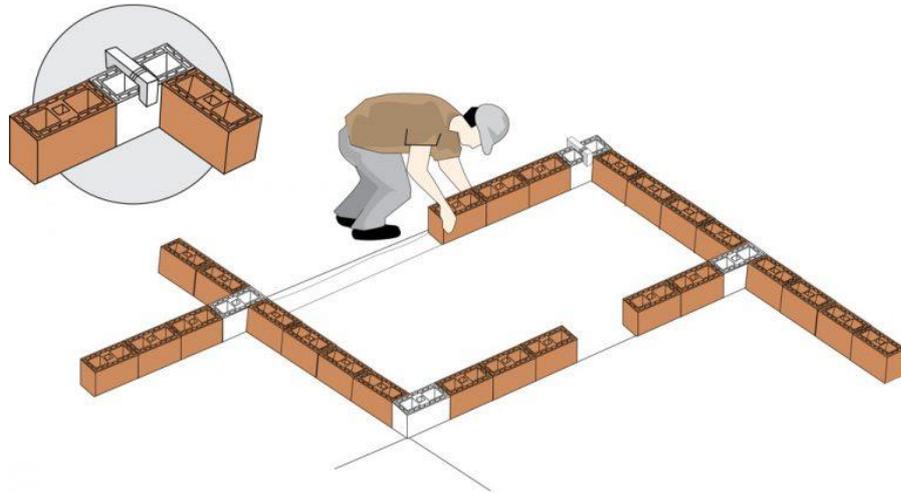
Primeiro é realizada a marcação da alvenaria, constituída da preparação do local de trabalho (limpeza e verificação das condições da laje receber a alvenaria) e execução da primeira fiada. Anteriormente à etapa de marcação propriamente dita, deve-se verificar o esquadro e o nivelamento da laje (RICHTER, 2007).

Para Manzione (2004), as principais verificações a serem feitas na fase de marcação são:

- a) Locação e conferência dos vãos para portas;
- b) Checagem dos pontos a serem grauteados e assentamento de blocos com "janelas" para vazamento do graute;

- c) Posicionamento dos conduítes elétricos;
- d) Verificação geral das cotas.

Figura 5 – Primeira fiada em alvenaria estrutural



(fonte: Guia técnico Estrutural Selecta²)

A marcação da primeira fiada da alvenaria exerce um papel fundamental na resistência, nivelamento, esquadro e planimetria das alvenarias (SANTOS, 1998). A primeira fiada é referência para a elevação das fiadas superiores num mesmo pavimento e, também para a primeira fiada do andar imediatamente superior (ABCP, 2004). Cada bloco estratégico (blocos que definem os encontros das paredes e aberturas) deve ser locado, alinhado, nivelado e apumado (ABCP, 2004). Para execução da primeira fiada é necessário ter em mãos o projeto de execução da primeira fiada (RICHTER, 2007).

Após a marcação, inicia-se a elevação da alvenaria pelas amarrações de cantos e encontros de paredes para posterior preenchimento dos vãos (RICHTER, 2007). A elevação é iniciada pelas paredes externas, deixando-se as saídas para as paredes internas com uma configuração conhecida como "castelo" (MANZIONE, 2004). A concretagem das contravergas e preenchimento dos grautes devem ser realizadas juntamente com o levante da alvenaria (RICHTER, 2007).

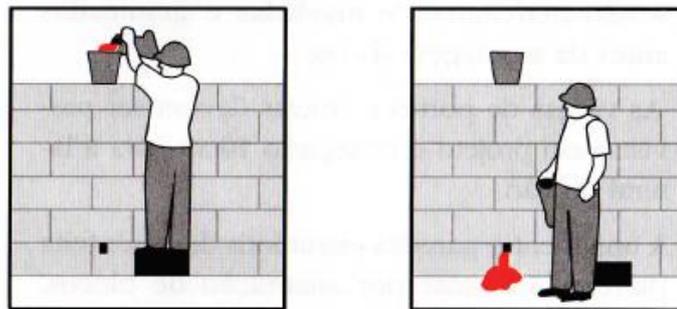
² Disponível em: <<http://www.grupoestrutural.com.br/selecta/guia-tecnico/>>. Acesso em: 11 de setembro de 2020.

Figura 6 – Configuração castelo da alvenaria

(fonte: Fórum da Construção³)

A operação de grauteamento acontece em duas etapas: primeiro, na altura da sétima fiada e, depois, na última fiada (MANZIONE, 2004). Esta operação deve ser feita sempre com a inspeção no pé da parede (Figura 7), realizada através de um furo no bloco da primeira fiada, por onde deverá ocorrer o vazamento; caso não haja vazamento adequado, as obstruções dentro dos furos dos blocos devem ser removidas (MANZIONE, 2004). O prazo mínimo de grauteamento é de 24 horas após a execução da alvenaria (SABBATINI, 2002).

Figura 7 – Grauteamento e inspeção do graute por janela no pé do bloco



(fonte: Manzione, 2004)

Por último, repete-se a sequência de elevação da etapa anterior, mas da altura do peitoril das janelas até a altura do fechamento e finaliza-se com a concretagem da cinta de respaldo. Após a concretagem da cinta, inicia-se a montagem e concretagem das lajes (RICHTER, 2007). As

³ Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=7&Cod=119>>. Acesso em: 11 de setembro de 2020.

verificações de prumo, nível e planicidade deverão ser constantes durante o processo e feitas pelo próprio executor do serviço (MANZIONE, 2004).

A alvenaria estrutural requer uma precisão bastante grande em sua execução, necessitando, além de uma metodologia correta, de equipamentos e ferramentas adequadas (MANZIONE, 2004). Da mesma forma, o canteiro de obras deverá ser organizado e planejado de maneira a permitir as centrais de produção e os estoques de pré-moldados, de blocos, de argamassas e de aços, com estudo criterioso do posicionamento dos equipamentos de transporte horizontal e vertical, principalmente guias e guinchos (MANZIONE, 2004).

Quadro 1 – Ferramentas e equipamentos utilizados na alvenaria estrutural

Ferramentas e Equipamentos	Uso na execução de alvenaria estrutural	
	Serviços de marcação	Serviços de elevação
Colher de pedreiro	x	x
Palheta, Canaleta ou bisnaga		x
Esticador de linha	x	x
Fio traçador de linha	x	
Caixote para argamassa e suporte	x	x
Trena de 5m e 30m	x	x
Nível à laser	x	
Réguas prumo/nível $\geq 1,20m$	x	x
Esquadro (60x80x100)cm	x	
Escantilhão ou régua de marcação	x	x
Carrinho especial - transporte blocos	x	x
Andaimes		x
EPI's	x	x

(fonte: Richter, 2007)

Sabbatini (2002) destaca que devem ser realizados os controles de processo referentes ao recebimento e estocagem de materiais e componentes, à aceitação de alvenaria e à produção de paredes estruturais e da estrutura do edifício, conforme orientações descritas na ABNT NBR 15812-2:2010.

2.4 PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL

2.4.1 Introdução

A construção de unidades habitacionais em paredes de concreto é largamente utilizada em países como Canadá, México, Chile, Colômbia, entre outros desde os anos 40 (ABCP, 2015). Segundo Misurelli e Massuda (2009), o método é inspirado em experiências consagradas e bem-sucedidas de construções industrializadas em concreto celular (sistema Gethal) e concreto convencional (sistema Outinord), que eram mundialmente conhecidas nas décadas de 70 e 80. Porém, devido à falta de escala e continuidade de obras nesses padrões – principalmente com

as limitações financeiras da época – essas tecnologias não se consolidaram no mercado brasileiro (MISURELLI; MASSUDA, 2009).

Embora existam exemplos dessa tecnologia já nos anos 70 e 80, o sistema ganhou corpo no Brasil, de fato, em meados dos anos 2000, inicialmente para atender ao aquecido mercado imobiliário; depois, como uma das principais soluções técnicas adotadas no programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), a partir de 2009 (MONGE; MAYOR; SILVA, 2018). Com o crescimento do mercado imobiliário brasileiro e as contínuas medidas públicas para ampliar a oferta de moradias, o sistema de parede de concreto representa uma solução factível para produção em escala (MISURELLI; MASSUDA, 2009).

A ABNT publicou em 2012, a norma ABNT NBR 16055:2012 – Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. Esta norma estabelece os requisitos básicos para as paredes de concreto moldadas *in loco*, com formas removíveis.

Figura 8 – Obra em parede de concreto



(fonte: Metro Modular⁴)

⁴ Disponível em: <<http://metromodular.com.br/aluguel-formas-paredes-concreto>>. Acesso em: 12 de setembro de 2020.

2.4.2 Definição

A ANBT NBR 16055:2012 define parede de concreto como "elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que dez vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede". Nesse sistema, a vedação e a estrutura da edificação são compostas por um único elemento, moldado em *in loco* (MISURELLI; MASSUDA, 2009). Todas as paredes de cada ciclo construtivo de uma habitação são moldadas em uma única etapa de concretagem, permitindo que, após a desforma, as paredes já contenham em seu interior todos os elementos embutidos: caixilhos de portas e janelas, tubulações de elétrica e hidráulica, elementos de fixação para cobertura, etc. (ABCP, 2009).

2.4.3 Projeto

As estruturas de paredes de concreto projetadas e construídas de acordo a ABNT NBR 16055:2012 devem atender às seguintes premissas básicas:

- a) Comprimento de parede maior ou igual a dez vezes a sua espessura;
- b) Espessura da parede igual ou maior que 10 cm;
- c) Resistência característica à compressão no concreto (f_{ck}) menor ou igual a 40 MPa e atendendo aos requisitos de durabilidade em função da classe de agressividade ambiental;
- d) Consideração, no dimensionamento, dos esforços causados pelas restrições devido aos efeitos da variação volumétrica por retração e dilatação térmica;
- e) Análise dos esforços de torção, quando o centro de gravidade não coincidir com o centro de torção, no caso da utilização de modelos de barras para as paredes.

A espessura mínima das paredes com altura de até 3 m deve ser de 10 cm. Permite-se espessura de 8 cm apenas nas paredes internas de edificações de até dois pavimentos (ABNT NBR 16055:2012). A norma destaca que o projeto de uma estrutura em paredes de concreto deve ser elaborado adotando-se a modulação coordenada conforme a ABNT NBR 15873:2010 – Coordenação modular para edificações. E os projetos de forma, escoramentos, detalhes embutidos ou vazados e os projetos de instalações devem ser validados pelo projetista de estrutura.

A decisão de embutir ou não as instalações nas paredes, deve considerar as exigências de manutenibilidade das instalações hidrossanitárias e elétricas ao longo da vida útil da edificação. As instalações com tubos de grande diâmetro não são embutidas nas paredes, mas sim alojadas em *shafts*, previamente deixados nas paredes, como aberturas (ABNT NBR 16055:2012).

Para prevenir o aparecimento de fissuras, deve ser analisada a necessidade da colocação de juntas verticais. A fissuração da parede pode ocorrer por variação de temperatura, retração, variação brusca de carregamento e variação da altura ou espessura da parede. Na falta de ensaios, deve-se adotar o distanciamento máximo de 8 m entre juntas para paredes internas e 6 m para paredes externas (ABNT NBR 16055:2012).

Em face da dilatação da última laje, deve ser prevista uma junta de controle imediatamente sob esta laje. Sempre que a deformação por efeito da variação da temperatura puder comprometer a integridade do conjunto, recomenda-se o uso de juntas de dilatação a cada 25 m da estrutura em planta e nas variações bruscas de geometria ou de esforços verticais (ABNT NBR 16055:2012).

O projeto deve apresentar desenhos contendo as plantas de formas e elevações das paredes com a respectiva armadura (ABNT NBR 16055:2012). Dependendo da velocidade de execução da estrutura, o projeto deve contemplar as etapas construtivas com as respectivas idades e resistências do concreto, tendo em vista a capacidade resistente das lajes às escoras e a fissuração oriunda do processo construtivo (ABNT NBR 16055:2012).

ABCP (2011) cita as seguintes variáveis de projeto que influenciam o desempenho e a competitividade principalmente:

a) Modulação: recomenda-se utilizar medidas múltiplas de 10 cm tanto nas dimensões horizontais (espessura de paredes, dimensões internas dos ambientes, vãos de esquadrias), como nas verticais (pé direito, piso a piso, peitoris). Um dos grandes favorecidos com a coordenação modular é o sistema de formas, pois, por contarem com painéis também modulados, poderão ser aplicados nos mais diversos projetos (desde que estes também estejam modulados) com poucas ou nenhuma adaptação;

b) Simetria: recomenda-se nos edifícios, projetar apartamentos simétricos nos dois eixos em planta (longitudinal e transversal). Esta recomendação aplica-se à construção de edifícios

multipavimentos. No caso de casas térreas ou mesmo sobrados onde temos formas para a totalidade do pavimento, ela não é relevante;

c) Alinhamento das paredes: recomenda-se alinhar o máximo de paredes possível. As formas de paredes são compostas por painéis individuais, que podem ser pequenos e leves ou grandes e pesados. Nos dois casos, o menor número de eixos a serem lançados facilita o posicionamento e alinhamento desses painéis;

d) Padronização vertical: recomenda-se projetar os pavimentos pré-tipo (térreos, subsolos etc.) e pós-tipo (coberturas, platibandas) utilizando a mesma disposição de paredes dos pavimentos-tipo, com "parede sobre parede". O sistema de paredes de concreto moldadas no local beneficia-se da padronização e da repetitividade das estruturas. Por isso, quanto mais estruturas e pavimentos iguais, mais rápidos e regulares serão os ciclos de concretagem;

e) Instalações elétricas e hidrossanitárias: recomenda-se reduzir o número de eletrodutos nas lajes e evitar o cruzamento entre eles. Também é aconselhado agrupar ao máximo os banheiros e a cozinha nas unidades, diminuindo o número de paredes hidráulicas e de *shafts* de descida;

f) Vãos: recomenda-se evitar trechos de paredes de pequenas dimensões.

2.4.4 Componentes

2.4.4.1 Concreto

O concreto é o principal componente do sistema construtivo parede de concreto, cuja característica marcante é justamente a moldagem *in loco* dos elementos estruturais (ABCP, 2009). Quatro tipos de concreto podem ser utilizados no sistema, como mostra o Quadro 2:

Quadro 2 – Resumo das tipologias de concreto

Tipo	Concreto	Massa específica [kg/m ³]	Resistência mínima à compressão [MPa]	Tipologia usualmente utilizada
L1	Celular	1500 - 1600	4	Casa até 2 pavimentos
L2	Com agregado leve	1500 - 1800	20	Qualquer tipologia
M	Com alto teor de ar incorporado	1900 - 2000	6	Casa até 2 pavimentos
N	Convencional ou Auto-adensável	2000 - 2800	20	Qualquer tipologia

(fonte: ABCP, 2009)

A ABNT NBR 16055:2012 recomenda o emprego de concreto autoadensável, que possua alta trabalhabilidade e alta coesão e o uso de dispositivos que conduzam o concreto, minimizando a segregação (funis, calhas e trombas, por exemplo). O concreto autoadensável possui dois atributos relevantes: sua aplicação é muito rápida, feita por bombeamento, e a mistura é extremamente plástica, dispensando o uso de vibradores. Observadas essas características, pode-se considerá-lo uma ótima alternativa para o sistema parede de concreto (ABCP, 2009).

O concreto autoadensável apresenta um equilíbrio entre elevada fluidez e moderada viscosidade, obtido através da utilização de aditivos superplastificantes e agregados com menores granulometrias, além de alta produtividade e redução de mão de obra (SANTOS, 2014). É importante destacar que os aditivos superplastificantes adicionados na obra perdem o efeito aproximadamente 40 minutos após sua adição ao concreto (ABCP, 2009).

O uso do concreto autoadensável pode ainda minimizar a necessidade de desempenho em superfícies horizontais e de acabamento nas superfícies verticais, bem como acelerar o tempo de concretagem e reduzir a intensidade de ruído emitida (NUNES, 2001).

2.4.4.2 Aço

O sistema parede de concreto adota como armação a tela soldada, material que requer orientação para dimensionamento e uso. As armaduras têm três requisitos básicos: resistir a esforços de flexo-torção nas paredes, controlar a retração do concreto e estruturar e fixar as tubulações de elétrica, hidráulica e gás (ABCP, 2009). Usualmente são utilizadas telas soldadas posicionadas no eixo das paredes, além de barras em pontos específicos, tais como cinta superior nas paredes, vergas, contra-vergas etc. (ABCP, 2009). Em edifícios mais altos, as paredes recebem duas camadas de telas soldadas, posicionadas na vertical, e reforços verticais nas extremidades das paredes (MISSURELLI; MASSUDA, 2009). Segundo Nemer (2016), outros tipos de armaduras como as em formatos treliçados também podem ser utilizadas na execução do sistema, sendo essas também posicionadas centralmente ao eixo dos painéis e possuem mesma necessidade de reforços em vãos de portas e janelas.

O processo de montagem inicia com a montagem da armadura principal em tela soldada. Em seguida, acrescenta-se as armaduras de reforços, ancoragens de cantos e cintas (ABCP, 2009). Pode-se agilizar a montagem das armaduras cortando previamente os locais onde serão posicionadas as esquadrias de portas e janelas, caso o projeto não preveja esse procedimento (ABCP, 2009). Por fim, coloca-se os espaçadores plásticos, que são imprescindíveis para

garantir o posicionamento das telas e a geometria dos painéis em obediência ao projeto, especialmente alinhamentos e espessura de paredes (ABCP, 2009). Como o sistema utiliza concreto com alto índice de fluidez, para evitar que os espaçadores sejam "arrastados" e saiam da posição durante a concretagem, as peças possuem elementos de fixação (ABCP, 2010).

Figura 9 – Armadura das paredes montada com instalações embutidas



(fonte: ITA AÇU: Sistema Construtivo Parede de Concreto⁵)

O correto aproveitamento das telas reduz o desperdício e impacta positivamente na logística do canteiro, gerando maior produtividade na montagem das mesmas (ABCP, 2015). Tendo em conta que o sistema parede de concreto está idealizado com foco na industrialização do canteiro, as etapas de estocagem, corte, dobra (nos casos de reforços) e transporte das armaduras até o local da montagem interferem diretamente na velocidade do ciclo construtivo e, conseqüentemente, no custo da obra (ABCP, 2015).

2.4.4.3 Formas

O sistema de formas é composto de estruturas provisórias, cujo objetivo é moldar o concreto fresco. É compreendido por painéis de formas, escoramento, cimbramento, apuradores e andaimes, incluindo seus apoios, bem como as uniões entre os diversos elementos (ABNT NBR 16055:2012).

⁵ Disponível em: <<https://sites.google.com/a/todoimoveis.com/www-todonatal-com/sistema-construtivo-parede-de-concreto>>. Acesso em: 12 de setembro de 2020.

A escolha da tipologia adequada, bem como o desenvolvimento e o detalhamento do projeto de formas são de extrema importância para a viabilidade do sistema de paredes de concreto e para a garantia da qualidade do produto final (ABNT NBR 16055:2012). Segundo a norma, é obrigatória a realização do projeto de formas em conformidade com o projeto estrutural, contemplando aspectos de detalhamento geométrico, posicionamento e escoramento, como também sobre a sequência executiva de montagem e desmontagem e coordenação modular de projeto.

O uso adequado possibilita o reaproveitamento de formas e dos materiais utilizadas para a sua construção. No entanto, num processo de utilização sucessiva, devem ser verificadas as características e principalmente a capacidade resistente da forma e do material que a constitui (ABNT NBR 16055:2012).

Como o sistema construtivo de parede de concreto admite o uso de formas metálicas, de madeira, plásticas e outros tipos, deve ser dada uma atenção especial ao desmoldante escolhido. O produto precisa ser adequado a cada superfície, atendendo aos seguintes requisitos (ABNT NBR 16055:2012):

- a) Garantir que o concreto não tenha aderência à forma;
- b) Não deixar resíduos na superfície das paredes ou ser de difícil remoção, podendo comprometer a aderência do revestimento final e o aspecto da parede;
- c) Não alterar as características físicas e químicas do concreto;
- d) Não degradar a superfície das formas.

Segundo ABCP (2009), os tipos de formas mais utilizados são:

- a) Formas de madeira compensada com estrutura metálica: compostas por quadros em peças metálicas (aço ou alumínio) e utilizam chapas de madeira compensada ou material sintético para dar o acabamento na peça concretada;
- b) Formas de plástico: utilizam quadros e chapas feitas em plástico reciclável, tanto para estruturação de seus painéis como para dar acabamento à peça concretada, sendo contraventadas por estruturas metálicas;

Figura 10 – Forma de plástico



(fonte: Metro Modular⁶)

c) Formas metálicas: utilizam quadros e chapas metálicas tanto para estruturação de seus painéis como para dar acabamento à peça concretada. Podem ser de aço ou alumínio.

Figura 11 – Forma de alumínio



(fonte: SH Formas⁷)

⁶ Disponível em: <<http://metromodular.com.br/formas-plasticas-parede-concreto>>. Acesso em: 11 de setembro de 2020

⁷ Disponível em: <<http://sh.com.br/landings/industria/>>. Acesso em: 11 de setembro de 2020.

O Quadro 3 apresenta os principais tipos de formas citados juntamente com suas vantagens e desvantagens.

Quadro 3 – Comparativo entre os sistemas de formas

FORMA	CARACTERÍSTICAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
PLÁSTICA	Utilizam quadros e chapas produzidos com plástico de engenharia. Os painéis são montados de acordo com a sequência numérica, sendo justapostos e fixados por meio de travas aderidas à forma.	Menor custo de aquisição e peso reduzido (os painéis pesam em torno de 10 kg/m ²). Alguns sistemas não exigem travamento metálico adicional, pois as chapas se autotravam, alinham e nivelam. São recicláveis e toleram elevado número de reutilizações.	Em comparação com outras soluções de cofragem, tendem a ser menos duráveis. O acabamento superficial também pode ser um aspecto crítico em alguns sistemas.
ALUMÍNIO	Utilizam quadros e chapas de alumínio, tanto para estruturar os painéis como para dar acabamento à peça concretada.	São leves a ponto de dispensar equipamentos pesados. Oferecem ótimo acabamento superficial ao concreto. Quando utilizadas adequadamente, possuem alto grau de reutilização. Podem ser usadas em unidades habitacionais de diversas alturas.	Alto custo para aquisição. A viabilidade financeira desse sistema depende do grau de repetição das peças.
METÁLICAS COM CONTATO EM COMPENSADO	São compostas por quadros em peças metálicas (aço ou alumínio) e chapas de madeira compensada ou material sintético. A montagem é feita a partir do uso de escoras prumadoras, peças para alinhamento e barras de ancoragem.	Com grande disponibilidade no mercado, podem se ajustar às variadas medidas de cada projeto. De acordo com os fabricantes, quando bem conservadas, algumas chapas de compensado podem ser reutilizadas até 30 vezes.	Os painéis são mais pesados do que os equivalentes em alumínio. Embora possam ser reutilizadas exigem a troca das chapas de compensado a cada ciclo de 30 usos, aproximadamente. Alguns sistemas podem apresentar quantidade grande de peças soltas.

(fonte: Techne, 2018 apud Barbosa Junior, 2019, p. 49-50)

ABCP (2009) cita 10 aspectos que devem ser considerados na escolha das formas:

- 1) Produtividade da mão de obra na operação do conjunto;
- 2) Peso por m² dos painéis;

- 3) Número de peças do sistema;
- 4) Durabilidade da chapa e número de reutilizações;
- 5) Durabilidade da estrutura (quadros);
- 6) Modulação dos painéis;
- 7) Flexibilidade diante das opções de projetos;
- 8) Adequação à fixação de embutidos;
- 9) Análise econômica e comercialização (locação, venda, leasing etc.);
- 10) Suporte técnico do fornecedor (capacidade instalada, área de cobertura, agilidade de atendimento, oferta de treinamento e assistência técnica).

Cichinelli (2010) considera a aquisição das formas de alumínio uma boa alternativa pois possuem um sistema diferente das outras, que possibilita que a parede e laje sejam concretadas em apenas uma etapa, agilizando consideravelmente o processo construtivo. E, de acordo com os fabricantes, as formas metálicas de alumínio podem ser reutilizadas até 1,5 mil vezes. A leveza do sistema é outra vantagem importante, e graças a essa característica, dispensam guias e guindastes, sendo transportadas manualmente em qualquer situação de uso (CICHINELLI, 2010).

2.4.5 Execução

A ABNT NBR 14931:2004 Execução de estruturas de concreto – Procedimento, estabelece os requisitos gerais para a execução de estruturas de concreto. Aplicam-se os requisitos estabelecidos na norma para o canteiro de obras, o recebimento e o armazenamento e aplicação de materiais e equipamentos.

A execução do sistema paredes de concreto segue os seguintes procedimentos (WENDLER; MONGE, 2018):

- 1) Antes de iniciar a construção, o terreno deve estar nivelado e com a fundação (radier, normalmente) devidamente executada;

- 2) Conforme determinações do projeto estrutural, montam-se as telas soldadas da armadura (a armação recebe espaçadores que ajudam a garantir o cobrimento mínimo das armaduras);
- 3) Também são instalados kits de instalações hidráulicas e elétricas;
- 4) As formas são posicionadas de acordo com a sequência executiva descrita no projeto (os painéis devem ser montados e travados com o uso de grampos ou pinos);
- 5) As formas de laje são montadas logo após a conclusão das formas para parede (a fixação desses elementos também se dá com o uso de pinos de travamento);
- 6) Após conferência do engenheiro, inicia-se a concretagem (o concreto deve ser suficientemente plástico para preencher todos os vazios da forma e impedir que haja segregação, principalmente na parte inferior das paredes);
- 7) Após a concretagem, é feita a regularização do concreto com régua metálica;
- 8) Quando o concreto atinge a resistência e a elasticidade previstas no projeto, as formas são retiradas com cuidado para não danificar as peças (o endurecimento do concreto pode ser antecipado por meio de tratamento térmico – cura térmica – adequado e devidamente controlado);
- 9) O projeto estrutural normalmente prevê a permanência de escoramento residual após a retirada das formas para dar sustentação à laje;
- 10) À medida em que cada pavimento é concluído, as formas são passadas para o pavimento superior ou para outro trecho para dar continuidade a construção em série.

O ciclo de produção desse método de execução é, usualmente, o período entre a retirada do jogo de formas (desforma) e a conclusão da próxima concretagem. Em obras onde são realizadas concretagens todos os dias, estes ciclos podem chegar a durar 10 horas, com desforma do concreto com idade entre 12 e 14 horas (MESOMO, 2018).

Wendler e Monge (2018) também destaca as variáveis que influenciam os ciclos de produção:

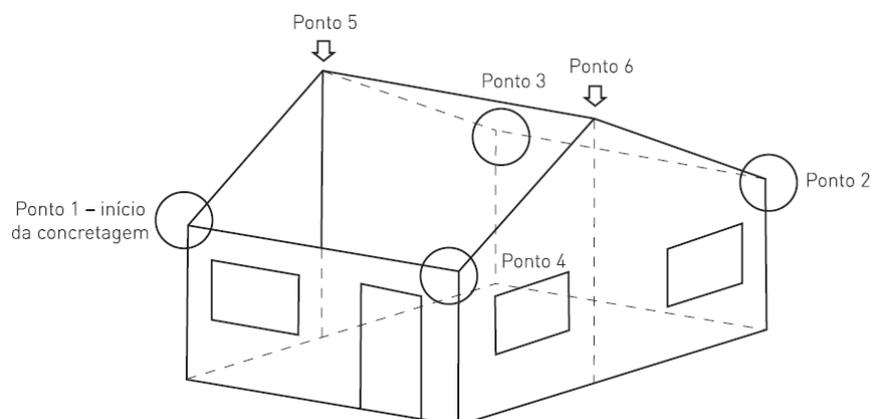
- 1) Curva de aprendizagem e treinamento da mão de obra;
- 2) Tipologia da obra;

- 3) Projeto de formas;
- 4) Incidência de chuvas ou interrupções da produção;
- 5) Aspectos de segurança;
- 6) Equipamentos disponíveis;
- 7) Suprimentos;
- 8) Logística: movimentação de materiais e estocagens.

Antes de iniciar a montagem dos painéis de formas, é necessário marcar no piso de apoio (fundação ou laje) as linhas das faces internas e externas das paredes, de modo a orientar o posicionamento dos painéis (ABCP, 2009). Antes do lançamento do concreto devem ser devidamente conferidas as dimensões e a posição (nivelamento, prumo e alinhamento) das formas, a fim de assegurar que a geometria dos elementos estruturais e da estrutura como um todo esteja conforme estabelecido no projeto, com as tolerâncias previstas em norma. A montagem, o posicionamento e o cobrimento especificados para as armaduras devem ser verificados, devendo as armaduras estar previamente limpas (ABNT NBR 16055:2012).

Segundo ABCP (2011), o lançamento do concreto deve ser iniciado por um dos cantos da edificação, até que uma significativa parcela das paredes próximas ao ponto esteja totalmente cheia. Em seguida, muda-se a posição em direção ao canto oposto, até que se complete o rodízio dos quatro cantos opostos da estrutura. Finaliza-se a concretagem com o lançamento na linha mais elevada das formas e dos oitões, para o caso de habitações térreas.

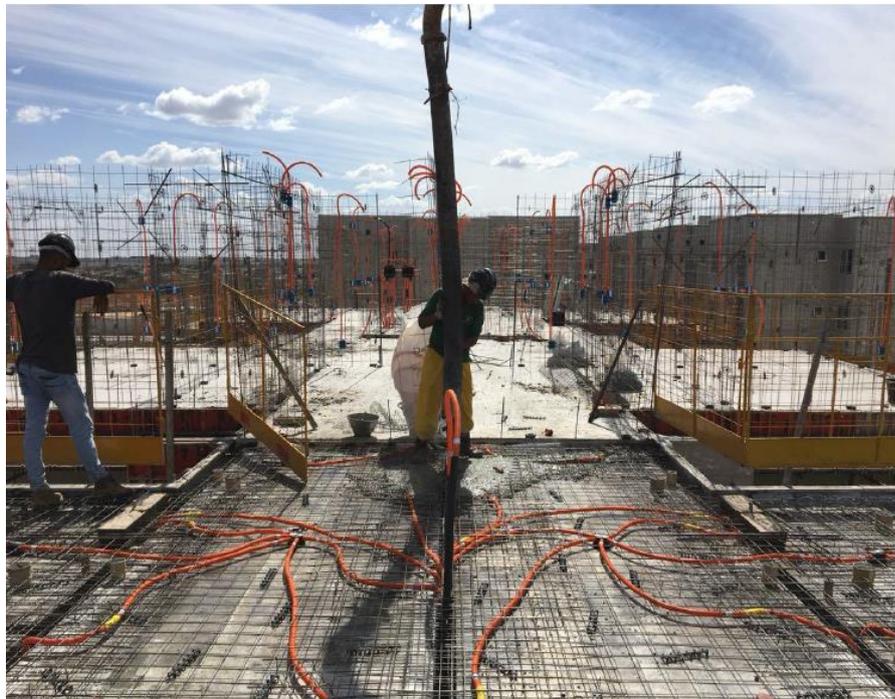
Figura 12 – Pontos de concretagem



(fonte: ABCP, 2011)

A ABNT NBR 16055:2012 recomenda que a concretagem de cada elemento estrutural deve ser realizada de acordo com um plano previamente estabelecido. Para a norma, um plano de concretagem bem elaborado deve assegurar o fornecimento da quantidade adequada de concreto com as características necessárias à estrutura. A execução deve ser a mais cuidadosa, a fim de que as dimensões, a forma e a posição das peças, e as dimensões e posição da armadura obedeam às indicações de projeto com a maior precisão possível (ABNT NBR 16055:2012). Devem ser respeitadas as tolerâncias estabelecidas na norma caso o plano da obra, em virtude de circunstâncias especiais, não as exija mais rigorosas.

Figura 13 – Concretagem de paredes



(fonte: Barbosa Junior, 2019)

O controle tecnológico do concreto deve ser feito em dois momentos: no ato do recebimento do material na obra e na sua aceitação quando o concreto está endurecido (ABNT NBR 16055:2012). Destaca-se que enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais (ABNT NBR 16055:2012).

As paredes devem ser construídas monoliticamente e com armadura de ligação, seja na ligação parede com parede, seja na ligação parede com laje, em todas as suas bordas (ABNT NBR 16055:2012). Qualquer elemento pré-moldado (lajes, escadas e outros) não pode invadir a seção da parede e deve ser consolidada com esta, com a finalidade de preservar o efeito de diafragma

rígido e garantir a continuidade das paredes. Não é permitida a abertura de paredes ou sua remoção sem prévia consulta ao projetista (ABNT NBR 16055:2012).

A retirada das formas e do escoramento deve ser feita sem choques, evitando assim o aparecimento de fissuras por ações mecânicas (ABCP, 2009). Após a retirada das mesmas, essas devem ser posicionadas nos locais da nova montagem, onde deverão ser limpas, preferencialmente com jatos fortes de água (com pressão regulada a fim de não danificar o acabamento da forma), para remoção da película de argamassa que fica aderida à superfície (ABCP, 2009). O mesmo autor recomenda também, a remoção da película de argamassa com água, escova e/ou espátula, o que evitaria danos à superfície da forma, porém observa que o processo é mais demorado. Por fim, aplica-se o desmoldante, que deve ser escolhido de acordo com o tipo de forma utilizado, sendo adequado para cada superfície.

Qualquer que seja o acabamento final é necessário o preparo da base, envolvendo as seguintes atividades (ABCP, 2010): remoção de irregularidades, preenchimento de furos, remoção de sujeiras (desmoldante residual da forma, que compromete a aderência do revestimento à parede) e regularização da superfície. As rebarbas de concretagem devem ser removidas logo após a desforma, aproveitando a baixa resistência do concreto (ABCP, 2010). O preenchimento de furos e espaços vazios devem ser preenchidos com argamassa mais forte, tipo 1:3. É recomendável apenas que o acabamento seja iniciado após uma cura úmida da parede (ABCP, 2009).

ABCP (2015) destaca a importância de estar atento às dificuldades de executar vibração mecânica em paredes de 10 cm de espessura com uma armadura centrada além de uma série de elementos embutidos, sem que esta vibração toque a armadura, prejudicando sua aderência com o concreto, ou desloque os elementos embutidos nas formas.

3 INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DE CUSTOS E PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre gestão de custos (seção 3.1), por meio da exposição e discussão de conceitos fundamentais, da classificação de orçamentos e de ferramentas de análise e controle de custos. A seção 3.2 aborda conceitos fundamentais da gestão da produção e foca-se principalmente no planejamento e controle baseado na localização. Por fim, a seção 3.3 apresenta o modelo utilizado como base para o presente estudo, que integra os aspectos de custo e prazo.

3.1 GESTÃO DE CUSTOS

3.1.1 Introdução

Com o crescimento das empresas e o conseqüente aumento na complexidade do sistema produtivo, constatou-se que as informações fornecidas pela contabilidade de custos eram potencialmente úteis ao auxílio gerencial, extrapolando a mera determinação contábil do resultado do período, podendo auxiliar também a gerência da empresa no controle e na tomada de decisão (BORNIA, 2019). Para isso, é importante que as informações geradas enfatizem fatores que precisam de atenção em um tempo hábil para que as decisões oportunas sejam tomadas (PLOSSL, 1999 apud KERN, 2005, p. 45).

Para Pompermayer (2004), podem-se definir os objetivos de um sistema de gestão de custos levando-se em consideração dois aspectos importantes. O primeiro aspecto leva em conta os objetivos gerais que um sistema de gestão de custos deve proporcionar a uma empresa. Esses objetivos consistem basicamente em:

- a) Custeio de produtos;
- b) Avaliação de resultados;
- c) Apoio às tomadas de decisões gerenciais que envolvem análise de custos;
- d) Controle e redução de custos, visando à maximização de resultado;
- e) Informações para aprimoramentos de processos e aprendizado;
- f) Planejamento;
- g) Atendimento diferenciado por cliente.

Já o segundo aspecto, toma os objetivos gerais como pano de fundo, sendo possível determinar objetivos mais específicos, embasados nas estratégias, diretrizes, conhecimento dos produtos, tecnologia de produção e mercados de atuação da empresa.

A gestão de custos na construção civil possui várias funções, como: estimativas, planejamento, controle dos custos, contabilidade de custos e controle financeiro (SALMI, 2018). Para Borna (2019), o sistema de gestão de custo deve estar em sintonia com o sistema de gestão da empresa de uma forma ampla, a fim que os gerentes possam utilizar plenamente as informações

fornecidas, atualizadas ao contexto da organização, sendo que na construção civil, a essência de um sistema de gestão de custos é monitorar a evolução do empreendimento e avaliar suas implicações em relação ao seu prazo e custo final (KERN, 2005).

A decisão sobre investimentos em construção civil ocorre durante a fase de planejamento do empreendimento e pode ser baseada em modelos de simulação, visando avaliar como o empreendimento irá se comportar mediante diferentes cenários que podem ocorrer ao longo de seu desenvolvimento, identificando as condições nas quais o empreendimento se torna viável (PEER, 1982; ASSUMPCÃO, 2003 apud KERN, 2005, p. 78).

3.1.2 Orçamento

Na construção civil, o sistema de custeio tem como produto final o orçamento da obra, que normalmente é produzido nas primeiras fases do empreendimento (KERN, 2005). Goldman (2004 apud MARQUES DE JESUS, 2008, p. 39) afirma que o orçamento é uma das principais informações que o empreendedor deseja conhecer ao estudar determinado empreendimento, sendo essa a mais importante ferramenta para o planejamento e acompanhamento dos custos de construção. Kern (2005) afirma que também é função do orçamento servir de apoio à tomada de decisões quanto aos métodos de construção em termos de seus reflexos globais em custos.

Segundo Sauer (2020), a literatura considera, pelo menos, três tipos distintos de orçamento na construção civil: (a) orçamento voltado para viabilidade ou paramétrico; (b) orçamento convencional; e (c) orçamento operacional ou executivo.

O orçamento para viabilidade ou paramétrico, é utilizado em fases em que ainda não há projetos completos, tendo por objetivo fornecer um valor aproximado do custo total de um empreendimento (FENATO, 2017; SAUER, 2020). A estimativa de custo é gerada a partir de dados históricos de custos, por meio de comparação com projetos similares e de índices genéricos que fornecem médias de custos praticados pelo mercado (MATTOS, 2006).

Já o orçamento convencional, é elaborado a partir de composições de custos, dividindo os serviços em partes e orçando por unidade de item de custo (ANDRADE, 1996). Seu objetivo é calcular os custos totais da construção, sem levar em consideração o modo como o trabalho será conduzido no canteiro (MARCHIORI, 2009). No orçamento convencional os itens de custos são organizados de acordo com agrupamentos funcionais, itens de custos de mesma natureza,

sob o ponto de vista de sua função no produto edificação, por exemplo: itens de custos relacionados à estrutura, à vedação ou aos acabamentos (FENATO, 2017).

Por fim, no orçamento operacional ou executivo os custos são modelados de acordo com a forma como eles ocorrem ao longo do tempo, levando em conta a maneira como a obra é construída (ANDRADE, 1996). Esse tipo de orçamento segue a abordagem operacional por decompor os itens de custos conforme as operações necessárias para a execução da obra (CABRAL, 1988; SKOYLES, 1968; ASHWORTH; SKITMORE, 2005 apud SAUER, 2020, p. 41). Além disso, a mão de obra própria é orçada a partir da composição de equipes e da duração que estas equipes levam para concluir uma operação (FENATO, 2017). Assim, o custo da mão de obra e equipamentos são considerados proporcionais ao tempo e os materiais proporcionais às quantidades de item de custo, levando em conta constantes de consumo (GALVÃO; HEINECK; KLIEMANN, 1990; ANDRADE, 1996 apud SAUER, 2020, p. 41). Portanto, a principal diferença entre o orçamento executivo ou operacional e o orçamento convencional é a consideração dos processos de produção, a partir da forma como o planejamento é realizado (SAUER, 2020).

Na gestão de custos tradicional as atividades são compostas por itens de custos isolados, com enfoque apenas nas atividades de conversão, ou seja, os insumos transformados em produto final (BALLARD, 2000 apud SAUER, 2020, p. 42). Nessa prática orçamentária os fluxos físicos entre as atividades de conversão não são considerados de maneira explícita, tais como atividades de transporte ou espera de material, as quais, embora não agreguem valor ao produto final, são geradoras de custos (KOSKELA, 2000 apud SAUER, 2020, p. 42).

O orçamento convencional dificulta a gestão de custos pois apresenta um distanciamento entre o modo de como ocorre a produção e a forma de apresentação dos custos (CABRAL, 1988; KERN, 2005; MARCHIORI, 2009 apud FENATO, 2017, p. 31). Segundo Marchesan (2001 apud FENATO, 2017, p. 31), uma das causas que torna a gestão de custo convencional ineficiente é o fato de as informações serem apresentadas de forma agregada, ou seja, os custos serem registrados de forma totalizada por agrupamentos funcionais, ao invés de estarem segregados de acordo com o momento de execução dos serviços. Nessa situação, para Fenato (2017), há dificuldades para se buscar no orçamento, informações que auxiliem na medição e no pagamento dos serviços executados.

Kern (2005) e Sauer (2020) propõem um orçamento com "visão operacional", diferente do orçamento convencional, que é focado na estimativa de custos de atividades de transformação (KERN, 2005). A utilização do orçamento com visão operacional tem como objetivo buscar maior consideração de aspectos da produção, incluindo atividades de fluxo, na realização do processo de estimativa de custos, entendendo que na fase da realização do orçamento não são conhecidos muitos detalhes do processos de produção, em função da incerteza inerente ao ambiente de construção (KERN, 2005).

Segundo Sauer (2020), o orçamento com visão operacional é apontado por alguns autores como uma técnica que permite avaliar implicações relativas ao processo de produção no custo do empreendimento, tais como método construtivo, prazo, entre outros. Essa prática de orçamentação, deixa rastreável a forma como o empreendimento será executado, explicitando quais operações, quais equipamentos, quantos funcionários nas equipes, que instalações de canteiro e qual a duração da obra (GALVÃO; HEINECK; KLIEMANN, 1990 apud SAUER, 2020, p. 43), sendo possível, portanto, melhor identificar as atividades e outras variáveis que possuem influência direta no custo de um empreendimento de construção civil (KERN, 2005).

Para Heineck (1986 apud KERN, 2005, p. 68), somente a partir de uma visão operacional baseada no planejamento da produção, é possível analisar alternativas de métodos construtivos, por exemplo, em termos de implicações no prazo, utilização de equipamentos, dimensionamento de equipes, transtornos no canteiro, não consideradas numa simples análise do custo dos métodos.

3.1.3 Curva de agregação de recursos

Uma forma de integrar o orçamento com um plano de obra é a utilização da chamada curva de agregação de recursos, que é uma ferramenta de controle de empreendimentos que integra programação da produção e custos (KIM; BALLARD, 2001 apud KERN, 2005, p. 75), podendo ser utilizada em estudos de viabilidade e na avaliação de propostas (KERN, 2005). Conforme Heineck (1986), possui o objetivo de expressar o desenvolvimento do consumo de recursos (mão de obra, materiais) de cada período da produção ao longo do tempo, podendo ser medido o progresso da obra, conforme as atividades são realizadas (HEINECK, 1986; KIM; BALLARD, 2001 apud KERN, 2005, p. 75).

Segundo Kern (2005), a curva de agregação de recursos é utilizada de duas formas: não cumulativa e cumulativa. Através da forma não cumulativa, é possível controlar a mobilização

de recursos e a intensidade com que estes devem ser alocados na obra, permitindo aos gestores a visualização de períodos com maior consumo de recursos, de acordo com o planejamento da produção e com as condições de pagamento acertadas com fornecedores (KERN, 2005). Por meio dessa ferramenta, o progresso do empreendimento pode ser monitorado, permitindo visualizar a previsão dos custos e receitas do empreendimento, ou seja, o fluxo de caixa (NEALE e NEALE, 1989; STALLWORTHY, 1980 apud KERN, 2005, p. 75).

A curva de agregação cumulativa, também chamada de curva S, representa o valor acumulado dos recursos desde o início da obra até sua conclusão (KERN, 2005). Entre as suas contribuições na gestão dos custos, quando combinado ao fluxo de receitas, é a identificação do momento que começam a ocorrer os lucros do empreendimento (HEINECK, 1986 apud SAUER, 2020, p. 44).

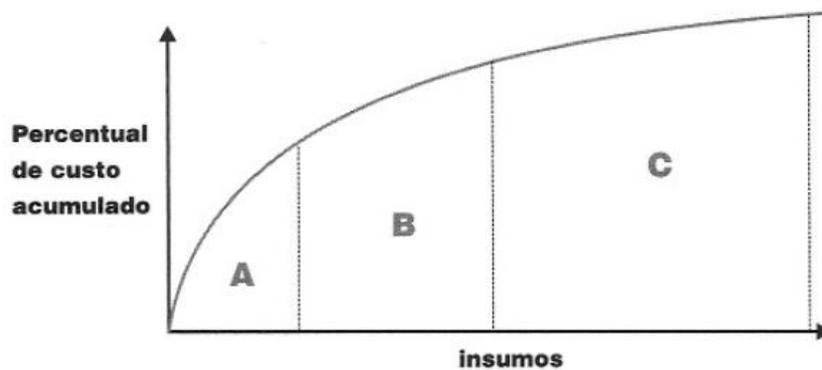
Kern (2005) ainda recomenda que para a realização do planejamento dos custos através de curvas de agregação de recursos, são necessárias informações de caráter essencialmente estimativo, geradas pelos setores de orçamento, produção, suprimentos e contratos.

3.1.4 Curva ABC

Outra ferramenta utilizada na gestão de custos é a classificação ABC, que aponta os principais insumos e serviços de uma obra em relação ao seu custo (MATTOS, 2006). Segundo Mattos (2006), uma forma prática e eficiente de visualizar a análise ABC é plotar os dados obtidos em uma curva onde o eixo "x" corresponde aos itens e o eixo "y" ao percentual do custo acumulado destes itens.

A curva ABC apresenta uma relação dos insumos e serviços em ordem decrescente de custos (MATTOS, 2006). No eixo x são representados a quantidade de insumos, e no eixo y o percentual de custo acumulado. À esquerda no gráfico, estão os principais insumos da obra em termos de custo e à medida que o gráfico cresce, vão surgindo os insumos com menor significância (MATTOS, 2006).

Figura 14 – Exemplo de curva ABC



(fonte: Mattos, 2006)

Dessa maneira, conforme ilustrado na Figura 14, os itens da classe A abrangem os itens mais importantes e que merecem um grau de controle especial por parte da equipe do gerenciamento de obras, enquanto os itens da classe C apresentam menor impacto sobre os custos do empreendimento (SAKAMORI, 2015). Já os itens da classe B apresentam uma classificação de impactos intermediários e seus riscos devem ser mitigados ou transferidos (SAKAMORI, 2015). Assim, a análise ABC permite concluir quais os itens devem ser controlados e o respectivo grau de controle sobre os mesmos a fim de evitar superação dos custos estimados para o projeto (SAKAMORI, 2015).

Segundo Cunha, Oliveira e Vignoli (1983 apud SIMÕES; RIBEIRO, 2007, p. 4), o ponto principal a visualizar no sistema de análise ABC, é que os itens que representam o mais alto consumo são os itens que fazem parte do menor percentual de valor do estoque e o contrário disso, ou seja, os itens que fazem parte do maior percentual de valor do estoque são justamente os que representam a menor parte desse estoque. Mattos (2006) também destaca que é por meio da curva ABC que o construtor pode avaliar o impacto que um aumento (ou diminuição) do preço de um insumo terá no resultado da obra.

Neste trabalho os insumos de classe A serão considerados até 80% do custo, classe B 90%, classe C restante, conforme classificação dos estudos de Sauer (2020).

3.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

3.2.1 Elementos da gestão da produção

A gestão da produção é a atividade de gerenciar os recursos que são destinados à produção e à entrega de produtos e serviços, e pode trazer diversos benefícios a qualquer organização se bem

empregado, como: reduzir custos, aumentar a lucratividade, reduzir a necessidade de investimentos e aumentar a inovação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007 apud SAUER, 2020, p. 32). Para os mesmos autores, existem três ações na gestão da produção: (a) o projeto do sistema de produção (PSP); (b) a operação do sistema de produção (operação pode ser dividida em planejamento, controle e correções); e (c) melhoria do sistema de produção.

O PSP é o planejamento dos sistemas produtivos, que requer conhecimento sobre a estratégia de produção, projetos de produtos ou serviços, tecnologia do sistema de produção e mercado, sendo estes conhecimentos utilizados para desenvolver um plano detalhado para produzir produtos e serviços (GAITHER; FRAZIER, 2001 apud BIOTTO, 2012, p. 16). Segundo Schramm, Costa e Formoso (2006) o PSP tem como propósito analisar e exprimir em um conjunto de decisões a estratégia de produção pretendida do sistema de produção, formando uma estrutura de referência para gerenciar as diversas atividades. Segundo os mesmos autores, o plano de longo prazo pode ser considerado um dos resultados do PSP.

O processo de planejamento controle da produção (PCP) é definido por Formoso (1991) como um processo de tomada de decisão que envolve o estabelecimento de metas e dos procedimentos necessários para atingi-las, sendo efetivo quando seguido de controle. Assim, o PCP consiste em um processo gerencial, que sucede ao PSP. Um plano de construção pode ser visto como um modelo de instalação de componentes e sistemas, que fornece informações sobre as tarefas necessárias, sua sequência, sua duração e seus recursos necessários (ECHEVERRY *et al.*, 1989 apud FORMOSO, 1991, p. 18).

Para Laufer *et al.* (1994) o planejamento da construção é um processo composto por diversos elementos, que são:

- a) Um processo de tomada de decisão antecipada, a fim de definir as ações a serem executadas em determinados períodos;
- b) Um processo de integração de decisões interdependentes, compondo, assim, um sistema decisório;
- c) Um processo hierárquico evolutivo, formulado a partir de diretrizes gerais até os objetivos, através da elaboração de meios e restrições que levam a um planejamento de ações detalhado;

- d) Um processo que inclui parte ou toda a cadeia de atividades compreendendo pesquisa e análise de informações, desenvolvimento e formulação de alternativas, análise e avaliação de alternativas e tomada de decisão;
- e) O emprego sistemático de procedimentos (padronizados e formais em diversos níveis);
- f) Apresentação documentada de informações no formato de planos.

Uma forma normalmente utilizada para lidar com os efeitos da incerteza num planejamento é o uso de *buffers*. Bernardes (2001) considera *buffer* como sendo um estoque de tempo, capacidade, materiais ou produto inacabado que possibilita a execução das operações no canteiro de obras, caso algum problema venha a interferir no desenvolvimento normal daquelas devidamente planejadas. *Buffers* devem ser dimensionados de acordo com o grau de incerteza existente nos planos (BALLARD; HOWELL, 1997).

3.2.2 Conceitos básicos de gestão da produção

De acordo com a definição de processo de produção por Koskela (1992) apresentada no item 2.1, um aspecto importante relacionado ao conceito de processo como fluxo é a introdução do tempo como recurso de entrada a ser consumindo no processo (KOSKELA, 2000). Nesse contexto, a redução do tempo em todo o processo produtivo passa a ser um importante objetivo (SAUER, 2020).

No mecanismo da função produção (MFP) a produção é considerada como uma rede de processos e operações (SHINGO, 1989 apud SAUER, 2020, p. 28). Os processos, referem-se ao fluxo de produtos de um trabalhador para outro, ou seja, representam os estágios pelos quais a matéria-prima se move até se tornar um produto (SAUER, 2020). As operações, por outro lado, são as ações executadas para realizar a transformação da matéria-prima, ou seja, o trabalho realizado pelo trabalhador e pelas máquinas (SAUER, 2020).

Sauer (2020) apresenta duas formas de caracterizar o fluxo de produção, relacionado ao conceito de processo (produto) e operação (mão de obra e máquinas) de acordo com a literatura:

- a) Pelo fluxo contínuo: diz respeito ao produto, no qual a produção de uma peça ou lote pequeno de itens é realizada por vez, sendo que o item passa de um processo para o seguinte, sem interrupção (ROTHER; SHOOK, 1999 apud SAUER, 2020, p. 29). Dessa forma o produto nunca fica ocioso, tendo sempre uma equipe trabalhando em cada local.

b) Pelo fluxo ininterrupto: diz respeito às operações, visando que as equipes de trabalho ou recursos, sejam utilizados ininterruptamente, na medida em que se movem continuamente de um local para outro sem precisar esperar por trabalho (HARRIS; IOANNOU, 1998 apud SAUER, 2020, p. 29). O objetivo é sempre ter produto (local) disponível, para a equipe não ficar ociosa.

Um conceito relevante para este trabalho é o de tempo de ciclo. Koskela (1992) define tempo de ciclo como o somatório dos períodos de tempos gastos com processamento, movimentação, espera e inspeção de um processo. Bulhões (2009) considera esse tempo como o período entre a produção de dois produtos consecutivos em um mesmo processo. Assim, a redução do mesmo está relacionada fortemente com a compressão do tempo disponível por meio da redução de atividades de fluxo (ISATTO *et al.*, 2000). A redução do tempo de ciclo é um princípio da Construção Enxuta⁸ e traz diversas vantagens, como (ISATTO, *et al.*, 2000): (a) entrega mais rápida ao cliente; (b) a gestão dos processos torna-se mais fácil; (c) o efeito aprendizagem tende a aumentar; (d) a estimativa de futuras demandas são mais precisas; (e) o sistema de produção torna-se menos vulnerável a mudanças de demandas.

Outro princípio importante é a simplificação de atividades através da redução do número de passos ou partes, frequentemente utilizado no desenvolvimento de sistemas construtivos racionalizados (ISATTO *et al.*, 2000). Quanto maior o número de componentes ou de passos num processo, maior tende a ser o número de atividades que não agregam valor (ISATTO *et al.*, 2000). Existem várias formas de atingir a simplificação, como, por exemplo (ISATTO *et al.*, 2000): (a) utilização de elementos pré-fabricados; (b) uso de equipes polivalentes; (c) planejamento eficaz do processo de produção, buscando eliminar interdependências e agregar pequenas tarefas em atividades maiores, além da disponibilização de materiais, equipamentos, ferramentas e informações em locais adequados.

3.2.3 PCP baseado na localização

O planejamento baseado na localização, *Location Based Management* (LBM) em inglês, é uma abordagem utilizada para PCP que considera a relação entre local e tempo (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Trata-se de uma ampliação do uso da técnica linha de balanço (LOB – *Line of Balance*), a qual já é utilizada na construção civil para planejar e controlar a produção,

⁸ Construção Enxuta: denominação adotada pelo International Group for Lean Construction (IGLC), que expressa um sistema de trabalho baseado em qualidade total com agregação de valor sobre o produto final, eliminação de desperdícios na execução de projetos e entrega do produto dentro do prazo.

permitindo visualizar os fluxos de trabalho, simular e discutir diferentes estratégias e alternativas para o sequenciamento das atividades (KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008).

O LBM pode utilizar o diagrama no formato de linha de fluxo como forma de visualização dos planos (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010) e permite dar um foco no controle de lotes de produção (OLIVIERI, 2016). Nessa abordagem, considera-se que um local deve estar completamente executado antes de iniciar o trabalho em outro local (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Os locais são definidos por uma estrutura hierárquica de localização (LBS), no qual um nível superior inclui de forma lógica todos os níveis de localizações inferiores (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

A linha de balanço é uma ferramenta de planejamento destinada a empreendimentos com características repetitivas (BERNARDES, 2001). Utiliza uma técnica de programação visual que permite ao planejador explicar explicitamente o fluxo de trabalho (SEPPÄNEN; KANKAINEN, 2004), que é representado em um diagrama onde se dispõe a escala temporal no eixo das abcissas (x) e as localizações no eixo das ordenadas (y) (SAUER, 2020). Assim, é possível identificar rapidamente quando, onde e quais atividades serão realizadas, bem como o tamanho do lote das atividades, ritmo e *buffers* entre diferentes equipes (KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008). Dessa maneira, com uma análise cuidadosa do plano, é possível reduzir as atividades que não agregam valor (BERNARDES, 2001).

O conceito da linha de balanço é baseado na definição de um ritmo de produção (VARGAS, 2018), representado pela inclinação das linhas (MENDES JR., 1999). Sendo assim, quanto maior a inclinação, maior o ritmo, ou seja, mais rápida a execução da atividade. A linha de fluxo, termo definido por Mohr (1979 apud VARGAS, 2018, p. 36), consiste num método derivado da linha de balanço no qual a atividade é representada por uma linha ao invés de retângulos. O conceito de fluxo, requer que as atividades sejam completadas em sequência e que os recursos fluam continuamente de zona para zona de trabalho (SEPPÄNEN; EVINGER; MOUFLARD, 2014 apud VARGAS, 2018, p. 36). Os *buffers* no PCP baseado na localização são explícitos e inseridos entre atividades e são utilizados para proteger relações e fluxos de trabalhos críticos (VARGAS, 2018).

A interpretação dos diagramas da linha de balanço permite identificar uma série de deficiências no planejamento, tais como (JONGELING; OLOFSSON, 2007):

a) Mesma atividade ocorrendo em diferentes localizações ao mesmo tempo;

- b) Diferentes atividades ocorrendo ao mesmo tempo na mesma localização;
- c) Atividade com pouco prazo e sem *buffer*;
- d) Diferentes atividades começando ao mesmo tempo na mesma localização;
- e) Localizações com elevados períodos sem nenhuma atividade acontecendo;
- f) Uso ineficiente do tempo.

Uma das limitações da linha de balanço é a dificuldade de utilizá-la em empreendimentos que possuem grande número de processos distintos, visto que a representação de todos esses pode diminuir a facilidade de entendimento do plano (ARDITI; SIKANGWAN; TOKDEMIR, 2002 apud SAUER, 2020, p. 35).

Por fim, segundo Soini, Leskelä e Seppänen (2004), a adoção da técnica de linha de balanço pode trazer benefícios como: menores riscos ao cronograma da obra, facilidade de comparação entre diferentes planos de ataque para a produção, rápida análise de viabilidade do planejamento da obra e redução do prazo de obra.

3.3 MODELO PARA INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DE CUSTOS AO PCP BASEADO EM LOCALIZAÇÃO COM APOIO DE BIM

3.3.1 Introdução

O desenvolvimento deste trabalho foi baseado no modelo que intitula esta seção, proposto por Sauer (2020). Esse modelo foi escolhido pois permite uma análise mais transparente e de acordo com a realidade do ambiente da construção, através de uma proposta de estrutura de modelagem de custos que explicita os custos das atividades de transformação e fluxo, considerando a avaliação de desempenho dos processos de tempo e custo durante a construção. A escolha, também se deve pela construtora adotá-lo em seus empreendimentos atuais.

Um aspecto importante do modelo, é a utilização de BIM (*Building Information Modeling*). A crescente digitalização do processo de construção por meio da implementação de modelagem de informações da construção, fornece aspectos de importância estratégica significativa para o desenvolvimento de novos métodos para troca de informações e coordenação entre todos os atores no processo de construção (ANDERSSON; LESSING, 2017).

A Modelagem da Informação da Construção, segundo Pentillä (2006), é uma metodologia para gerenciar o projeto e os dados essenciais da construção em formato digital durante todo o ciclo de vida da edificação. Para ABDI (2017), a automação dos processos de levantamento de quantidades é uma das principais vantagens do uso do BIM. Os modelos 3D funcionam como um meio para incorporar conhecimento em modelos de edificações (LEE; SACKS; EASTMAN, 2006). Nesse contexto, a estimativa de custos baseada em um modelo 3D é possível devido a implementação da modelagem paramétrica baseada em objetos pelos *softwares* de modelagem (FORGUES *et al.*, 2012), que usam parâmetros e regras para determinar as características dos objetos, que se atualizam automaticamente de acordo com o controle do usuário ou mudanças de contexto (EASTMAN *et al.*, 2014).

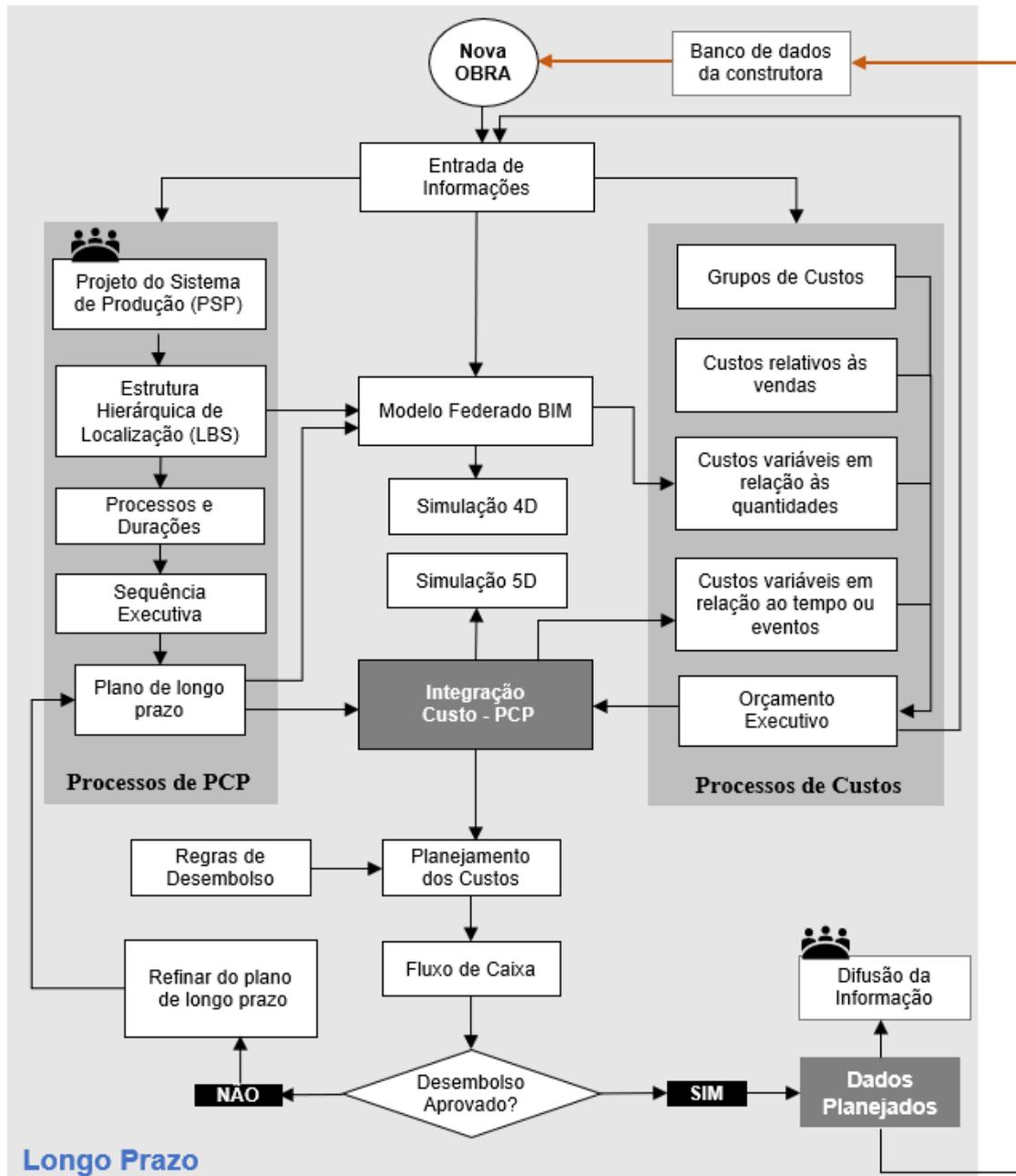
Na pesquisa de Sauer (2020), tendo o conhecimento da integração dos processos e a importância do fator tempo na gestão de custos, é apresentado o conceito de modelo BIM 5D, que representa o conjunto de processos a partir dos quais é possível planejar e controlar os custos de construção de forma precisa e integrada ao PCP (representado pelo modelo BIM 4D) ao longo do ciclo de vida da edificação.

3.3.2 Descrição do modelo

Como o empreendimento estudado neste trabalho está em fase de lançamento, foi utilizado apenas a primeira parte do método, que se relaciona ao nível de planejamento de longo prazo (Figura 15). Este nível de planejamento tem como horizonte todo o período de construção (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012), sendo realizado nas fases iniciais do empreendimento, com um baixo grau de detalhamento, devido às incertezas presentes no ambiente construtivo (BERNARDES, 2001). Nesse nível são determinados o ritmo de produção, a estratégia de ataque e as datas marco da obra e em conjunto com os dados do orçamento, o ritmo define um fluxo de despesas que deve ser compatível com o estudo de viabilidade (FORMOSO *et al.*, 1999). Esse planejamento estabelece os objetivos principais do empreendimento através do estabelecimento de metas gerais em qualidade, custo e tempo (FORMOSO *et al.*, 1999).

No modelo de Sauer (2020), propõe-se que o planejamento em nível de longo prazo deve ser realizado antes de iniciar a etapa de construção, e, por meio da sua integração com o orçamento executivo, pode-se atualizar o fluxo de caixa do empreendimento, sendo estes documentos denominados de dados planejados.

Figura 15 – Parte do modelo de Sauer (2020)



(fonte: adaptado de Sauer, 2020)

A primeira etapa do modelo consiste na entrada das informações iniciais provenientes do estudo de viabilidade financeira, do planejamento estratégico, modelos 3D, projetos e especificações do empreendimento. Antes disso, Sauer (2020) recomenda que seja feita a escolha do *software* BIM para PCP e Custos, sendo que esse deve permitir o rastreamento dos objetos BIM considerados no orçamento e possuir ferramentas para elaboração do planejamento baseado na localização.

Conforme pode ser observado na Figura 15, existe a etapa de Processos de Custos, que consiste na estimativa do custo total da obra, tendo como resultado o orçamento executivo, que é o documento que contém a descrição de todos os custos do empreendimento, devidamente quantificados e multiplicados pelos respectivos preços unitários, cuja somatória define o preço total.

No modelo, o orçamento executivo é entendido como uma meta que é móvel ao longo do tempo e deve ser elaborado considerando as composições de custos unitários (CCU) do banco de dados da construtora (que deve ser alimentado por dados reais de obras concluídas), os projetos e especificações do empreendimento, os modelos BIM 3D, contratos, como também as informações relativas ao processo produtivo (prazos de produção, utilização de equipamentos especiais e atividades de fluxo principais). Dessa forma, além do custo das atividades de transformação (orçamentos tradicionais), é possível considerar o custo de algumas atividades de fluxo do processo de produção (orçamento com visão operacional).

As composições de custo unitárias são formadas pelo conjunto de insumos (materiais ou mão de obra) necessários para a realização de uma unidade de serviço e são associados a um coeficiente de consumo e preço retirados do banco de dados da construtora.

O modelo propõe, que os custos de atividades de transformação sejam separados em material e mão de obra, uma vez que, de modo geral, o pagamento da mão de obra é feita após a execução da operação, enquanto a aquisição do material é feita em um momento anterior e o pagamento pode ser feito de forma parcelada, facilitando assim, a gestão dos custos. Da mesma forma, recomenda que os custos variáveis com o tempo e eventos sejam explícitos, para auxiliar os gestores na avaliação do impacto do prazo da obra no custo total.

O modelo também propõe a divisão do orçamento executivo em grupos de custos (Quadro 4), organizados de acordo com a fonte das informações de quantitativos (modelos BIM, plano de longo prazo ou entrada de informações). Cada grupo de custos é composto por uma planilha orçamentária subdividida em subgrupos e itens de custos. Os itens de custos referem-se aos itens geradores de custos e os subgrupos têm a função de organizar e hierarquizar a informação.

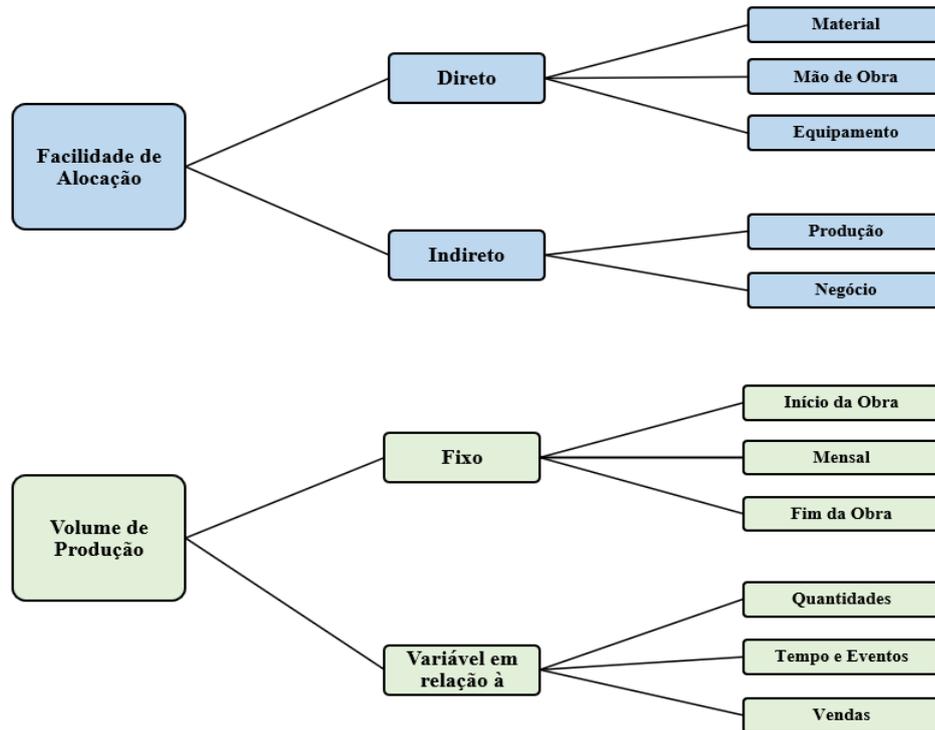
Quadro 4 – Grupos de custos propostos por Sauer (2020)

Grupos de Custos		Descrição	Classificação		Fonte das informações
			Facilidade de Alocação	Volume de Produção	
1	Projetos	são verbas para elaboração dos diversos projetos e aprovações com os órgãos legais.	Indireto Negócio	Fixo	Plano Estratégico
2	Despesas Indiretas	são itens relacionados a impostos, comissões de vendas, assessorias, despesas bancárias, seguros, registros de imóveis, terreno, marketing, rateio das despesas do escritório central que variam de acordo com o nº de unidades do empreendimento, o prazo de execução e vendas	Indireto Negócio	Fixo e Variável	Viabilidade ou Plano Estratégico ou Plano de Longo Prazo da Produção
3	Habitação	Itens de mão de obra e material referente a execução das torres. O custo é variável em relação às quantidades, e os quantitativos são extraídos dos modelos BIM.	Direto	Variável	Modelo BIM 3D
4	Infraestrutura	Itens referentes a material e mão de obra para execução terraplenagem, redes hidrossanitárias, instalações elétricas, bacias de drenagem, castelo d'água, entre outros itens de custos. O custo é variável em relação às quantidades, e alguns quantitativos são extraídos dos modelos BIM.	Direto	Variável	
5	Áreas Comuns	Itens de mão de obra e material referente a execução salão de festa, fitness, piscina, playground, quadra poliesportiva, entre outros. O custo é variável em relação às quantidades, e os quantitativos são extraídos dos modelos BIM.	Direto	Variável	
6	Locação de Equipamentos	Itens referentes a locação ou compra de máquinas e equipamentos para execução da habitação, infraestrutura e equipamentos comunitários. Os custos variáveis em relação ao tempo, os quantitativos são extraídos do plano de longo prazo de acordo com a duração das tarefas.	Direto ou Indireto Produção	Fixo e Variável	Plano de Longo Prazo da Produção
7	Administração da Obra	Itens referentes a equipe administrativa responsável pelo gerenciamento e execução da obra. O custo é estimado de acordo com o prazo de execução adicionada um percentual de encargos sociais, proveniente dos dados históricos da empresa.	Indireto Produção	Fixo	
8	Instalações Provisórias e Consumos Mensais	Itens referentes a implantação do canteiro de obras, consumos mensais do canteiro (água, energia elétrica, material de expediente) e consultorias e testes de qualidade.	indireto	Fixo e Variável	

(fonte: Sauer, 2020)

Por fim, outra classificação proposta pelo modelo leva em consideração a facilidade de alocação e o volume de produção ou das vendas, com o objetivo de apoiar a tomada de decisões e tornar rastreáveis os custos das atividades de transformação e alguns custos das atividades de fluxo. A Figura 16 apresenta um esquema da classificação de custos do modelo.

Figura 16 – Classificação dos custos por Sauer (2020)



(fonte: Sauer, 2020)

A classificação de acordo com a facilidade de alocação divide os custos em diretos e indiretos. No modelo, os custos diretos são aqueles facilmente rastreáveis ao processo de produção (BORNIA, 2019), enquanto os custos indiretos, normalmente são consumidos por mais de um processo, necessitando utilizar um critério de rateio (BORNIA, 2019). Para Sauer (2020), os custos diretos estão relacionados às atividades de transformação, e são divididos em material, mão de obra e equipamentos. A referida autora também menciona que os custos indiretos podem ser tanto custos da produção, como custos do negócio do empreendimento, normalmente consumidos pela administração central. Por essa razão, os custos indiretos são classificados em indiretos da produção e despesas indiretas do negócio.

A classificação dos custos de acordo com o volume de produção ou das vendas divide os custos em fixos e variáveis. Os custos fixos são definidos como aqueles que permanecem constantes⁹, independente do volume de produção (BORNIA, 2019). Por outro lado, os custos variáveis estão intimamente relacionados com a produção (BORNIA, 2019). O modelo propõe que os custos fixos sejam classificados em função da sua recorrência, sendo divididos em: início da obra, mensal e término da obra. Entende-se como início da obra o período desde a contratação

⁹ O horizonte tempo considerado na classificação de Sauer (2020) é mensal.

da obra até a mobilização do canteiro de obras; como mensal, o período entre a mobilização e a desmobilização da obra; e como término da obra, o período de desmobilização até o último desembolso. Aos custos variáveis é proposta a classificação em variáveis em relação ao tempo ou eventos, variáveis em relação às quantidades e variáveis relacionados às vendas. Os custos variáveis em relação às quantidades referem-se às atividades de transformação da obra.

Já a outra etapa do modelo apresentada na Figura 15, compreende os Processos de PCP, que resulta no plano de longo prazo, que é o documento que contém a meta de prazo, definindo os processos, ritmos, fluxo de trabalho e duração das atividades (datas de início e término). Sauer (2020) sugere a utilização da linha de balanço, ou outra ferramenta de planejamento baseada em localização, dada sua característica de fornecer, de forma gráfica e de fácil compreensão, a trajetória e ritmos de produção e informações de duração, cuja elaboração deve levar em conta a redução dos estoques em processo, a sincronia entre processos, a redução do tamanho dos lotes e a continuidade dos fluxos de trabalho.

Sauer (2020) recomenda que, antes do início da execução da obra, se realize um conjunto de reuniões envolvendo a equipe da obra para a elaboração do PSP. Nessas reuniões deve ser discutido: o sequenciamento dos processos da unidade base (uma unidade repetitiva que pode ser representada por um pavimento, um apartamento, uma casa), dimensionamento dos recursos de produção, planejamento dos fluxos de trabalho, balanceamento e sincronização de equipes, definição dos equipamentos de transporte vertical, análise de interferências de equipamentos de proteção coletiva, dimensionamento de instalações do canteiro, planejamento da logística e leiaute do canteiro de obras.

A definição da LBS é o ponto central do modelo proposto, pois representa a divisão das unidades bases, lotes de produção e transferência (representa a quantidade de lotes de produção prontos da equipe predecessora que libera o início da equipe sucessora), previstos no PSP. Cada localização deve ser espacialmente bem definida, permitindo que tanto os elementos do modelo BIM, como os quantitativos e atividades que agregam valor e custos sejam subdivididos e alocadas nelas.

Sauer (2020) recomenda que, ao elaborar a LBS, deve-se buscar definir pequenos lotes de produção, visando reduzir o tempo de ciclo dos processos e, acrescenta, que uma localização deve ser pequena o suficiente para gerar o efeito aprendizado, facilitar o controle da produção

e remover os *buffers* implícitos, sendo a mais genérica possível, de forma a atender os processos de uma mesma etapa da obra, os lotes de produção e transferência.

A etapa seguinte é a definição dos processos de produção e durações. Ao definir um processo de produção, deve-se levar em consideração que este consome os mesmos recursos (mão de obra, material e equipamentos) e pertence ao mesmo nível da LBS. A duração do processo é resultado da definição do ritmo de produção e tempo de ciclo, devendo atender aos prazos estabelecidos no planejamento estratégico, sendo que o ritmo de produção é o número de unidades base produzidas pela unidade de tempo (VARGAS, 2018) e o tempo de ciclo é o somatório dos períodos de tempos gastos de um processo (KOSKELA, 1992).

Após, deve ser definida a sequência executiva dos processos, que representa o fluxo entre os processos de produção e entre os níveis da LBS. Deve-se estabelecer uma rede de precedência entre os processos e entre as localizações. Nesta etapa também são definidos os lotes de transferência. Sauer (2020) acrescenta que é importante a definição de uma sequência que busque eliminar atividades que não agregam valor e descontinuidades no trabalho das equipes.

Por fim, a integração Custo-PCP tem como resultado o planejamento dos custos e a formação da projeção do fluxo de caixa atualizada do empreendimento. Primeiramente, dados de durações relevantes para estimar os custos variáveis em relação ao tempo ou a eventos e os custos fixos devem ser extraídos do plano de longo prazo. Após, os itens de custos variáveis em relação às quantidades são associados aos processos do plano de longo prazo. Essa ação define o planejamento dos custos, isto é, o custo de cada processo, em cada localização, distribuído no tempo.

O custo em cada localização é calculado por meio dos quantitativos por localização (LBS) extraídos do modelo 3D e preço unitário provenientes do orçamento executivo. Como uma atividade é composta por diferentes insumos, é necessário distinguir como ocorrem o desembolso dos custos de cada um de seus insumos, considerando a diferença temporal que pode haver entre o momento que um recurso é adquirido pela empresa (gasto), quando o recurso é consumido (custo) e quando o recurso é pago aos fornecedores (desembolso).

4 DESCRIÇÃO DO ESTUDO

O estudo foi realizado sob a perspectiva de uma empresa construtora-incorporadora em cujo setor de planejamento e gestão de custos a autora atua como auxiliar de engenharia. Na seção

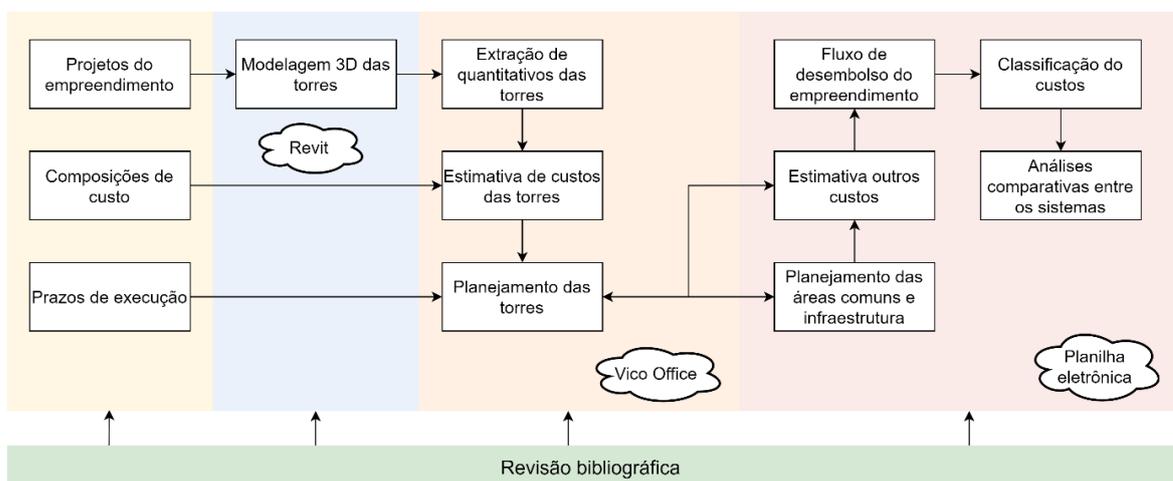
4.1, é apresentada uma visão geral do método de trabalho adotado. Nas seções 4.2 e 4.3 são descritos a empresa e o empreendimento estudado, respectivamente.

4.1 VISÃO GERAL DO MÉTODO DE TRABALHO

A Figura 17 apresenta uma visão geral do método de trabalho adotado, o qual foi fortemente baseado no modelo de Sauer (2020) (Figura 15). A primeira etapa do estudo concentrou-se no levantamento de dados. Nessa etapa o projeto do empreendimento foi analisado para posterior modelagem 3D no *software Revit*. As composições de custo e prazos de execução dos serviços foram levantadas a partir de dados históricos da empresa, da literatura pesquisada e de fornecedores em potencial consultados (projetistas, consultores e fornecedores de equipamentos e de mão de obra). Com esses dados, foi realizada a modelagem 5D das torres no *software Vico Office* (VO).

Nessa etapa ocorreu a extração de quantitativos para a estimativa de custos. Os itens de custo foram vinculados às tarefas previamente definidas para cada sistema. Com isso, foi elaborado o planejamento de longo prazo das torres através da ferramenta de linha de balanço. Paralelo a isso, o plano de longo prazo das áreas comuns e infraestrutura foi produzido para analisar as interferências entre as atividades internas e externas às torres. Com o auxílio de planilha eletrônica, foram estimados os custos do empreendimento que não estão diretamente associados às quantidades produzidas e desenvolvido o fluxo de desembolso do empreendimento. Nessa última etapa, os custos também foram classificados e as análises e comparações entre os sistemas avaliados foram realizadas. Ao longo de todas as etapas do trabalho a revisão bibliográfica fez-se presente para auxiliar na elaboração do mesmo.

Figura 17 – Resumo do método de trabalho



(fonte: Autora)

O *software* BIM para PCP e Estimativa de Custos escolhido foi o *Vico Office* (VO), que realiza o rastreamento dos objetos BIM considerados no orçamento e possui ferramentas para elaboração do planejamento baseado na localização, conforme recomendado por Sauer (2020). Portanto, a operacionalização do modelo ocorreu por meio do uso do *software* VO e o modelo BIM 3D, o que permitiu a extração de quantitativos de forma automática, assim como a vinculação dos objetos BIM ao orçamento, elaboração do planejamento baseado na localização e a integração das informações de orçamento e planejamento.

4.2 A EMPRESA

A empresa foco deste estudo é uma construtora e incorporadora de pequeno porte que atua há 10 anos exclusivamente no segmento de habitação de baixa renda. Atualmente, possui 3 canteiros de obra ativos, com mais de 600 unidades a serem entregues entre 2020 e 2021. Possui sede administrativa na cidade de Porto Alegre (RS) e foi fundada em 1991, tendo um acervo técnico composto de diferentes tipos de obras: comerciais, industriais, residenciais de alto padrão, habitações populares e obras de infraestrutura.

A escolha da empresa deve-se, principalmente, à autora atuar na empresa e ter acesso às informações necessárias para realização do trabalho. Além disto, a oportunidade para a realização deste estudo surgiu porque a empresa, pela primeira vez, lançou um empreendimento em paredes de concreto, sendo seus últimos empreendimentos construídos em alvenaria estrutural. Além disso, a empresa foi escolhida por possuir um sistema de planejamento e controle de custo e prazo formalizado, sendo que este possui elementos do modelo de Sauer (2020). De fato, a empresa utiliza o orçamento, até um certo ponto, com uma visão operacional e o planejamento baseado na localização, com o auxílio de BIM e linha de balanço para o planejamento de longo prazo. É importante destacar que por utilizar em sua totalidade de serviços mão de obra subempreitada, a construtora tende a buscar o fluxo ininterrupto das atividades em seu planejamento, de forma a evitar que as equipes fiquem ociosas.

Outra característica da empresa importante para este estudo é a produção com características repetitivas, já que os empreendimentos de baixa renda normalmente têm um grande número de pavimentos ou unidades idênticas. Assim, a empresa busca aumentar a eficiência e reduzir custos por meio do efeito aprendizagem e da grande escala de produção.

4.3 O EMPREENDIMENTO

A obra analisada neste estudo é um empreendimento de habitação de interesse social financiado pelo PMCMV, operacionalizado pela Caixa Econômica Federal (CEF). O mesmo está localizado na Região Metropolitana de Porto Alegre. Possui 19 torres de 5 andares, sendo um térreo e 4 pavimentos tipo, totalizando 380 apartamentos.

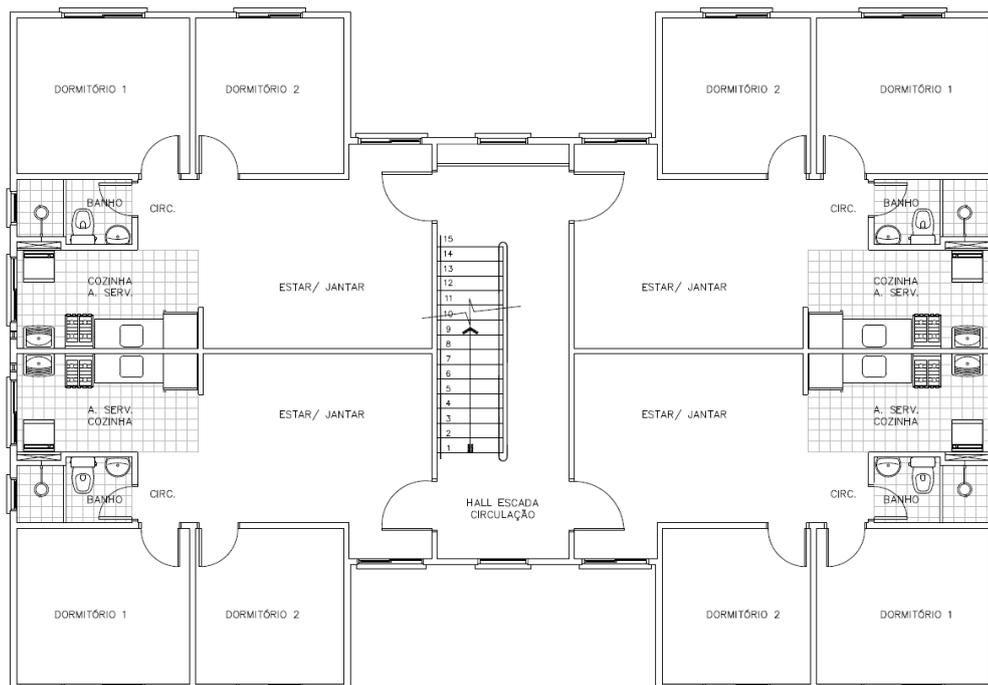
Figura 18 – Planta de implantação do empreendimento



(fonte: Construtora)

Os apartamentos possuem de cerca de 45 m², compostos por sala de estar, cozinha/área de serviço, banheiro, dormitório de casal e solteiro. Para efeito de simplificação deste estudo foram consideradas todas as torres iguais, desconsiderando os apartamentos chamados PNE (Portador de Necessidades Especiais), que possuem algumas características particulares na estrutura. Portanto, os 20 apartamentos foram considerados exatamente iguais, sendo apenas a circulações diferentes no térreo, andares tipo e último andar.

Figura 19 – Planta baixa pavimento tipo



(fonte: Construtora)

Além das unidades habitacionais, o empreendimento possui portaria central, espaço *coworking*, salão de festas, brinquedoteca, academia, quadra poliesportiva, *playground*, quiosques, piscina adulto e infantil, bicicletário e vagas de estacionamento, como também um prédio para estacionamento.

5 RESULTADOS

O presente capítulo descreve a realização do estudo comparativo através dos passos do modelo de Sauer (2020), e de acordo com o método de trabalho da Figura 17. Primeiramente, são apresentadas as informações de entrada, seguidas da descrição dos processos de custos, que incluem a estimativa de custos através de grupos de custo, de acordo com as soluções técnicas definidas para cada processo construtivo. Após, é realizada a descrição dos processos de PCP que resulta no plano de longo prazo da obra. Por fim, é descrita a integração custo – PCP.

No apêndice A, encontra-se o orçamento executivo do grupo de custo da Habitação, por ser um documento extenso. Destaca-se que os custos foram multiplicados por um coeficiente para garantir a confidencialidade dos dados da construtora, como também não são detalhadas as composições de custo com as taxas de consumo e taxas de perda, e os insumos correspondentes utilizados no estudo. No apêndice B, encontram-se todas as linhas de balanço elaboradas para este estudo, separadas pelas fases do empreendimento e com o número de atividades reduzidas (apenas apartamentos), para facilitar a visualização.

5.1 ENTRADA DE DADOS

O estudo de viabilidade financeira, realizado antes do lançamento do empreendimento, assim como o planejamento estratégico da empresa (coletado de forma informal) foram utilizados como base para elaborar o orçamento e o planejamento físico-financeiro da obra para os dois processos construtivos.

O empreendimento analisado neste trabalho é dividido em fases (Quadro 5) perante a CEF para facilitar a liberação de receita, visto que é um empreendimento com elevado número de unidades, e a receita é liberada somente após 30% de unidades vendidas. Para o planejamento da obra, as fases foram consideradas em sequência com fluxo ininterrupto entre as equipes.

Quadro 5 – Faseamento do empreendimento

FASE	TORRES
FASE 1	1, 2, 3, 7, 8, 9, 10 e 11 (8 torres)
FASE 2	4, 5, e 6 (3 torres)
FASE 3	12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 (8 torres)

(fonte: Autora)

A Figura 20 apresenta o *layout* da obra considerado para este estudo, destacando as divisões de fases, as áreas comuns que são executadas em momentos diferentes, a locação das instalações provisórias e entrada de obra.

Figura 20 – Implantação de fases e canteiro da obra

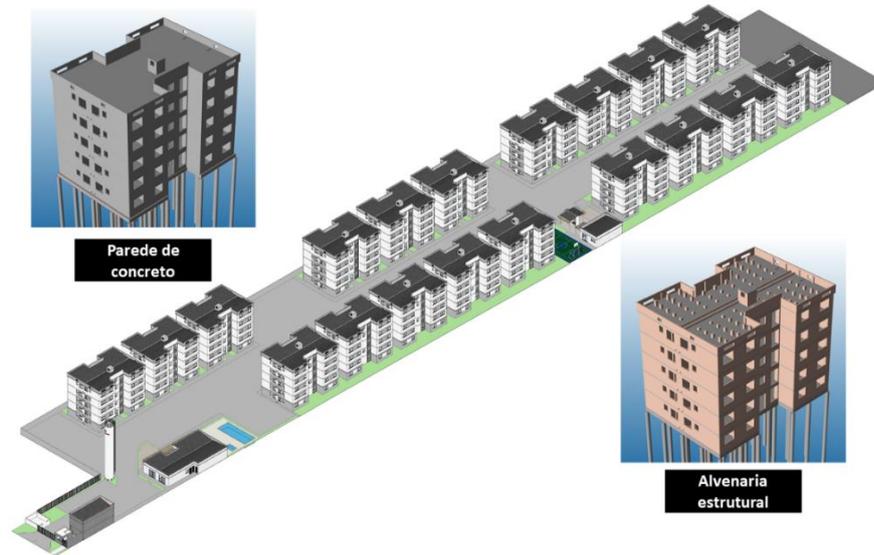


(fonte: adaptado da Construtora)

Para a modelagem 3D, apenas as torres foram consideradas, levando em conta que a infraestrutura do empreendimento é praticamente igual para os dois processos construtivos. Os modelos 3D foram elaborados pela autora no *software Revit*, baseados nos projetos já desenvolvidos para o empreendimento, no caso de paredes de concreto. Para os modelos de alvenaria estrutural, como o modelo de torre já é padrão da empresa e já foi construído em outros empreendimentos passados da construtora, pôde-se utilizar também um projeto anterior, que não necessitou de adaptações. Não foram elaborados os modelos MEP (*mechanical, electrical and plumbing*) pois a construtora estima os custos das instalações por apartamento, pavimento ou torre, não sendo necessário na etapa de orçamento extrair quantitativos desses elementos.

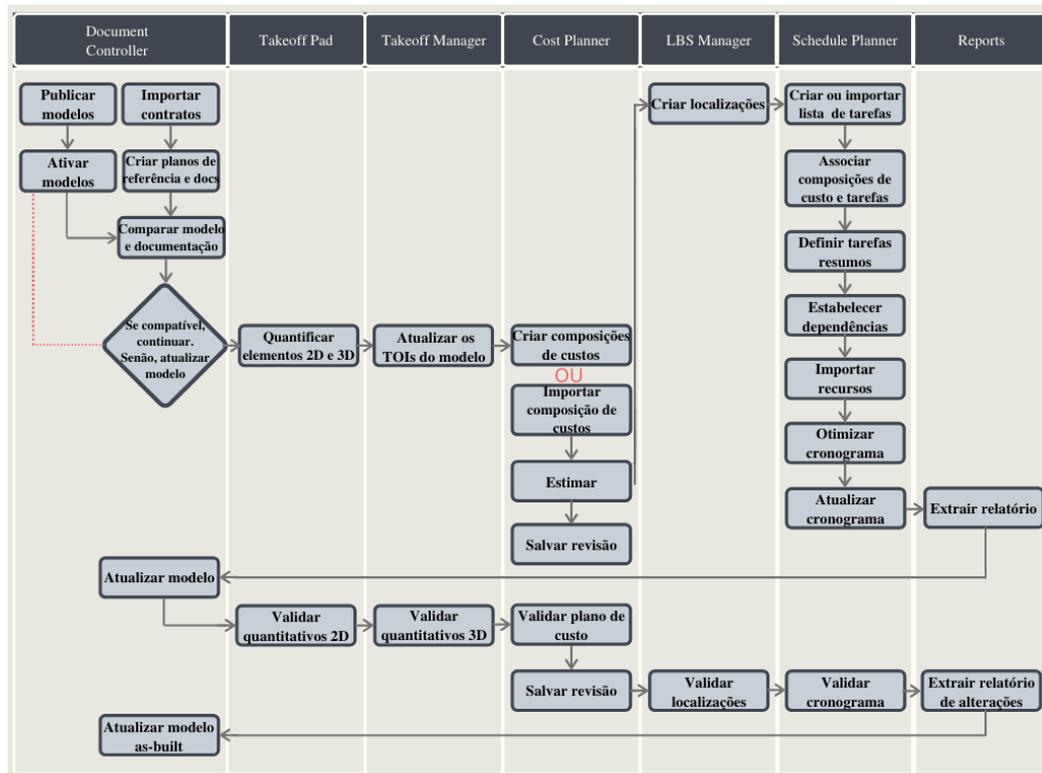
Para cada processo construtivo foi elaborado um modelo unificado de estrutura e arquitetura para uma torre padrão em um arquivo RVT (extensão dos arquivos do *software Revit*), e esse modelo foi localizado nas coordenadas geográficas corretas das 19 torres através de *links* em outros 19 arquivos.

Figura 21 – Modelos 3D desenvolvidos para o estudo



(fonte: Autora)

O fluxo de trabalho do *software* VO foi seguido (Figura 22), e para iniciar, os modelos 3D foram importados ao mesmo via *plugin* do *software* Revit. Foram importados 19 arquivos, sendo um arquivo para cada modelo arquitetônico/estrutural por torre.

Figura 22 – Fluxo de trabalho do *software* Vico Office

(fonte: adaptado por Sauer (2020) de Trimble, 2018, p. 91)

Outra premissa importante é em relação ao prazo de obra. Como o aumento de prazo total da obra representa um aumento no custo projetado para o empreendimento, devido ao aumento do montante total dos custos fixos mensais, e no caso do aumento do prazo da estrutura, causa também o aumento de custos vinculados a essa atividade, como os custos de locação de equipamentos. Por diminuir o lucro do empreendimento e haver uma regra da CEF que estabelece um prazo máximo de entrega de obra (36 meses), a construtora executa sempre mais de uma torre por vez de estrutura em seus empreendimentos de alvenaria estrutural, pois o tempo de execução dessa estrutura é muito longo e sobra pouco tempo para os acabamentos e instalações.

Nesse contexto, para este trabalho, no sentido de comparar de forma mais adequada os dois processos construtivos, foi considerado um prazo de execução total da obra igual para os dois, levando em conta a premissa que o tempo de execução da estrutura em alvenaria estrutural é muito maior que o de paredes de concreto.

5.2 PROCESSOS DE CUSTOS

Como recomendado por Sauer (2020), o orçamento executivo foi dividido em vários grupos de custos. Os grupos de custo 1 (Projetos) e 2 (Despesas Indiretas) foram levantados a partir do estudo de viabilidade financeira previamente elaborado pela empresa construtora. É importante ressaltar, que no grupo de custos de Despesas Indiretas há itens que variam de acordo com o prazo de execução total da obra, mas, considerando este igual, entende-se que esses custos são praticamente idênticos para os dois processos construtivos e, não influenciam na tomada de decisão entre os dois. Esses dois grupos de custos não foram considerados na análise do fluxo de caixa, levando em conta que este trabalho é um estudo comparativo e pretende focar nos itens relacionados à gestão da produção.

O grupo de custo 3 (Habitação) foi orçado em sua totalidade pelas quantidades extraídas dos modelos 3D gerados e as composições de custo historicamente utilizadas pela empresa construtora. Entretanto, principalmente para o processo construtivo de paredes de concreto, foram utilizadas composições encontradas na literatura e informadas por especialistas e fornecedores em potencial.

Para os grupos de custos 4 (Infraestrutura) e 5 (Áreas Comuns) foi utilizado o valor informado pela construtora do estudo de viabilidade financeira previamente desenvolvido, pois não foram considerados como variáveis significativamente em relação ao processo construtivo.

Já para os grupos de custos 6 (Máquinas, Equipamentos e Ferramentas), 7 (Administração da Obra) e 8 (Instalações Provisórias e Consumos Mensais), relativos ao suporte a construção do produto final, que englobam custos variáveis em relação ao tempo e eventos, como também os custos fixos mensais de consumos de obra, foram orçados através da vinculação com a duração dos processos de produção ou ao prazo total da obra.

Assim, o desenvolvimento do modelo BIM 5D limitou-se ao estudo do grupo de custos da Habitação, referentes às torres. Os custos variáveis em relação ao tempo, referentes aos grupos de custos de Locação de Equipamentos, Instalações Provisórias e Consumos Mensais e Administração da Obra foram vinculados ao planejamento de longo prazo, com uso de planilha eletrônica.

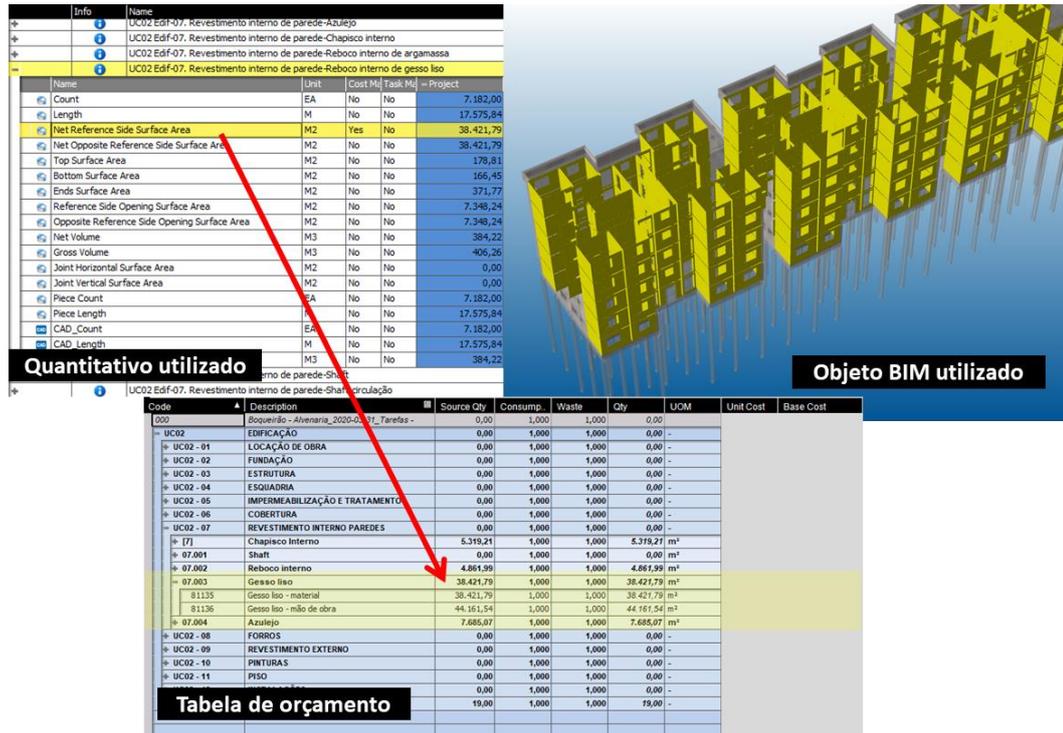
Como os critérios de medição para extração dos quantitativos, contratação e desembolso são diferentes para itens mão de obra e material, foram criados itens distintos no orçamento para estes recursos. Como a construtora trabalha com mão de obra terceirizada na produção e realiza o pagamento dos subempreiteiros por lotes de produção em função da terminalidade, os itens de mão de obra ao invés de serem detalhados por operação e quantificadas por tempo, foram detalhados por processos, em função dos critérios de medição.

O custo total (*Base Cost*) para cada item de custo foi calculado multiplicando seu quantitativo (*Qty*), pelo seu custo unitário (*Unit Cost*) conforme Eq1. Os quantitativos (*Qty*), foram determinados multiplicando a quantidade de origem (*Source Qty*), por uma taxa de consumo (*Consumption*), por uma taxa de perda (*Waste*), conforme Eq2. A quantidade de origem foi extraída dos modelos 3D através da vinculação dos quantitativos (TOI.TOQ) aos itens de custo do orçamento.

$$\text{Custo total} = \text{Quantidade} \times \text{Preço Unitário} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{Quantidade} = \text{Source Qty} \times \text{Taxa de Consumo} \times \text{Taxa de Perda} \quad \text{Eq. 2}$$

Figura 23 – Itens de custo do orçamento referente ao gesso liso (exemplo)



The image shows a screenshot of a BIM software interface. On the left, there is a table titled 'Quantitativo utilizado' (Quantity used) with columns for Name, Unit, Cost M, Task M, and Project. The table lists various construction items, with 'Gesso liso' (smooth plaster) highlighted in yellow. A red arrow points from the 'Gesso liso' row in this table to the 'Tabela de orçamento' (Budget table) on the right. The 'Tabela de orçamento' table has columns for Code, Description, Source Qty, Consump., Waste, Qty, UOM, Unit Cost, and Base Cost. It lists various construction items, with 'Gesso liso' and its sub-items highlighted in yellow. On the right side of the interface, there is a 3D model of a building structure, labeled 'Objeto BIM utilizado' (BIM object used).

Name	Unit	Cost M	Task M	Project
Count	EA	No	No	7.182,00
Length	M	No	No	17.575,84
Net Reference Side Surface Area	M2	Yes	No	38.421,79
Net Opposite Reference Side Surface Area	M2	No	No	38.421,79
Top Surface Area	M2	No	No	178,81
Bottom Surface Area	M2	No	No	166,45
Ends Surface Area	M2	No	No	371,77
Reference Side Opening Surface Area	M2	No	No	7.348,24
Opposite Reference Side Opening Surface Area	M2	No	No	7.348,24
Net Volume	M3	No	No	384,22
Gross Volume	M3	No	No	406,26
Joint Horizontal Surface Area	M2	No	No	0,00
Joint Vertical Surface Area	M2	No	No	0,00
Piece Count	EA	No	No	7.182,00
Piece Length	M	No	No	17.575,84
CAD_Count	EA	No	No	7.182,00
CAD_Length	M	No	No	17.575,84
	M3	No	No	384,22

Code	Description	Source Qty	Consump.	Waste	Qty	UOM	Unit Cost	Base Cost
UC02	EDIFICAÇÃO	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 01	LOCAÇÃO DE OBRA	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 02	FUNDAÇÃO	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 03	ESTRUTURA	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 04	ESQUADRIA	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 05	IMPERMEABILIZAÇÃO E TRATAMENTO	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 06	COBERTURA	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 07	REVESTIMENTO INTERNO PAREDES	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
[7]	Chapisco Interno	5.319,21	1,000	1,000	5.319,21	m²		
07.001	Shalit	0,00	1,000	1,000	0,00	m²		
07.002	Reboco interno	4.861,99	1,000	1,000	4.861,99	m²		
07.003	Gesso liso	38.421,79	1,000	1,000	38.421,79	m²		
81135	Gesso liso - material	38.421,79	1,000	1,000	38.421,79	m²		
81136	Gesso liso - mão de obra	44.161,54	1,000	1,000	44.161,54	m²		
07.004	Azulejo	7.685,07	1,000	1,000	7.685,07	m²		
UC02 - 08	FORROS	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 09	REVESTIMENTO EXTERNO	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 10	PINTURAS	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
UC02 - 11	PISO	0,00	1,000	1,000	0,00	-		
		19,00	1,000	1,000	19,00	-		

(fonte: Autora)

5.2.1 Grupo de Custo Habitação

O grupo de custo da Habitação foi dividido em grandes grupos conforme mostra o Quadro 6, que apresenta as definições de soluções de engenharia para cada processo construtivo que influenciaram na elaboração do orçamento e planejamento da Habitação. As definições mais relevantes e diferentes para cada processo construtivo serão descritas a seguir, e estão destacadas em verde no quadro. É importante ressaltar que essas definições consideram o mesmo padrão final do apartamento.

A escolha do tipo de fundação depende das condições locais do empreendimento, especialmente da resistência mecânica do solo, e deve contemplar os aspectos de segurança, estabilidade e durabilidade da fundação (parâmetros de ordem geral) e a questão do alinhamento e nivelamento necessários para a produção das paredes de concreto (parâmetros específicos do sistema construtivo) (ABCP, 2009). É recomendado que se execute uma laje na cota do terreno, para que constitua um apoio ao sistema de formas e elimine a possibilidade de se trabalhar no terreno bruto (ABCP, 2009). É interessante que esta laje seja construída excedendo a dimensão igual à espessura dos painéis externos das formas, para permitir o apoio e facilitar a montagem dos moldes (ABCP, 2009).

Quadro 6 – Soluções de engenharia para o grupo de custo da Habitação

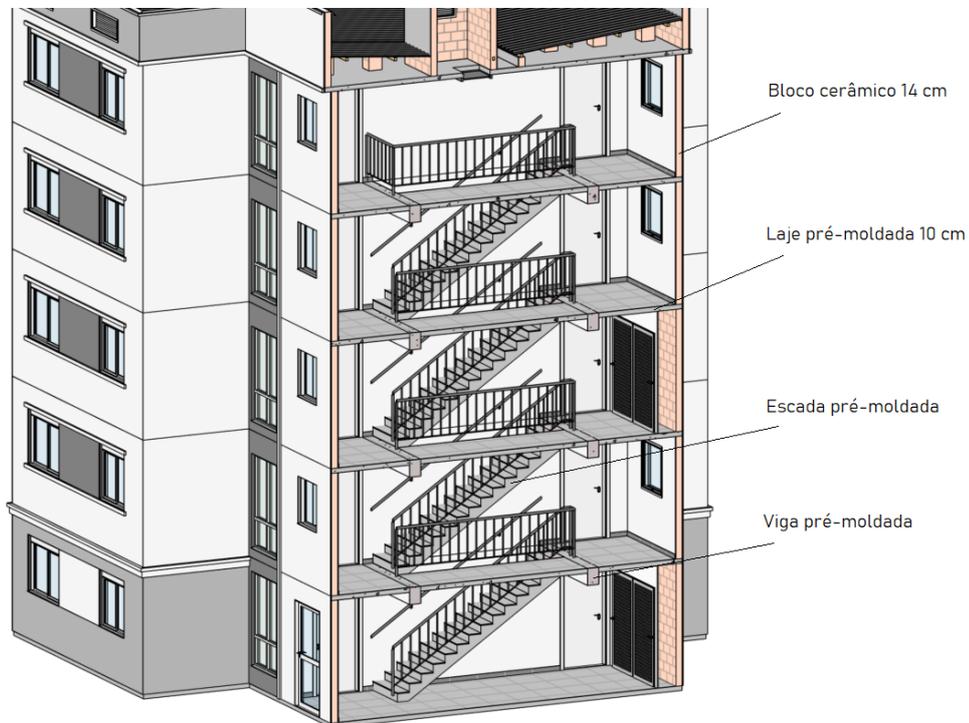
	Alvenaria	Concreto
Locação	Gabarito de madeira	Gabarito de madeira
Fundação	Estacas escavadas	Estacas escavadas
	Vigas de baldrame	Vigas de baldrame
Estrutura	Contrapiso armado	Contrapiso armado
	Alvenaria de blocos cerâmicos	Parede e laje de concreto moldada no local
	Laje pré-moldada de concreto	
Cobertura	Pilaretes de alvenaria, madeira e telha fibrocimento	Estrutura metálica e telha fibrocimento
	Calha de alvenaria	Calha metálica
	Rufos e capeamento de chapas de funilaria	Rufos e capeamento de chapas de funilaria
Fechamentos	Janelas de alumínio com contramarco	Janelas de alumínio sem contramarco
	Janelas de ferro com contramarco	Janelas de ferro sem contramarco
	Portas de madeira e alumínio	Portas de madeira e alumínio
	Shaft gesso acartonado	Shaft gesso acartonado
	Forro e sanca de gesso	Forro e sanca de gesso
Revestimentos	Chapisco e placas cerâmicas paredes	Placas cerâmicas paredes
	Gesso liso	Regularização interna de argamassa
	Reboco interno de argamassa	
	Degrau basalto escada	Degrau basalto escada
	Piso cerâmico	Piso cerâmico
	Rodapé cerâmico	Rodapé cerâmico
	Soleira de basalto	Soleira de basalto
	Molduras de EPS	Molduras de EPS
	Reboco externo de argamassa	Regularização externa de argamassa
Pinturas	Peitoril de basalto	Peitoril de basalto
	Pintura tinta esmalte	Pintura tinta esmalte
	Textura externa tinta elastomérica	Textura externa tinta elastomérica
	Pintura/textura interna tinta PVA	Pintura/textura interna tinta PVA
Impermeabilização e tratamentos	Pintura/textura interna tinta acrílica	Pintura/textura interna tinta acrílica
	Tratamento acústico lajes	Tratamento acústico lajes
	Junta deslizante laje cobertura	Junta deslizante laje cobertura
	Impermeabilização calha cobertura	-
	Impermeabilização argamassa polimérica	Impermeabilização argamassa polimérica
Instalações	Impermeabilização vigas de fundação	Impermeabilização vigas de fundação
	Instalações elétricas	Instalações elétricas
	Instalações hidrossanitárias	Instalações hidrossanitárias
	Instalação de proteção contra incêndio	Instalação de proteção contra incêndio
Complementação final	Aparelhos sanitários e metais	Aparelhos sanitários e metais
	Cobertura entrada torres	Cobertura entrada torres
	Caixa de correio	Caixa de correio
	Placas	Placas

(fonte: Autora)

Assim, para as fundações, foi considerado o mesmo tipo para os dois processos construtivos: estacas escavadas e vigas de baldrame com contrapiso. Essa solução vem sendo utilizada nos últimos empreendimentos de alvenaria estrutural da construtora, e pode ser uma solução viável para paredes de concreto, conforme consultado com projetistas. Visto isso, optou-se neste estudo por considerar o mesmo dimensionamento de fundações para os dois casos.

Para a estrutura, a alvenaria estrutural foi orçada com blocos cerâmicos de paredes de 14 cm e lajes pré-moldadas de 10 cm, com escadas e vigas também pré-moldadas, componentes sobre os quais a empresa construtora possui grande experiência (Figura 24).

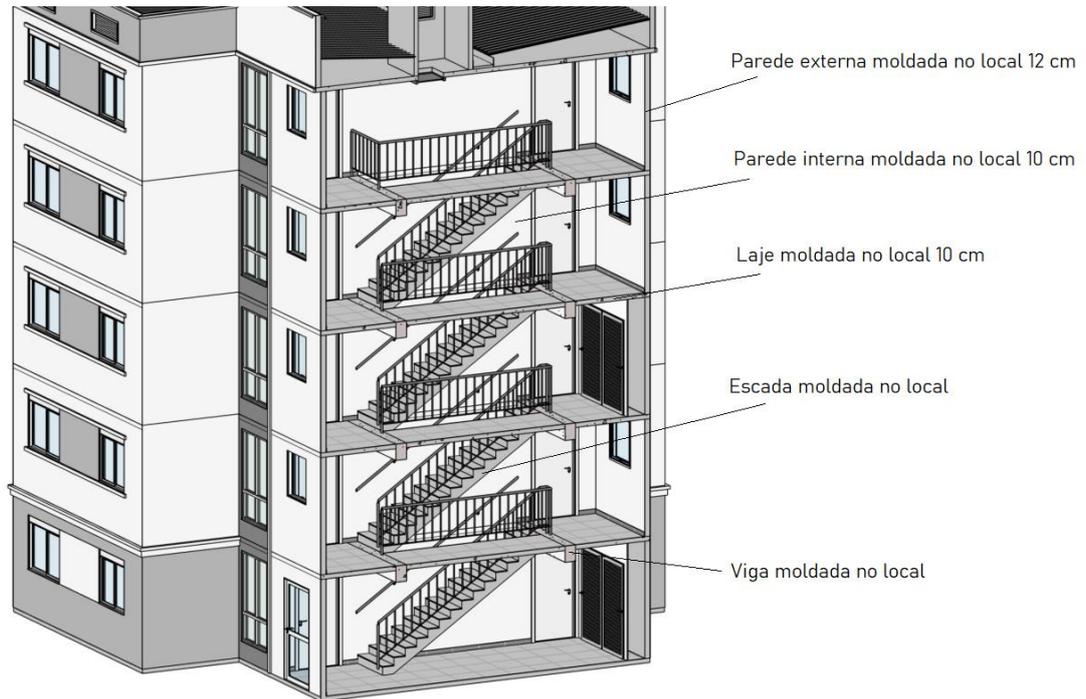
Figura 24 – Características da estrutura em alvenaria estrutural



(fonte: Autora)

Para o processo construtivo de paredes de concreto, foram definidas paredes externas de 12 cm e internas de 10 cm, com lajes de 10 cm, sendo as vigas e escadas também moldadas *in loco* (Figura 25). A diferença de espessura entre as paredes internas e externas foi devida à recomendação de especialistas para evitar o aparecimento de fissuração nas paredes. Pode-se salientar, que aumentar a espessura das paredes externas auxilia também no desempenho em relação ao conforto termoacústico da edificação.

Figura 25 – Características da estrutura em paredes de concreto moldadas no local



(fonte: Autora)

Para a cobertura, no caso da na alvenaria estrutural, a construtora tem adotado um telhado que é apoiado em uma estrutura de pilaretes de alvenaria e ripas de madeira, que recebem a manta térmica e as telhas de fibrocimento. Esse sistema é mais econômico e aproveita da mesma mão de obra da alvenaria para a base do telhado. Já para as paredes de concreto foi considerado um telhado de estrutura metálica para receber o fechamento, pois nesse caso não se justifica o uso de alvenaria, e esse telhado possui uma velocidade de execução maior. É importante destacar que o telhado metálico pode ser utilizado em qualquer um dos sistemas, assim, é opção da construtora nas obras em alvenaria estrutural utilizar o telhado descrito. Como consequência do tipo de telhado, na alvenaria estrutural a calha de escoamento pluvial foi considerada de alvenaria e necessita de uma impermeabilização, nesse caso considerada de manta asfáltica. Nas paredes de concreto, foi considerada calha metálica que não tem necessidade de impermeabilização.

Para as janelas, na alvenaria estrutural a construtora utiliza contramarco de alumínio e ferro para fixá-las. No caso das paredes de concreto, esse item pode ser substituído pela previsão em projeto de um detalhe nas formas no formato de um “dente” no vão, que pode ser concretado com toda a estrutura.

Uma das características importantes do sistema de paredes de concreto é a grande redução da espessura e tipos das camadas de revestimento em relação à alvenaria estrutural. Segundo ABCP (2009), não existem restrições quanto ao uso de qualquer tipo de revestimento nas paredes de concreto, sendo exigidos apenas o cumprimento das especificações do fornecedor do material e, normalmente, são aplicados diretamente sobre a parede de concreto. Após a desforma, as paredes niveladas e aprumadas exibem uma textura regular, apresentando apenas os sinais superficiais das junções entre painéis e furos das ancoragens (ABCP, 2009). Também são visíveis pequenas bolhas de ar, geradas pela espuma ou incorporadas à massa durante o processo de lançamento (ABCP, 2009).

Nas áreas de banheiro e cozinha, na alvenaria estrutural foi considerado chapisco para preparo da parede antes de receber as placas cerâmicas. Já na parede de concreto, não há necessidade de chapisco, sendo o revestimento cerâmico fixado diretamente na superfície de concreto com argamassa colante (ABCP, 2009).

Para os outros revestimentos internos, Manzione (2004) recomenda, para alvenaria estrutural, utilizar em ambientes molhados e de circulações comuns, revestimentos de massa única, e demais áreas gesso liso diretamente sobre o bloco. Assim, foi considerado massa única de 1,5 cm na cozinha e banheiro, e gesso liso corrido de 1,0 cm na sala, dormitórios e circulação. Para o sistema de paredes de concreto foi considerado apenas uma regularização da superfície com massa niveladora com 5 mm de espessura, conforme recomendado por ABCP (2009).

Para o revestimento externo na alvenaria estrutural foi considerado chapisco tradicional e massa única de 3 cm, conforme recomendado por Manzione (2004). Para as paredes de concreto, novamente foi considerado apenas uma regularização com massa niveladora de 2 mm.

Nas instalações, a diferença principal considerada nesse estudo foi na etapa de execução. A execução das caixas de interruptores e tomadas elétricas e os drenos de ar-condicionado na alvenaria estrutural foi considerada depois da elevação da alvenaria, sendo necessário fazer uma abertura no bloco. As emendas dos eletrodutos entre lajes também são executadas após a montagem das lajes. No caso das paredes de concreto, esses elementos são embutidos nas paredes e lajes e fixados nas telas de aço para serem concretados junto com a estrutura, assim, o valor de mão de obra desses serviços estão englobados na equipe que executa as paredes moldadas *in loco*. Vale salientar também, que as caixas elétricas no caso da parede de concreto

são mais onerosas, pois possuem solução diferenciada para resistir à execução da concretagem, permitir uma boa fixação às telas de aço e vedar a entrada de concreto.

5.2.2 Grupo de Custo Máquinas, Equipamentos e Ferramentas

Os principais equipamentos definidos para a execução da obra em alvenaria estrutural são:

- a) Andaime fachadeiro: funciona como equipamento de proteção coletiva no período de elevação da estrutura, e é utilizado também para a execução do reboco externo;
- b) Guindaste: utilizado para a montagem das lajes;
- c) Manipulador telescópico: utilizado para a movimentação horizontal e vertical de materiais durante o período de elevação da alvenaria;
- d) Plataforma hidráulica: utilizada para a execução da pintura externa;
- e) Retroescavadeira: utilizada para limpeza e terraplanagem, e escavação para as fundações e redes da infraestrutura;
- f) Escoras metálicas: utilizadas para escoramento das lajes.

Para cada lote de produção de montagem de laje pré-moldada, foi considerado um dia de guindaste. Em relação ao andaime fachadeiro, foi considerada sua montagem progressiva com a evolução da alvenaria e desmontagem após o término do reboco externo.

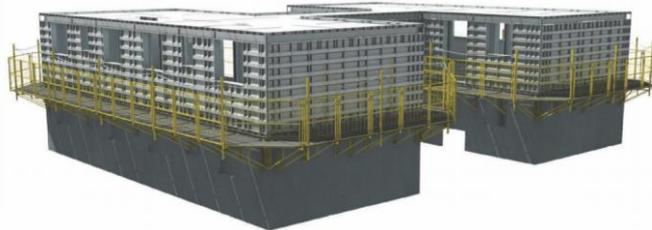
Já os equipamentos considerados necessários para as paredes de concreto, além das formas de alumínio, são:

- a) Caminhão Munck: utilizado para movimentação horizontal e vertical de materiais durante o período de elevação da estrutura;
- b) Andaime suspenso: utilizado para a execução da regularização externa;
- c) Plataforma hidráulica: utilizada para a execução da pintura externa;
- d) Retroescavadeira: utilizada para limpeza e terraplanagem, e escavação para as fundações e redes da infraestrutura.

Outros itens diversos como lava jato, compactador de solo, e outras ferramentas leves e manuais também foram levadas em consideração.

A forma escolhida para a moldagem das paredes de concreto foi a de alumínio (Figura 26), por permitir que a concretagem das paredes e das lajes seja feita em apenas uma única etapa e pelo seu alto grau de reutilização, dois fatores importantes para simplificação de tarefas na obra e reaproveitamento das formas em outros empreendimentos. Como a construtora trabalha com produção em escala, e seus produtos são padronizados, esse último fator é muito importante, pois o alto preço dessas formas comparado às outras, acaba se diluindo em um grande número de unidades, e não se torna um empecilho para a escolha desta solução. O peso relativamente baixo, em relação a outros tipos de formas, permite dispensar o uso de equipamentos e aumentar a produtividade da mão de obra, sendo este outro fator importante na decisão. No conjunto de formas está incluso um sistema de proteção coletiva que garante a segurança dos trabalhadores de forma equivalente ao andaime fachadeiro.

Figura 26 – Formas de alumínio previstas



(fonte: proposta comercial de formas de fornecedor)

5.2.3 Grupo de Custo Administração da Obra

A equipe administrativa da obra foi definida pela complexidade e número de atividades desenvolvidas em paralelo em cada mês da obra, considerando a quantidade de materiais a serem comprados e estocados, a quantidade de mão de obra a contratar e controlar, e as atividades de inspeção de qualidade, como também os serviços de auxílio à produção.

5.2.4 Grupo de Custo Instalações Provisórias e Consumos Mensais

Os consumos mensais de obra foram orçados multiplicando o prazo total da obra pelo preço unitário de cada item, que são iguais para os dois processos construtivos. Já para os itens de limpeza de obra, foi considerada uma redução de caçambas de limpeza ao longo da obra nas paredes de concreto, pois o processo construtivo produz menos resíduos de obra em relação à alvenaria estrutural.

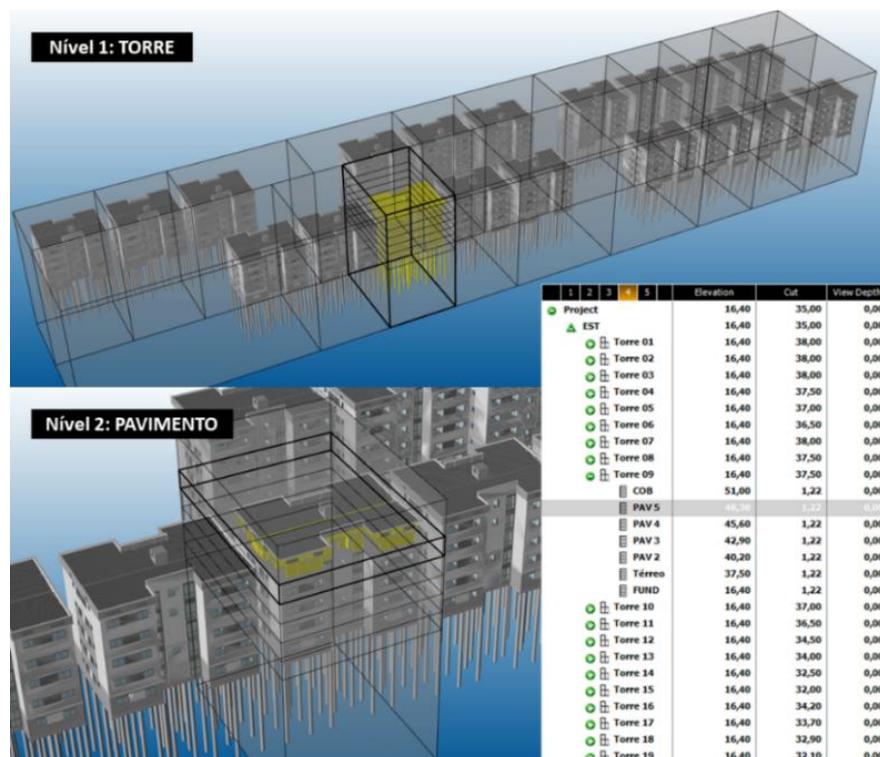
Para a construção das instalações provisórias de obra também foi considerada uma redução nos itens relativos a baias de estoque e alojamento de subempreiteiros nas paredes de concreto. O controle tecnológico na alvenaria estrutural considera controle tecnológico do concreto e graute, controle tecnológico de bloco, prisma e argamassa e os ensaios de estacas. Já para as paredes de concreto o ensaio de bloco, prisma e argamassa não existe, no entanto, o controle tecnológico do concreto é muito mais recorrente, o que acarreta num custo maior, sendo esse item proporcional aos eventos de concretagem. Para as paredes de concreto também se verificou um custo maior para a consultoria de especialista nesse processo.

5.3 PROCESSOS DE PCP

5.3.1 Definição da LBS e dos processos e durações

Após a elaboração do orçamento e associação dos itens de custo aos objetos BIM, a etapa seguinte constituiu-se no planejamento de longo prazo da obra. Primeiramente, o modelo 3D foi dividido em localizações e a estrutura hierárquica de localização foi definida pelos níveis de torre e pavimento (Figura 27). Nesta etapa foram definidas as atividades da obra (processos de produção) a serem planejadas (Figura 28), o tamanho dos lotes de produção por processo, a sequência de execução, o tempo de ciclo e o número de equipes para cada processo.

Figura 27 – Divisão da LBS



(fonte: Autora)

Figura 28 – Processos de produção definidos para cada processo construtivo

ALVENARIA ESTRUTURAL			PAREDES DE CONCRETO		
Hierarchy	Code	Name	Hierarchy	Code	Name
+1	01 - EST 01	GABARITO + LOCAÇÃO	+1	01 - EST 01	GABARITO + LOCAÇÃO
+2	01 - EST 02	ESTACAS	+2	01 - EST 02	ESTACAS
+3	01 - EST 03	VIGAS DE FUNDAÇÃO	+3	01 - EST 03	VIGAS DE FUNDAÇÃO
+4	01 - EST 04	INSTALAÇÕES ENTERRADAS	+4	01 - EST 04	INSTALAÇÕES ENTERRADAS
+5	01 - EST 05	IMPERMEABILIZAÇÃO VIGAS DE FUNDAÇÃO	+5	01 - EST 05	IMPERMEABILIZAÇÃO VIGAS DE FUNDAÇÃO
+6	01 - EST 06	CONTRAPISO	+6	01 - EST 06	CONTRAPISO
+7	01 - EST 07	ALVENARIA	+7	01 - EST 07	CONCRETO
+8	01 - EST 08	LAJE + ESCADA PRÉ-MOLDADA	+8	02 - INST 01	INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS
+9	01 - EST 09	GROUT + PAV'S + EMENDAS	+9	02 - INST 02	HIDRÔMETROS
+10	01 - EST 10	CONTRAMARCOS	+10	04 - RVI 01	MURETA E CONTRAPISO BOX
+11	02 - INST 02	HIDRÔMETROS	+11	04 - RVI 02	REGULARIZAÇÃO INTERNA
+12	02 - INST 03	CAIXINHAS + CD'S	+12	04 - RVI 03	FECHAMENTO SHAFT
+13	04 - RVI 01	MURETA E CONTRAPISO BOX	+13	04 - RVI 04	IMPERMEABILIZAÇÃO BOX
+14	04 - RVI 02	REBOCO INTERNO	+14	06 - FAC 01	ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO
+15	04 - RVI 03	FECHAMENTO SHAFT	+15	04 - RVI 05	CERÂMICA + AZULEJO APTOS
+16	04 - RVI 04	IMPERMEABILIZAÇÃO BOX	+16	04 - RVI 06	CERÂMICA CIRCULAÇÃO
+17	04 - RVI 05	GESO LISO	+17	02 - INST 03	FIACÃO
+18	06 - FAC 01	ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO	+18	02 - INST 04	DISJUNTORES DOS CD'S
+19	04 - RVI 06	CHAPISCO INTERNO	+19	02 - INST 05	ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA
+20	04 - RVI 07	CERÂMICA + AZULEJO APTOS	+20	02 - INST 06	ELETROCALHA + TV COLETIVA
+21	04 - RVI 08	CERÂMICA CIRCULAÇÃO	+21	02 - INST 07	MONTAGEM ELÉTRICA QGBT
+22	02 - INST 04	FIACÃO	+22	03 - SER 01	VENEZIANAS QGBT
+23	02 - INST 06	ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA	+23	04 - RVI 07	FORRO + SANCA
+24	02 - INST 07	ELETROCALHA + TV COLETIVA	+24	04 - RVI 08	LOUÇAS
+25	02 - INST 08	MONTAGEM ELÉTRICA QGBT	+25	04 - RVI 09	PINTURA INTERNA + BAUCRYL
+26	03 - SER 01	VENEZIANAS QGBT	+26	04 - RVI 10	DEGRAUS ESCADA
+27	04 - RVI 09	FORRO + SANCA	+27	03 - SER 02	GUARDA-CORPO + PASSA MÃO
+28	04 - RVI 10	LOUÇAS	+28	04 - RVI 11	PORTAS DE MADEIRA
+29	04 - RVI 11	PINTURA INTERNA + BAUCRYL	+29	04 - RVI 12	ALISAR + GUARNIÇÃO
+30	04 - RVI 12	DEGRAUS ESCADA	+30	04 - RVI 13	PINTURA FINAL + CALAFETAÇÃO
+31	03 - SER 02	GUARDA-CORPO + PASSA MÃO	+31	02 - INST 08	ELEMENTOS DE PPCI
+32	04 - RVI 13	PORTAS DE MADEIRA	+32	02 - INST 09	TOMADAS + ACABAMENTOS ELÉTRICOS
+33	04 - RVI 14	ALISAR + GUARNIÇÃO	+33	02 - INST 10	METAIS + ACABAMENTOS
+34	04 - RVI 15	PINTURA FINAL + CALAFETAÇÃO	+34	02 - INST 11	COMPLEMENTAÇÃO + LIMPEZA + TESTES
+35	02 - INST 09	ELEMENTOS DE PPCI	+35	03 - SER 03	VENEZIANAS PLATIBANDA
+36	02 - INST 10	TOMADAS + ACABAMENTOS ELÉTRICOS	+36	05 - COB 01	TELHADO: ESTRUTURA METÁLICA + MANTA + TELHAS
+37	02 - INST 11	METAIS + ACABAMENTOS	+37	03 - SER 04	FUNILARIA
+38	02 - INST 12	COMPLEMENTAÇÃO + LIMPEZA + TESTES	+38	06 - FAC 02	PEITORIL
+39	03 - SER 03	VENEZIANAS PLATIBANDA	+39	06 - FAC 03	REGULARIZAÇÃO EXTERNA
+40	05 - COB 01	IMPERMEABILIZAÇÃO CALHA	+40	06 - FAC 04	PINTURA EXTERNA + MOLDURAS
+41	05 - COB 02	TELHADO: MADEIRA + MANTA + TELHAS			
+42	03 - SER 04	FUNILARIA			
+43	06 - FAC 02	PEITORIL			
+44	06 - FAC 03	REBOCO EXTERNO			
+45	06 - FAC 04	PINTURA EXTERNA + MOLDURAS			
+46	02 - INST 05	DISJUNTORES DOS CD'S			
+47	02 - INST 01	INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS			

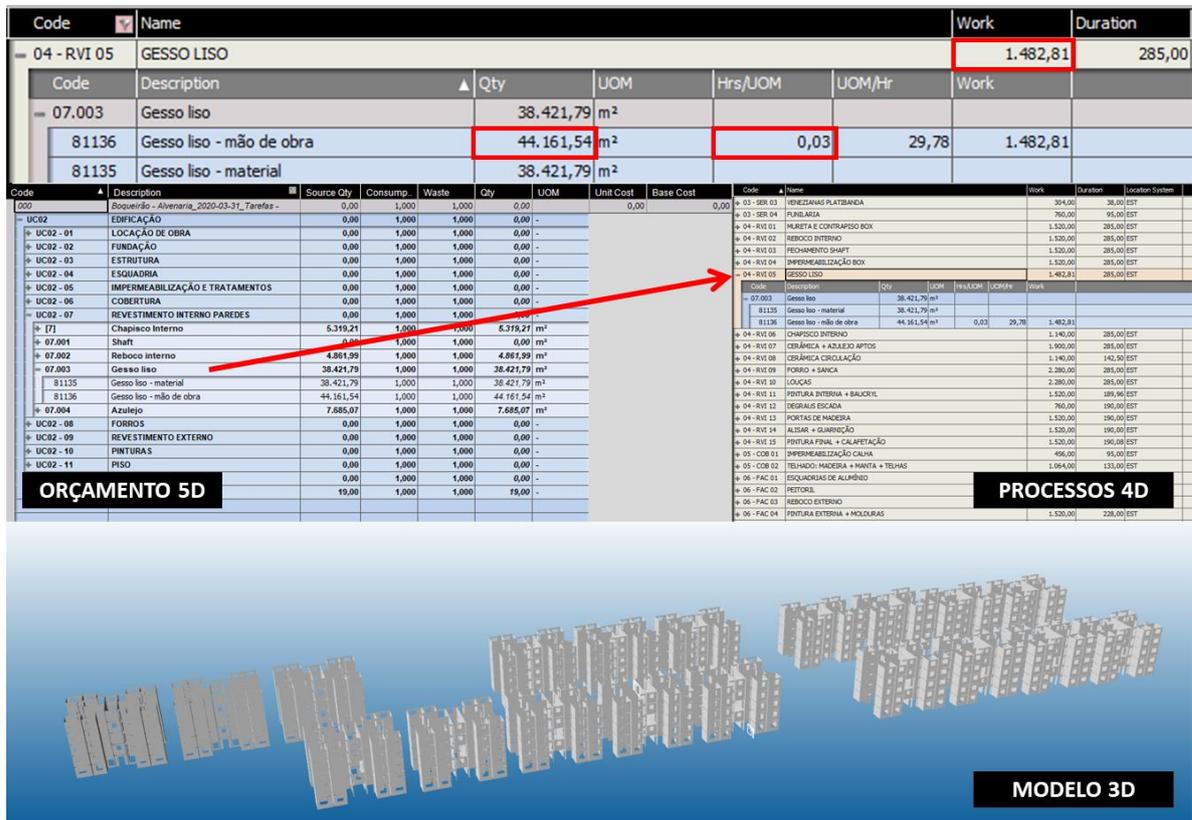
(fonte: Autora)

A montagem da linha de fluxo se deu inicialmente pela definição das durações das tarefas de acordo com os tempos de ciclo e número de trabalhadores de referência da construtora, como também da literatura pesquisada. Após, foi definida a sequência de execução e o ritmo de produção e, considerando o prazo limite para entrega da obra foram realizados ajustes de sincronia entre os processos, que ocasionaram eventuais mudanças nas durações das tarefas e, por consequência, no ritmo de produção.

Com objetivo de promover a integração do planejamento (4D) e da estrutura do orçamento (5D) ao modelo (3D), cada processo foi associado a estrutura hierárquica de localização definida e os itens de custos do orçamento foram vinculados aos processos. A integração 3D-4D-5D promoveu a transferência de informações dos objetos BIM de quantidades e custos aos processos 4D (Figura 29). Como cada item de custo pode ser apropriado a apenas um processo, a elaboração da estrutura orçamentária com visão operacional facilitou essa apropriação.

De acordo com a lógica do *software* VO foi necessário inserir um índice de produtividade a cada processo. Com isso, o *software* calcula a duração total (dias) e o volume de trabalho total (horas) do processo, para triangular os dados para a formação inicial da linha de fluxo e calcular tendências no modo de controle. Para calcular o índice de produtividade, a duração total prevista para cada processo foi dividida pelo seu quantitativo. A Figura 29 ilustra esse processo, que é exemplificado a seguir.

Figura 29 – Integração orçamento (5D) e processos (4D)



(fonte: Autora)

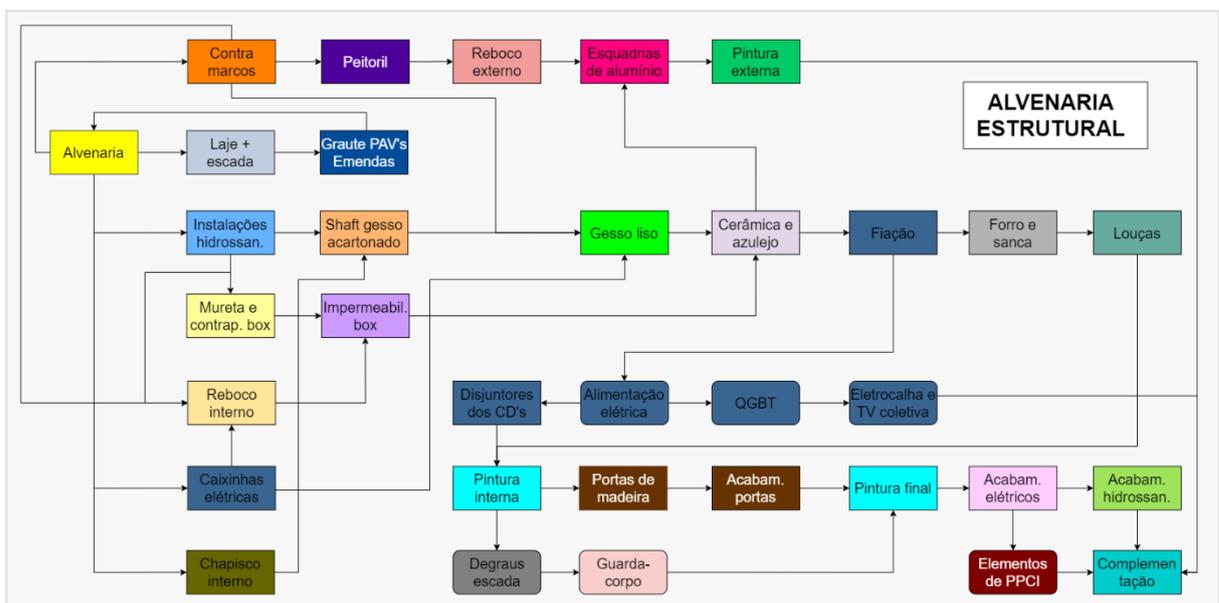
Por exemplo, a duração da execução do revestimento das paredes em gesso liso foi definida inicialmente em 3 dias para cada pavimento, totalizando uma duração de 285 dias (3 dias/pavimento x 19 torres x 5 pavimentos/torre). O quantitativo utilizado foi do item de custo do orçamento referente à mão de obra do subempreiteiro, em m². Dividindo-se a duração total definida (285 dias x 8 horas/dia) pelo quantitativo extraído do modelo 3D (44.161,54 m²), resulta no fator de produtividade de 0,03 h/m². Esse passo, que caracteriza um processo contrário àquele que é normalmente utilizado na técnica de linha de balanço, foi necessário apenas nessa etapa para operacionalizar o *software* VO.

5.3.2 Sequência executiva

Por fim, foi necessário reproduzir a sequência de execução dos processos definidos no *software* VO. Com isso, foram criadas relações de precedências entre os processos, o que permitiu definir as primeiras regras de precedências entre processos. Cada processo foi associado a um nível da LBS que conseqüentemente definiu o tamanho dos lotes de produção das atividades. Conseqüentemente, o plano de longo prazo foi gerado como linha de fluxo, na ferramenta *Schedule Planner* do *software* VO, definindo as datas de início e término para cada processo em cada localização. Como os itens de custos estão integradas aos processos, o custo foi distribuído por processo e por localização automaticamente pelo *software* VO.

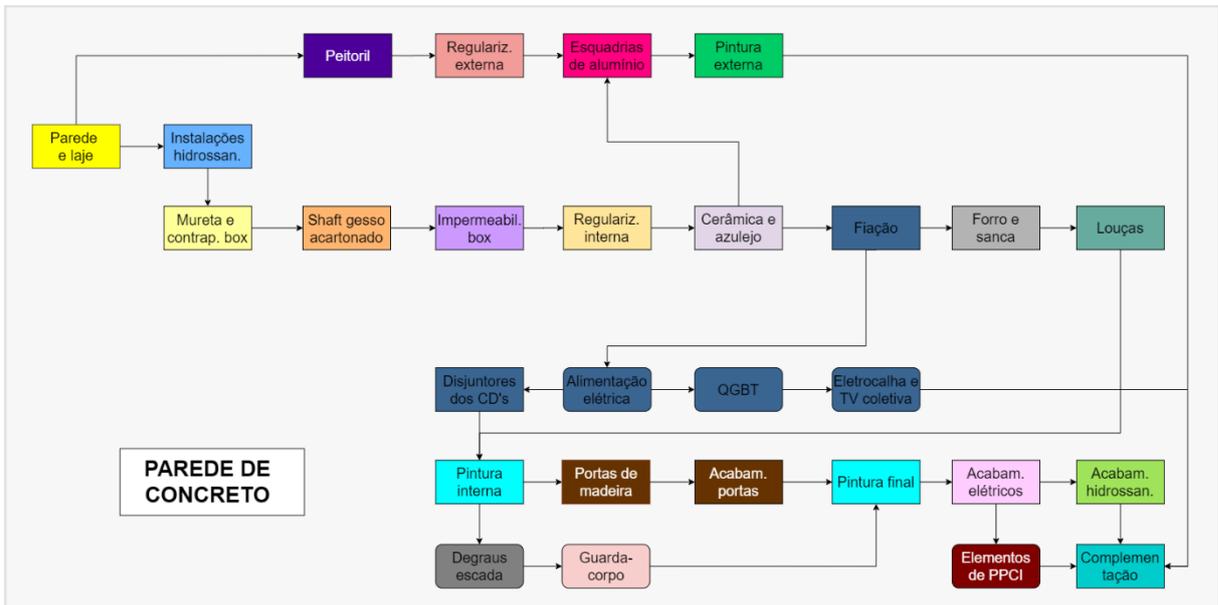
A sequência executiva para cada processo construtivo para uma unidade base de pavimento é apresentada nos diagramas das Figura 30 e Figura 31. Dado que todos os pavimentos da torre são iguais, planejado um pavimento, esse se repetirá nos 5 andares, um andar após o outro para cada atividade. As caixas de cantos arredondados representam as tarefas que ocorrem apenas na circulação do prédio.

Figura 30 – Sequenciamento dos processos de produção da Alvenaria Estrutural para uma unidade base de pavimento



(fonte: Autora)

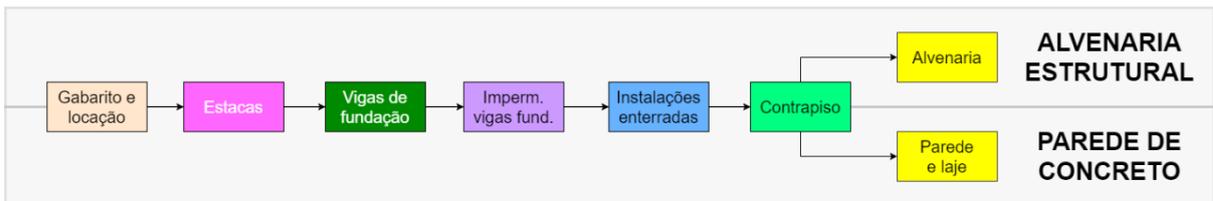
Figura 31 – Sequenciamento dos processos de produção da Parede de Concreto para uma unidade base de pavimento



(fonte: Autora)

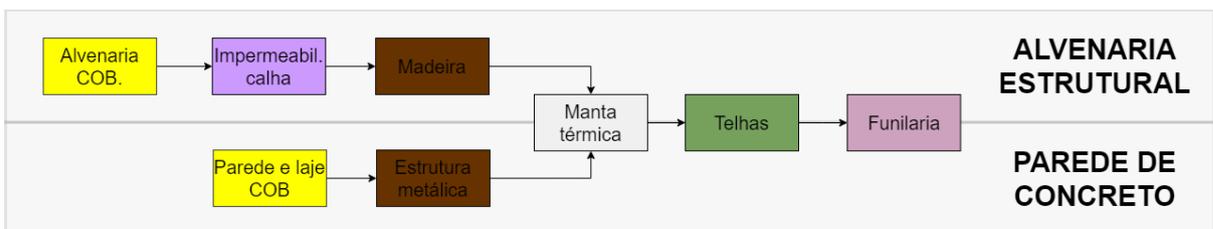
O sequenciamento das atividades de fundações e telhado, que não são processos repetitivos (de unidade base), mas são atividades predecessoras e sucessoras da estrutura, é apresentado nas Figura 32 e Figura 33.

Figura 32 – Sequenciamento dos processos de produção de fundações



(fonte: Autora)

Figura 33 – Sequenciamento dos processos de produção de telhado



(fonte: Autora)

O telhado foi considerado como começando logo após o término da estrutura para promover a estanqueidade da torre. O revestimento externo começa logo em seguida também para proteger

a estrutura das intempéries o quanto antes. Algumas atividades não possuem precedência entre si, mas levando em conta que apenas uma equipe deve trabalhar numa localização por vez, essas atividades foram vinculadas à outras para definir a sequência executiva.

5.3.3 Elaboração do plano de longo prazo

5.3.3.1 Estrutura

Seguindo a lógica de montagem da linha de balanço, os ajustes de sincronia entre os processos foram realizados através de uma primeira análise do processo de produção da estrutura, que é a atividade mais crítica da obra, a qual define o ritmo de execução da torre, liberando a execução das demais atividades restantes das torres, exceto as fundações.

O tempo de ciclo mínimo da alvenaria estrutural praticado pela construtora para a planta desse empreendimento é de 5 dias por pavimento de alvenaria e, mais 5 dias por pavimento de lajes. O escopo desses processos está apresentado na Figura 34. O ciclo total para 1 pavimento de estrutura em alvenaria estrutural resulta em 10 dias. O tempo total para a execução da estrutura de 1 torre de alvenaria estrutural é de 55 dias (incluindo a alvenaria da cobertura).

Figura 34 – Escopo do processo de produção da estrutura da Alvenaria Estrutural

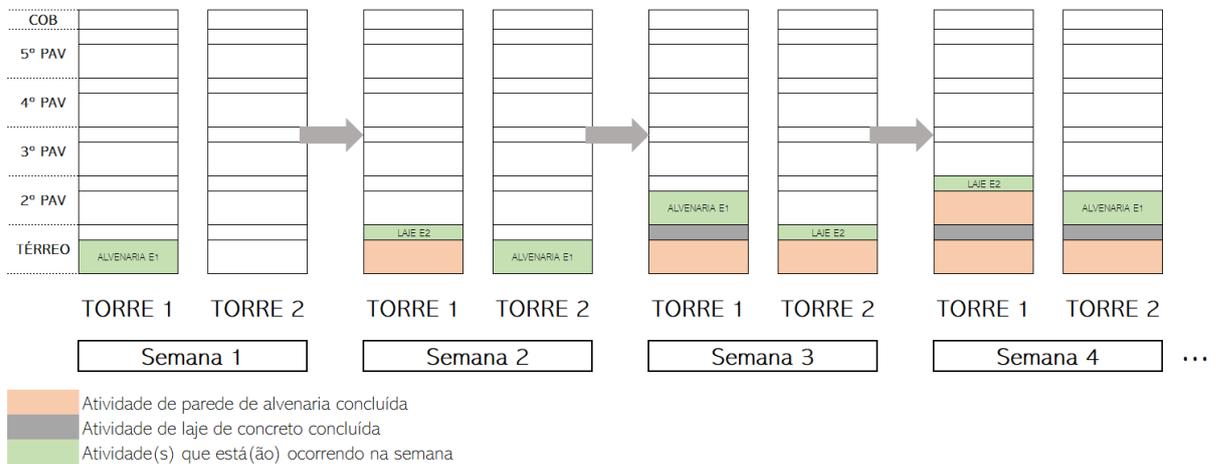
Ciclo de 5 dias por pavimento	ALVENARIA
	Marcação 1ª fiada
	Elevação até 7ª fiada
	Graute em obra
	Elevação até 14ª fiada
	Passagem de eletrodutos
Ciclo de 5 dias por pavimento	Graute industrializado
	LAJES
	Montagem de lajes
	Montagem andaime fachadeiro
	Preenchimento graute entre lajes
Ciclo total de 10 dias por pavimento	Montagem blocos perímetro da torre
	Emendas de eletrodutos entre lajes
	ALVENARIA ESTRUTURAL

(fonte: Autora)

Para considerar o fluxo ininterrupto das equipes de alvenaria e lajes, entende-se que devem ser executadas no mínimo duas torres simultaneamente, pois numa semana levanta-se a alvenaria

e na outra montam-se as lajes, assim, as equipes (1 equipe de alvenaria e 1 equipe de laje) se alternam entre duas torres Figura 35.

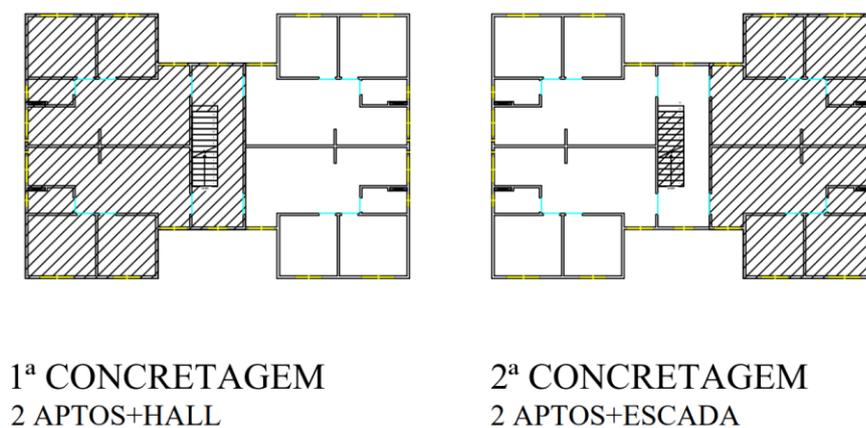
Figura 35 – Sequência das equipes de alvenaria e laje



(fonte: Autora)

No processo construtivo de paredes de concreto foi considerado o ciclo de concretagens para definir o tempo de ciclo da estrutura. Chaves (2013) sugere considerar a montagem de 500 m² de formas por dia, no máximo. Cada lado das torres possui em média 462 m² de forma e, o conjunto de formas considerado nesse estudo possibilita a concretagem de 2 apartamentos por vez, portanto, pode-se considerar um ciclo de concretagem de 1 dia por lado (2 apartamentos), ou seja, 2 dias por pavimento (Figura 36). O ciclo em condições ideais (clima, equipe e material) de uma torre, portanto, é de 11 dias (10 concretagens de pavimentos tipo mais 1 concretagem de cobertura).

Figura 36 – Módulos de concretagem



(fonte: proposta comercial de formas de fornecedor)

O escopo da atividade de estrutura de concreto é formado pelas atividades apresentadas na Figura 37. Entende-se que enquanto se monta e desmonta a forma e concreta dois apartamentos de um lado, outra parte da equipe pode executar as armaduras e instalações do outro lado.

Figura 37 – Escopo do processo de produção da estrutura da Parede de Concreto

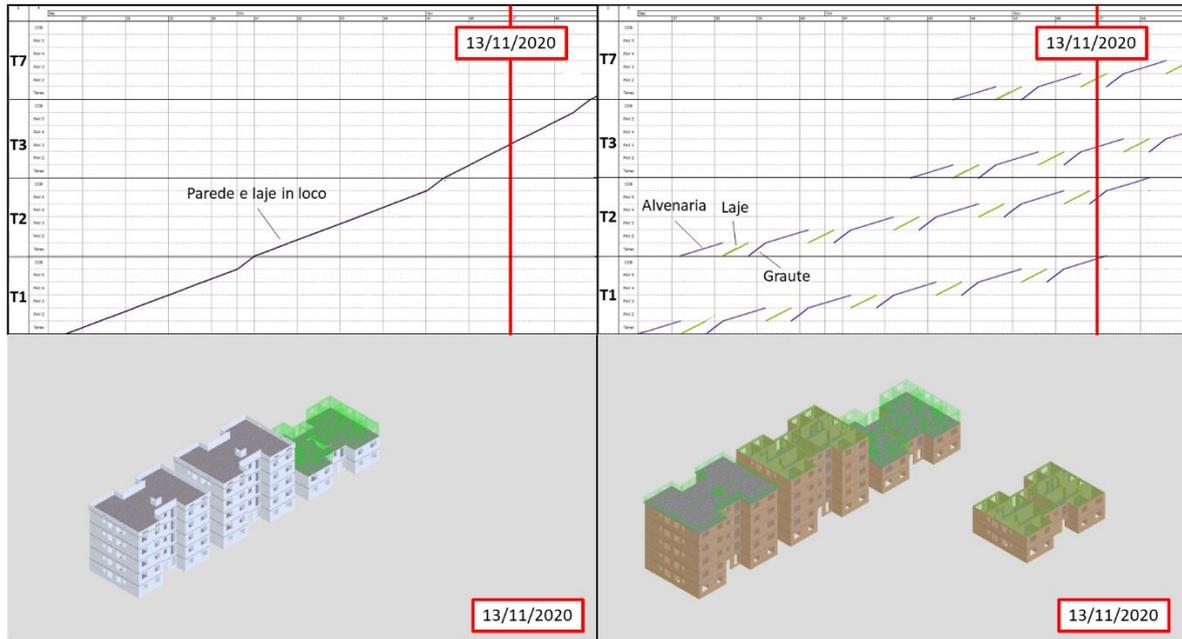
Ciclo de 2 dias por pavimento	PAREDES E LAJES
	Montagem das armaduras
	Instalações embutidas
	Montagem da forma
	Concretagem
	Desforma
Ciclo total de 2 dias por pavimento	PAREDE DE CONCRETO

(fonte: Autora)

Como é a primeira vez que o processo construtivo será utilizado em um empreendimento da construtora, foi considerado para as primeiras duas torres o dobro do ciclo ideal buscado (22 dias), considerando que há uma curva de aprendizagem do processo construtivo. Já para as próximas 17 torres foi considerado 1 dia a mais do ciclo ideal por pavimento, totalizando 17 dias por torre, o que corresponde em média a 3 concretagens por semana. O tempo de execução total da estrutura em paredes de concreto, mais *buffers* para proteger a produção, para as 19 torres do empreendimento resultou em 16 meses. Os *buffers*, no caso das paredes de concreto, foram considerados de 2 semanas entre as 3 fases do empreendimento, totalizando 4 semanas. Essa decisão foi adotada devido ao fato de que o tempo de ciclo considerado para cada torre já contém uma folga em relação ao ciclo ideal, o que não foi considerado na alvenaria estrutural por ser um ciclo já constatado na prática pela construtora.

Levando em conta o tempo de execução total nas paredes de concreto, chegou-se à conclusão de que deveriam ser executadas 4 torres em alvenaria estrutural simultaneamente para igualar o tempo total de obra nos dois processos construtivos, o que significa ter 4 equipes de estrutura trabalhando simultaneamente (2 de alvenaria e 2 de laje), considerando também *buffers* para proteger a produção (Figura 38). Os *buffers*, na alvenaria estrutural, foram inseridos entre conjuntos de 2 torres para absorver os imprevistos ocasionados pela eventual falta de sincronia entre as equipes de laje e alvenaria.

Figura 39 – Foto da obra da estrutura em Parede de Concreto e Alvenaria Estrutural



(fonte: Autora)

Como padrão, foi considerado apenas uma equipe para todas as tarefas da obra, seguindo a mesma lógica da estrutura das paredes de concreto, de uma torre por vez. Na alvenaria estrutural, como já explicado, para o prazo total da obra igualar-se ao de concreto, houve a necessidade de planejar 2 equipes de alvenaria e 2 equipes de lajes simultâneas, como também, 2 equipes de revestimento externo simultâneas, para liberar o quanto antes a saída do andaime fachadeiro e não aumentar o custo de locação desse equipamento.

5.3.3.2 Fundações e infraestrutura

Após entender os ciclos da estrutura, foram planejados os serviços de fundação e infraestrutura. As atividades de fundações são executadas em paralelo à infraestrutura do condomínio e logo após é iniciada a estrutura das torres. Os primeiros serviços da obra compreendem a construção das instalações provisórias de obra, a demolição de um prédio industrial pré-existente no terreno e a limpeza e terraplanagem do mesmo. O serviço iniciado em seguida é a construção da primeira parte das áreas condominiais do empreendimento, como salão de festas, quadra poliesportiva, quiosques, etc., estratégia utilizada pela empresa para alavancar as vendas logo no início da obra. A empresa disponibiliza o uso dessas áreas aos seus clientes durante a construção das torres. Esses serviços foram considerados 6 meses antes de iniciar as fundações das torres. Nas Figura 40 e Figura 41 são apresentados os planos de longo prazo da infraestrutura e áreas comuns para Alvenaria Estrutural e Parede de Concreto, respectivamente.

Os asteriscos vermelhos representam o mês de início da execução das estacas de cada fase do empreendimento.

Figura 40 – Plano de longo prazo da infraestrutura e áreas comuns da Alvenaria Estrutural

PLANO DE LONGO PRAZO INFRAESTRUTURA E ÁREAS COMUNS ALVENARIA ESTRUTURAL	2019		2020												2021												2022								
	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul		
LIMPEZA E TERRAPLANAGEM																																			
CONSTRUÇÃO DAS INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS																																			
DEMOLIÇÃO																																			
ÁREA COMUM PARTE 1																																			
FASE 1																																			
FASE 2																																			
FASE 3																																			
REDES HIDROSSANITÁRIA E ELÉTRICA																																			
PAVIMENTAÇÕES																																			
REDE ELÉTRICA AÉREA																																			
MUROS DE ARRIMO E CONTENÇÕES																																			
FECHAMENTOS																																			
ILUMINAÇÃO E PAISAGISMO																																			
CASTELO D'ÁGUA																																			
ÁREA COMUM PARTE 2																																			
PRÉDIO GARAGEM																																			

(fonte: Autora)

Figura 41 – Plano de longo prazo da infraestrutura e áreas comuns da Parede de Concreto

PLANO DE LONGO PRAZO INFRAESTRUTURA E ÁREAS COMUNS PAREDES DE CONCRETO	2019		2020												2021												2022									
	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul			
LIMPEZA E TERRAPLANAGEM																																				
CONSTRUÇÃO DAS INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS																																				
DEMOLIÇÃO																																				
ÁREA COMUM PARTE 1																																				
FASE 1																																				
FASE 2																																				
FASE 3																																				
REDES HIDROSSANITÁRIA E ELÉTRICA																																				
PAVIMENTAÇÕES																																				
REDE ELÉTRICA AÉREA																																				
MUROS DE ARRIMO E CONTENÇÕES																																				
FECHAMENTOS																																				
ILUMINAÇÃO E PAISAGISMO																																				
CASTELO D'ÁGUA																																				
ÁREA COMUM PARTE 2																																				
PRÉDIO GARAGEM																																				

(fonte: Autora)

Para o planejamento das fundações, as atividades de infraestrutura foram levadas em conta devido à interferência entre essas duas e a estrutura. As fundações da fase 1 e 2 foram consideradas uma logo após a outra, e as da fase 3, o mais tarde possível, pois possui grande

folga até o início da estrutura. É importante salientar que na estrutura em parede de concreto, segundo Wendler e Monge (2018), não se deve permitir vibrações próximas às paredes de concreto, como, por exemplo, compactação de ruas e cravação de estacas. Essa restrição foi considerada no planejamento das paredes de concreto, sendo que as estacas da fase 3 tiveram seu final vinculado ao início da estrutura da fase 2, diferentemente da alvenaria estrutural, na qual as estacas puderam iniciar o mais tarde possível. Já os serviços de viga de fundação até o contrapiso, também para a fase 3, na opção de alvenaria estrutural, tiveram que iniciar o quanto antes para liberar as redes de infraestrutura.

Os tempos de ciclo considerados para a locação da torre foram de 4 dias, para as estacas foram de 10 dias, para as vigas de fundação foram de 15 dias, e para a impermeabilização das vigas, instalações enterradas e contrapiso, foram de 5 dias para cada atividade. Após 3 meses do início da construção das áreas comuns, foi considerado o início das fundações das torres, em paralelo. É importante que as vigas de fundação, o contrapiso e as redes de infraestrutura sejam executados no mesmo período, assim, as fundações são seguidas das redes de infraestrutura (instalações hidrossanitárias, elétricas e de PPCI) e a pavimentação das ruas do condomínio. Essas duas últimas atividades foram consideradas logo no início da obra, antes da estrutura das torres, pois, para proporcionar segurança e limpeza ao canteiro de obras, a empresa vem adotando essa premissa nos seus últimos empreendimentos.

É importante salientar que nos dois processos construtivos isso é possível, mas no caso da alvenaria na fase 3, necessitou-se que o início das redes e pavimentação fosse adiantado 1 mês em relação ao concreto, pois a estrutura de alvenaria inicia sempre com 2 torres ao mesmo tempo, seguidas de mais 2, 1 mês depois, o que não proporciona muita folga para a execução desses serviços (Figura 38). Entre o final do contrapiso e o início da estrutura das torres foi considerado um *buffer* de pelo menos 1 mês, para que a infraestrutura possa ser finalizada com segurança e sem interferências, e no caso das paredes de concreto, esse tempo também é importante para o início da montagem das telas de aço e instalações embutidas.

As últimas tarefas de infraestrutura, executadas após a estrutura e acabamentos das torres são a iluminação, paisagismo e fechamentos do perímetro do condomínio, como também as pavimentações de calçadas do entorno das torres que foram consideradas no final para não sofrerem danos por quedas de material e circulação de pessoas. Nessa última tarefa, considerou-se também a reparação de possíveis estragos durante a obra nas ruas. Outra atividade importante

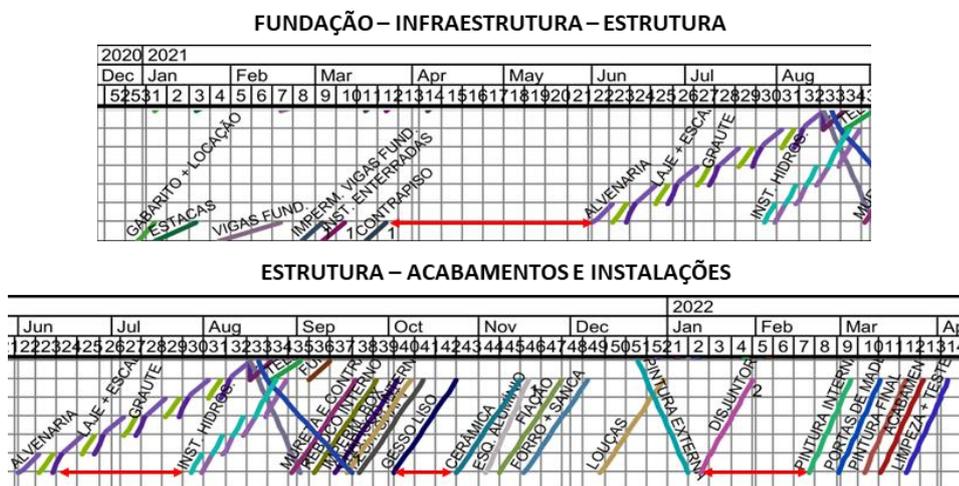
é a construção do prédio garagem do condomínio, que comporta as vagas dos apartamentos da fase 3. Essa atividade foi considerada nos últimos 7 meses da obra.

5.3.3.3 Acabamentos e instalações

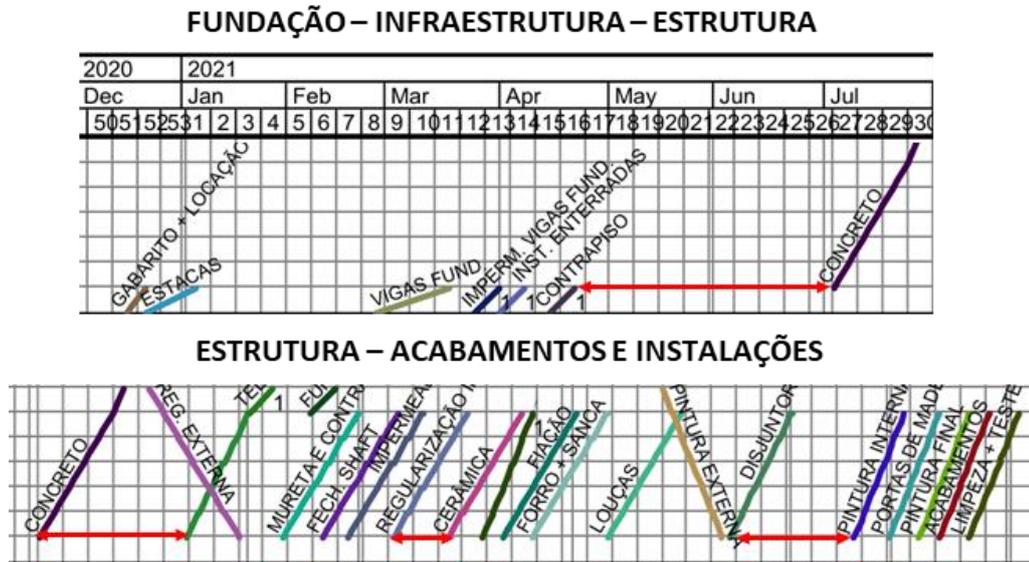
Algumas instalações já podem iniciar em paralelo à estrutura, levando em conta a segurança dos trabalhadores, o ritmo diferente entre as atividades e a continuidade das tubulações. Na alvenaria estrutural, para manter o mesmo prazo final da obra, é possível começar as instalações hidrossanitárias e a furação de caixas elétricas antes do final da elevação da estrutura, executando, portanto, essas atividades com pelo menos 3 pavimentos de diferença.

Para os acabamentos e instalações (apartamentos e circulação) que antecedem a primeira demão de pintura, o tempo de ciclo considerado foi de 3 dias por pavimento para todos os serviços, no intuito de sincronizar as tarefas. Para os demais, o tempo de ciclo considerado foi de 2 dias por pavimento nos dois processos construtivos. *Buffers* foram inseridos entre as tarefas mais críticas, que historicamente apresentam dificuldades para remover restrições para iniciar, como: final da estrutura e início dos acabamentos, final do gesso liso e início da cerâmica na alvenaria estrutural, final da regularização interna e início da cerâmica nas paredes de concreto, e entre o final da execução dos disjuntores e CD's (Centro de Distribuição) e a primeira demão de pintura. As Figura 42 e Figura 43 apresentam um recorte das linhas de fluxo elaboradas e ilustram os referidos *buffers* (setas vermelhas), como também aqueles entre o final do contrapiso e o início da estrutura das torres, já explicado anteriormente na seção 5.3.3.2. As instalações hidrossanitárias e a furação das caixas e CD's elétricos na alvenaria estrutural, foram planejadas como a alvenaria e laje, alternando as equipes entre torres.

Figura 42 – Exemplos de *buffers* entre atividades na Alvenaria Estrutural



(fonte: Autora)

Figura 43 – Exemplos de *buffers* entre atividades na Parede de Concreto

(fonte: Autora)

As folgas que aparecem entre algumas tarefas como a que acontece entre o forro e sanca e as louças, como também entre as louças e os disjuntores, são em grande parte devido à consideração de fluxo ininterrupto entre as equipes, mas também pois as figuras apresentam as apenas as tarefas dos apartamentos. As tarefas que apenas acontecem na circulação foram planejadas, no entanto, sua visualização foi desligada nas linhas de fluxo para facilitar a visualização das tarefas principais.

Para a solução de telhado na alvenaria estrutural o tempo de ciclo considerado foi de 5 dias para impermeabilização da calha e mais 10 dias para execução das ripas de madeira, fechamento com manta e telhas. Já para a solução de telhado nas paredes de concreto o tempo de ciclo considerado foi de 5 dias para a montagem da estrutura metálica e fechamento com manta e telhas. Para a atividade de rufos e capeamentos da cobertura com funilaria foi considerado um tempo de ciclo de 5 dias. O início do telhado para os dois processos construtivos foi vinculado ao final das instalações hidrossanitárias, primeira atividade que inicia depois da estrutura das torres.

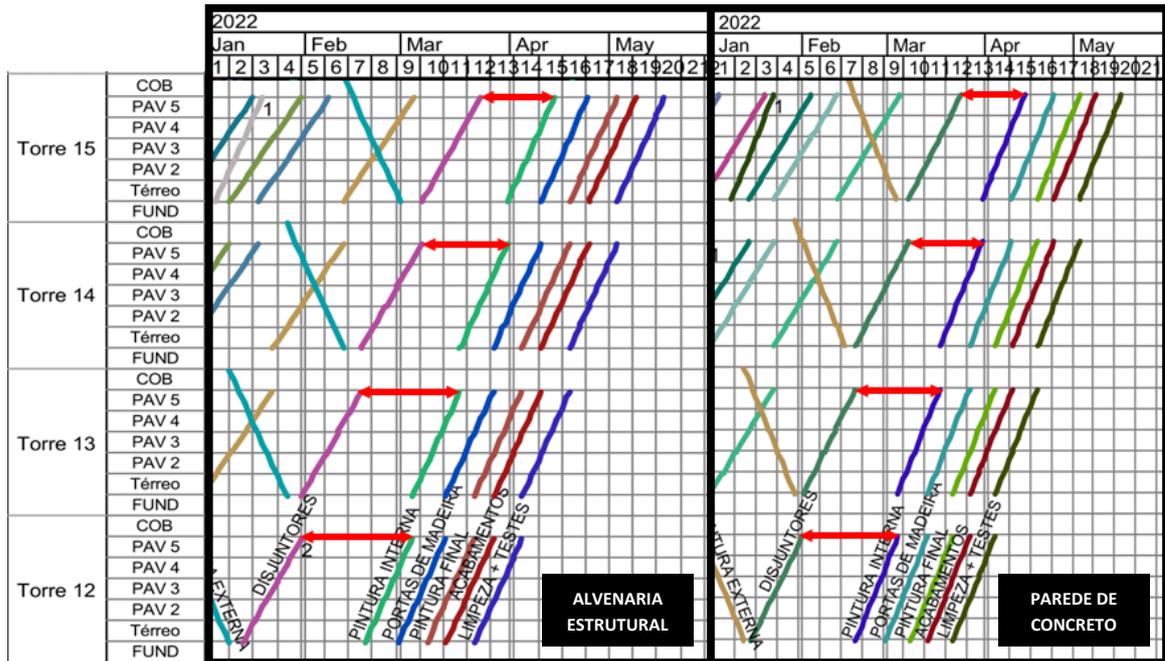
Para os acabamentos externos, o tempo de ciclo do revestimento externo foi de 4 dias por pavimento para a alvenaria estrutural e, 3 dias por pavimento para as paredes de concreto. Para as esquadrias, o tempo de ciclo considerado foi de 2 dias por pavimento. Para a pintura externa com plataforma hidráulica, foi considerado também 2 dias por pavimento.

A redução de tempo no revestimento externo nas paredes de concreto deve-se a simplificação de etapas e redução da espessura do revestimento externo, de chapisco tradicional e massa única de 3 cm de espessura para regularização com massa niveladora de 2 mm de espessura. A produtividade nesse caso também depende muito do equipamento utilizado. Como foi optado pela utilização de andaime suspenso para revestimento externo da fachada nas paredes de concreto, o que reduz significativamente a produtividade dos operários em relação ao andaime fachadeiro, a redução do tempo de ciclo considerada foi de apenas 1 dia por pavimento. No entanto, se fosse considerado um equipamento como plataforma hidráulica (que possui custo e produtividade maior que o andaime suspenso), pode-se reduzir o tempo de ciclo pela metade.

Como cada par de torre termina sua estrutura com 5 dias de diferença na alvenaria estrutural, optou-se por duas equipes de reboco externo trabalhando simultaneamente nas duas torres, logo após o término da estrutura, para liberar o quanto antes a saída do andaime fachadeiro e não aumentar o custo de locação desse equipamento. É importante salientar também que na alvenaria estrutural existem duas etapas anteriores ao revestimento externo que são os contramarcos de alumínio (2 dias por pavimento) e os peitoris (2 dias por pavimento), sendo esse último, também existente nas paredes de concreto.

O planejamento de todas as atividades foi elaborado seguindo um fluxo ininterrupto entre as equipes e, sempre que possível, um fluxo contínuo entre as localizações. Como ilustra a Figura 44, que é um recorte das linhas de fluxo elaboradas, através do exemplo das tarefas de disjuntores e pintura interna, pode-se perceber que o fluxo ininterrupto causa diferentes folgas (setas em vermelho) entre as tarefas para cada torre, devido ao fato de que os processos possuem ritmos diferentes e, para garantir que o subempreiteiro entre no local e esteja liberado para iniciar os próximos locais para finalizar a tarefa e não precisar voltar, o mesmo deve começar o mais tarde possível. Assim, quanto mais localizações (nesse caso, torres), maiores as folgas entre as tarefas das primeiras torres executadas.

Figura 44 – Exemplo de folgas causadas pelo fluxo ininterrupto entre as equipes



(fonte: Autora)

5.4 INTEGRAÇÃO CUSTO – PCP

Após a definição do plano de longo prazo, o fluxo de desembolso mensal foi elaborado. Para isso, foram considerados e exportados para uma planilha eletrônica dois relatórios do *software* VO. O primeiro relatório é chamado de “Custos Alocados nos Processos” (chamado no *software* VO de *Current bill of quantities*), que integra os processos de produção aos itens de custo do orçamento. Por meio desse relatório foi possível identificar os itens de custos por processos e determinar as regras de desembolso para cada item em relação aos materiais e mão de obra, como também classificar os itens de custo pela classificação ABC. Essas informações foram combinadas ao “Relatório Completo” (chamado no *software* VO de *Completion Report*). O Relatório Completo foi usado como banco de dados central com as informações de prazo e custo integradas por localização. Os dois relatórios foram combinados com apoio de uma planilha eletrônica.

Com o relatório de Custos Alocados nos Processos foi possível definir o custo dos itens de orçamento separados em material e mão de obra para cada processo. Com o Relatório Completo, que contém as datas de início e término de cada serviço, foi possível gerar o fluxo de desembolso mensal. A regra de desembolso utilizada para os materiais foi de pagamento do material no dia de início do serviço. A regra de desembolso da mão de obra foi de pagamento do serviço 15 dias após a finalização do mesmo.

Os valores de locação de equipamentos foram distribuídos ao longo do tempo conforme seus períodos de utilização na obra, vinculados aos serviços orçados. No caso das paredes de concreto, o custo das formas foi distribuído ao longo de 10 meses, começando a ser desembolsado um mês antes do início da estrutura, conforme condição do fornecedor. O custo dos serviços de limpeza e terraplanagem, construção das instalações provisórias e demolição de prédio existente foi distribuído nos primeiros 4 meses de obra. Logo após, o custo das áreas comuns foi distribuído ao longo de 6 meses. A infraestrutura foi distribuída ao longo da execução das fundações até o término do contrapiso. Por fim, foram distribuídos os custos de infraestrutura do final, como iluminação e paisagismo e, nos últimos 7 meses de obra, o prédio garagem.

6 ANÁLISE COMPARATIVA

O Quadro 7 apresenta a diferença de custo entre os processos construtivos, junto ao percentual de redução/aumento (em relação ao valor da Alvenaria Estrutural), para os grupos de custo nos quais estimou-se a diferença entre os sistemas. Todos os resultados foram calculados com essa mesma lógica.

O sistema de Parede de Concreto apresenta-se mais atrativo economicamente que o sistema de Alvenaria Estrutural, gerando uma economia de 3%. Essa diferença pode ser considerada um bom resultado frente às pequenas margens de lucro proporcionadas por esse tipo de empreendimento.

Quadro 7 – Diferença de custo entre os sistemas por grupo de custo

GRUPOS DE CUSTO	Alvenaria	Concreto	Diferença	%Redução/Aumento	%Total Diferença
Projetos	R\$ 188,88	R\$ 188,88	R\$ -	-	-
Despesas Indiretas	R\$ 3.175,03	R\$ 3.175,03	R\$ -	-	-
Habitação	R\$ 4.257,78	R\$ 4.049,80	R\$ 207,98	4,88%	68,14%
Infraestrutura	R\$ 833,48	R\$ 833,48	R\$ -	-	-
Áreas Comuns	R\$ 214,05	R\$ 214,05	R\$ -	-	-
Máquinas, Equipamentos e Ferramentas	R\$ 449,87	R\$ 407,76	R\$ 42,11	9,36%	13,80%
Administração da Obra	R\$ 656,79	R\$ 598,73	R\$ 58,06	8,84%	19,02%
Instalações Provisórias e Consumos Mensais	R\$ 225,22	R\$ 228,13	-R\$ 2,91	-1,29%	-0,95%
TOTAL	R\$ 10.001,10	R\$ 9.695,85	R\$ 305,25	3,05%	100,00%

(fonte: Autora)

6.1 ANÁLISE DO GRUPO DE CUSTO HABITAÇÃO

No grupo da Habitação, conforme definições apresentadas no Quadro 7, a diferença de custo foi de 4,88%. Nesse grupo, onde todos os custos são variáveis em relação às quantidades, o processo construtivo de Parede de Concreto torna-se mais atrativo, pois considera o mesmo padrão final de qualidade dos apartamentos que a Alvenaria Estrutural, e possui um custo mais baixo. No Quadro 8 é apresentada a diferença de custo entre os dois processos para cada item da Habitação.

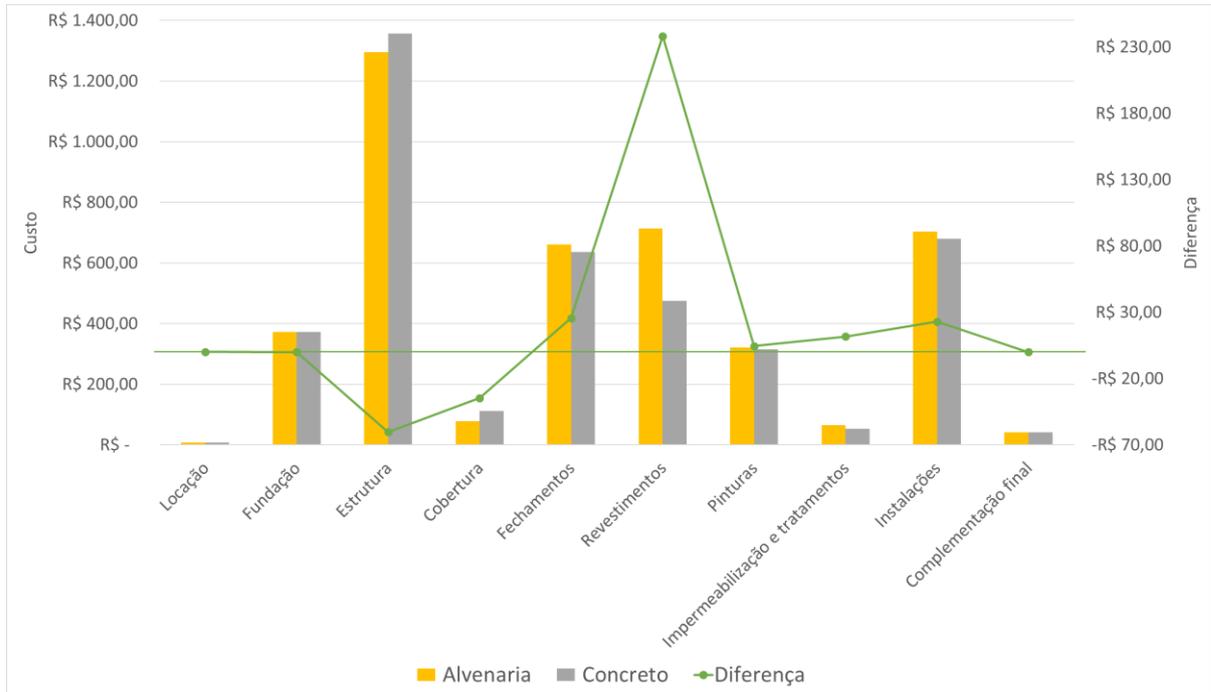
Quadro 8 – Diferença de custo da Habitação

HABITAÇÃO	Alvenaria	Concreto	Diferença	%Redução/ Aumento	%Total Diferença
Locação	R\$ 7,65	R\$ 7,57	R\$ 0,07	0,96%	0,04%
Fundação	R\$ 373,08	R\$ 373,08	R\$ 0,00	0,00%	0,00%
Estrutura	R\$ 1.295,76	R\$ 1.356,03	-R\$ 60,28	-4,65%	-28,98%
Cobertura	R\$ 77,65	R\$ 112,27	-R\$ 34,63	-44,59%	-16,65%
Fechamentos	R\$ 661,08	R\$ 635,54	R\$ 25,55	3,86%	12,28%
Revestimentos	R\$ 713,59	R\$ 475,44	R\$ 238,15	33,37%	114,51%
Pinturas	R\$ 320,45	R\$ 315,99	R\$ 4,45	1,39%	2,14%
Impermeabilização e tratamentos	R\$ 64,82	R\$ 53,10	R\$ 11,72	18,08%	5,64%
Instalações	R\$ 702,77	R\$ 679,83	R\$ 22,94	3,26%	11,03%
Complementação final	R\$ 40,94	R\$ 40,94	R\$ -	0,00%	0,00%
TOTAL	R\$ 4.257,78	R\$ 4.049,80	R\$ 207,98	4,88%	100,00%

(fonte: Autora)

Na Figura 45, os dados do Quadro 8 são apresentados de forma visual na forma de um gráfico. Pode-se observar que os custos mais expressivos são da estrutura, revestimentos, instalações e fechamentos, em ordem decrescente. Os dois custos que apresentam maior diferença entre os processos são a estrutura e os revestimentos, exatamente os itens que sofrem as maiores alterações entre os sistemas estruturais.

Figura 45 – Comparativo de custos da Habitação



(fonte: Autora)

No item de Locação, a diferença é quase insignificante, sendo que o custo diminui devido à projeção da torre diminuir no sistema de Parede de Concreto, causado pela diminuição da espessura das paredes nesse sistema. A fundação, que compreende as estacas e vigas de fundação, foram consideradas exatamente iguais para os dois sistemas, conforme orientação dos projetistas estrutural e de fundação, na falta de projeto dessa disciplina.

Nas Paredes de Concreto, usualmente utiliza-se o chamado “lajão estaqueado”, no qual a fundação compreende uma laje de espessura maior que 20 cm apoiada nas estacas. Nesse caso, não é necessário a escavação do terreno e posterior aterro, como nas vigas de fundação, além de não ter necessidade de execução de contrapiso. Como não havia projeto deste elemento no momento da orçamentação, foi considerado a mesma solução para os dois sistemas, sendo essa escolha, mais conservadora. Vale ressaltar, que o “lajão estaqueado” é uma solução de execução pelo menos 2 vezes mais rápida que a solução estaca + viga de fundação + contrapiso.

No contrapiso, o custo de material e mão de obra também diminui nas Paredes de Concreto devido à projeção da torre diminuir nesse sistema, causado pela diminuição da espessura das paredes no mesmo. Essa diferença de custo pode ser considerada insignificante, pois representa apenas 1,38% do total da diferença de custo da Habitação.

No Quadro 9, pode-se observar a diferença entre os sistemas para material e mão de obra. Devido à grande quantidade de concreto autoadensável e aço utilizado nas Paredes de Concreto, que são materiais de alto custo no mercado da construção, o material desse sistema revelou-se 26,88% mais oneroso que no sistema de Alvenaria Estrutural.

Quadro 9 – Diferença de custos de material e mão de obra da Estrutura

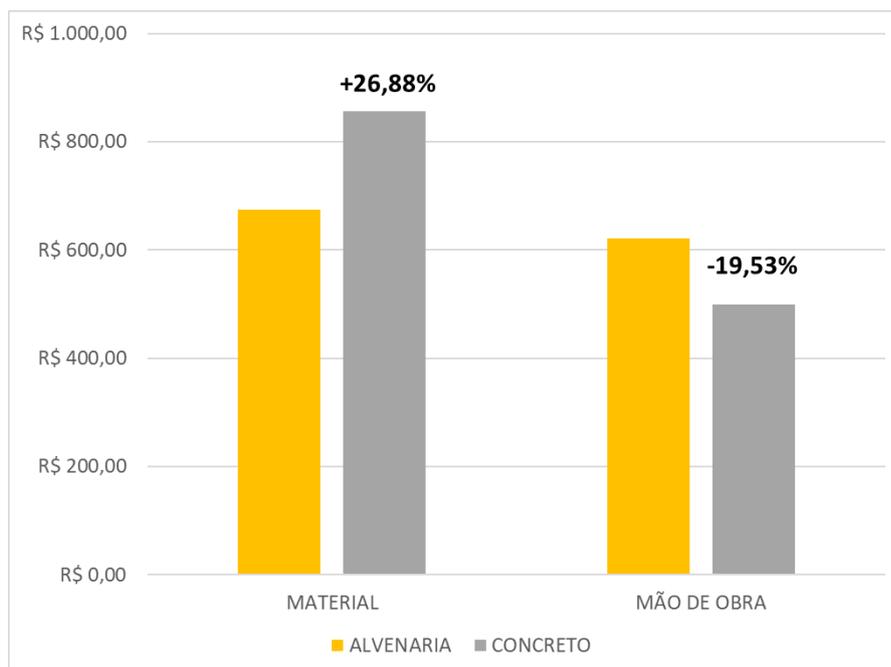
ESTRUTURA	Alvenaria	Concreto	Diferença	Redução/ Aumento	%Total Diferença
Material	R\$ 675,14	R\$ 856,61	-R\$ 181,47	-26,88%	-101,72%
Mão de obra	R\$ 620,61	R\$ 499,42	R\$ 121,59	19,53%	201,72%
TOTAL	R\$ 1.295,76	R\$ 1.356,03	-R\$ 60,28	-4,65%	100,00%

(fonte: Autora)

Já a diferença de custo para a mão de obra da estrutura teve uma disparidade positiva (19,53%) para as Paredes de Concreto, que por mais que necessite de uma mão de obra mais qualificada, especialmente treinada e multifuncional, que pode dispensar o uso de equipamentos para transporte das formas, a mão de obra da Alvenaria Estrutural é mais onerosa, devido a grande quantidade de atores para executar a estrutura, que é dividida em componentes diferentes das paredes e lajes. Pode-se levar em conta também, os serviços de instalações embutidas, que na Alvenaria Estrutural, a mão de obra para esses serviços está no item de Instalações. Já nas Paredes de Concreto, essa mão de obra está embutida no escopo do processo da estrutura, o que representa outra vantagem desse sistema.

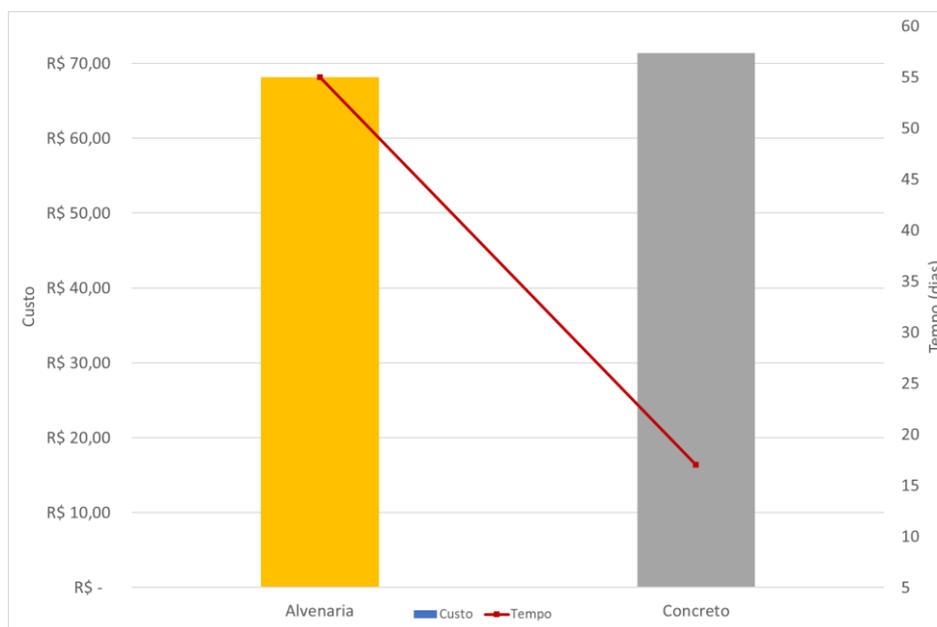
Na Alvenaria Estrutural, além da elevação da alvenaria e montagem das lajes, existe também o custo de mão de obra para o fornecimento de lajes pré-moldadas de fábrica, que, no entanto, possui diversos benefícios para a obra (BATAGLIN *et al.*, 2020): aumento de produtividade, melhoria das condições de trabalho, economia de espaço para armazenamento de material no local, melhor controle de qualidade, eliminação de desperdício de produção e maior performance sustentável, sendo esses benefícios fortemente relacionados ao fato de que muitas atividades são realizadas em um ambiente controlado, e à simplificação do processo de produção, reduzindo o número de etapas, partes e ligações, e por consequência, a variabilidade.

Figura 46 – Comparativo de custos de material e mão de obra da Estrutura



(fonte: Autora)

Figura 47 – Custo versus tempo da Estrutura para 1 torre



(fonte: Autora)

A Figura 47, ilustra a grande variação de prazo comparada a variação de custo para execução da estrutura de 1 torre. A diferença de prazo entre os sistemas em relação ao prazo da Alvenaria Estrutural chega a 69,09% (de 55 dias para 17 dias), já a variação de custo, como já mencionado anteriormente, é de 4,65%. Portanto, o grande diferencial da estrutura em Paredes de Concreto

está na redução do tempo de ciclo, como também na redução do número de etapas e partes da produção. Esse fator reflete na diminuição de custos de administração de obra e equipamentos, como será explicado adiante.

Pode-se notar também, pela Figura 28 da seção 5.3.1, a grande diminuição de atividades a controlar em obra no processo construtivo de paredes de concreto. Essa redução se dá, principalmente, nas etapas de estrutura e revestimentos. No caso da alvenaria estrutural, as atividades de estrutura são divididas entre paredes e lajes, sendo necessário uma alternância entre equipes que devem trabalhar em sincronia. Se essas equipes não estiverem alinhadas, uma pode atrasar a outra. Já nas paredes de concreto o sistema é monolítico, sendo executado em uma só vez, por apenas uma equipe. Portanto, necessita de mobilização de mão de obra e material em apenas uma etapa a cada ciclo.

Para os custos de Cobertura, a estrutura do telhado considerada para os dois sistemas foi muito diferente, acarretando num maior custo para as Paredes de Concreto, pois o telhado metálico é mais oneroso. Conforme mencionando na seção 5.2.1, essa solução foi escolhida pelo aumento da produtividade do telhado e por não se justificar o uso de alvenaria (como a empresa costuma fazer), pois não há esse serviço nas torres.

Nesse contexto e no exposto pela Figura 44 da seção 5.3.3.3, é importante destacar que nas Paredes de Concreto, pela estrutura ter uma velocidade muito rápida de execução, é essencial que os serviços posteriores possuam um ritmo compatível, que acompanhe essa velocidade, para não haver muito estoque de produto (ou frentes de serviço abertas). Segundo ABCP (2011), o planejamento logístico é um dos fatores fundamentais para o sucesso do empreendimento nesse processo construtivo. O abastecimento das frentes de serviços com os materiais, insumos e equipamentos deve ser planejado de modo a atender à demanda e ao ritmo de produção (ABCP, 2011).

Para Liker (2004), a retirada do estoque de produção é fundamental para que os problemas de produção sejam explicitados e resolvidos, e não se repitam muitas vezes. Bulhões (2009), afirma que as interrupções nos fluxos de trabalho causadas pela alta variabilidade nos processos e a falta de sincronização causam o trabalho em progresso (WIP – *work in progress*), que é considerado como uma perda associada ao conceito de espera entre processos (BULHÕES, 2009) ou frentes de serviços abertas (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010 apud SAUER, 2020, p. 31). O WIP contribui para o aumento das durações das atividades (SACKS;

PARTOUCHE, 2009); em contrapartida, sua redução facilita o controle da produção e melhora o uso do espaço físico disponível (ISATTO *et al.*, 2000).

No item de Fechamentos, a maior diferença se dá devido ao fato de que o contramarco nas Paredes de Concreto foi substituído pela previsão em projeto de um detalhe nas formas de um “dente” no vão que pode ser concretado com toda a estrutura. Além do menor custo, essa solução contribui para a simplificação através da redução de etapas na produção. É importante destacar que este detalhe é considerado por especialistas em Parede de Concreto difícil de executar, devido ao seu pequeno tamanho, o qual pode possuir muita variabilidade na concretagem. Nos itens de *shaft* e forro de gesso acartonado, a pequena diferença entre os sistemas se dá pela diferença de espessura entre as paredes.

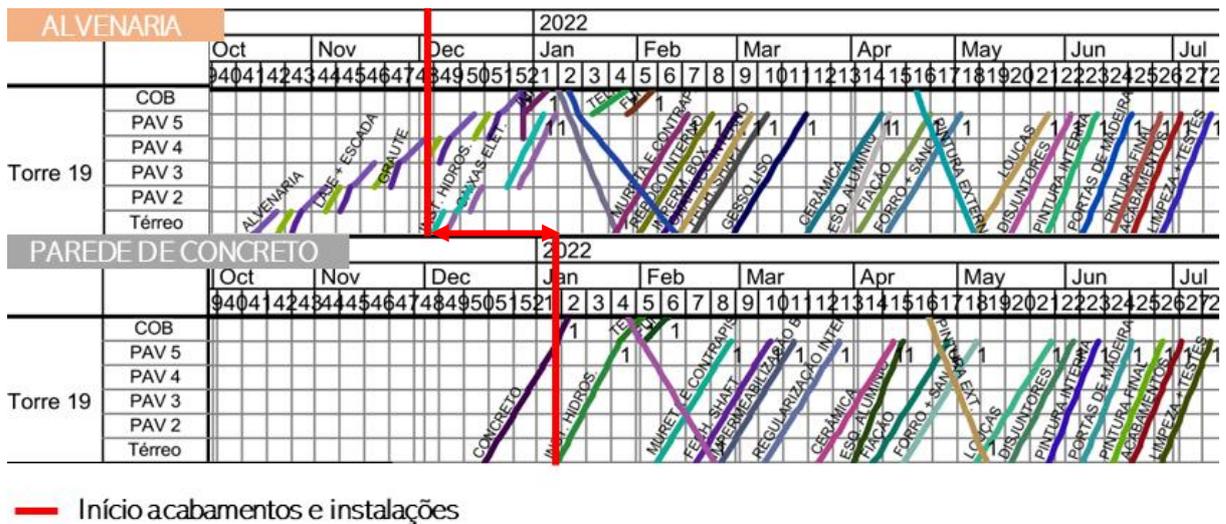
O item de Revestimentos é o que possui a maior diferença de custo entre os sistemas. Essa diferença, se dá, principalmente, pela redução da espessura e de tipos de revestimentos, sendo utilizada apenas uma regularização da superfície com massa niveladora nas Paredes de Concreto. Essas características tornam o preço da mão de obra mais barato, como também diminuem o consumo de material utilizado. Além da redução de custo, ocorre a redução do prazo de execução dos revestimentos, como também a diminuição das etapas dos mesmos, que contribui para a simplificação da produção.

No item de Pinturas, o sistema de Paredes de Concreto também tem custo inferior, pois a área de parede diminui, pela diminuição da espessura das paredes. Pelo Quadro 8 pode-se afirmar que essa diferença é insignificante em comparação as outras. No item de Impermeabilização e Tratamentos, como as Paredes de Concreto possuem espessura menor que na Alvenaria Estrutural, a junta deslizante da laje de cobertura é menor, ocasionando um consumo menor de isopor e manta. Nesse mesmo item, como o telhado nas Paredes de Concreto é metálico, a calha também é, não sendo necessário impermeabilização como no caso da calha de alvenaria.

Já nas Instalações, houve considerável economia na alternativa de Paredes de Concreto. Apesar de alguns materiais possuírem custo maior, como por exemplo, as caixas elétricas embutidas nas paredes, que são adaptadas para o sistema pois devem estar bem fixadas às telas de aço para não se deslocarem no momento da concretagem. Entretanto, há uma redução de custo, relacionada principalmente à substituição da mão de obra especializada das instalações embutidas, pela mão de obra multifuncional da estrutura.

Como há redução nas atividades de revestimento, simplificação da solução de telhado e a incorporação de algumas atividades de instalações embutidas nas paredes de concreto, o processo construtivo de paredes de concreto resulta na redução de 1 mês no ciclo de acabamentos e instalações em relação à alvenaria (Figura 48), sendo possível executar os acabamentos com mais folga. Assim, pode-se perceber na mesma figura, que desconsiderando os *buffers* para proteger a produção e o fluxo ininterrupto entre equipes, as paredes de concreto possuem um tempo de processamento¹⁰ menor, ou seja, uma entrega de produto final com menor prazo. Visto isso, é importante que a construtora avalie a possibilidade da predominância do fluxo contínuo entre as localizações, diminuindo assim, os custos variáveis à duração total da obra. O tempo total de obra resultante (igual para os dois processos) foi de 33 meses, com folga de 3 meses para a entrega para a CEF (36 meses), normalmente utilizada para a verificação final da qualidade dos apartamentos e vistorias de clientes, com o apoio de uma lista de verificação.

Figura 48 – Comparação entre linhas de balanço



(fonte: Autora)

6.2 ANÁLISE DA CLASSIFICAÇÃO ABC

Para o auxílio na classificação ABC e na determinação de regras de desembolso para os materiais e mão de obra, foi elaborado o relatório de “Custo dos Processos”, sugerido por Sauer (2020). Por questões de confiabilidade das composições de custo da construtora, a Figura 49 apenas ilustra parte do relatório elaborado.

¹⁰ Tempo de processamento: tempo efetivamente gasto com atividades que agregam valor (BULHÕES, 2009).

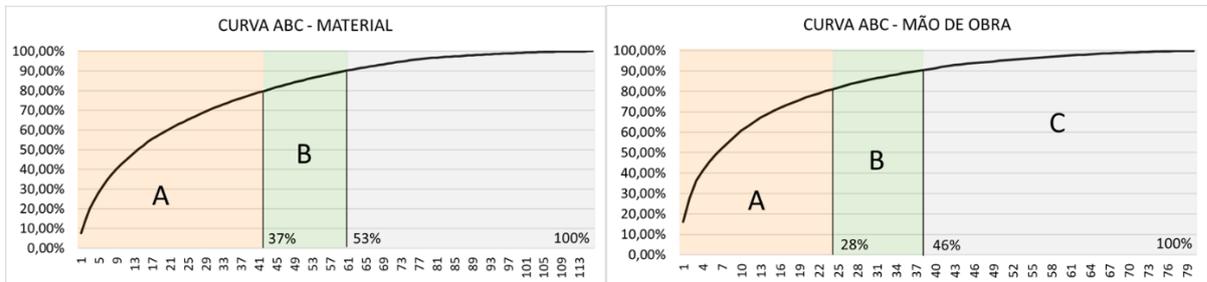
Figura 49 – Parte do relatório de Custo dos Processos

Código	Tipo	MT/MO	Custo dos processos	Grupo	Target costs
-1	PROCESSO		GABARITO + LOCAÇÃO		
-1.1.1	R-item de custo		Gabarito e Locação de Obra		
1.1.1.1	item de custo	MO	Mão de obra de montagem do gabarito	C	Informação confidencial
1.1.1.2	item de custo	MT	Material para montagem do gabarito	C	
1.1.1.3	item de custo	MO	Topógrafo para locação da obra	C	
-2	PROCESSO		ESTACAS		
-2.1.1	R-item de custo		Estacas Escavadas		
2.1.1.1	item de custo	MO	Arrasamento de estacas - Mão de obra	C	
2.1.1.2	item de custo	MT	Arrasamento de estacas - Material	C	
2.1.1.3	item de custo	MO	Execução de estacas - Mão de obra	A	
2.1.1.4	item de custo	MT	Estacas Escavadas - MT - Aço CA-50	A	
2.1.1.5	item de custo	MT	Estacas Escavadas - MT - Concreto fck 20 Mpa	A	
-3	PROCESSO		VIGAS DE FUNDAÇÃO		
-3.1.1	R-item de custo		Vigas de Fundação		
3.1.1.1	item de custo	MO	Vigas de Fundação - Mão de obra	A	
3.1.1.2	item de custo	MT	Vigas de Fundação - MT - Fôrmas	A	
3.1.1.3	item de custo	MT	Vigas de Fundação - MT - Aço CA-50	A	
3.1.1.4	item de custo	MT	Vigas de Fundação - MT - Concreto fck 25 Mpa	A	

(fonte: Autora)

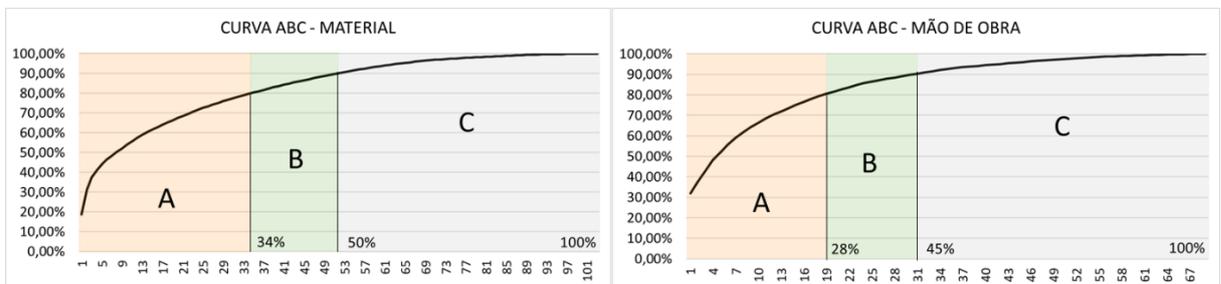
O resultado da classificação ABC dos itens de custo da Habitação é ilustrado nos gráficos das Figura 50 e Figura 51. Os itens de custo da classe A representam 80% do custo total, os itens de custo da classe B representam até 90% do custo total e os itens de custo da classe C representam os 10% restantes.

Figura 50 – Curva ABC de Material e Mão de Obra da Alvenaria Estrutural



(fonte: Autora)

Figura 51 – Curva ABC de Material e Mão de Obra da Parede de Concreto



(fonte: Autora)

A classificação foi separada em material e mão de obra porque na Construtora o setor de suprimentos negocia os materiais e o engenheiro da obra a mão de obra. Com isso, cada setor pode saber os itens que deve ter mais atenção. A Alvenaria Estrutural possui 116 itens de custo de material e 82 de mão de obra. Já a Parede de Concreto possui 103 itens de custo de material e 69 de mão de obra.

A quantidade de itens de custo de material de classe A da Alvenaria Estrutural é 43, que incluem os principais materiais da estrutura e dos revestimentos, sendo os dois primeiros insumos da lista os blocos cerâmicos e o concreto das lajes (representam 13,52% do custo total). Já a quantidade de itens de custo de material de classe A das Paredes de Concreto é de 35, que incluem também os principais materiais da estrutura e revestimentos, como também a estrutura do telhado, sendo os dois primeiros insumos da lista o concreto autoadensável e as telas de aço da estrutura (representam 31,14% do custo total).

Já a quantidade de itens de custo de mão de obra de classe A da Alvenaria Estrutural é de 23, que incluem: em primeiro lugar, a mão de obra para elevação da alvenaria (16,10% do custo total), em segundo lugar, a mão de obra para fornecimento das lajes pré-moldadas de fábrica (11,37% do custo total) e, em terceiro lugar, a mão de obra para execução do revestimento externo (8,85% do custo total), totalizando 36,32% do custo total da mão de obra. A quantidade de itens de custo de mão de obra de classe A das Paredes de Concreto é de 19, que inclui, em primeiro lugar, a mão de obra da estrutura das paredes e lajes moldadas in loco, representando 31,89% do custo total de mão de obra.

Nota-se, portanto, que além da diminuição no número de itens de custo nas Paredes de Concreto, as principais diferenças entre os sistemas (estrutura, revestimentos e cobertura), são dos itens de custo que possuem maior representatividade no custo da Habitação. Assim, qualquer mudança no preço ou consumo desses insumos pode gerar grandes impactos no custo total do empreendimento. A menor concentração de itens de classe A na Parede de Concreto (34%) em relação a Alvenaria Estrutural (37%), pode facilitar o gerenciamento de fornecedores e materiais, mas também pode representar redução nas possibilidades de negociação de preços, que podem auxiliar na redução significativa de custos.

A diminuição de itens de custo entre os processos construtivos, mostra-se como uma vantagem para a gestão do canteiro de obras, facilitando a gestão de materiais e a necessidade de espaço para estoques, como também pode auxiliar na redução de desperdício de material. A redução

de itens de custo de mão de obra, devido principalmente à diminuição de tipos de revestimentos e agregação de atividades de outras disciplinas na estrutura, auxilia na gestão de subempreiteiros e contratos.

6.3 ANÁLISE DO GRUPO DE CUSTO MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS

No grupo de Máquinas, Equipamentos e Ferramentas o sistema de Paredes de Concreto revelou-se mais econômico devido à grande diferença de equipamentos utilizados para construir a estrutura das edificações (Quadro 10). Desconsiderando o custo das formas de alumínio, que não dependem do tempo e eventos, a diferença de custo chega a 54,59%.

Enquanto que para a Alvenaria Estrutural é necessário a locação de dois equipamentos, o caminhão guincho (diária) para a montagem das lajes e o andaime fachadeiro como equipamento de proteção coletiva para a elevação da alvenaria e execução do reboco externo (m² por mês), nas Paredes de Concreto é necessário apenas as formas de alumínio que já contam com um equipamento de proteção coletiva, além de poderem ser utilizadas em outras obras considerando apenas um custo de manutenção, e não seu custo total, por permitirem, segundo o fabricante, pelo menos 500 utilizações. O custo das formas foi considerado totalmente no empreendimento deste estudo, porém, considerando que elas podem ser utilizadas em pelo menos uma outra obra da construtora, ou mesmo vendidas por um custo menor que o custo de uma forma nova, a redução de custo dos equipamentos pode ser maior e, ser ainda mais favorável as Paredes de Concreto.

Quadro 10 – Custos grupo de custo Máquinas, Equipamentos e Ferramentas

ALVENARIA			CONCRETO		
CAMINHÃO GUINCHO	R\$ 62,09	14%	FORMAS DE ALUMÍNIO	R\$ 203,49	50%
ANDAIME FACHADEIRO	R\$ 177,62	39%	CAMINHÃO MUNCK	R\$ 49,80	12%
MANIPULADOR TELESCÓPICO	R\$ 70,48	16%	BALANCIN	R\$ 26,25	6%
PTA	R\$ 24,42	5%	PTA	R\$ 24,42	6%
RETROESCAVADEIRA	R\$ 77,57	17%	RETROESCAVADEIRA	R\$ 77,57	19%
EQUIPAMENTOS DIVERSOS (locação)	R\$ 25,37	6%	EQUIPAMENTOS DIVERSOS (locação)	R\$ 13,91	3%
EQUIPAMENTOS DIVERSOS (verba)	R\$ 12,33	3%	EQUIPAMENTOS DIVERSOS (verba)	R\$ 12,33	3%
TOTAL	R\$ 449,87	100%	TOTAL	R\$ 407,76	100%
			DIFERENÇA	R\$ 42,11	9,36%

(fonte: Autora)

Na Alvenaria Estrutural deve-se estar atento às perdas em relação ao andaime fachadeiro, custo mais significativo do grupo de custo, pois historicamente conta com indenizações por peças avariadas e perdas, como também o custo adicional expressivo caso os serviços da estrutura

e reboco externo demorem mais tempo que o planejado, sendo esse último mais crítico pois a estrutura já está toda montada e o preço considera a área de fachada utilizada. Esse equipamento é utilizado devido a muitas vezes seu uso se tornar obrigatório pela Delegacia Regional do Trabalho por questões de segurança dos trabalhadores, além de nesse estudo específico, ser uma forma de comparação mais adequada ao sistema de proteção das formas das paredes de concreto. No entanto, caso a empresa opte por opções mais econômicas disponíveis no mercado, a diferença de custo entre os sistemas diminui.

O andaime suspenso foi considerado para a execução da regularização externa no caso das Paredes de Concreto, sendo um equipamento com custo baixo em relação aos outros. Nas Paredes de Concreto também deve-se estar atento ao cuidado com as formas de alumínio, evitando ao máximo paradas na produção e custo adicional por manutenção.

Outro equipamento importante é o de transporte de material para estrutura, extremamente importante na Alvenaria Estrutural, pois requer pelo menos um manipulador telescópico (custo mensal) para transportar diariamente os blocos cerâmicos e a argamassa de assentamento. Já nas Paredes de Concreto, um caminhão Munck (custo mensal) foi considerado para o transporte das telas de aço, sendo o seu custo mensal mais barato que o manipulador telescópico. O concreto é bombeado diretamente do caminhão da empresa fornecedora de concreto usinado contratada e as formas de alumínio, por serem leves, podem ser transportadas manualmente para a próxima estação de trabalho pela mão de obra contratada para executar a estrutura. É importante destacar que existem no mercado outras opções mais econômicas que o manipulador telescópico que podem representar uma diminuição na diferença de custo entre os sistemas, no entanto, esse equipamento foi considerado pois é a opção empregada pela empresa atualmente.

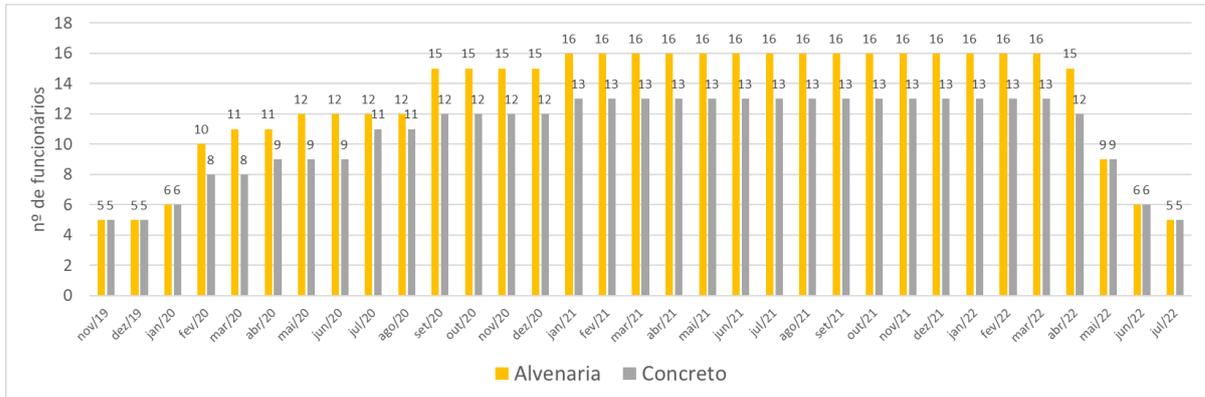
Nos equipamentos diversos destaca-se a diferença nos equipamentos locados referente à locação de escoramento metálico necessário às lajes pré-moldadas na Alvenaria Estrutural. No caso das Paredes de Concreto esse escoramento está incluso no custo do conjunto das formas de alumínio.

6.4 ANÁLISE DO GRUPO DE CUSTO ADMINISTRAÇÃO DA OBRA

Para grupo de custo da Administração da Obra (Quadro 7), as Paredes de Concreto também revelaram-se 8,84% mais econômicas devido à consideração de uma equipe menor principalmente na etapa da estrutura, já que na Alvenaria Estrutural pelo menos 4 torres são construídas simultaneamente.

A Figura 52 apresenta o histograma da equipe administrativa da obra, que inclui a equipe gerencial do canteiro e suprimentos, equipe de segurança, equipe de controle de qualidade e os auxiliares de produção.

Figura 52 – Histograma de funcionários da administração do canteiro de obras



(fonte: Autora)

A diminuição e simplificação de processos no sistema de Paredes de Concreto, como por exemplo, o embutimento das caixas elétricas na estrutura e a diminuição da espessura e tipos de revestimentos, afetam diretamente na quantidade de pessoas necessárias na inspeção e contratação dos serviços. A cada fim de serviço é realizada uma inspeção para liberar o pagamento do fornecedor, então, apesar de que o controle de qualidade deva ser realizado sempre em qualquer processo construtivo, na Parede de Concreto, por agrupar mais atividades no escopo do processo de produção da estrutura, os inspetores realizam menos entradas nas localizações dos serviços, pois inspecionam o conjunto todo. Espera-se também que nas Paredes de Concreto a equipe de auxiliares de produção seja reduzida pela diminuição de insumos estocados e produzidos em obra, como também a diminuição de improvisações.

6.5 ANÁLISE DO GRUPO DE CUSTO INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS E CONSUMOS MENSASIS

O grupo de custo de Instalações Provisórias e Consumos Mensais (Quadro 11) revelou-se 1,29% mais oneroso para as Paredes de Concreto. Apesar dos itens de limpeza de obra sofrerem uma redução devido à menor produção de resíduos, como também alguns materiais e mão de obra para a construção das instalações provisórias, o controle tecnológico do concreto e a consultoria para o sistema ao longo do tempo da estrutura possui custo maior. No entanto, o custo dessa consultoria pode ser suprimido, pois irá ocorrer com maior recorrência apenas nessa obra, pois é a primeira executada em Paredes de Concreto pela construtora.

Quadro 11 – Custos grupo de custo Instalações Provisórias e Consumos mensais

INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS E CONSUMOS MENSAIS	Alvenaria	Concreto	Diferença	% Redução/Aumento	%Total
Despesas mensais	R\$ 49,97	R\$ 49,97	R\$ -	-	-
Limpeza da obra	R\$ 21,51	R\$ 12,69	R\$ 8,82	41,01%	-302,96%
Construção das instalações provisórias	R\$ 82,88	R\$ 80,48	R\$ 2,39	2,89%	-82,24%
Controle tecnológico	R\$ 34,71	R\$ 43,09	-R\$ 8,38	-24,14%	287,83%
EPI's	R\$ 8,38	R\$ 8,38	R\$ -	-	-
EPC's	R\$ 5,99	R\$ 5,99	R\$ -	-	-
Consultorias	R\$ 21,79	R\$ 27,53	-R\$ 5,75	-26,37%	197,37%
TOTAL	R\$ 225,22	R\$ 228,13	-R\$ 2,91	-1,29%	100,00%

(fonte: Autora)

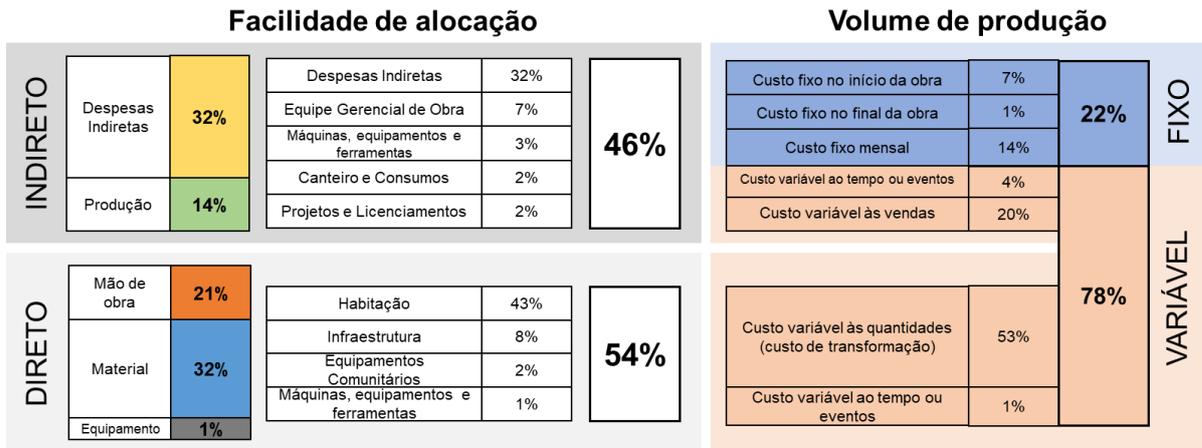
6.6 CLASSIFICAÇÃO DOS CUSTOS

O resultado da classificação dos custos conforme proposto por Sauer (2020) para cada sistema está ilustrado nas Figura 53 e Figura 54 a seguir. Nessas classificações, foi considerado apenas 14% do custo do terreno no início da obra, os outros 86% são pagos ao proprietário como desconto do faturamento mensal que é proporcional ao percentual da PLS¹¹ e às vendas, portanto, não é um valor diretamente desembolsado, mas que diminui o valor de receita. Esse custo foi desconsiderado pois o terreno representa sozinho 11% do custo total da obra, sendo um valor que foge da escala dos outros custos da obra e que pode dificultar a análise dos demais itens.

Devido a apresentação dos diagramas das Figura 53 e Figura 54 ser realizada pelo percentual representante de cada tipo de custo em relação ao custo total da obra para cada processo construtivo, a classificação de custos apresenta-se relativamente parecida entre os dois processos. Isso é explicado também pela diferença de custo entre os dois, de 3%, que resulta em uma escala de custos muito parecida.

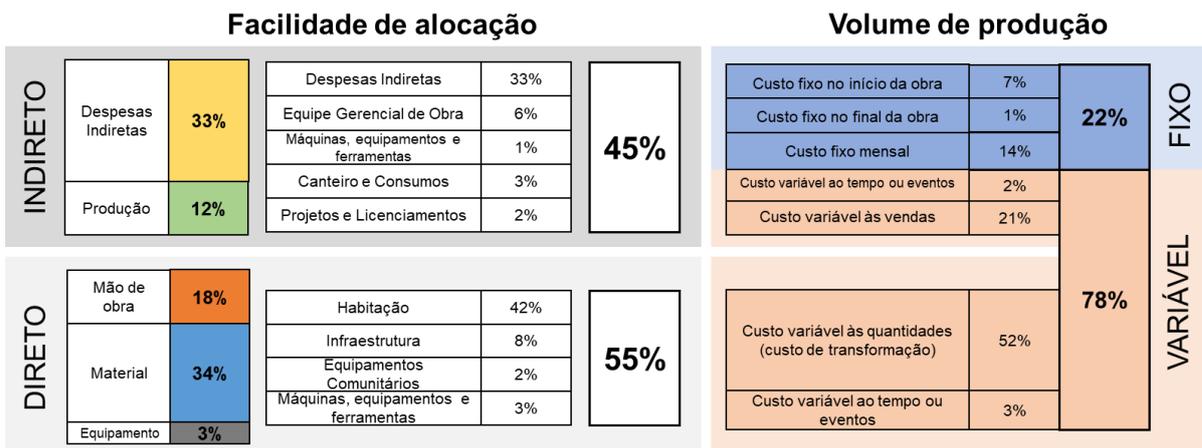
¹¹ PLS – Planilha de Levantamento de Serviços – documento que a CEF utiliza para medir o desembolso da obra

Figura 53 – Classificação de custos Alvenaria Estrutural



(fonte: Autora)

Figura 54 – Classificação de custos Paredes de Concreto



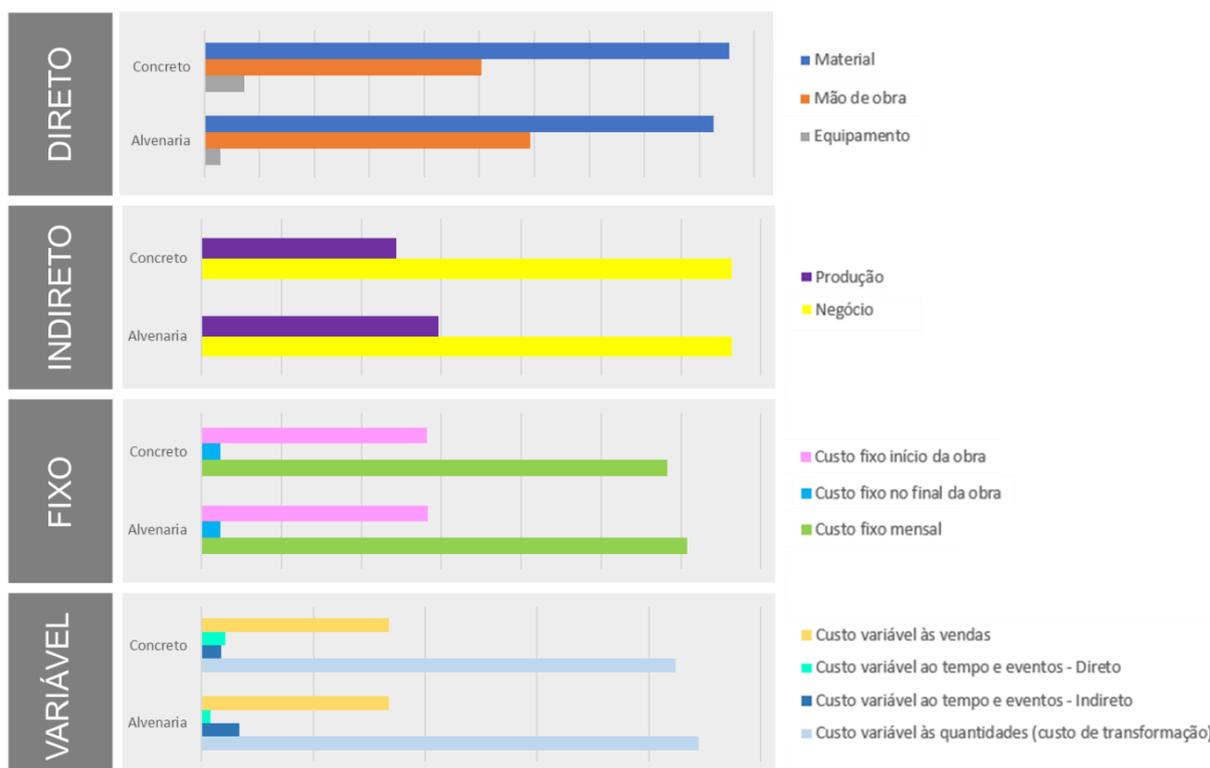
(fonte: Autora)

Como pode-se perceber, a proporção de custos indiretos e diretos entre os sistemas varia apenas em 1%, sendo as principais mudanças ocorridas devido a: (a) custos de produção (indireto) e equipamento (direto) e (b) custos de mão de obra e material (direto). Em relação ao primeiro, nas Paredes de Concreto o elevado custo das formas de alumínio é totalmente alocado no serviço da estrutura, sendo um custo direto de equipamento, o que ocasiona uma diminuição na proporção de custos indiretos nesse sistema em relação à Alvenaria Estrutural, a qual o custo elevado do andaime fachadeiro foi classificado como custo indireto de produção, pois é utilizado em mais de uma atividade. Essa diminuição também ocorre devido ao menor custo de equipe gerencial de obra, e só não é maior devido ao aumento do custo do canteiro e consumos nas Paredes de Concreto. Em relação às mudanças nos custos de material e mão de obra, como

já explicado na seção 6.1, o material da estrutura em Parede de Concreto é mais oneroso, já os custos de mão de obra da estrutura são menores nesse sistema.

Outra análise realizada foi um comparativo entre os custos (Figura 55) conforme a classificação de custos proposta por Sauer (2020).

Figura 55 – Classificação de custos (comparativo)



(fonte: Autora)

Nesses gráficos comparativos (Figura 55) pode-se confirmar a elevada diferença entre os custos diretos de material e equipamento entre os sistemas. Entende-se que essa diferença, como já discutido na seção 6.1, é devido ao maior custo do material da estrutura na Parede de Concreto, como também ao elevado custo da mão de obra da estrutura e revestimentos na Alvenaria Estrutural. Já nos equipamentos, o alto custo das formas de alumínio repercutem no maior custo direto de equipamento para as Paredes de Concreto. Os custos indiretos relativos à produção são superiores na Alvenaria Estrutural devido ao maior custo da equipe gerencial de obra e dos equipamentos, principalmente o andaime fachadeiro. O custo fixo mensal na Alvenaria Estrutural é maior devido também à equipe gerencial de obra e aos itens de limpeza do canteiro possuírem custos mais elevados.

Como já mencionado, uma grande vantagem do sistema de Paredes de Concreto é a oportunidade de uma velocidade de execução da estrutura significativamente superior à Alvenaria Estrutural. Devido às características do mercado do PMCMV, a velocidade de vendas pode não acompanhar a velocidade de produção, sendo importante avaliar o fluxo de caixa da empresa nos primeiros meses da obra.

Como foi realizada apenas uma simulação considerando o tempo de obra total dos dois sistemas igual, foi calculada a diferença do custo mensal e do custo variável em relação ao tempo e eventos, como também o custo adicional por mês caso a estrutura nos dois casos demore mais tempo (Quadro 12). Esse custo é referente principalmente aos equipamentos utilizados para transporte de material e a consultoria realizada mensalmente para controle de qualidade dos sistemas para a CEF, desconsiderando na Alvenaria Estrutural o custo adicional para o andaime fachadeiro, que é proporcional à área de fachada construída. Esse último é desconsiderado pois na Alvenaria Estrutural tem-se a oportunidade de aumentar o prazo da obra executando uma torre por vez, portanto não há aumento de custo no andaime fachadeiro, ele é apenas postergado.

Quadro 12 – Custos influenciados pelo aumento de tempo da estrutura e prazo final da obra

Tipo de custo	Alvenaria	Parede de Concreto	Diferença	Redução
Custo fixo mensal	R\$ 1.455,79	R\$ 1.395,57	R\$ 60,22	4,14%
Custo variável ao tempo e eventos	R\$ 500,83	R\$ 466,17	R\$ 34,65	6,92%
Se a estrutura demorar mais (por mês)	R\$ 5,00	R\$ 4,07	R\$ 0,93	18,66%

(fonte: Autora)

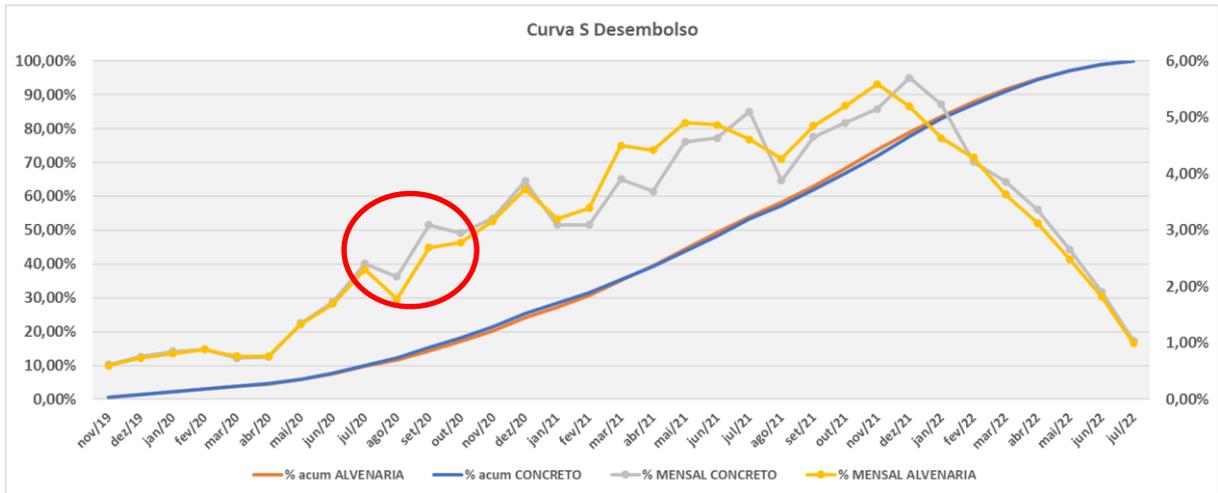
Com os dados do Quadro 12 pode-se concluir que por mais que o prazo da obra se estenda por razões externas à gestão da produção da obra, o processo construtivo de paredes de concreto revela-se mais atrativo. No entanto, deve-se atentar que se a obra se estender muito, a compra das formas não se justifica pois possuem elevado custo de aquisição no início da obra e o ativo ficará parado, sendo assim, muito importante avaliar o fluxo de caixa da empresa como um todo.

6.7 FLUXO DE DESEMBOLSO MENSAL

Na Figura 56 apresenta-se a curva de agregação de recursos não cumulativa e cumulativa resultante do estudo dos dois processos construtivos. Como pode-se observar, a curva cumulativa (curva S) apresenta característica muito semelhante entre as duas. A curva mostra que nos primeiros meses as obras apresentam percentuais muito parecidos, no entanto, no início

planejado para o pagamento das formas de alumínio (um mês antes do início da execução da estrutura, indicado em vermelho), as paredes de concreto apresentam um desembolso 17% maior que a alvenaria estrutural no primeiro mês, diminuindo para 5% no segundo mês, sendo que no próximo mês, a alvenaria estrutural volta a possuir um desembolso maior.

Figura 56 – Comparativo de curvas de agregação de recursos

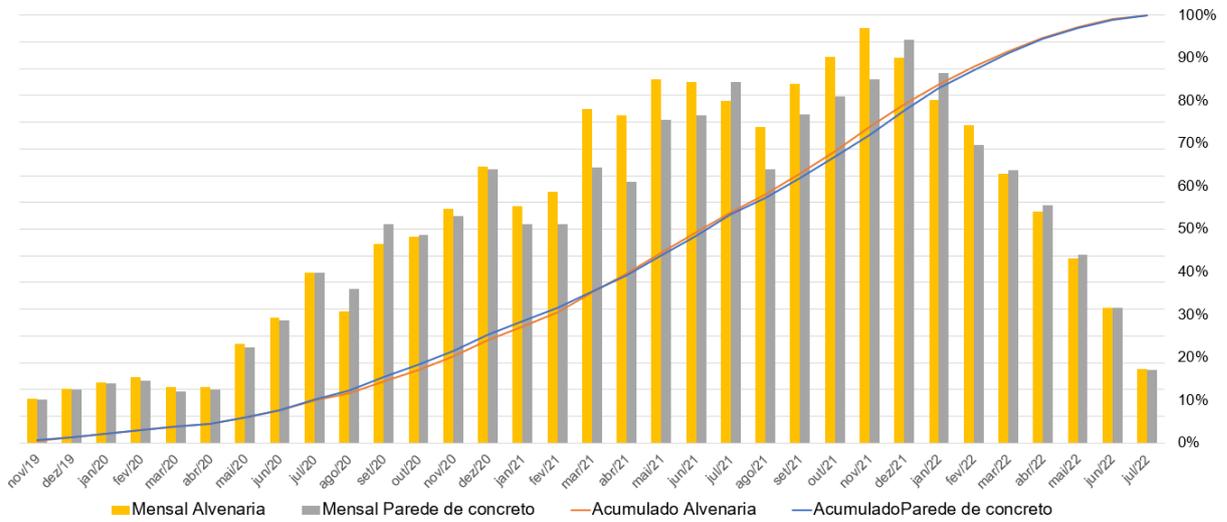


(fonte: Autora)

Outra situação a qual as paredes de concreto possuem um desembolso maior que a alvenaria estrutural acontece pois o custo das redes de infraestrutura da fase 3 foi postergado pelo menos 1 mês em relação à alvenaria estrutural, pois o sistema de paredes de concreto permite uma folga maior entre o final da fundação e o início da estrutura, devido à velocidade da estrutura e uma torre ser executada por vez. Além disso, mesmo que nas paredes de concreto as estacas da fase 3 foram programadas para iniciar o quanto antes para evitar vibrações próximas às paredes, os serviços de viga de fundação até o contrapiso, também para a fase 3, na opção de alvenaria estrutural, tem que iniciar o quanto antes para liberar as redes de infraestrutura, acarretando num desembolso maior antecipadamente.

A Figura 57 representa os valores reais de cada processo no formato de barras (os valores de custo foram ocultados para preservar a confiabilidade dos dados da construtora).

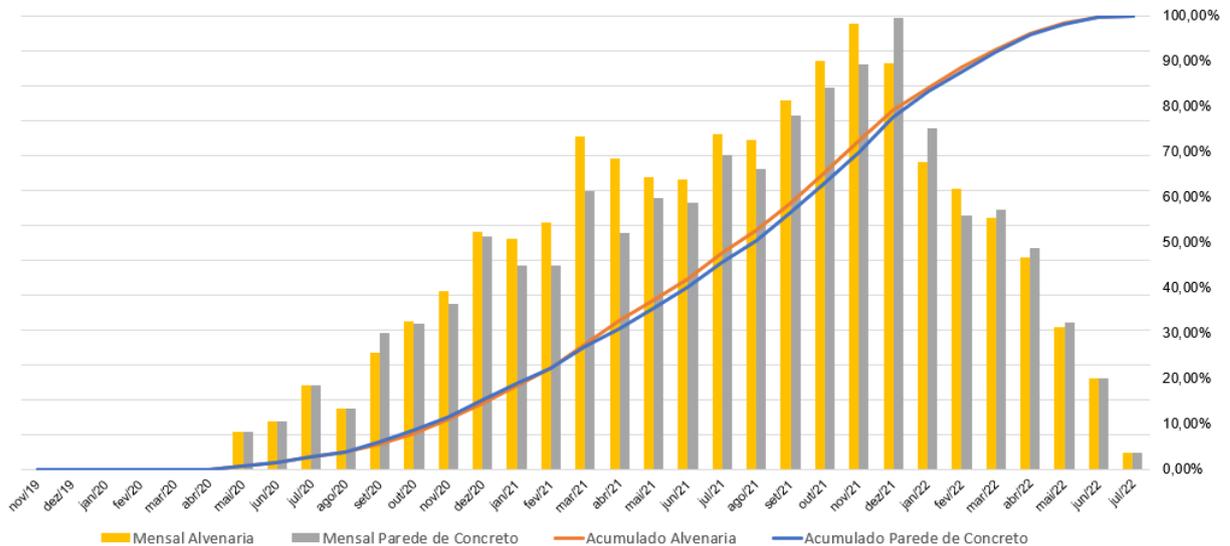
Figura 57 – Comparativo de desembolso mensal e curva S



(fonte: Autora)

A Figura 58 representa o desembolso mensal da habitação para os dois processos construtivos. Esse grupo de custo representa em torno de 70% da diferença de custo entre os dois processos, sendo que em praticamente todos os meses, a alvenaria estrutural apresenta um desembolso maior que as paredes de concreto, resultando numa curva S mais acentuada.

Figura 58 – Comparativo de desembolso mensal Habitação

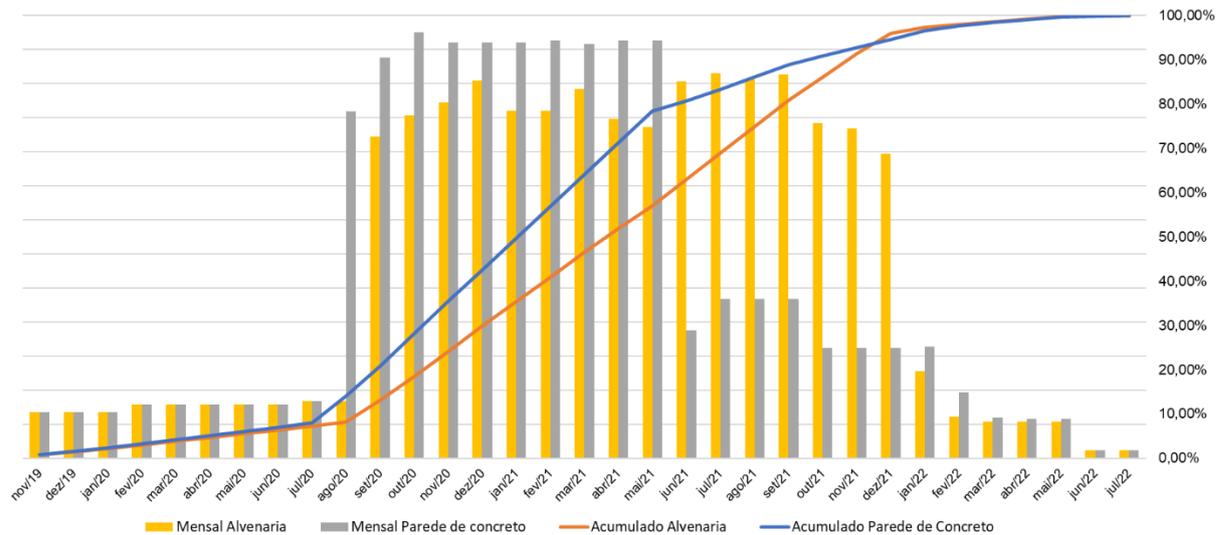


(fonte: Autora)

A Figura 59 representa o desembolso mensal do grupo de custo dos equipamentos, que ilustra a grande diferença de desembolso entre os processos, pela compra das formas de alumínio no início da estrutura. Pode-se perceber, no entanto, que ao longo dos meses em que é necessário o uso intensivo de equipamentos na obra (principalmente na etapa de estrutura e revestimento

externo), a alvenaria estrutural possui um valor relativamente constante, e nos meses em que o valor da formas já está quitado, o valor é em torno de 60% maior que as paredes de concreto, devido ao valor total dos equipamentos necessários a execução da estrutura e revestimento externo ser maior na alvenaria estrutural como mostra o Quadro 10.

Figura 59 – Comparativo de desembolso mensal Máquinas, Equipamentos e Ferramentas



(fonte: Autora)

6.8 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Segundo ABCP (2009), o processo construtivo de paredes de concreto viabiliza-se a partir de: escala, velocidade compatível, padronização e planejamento sistêmico. No sentido de analisar como a produção em escala influencia na diferença de custo entre os dois processos construtivos, foi elaborado o Quadro 13, que considera apenas os custos proporcionais ao número de unidades de apartamentos/torres (grupo de custo da Habitação – custo proporcional à quantidade produzida) e o custos de equipamentos variáveis ao tempo e eventos, incluindo no caso das paredes de concreto, a compra das formas de alumínio, que possui o mesmo custo independentemente da quantidade produzida.

Foi calculado o percentual de redução/aumento desses custos em relação à alvenaria estrutural, de 1 torre até 25 torres. O cálculo foi realizado pela proporção do custo do projeto desse estudo (19 torres). Pode-se perceber que a quantidade mínima de unidades para viabilizar o uso do processo construtivo de paredes de concreto é de 9 torres (180 apartamentos). Nesse cenário, o alto custo das formas de alumínio são diluídas o bastante para tornar o custo das paredes de

concreto inferior à alvenaria estrutural em 0,51%. Portanto, como o empreendimento possui 19 torres, se torna cada vez mais atraente o uso do sistema de paredes de concreto.

Quadro 13 – Número de torres versus diferença de custo entre sistemas

Quantidade Torres	Quantidade Aptos	ALVENARIA	CONCRETO	DIFERENÇA	%Redução/Aumento
1 torre	20	R\$ 247,77	R\$ 427,39	-R\$ 179,62	-72,49%
2 torres	40	R\$ 495,54	R\$ 651,29	-R\$ 155,74	-31,43%
3 torres	60	R\$ 743,31	R\$ 875,18	-R\$ 131,87	-17,74%
4 torres	80	R\$ 991,09	R\$ 1.099,08	-R\$ 108,00	-10,90%
5 torres	100	R\$ 1.238,86	R\$ 1.322,98	-R\$ 84,13	-6,79%
6 torres	120	R\$ 1.486,63	R\$ 1.546,88	-R\$ 60,25	-4,05%
7 torres	140	R\$ 1.734,40	R\$ 1.770,78	-R\$ 36,38	-2,10%
8 torres	160	R\$ 1.982,17	R\$ 1.994,68	-R\$ 12,51	-0,63%
9 torres	180	R\$ 2.229,94	R\$ 2.218,57	R\$ 11,37	0,51%
10 torres	200	R\$ 2.477,71	R\$ 2.442,47	R\$ 35,24	1,42%
11 torres	220	R\$ 2.725,48	R\$ 2.666,37	R\$ 59,11	2,17%
12 torres	240	R\$ 2.973,26	R\$ 2.890,27	R\$ 82,99	2,79%
13 torres	260	R\$ 3.221,03	R\$ 3.114,17	R\$ 106,86	3,32%
14 torres	280	R\$ 3.468,80	R\$ 3.338,07	R\$ 130,73	3,77%
15 torres	300	R\$ 3.716,57	R\$ 3.561,96	R\$ 154,60	4,16%
16 torres	320	R\$ 3.964,34	R\$ 3.785,86	R\$ 178,48	4,50%
17 torres	340	R\$ 4.212,11	R\$ 4.009,76	R\$ 202,35	4,80%
18 torres	360	R\$ 4.459,88	R\$ 4.233,66	R\$ 226,22	5,07%
19 torres	380	R\$ 4.707,65	R\$ 4.457,56	R\$ 250,10	5,31%
20 torres	400	R\$ 4.955,43	R\$ 4.681,46	R\$ 273,97	5,53%
21 torres	420	R\$ 5.203,20	R\$ 4.905,35	R\$ 297,84	5,72%
22 torres	440	R\$ 5.450,97	R\$ 5.129,25	R\$ 321,72	5,90%
23 torres	460	R\$ 5.698,74	R\$ 5.353,15	R\$ 345,59	6,06%
24 torres	480	R\$ 5.946,51	R\$ 5.577,05	R\$ 369,46	6,21%
25 torres	500	R\$ 6.194,28	R\$ 5.800,95	R\$ 393,33	6,35%

(fonte: Autora)

É importante destacar que o processo construtivo de paredes de concreto tornou-se uma solução viável a partir da análise do empreendimento como um todo, pois uma análise que considera só a estrutura (Quadro 9), por exemplo, pode tornar o resultado desfavorável às paredes de concreto devido ao maior custo direto de material da estrutura desse sistema.

6.9 ANÁLISE GERAL

Diante de todo o exposto, pode-se afirmar que no caso das Paredes de Concreto a gestão de materiais, pessoas e equipamentos, e do canteiro de obra como um todo, é facilitada. Isso, reflete também nos custos do empreendimento, como na redução da equipe gerencial de obra e das

instalações provisórias para materiais e mão de obra e os custos de equipamentos em geral. Essa característica facilita também o planejamento e controle da obra, visto que uma frente de trabalho é liberada por vez. Por outro lado, no caso de problemas com a mão de obra, como rotatividade e absenteísmo, redução do efetivo de operários ou baixa produtividade, na alvenaria estrutural, a obra possui mais garantia de continuidade do serviço, como também pode existir compensação de produtividade de uma equipe para outra, por existirem mais equipes disponíveis no canteiro. Por isso, é muito importante a gestão eficaz da equipe de mão de obra para as paredes de concreto, como também, a busca de possíveis subempreiteiros que possam suprir necessidades extraordinárias.

A opção em Alvenaria Estrutural apresenta uma vulnerabilidade relacionada à remoção de restrições de mão de obra, em momentos de prosperidade da indústria da construção, uma vez que requer a contratação de trabalhadores especializados, cuja formação leva um longo tempo. Esses, possuem diversas opções e podem optar por escolher a mais vantajosa para si. No entanto, a Alvenaria Estrutural apresenta a vantagem de possibilitar a abertura de várias frentes de trabalho, dando mais flexibilidade a obra. Nas Paredes de Concreto, a vulnerabilidade apresenta-se na situação de perda da única equipe de mão de obra, como também, a parada por manutenções do único jogo de formas.

Outra análise que pode ser feita é sobre as atividades de redes de infraestrutura e pavimentação, que são muito críticas para estrutura no caso da alvenaria, pelas seguintes razões: (a) na alvenaria com uso de andaime fachadeiro, pelo menos 1 metro do perímetro da torre fica bloqueado para realização de serviços; (b) na maior parte do tempo, 4 torres são executadas ao mesmo tempo, e qualquer atraso que aconteça devido à falta de sincronia entre as equipes, pode refletir no atraso da obra no total; e (c) o canteiro de obras possui mais estoques, como, por exemplo, de blocos e argamassa. Como nas paredes de concreto só 1 torre é executada por vez, e o canteiro é mais livre de estoques, existe uma folga maior entre as fundações e o início da estrutura, e essa atividade não se torna tão crítica.

Pode-se entender que deve existir na Alvenaria Estrutural, um grande esforço inicial focado na infraestrutura, para que não atrase o início da estrutura, ou se for decidido que essa atividade deve ser feita após a estrutura, é importante salientar que existe um custo adicional no equipamento de retroescavadeira, e um prejuízo para a limpeza, segurança e acabamento da obra. Esse item pode refletir também nas vendas do empreendimento, pois o cliente tem a impressão de obra acabada. Entende-se, portanto, que na alvenaria estrutural isso se torna uma

desvantagem em relação às paredes de concreto, pois torna o processo mais complexo, com mais restrições a serem resolvidas e mais tarefas a serem coordenadas.

Por fim, um fator importante de comparação entre os dois processos construtivos é o projeto. As duas alternativas necessitam de um projeto com características muito semelhante, bem elaborado, com muitos detalhes, em comparação à estrutura como a convencional de concreto (pilares, vigas e lajes) com alvenaria de vedação, que tende a ser mais onerosa. Além disto, as duas alternativas estudadas, possuem a desvantagem de não permitir mudanças não planejadas no *layout* das unidades.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelas particularidades da construção de habitações para baixa renda, as empresas que trabalham nesse segmento têm buscado processos construtivos alternativos que visam o aumento da produtividade, a racionalização e industrialização da construção, prazos menores e custos reduzidos. Nesse contexto, os processos construtivos de alvenaria estrutural e parede de concreto vêm sendo largamente utilizados. Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo comparativo entre esses dois processos construtivos, sob os aspectos de custo e prazo de execução.

Para elaborar o estudo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os dois processos construtivos, com foco nas principais premissas de projeto, em seus componentes e sua forma de execução característica. Para o planejamento de custos foi elaborado um orçamento com visão operacional proposto por Sauer (2020), com o qual foi possível integrar o planejamento da produção e classificar os custos para melhor análise dos mesmos.

Com base nas análises apresentadas, conclui-se que, para o estudo de caso realizado, o sistema de parede de concreto apresenta-se mais atrativo economicamente que o sistema de alvenaria estrutural, gerando uma economia de aproximadamente 3% no custo total da obra para um empreendimento específico, de 380 unidades, divididas em 19 torres de 5 pavimentos. É importante destacar que essa economia somente foi atingida devido à alta repetitividade do projeto do empreendimento estudado, pois o alto investimento na aquisição das formas de alumínio foi diluído em um elevado número de unidades habitacionais.

A partir da distinção entre custos que dependem do volume de produção e custos que dependem do prazo, foi possível entender como o prazo da obra influenciou o custo final do

empreendimento. O custo dos equipamentos que dependem do tempo e eventos apresentou um resultado favorável também às paredes de concreto: economia de 9,36% considerando a aquisição das formas de alumínio, e 54,59% desconsiderando o custo das mesmas.

Mesmo que os custos variáveis ao tempo para o processo construtivo de paredes de concreto tenham resultado em um valor menor, para a aquisição das formas, é muito importante avaliar o fluxo de caixa da empresa como um todo. Como a empresa construtora trabalha em escala e com projetos padronizados, as formas podem ser utilizadas em outra obra, considerando apenas um custo de manutenção, e se necessário, de armazenagem. Nesse sentido é importante também realizar um planejamento integrado envolvendo várias obras para que o ativo não fique parado.

O custo da administração de obra também apresentou melhor resultado nas paredes de concreto em 8,84%, devido, principalmente, a consideração de uma equipe menor nesse sistema, o que diminui o custo fixo mensal da obra. Já o grupo de custo de Instalações Provisórias e Consumos Mensais revelou-se 1,29% mais oneroso para as paredes de concreto.

A Habitação é um dos custos que resultou em maior diferença entre os processos construtivos (4,88%), sendo os custos mais expressivos de estrutura e revestimentos. Esses dois são exatamente os itens que sofrem as maiores alterações com a mudança do sistema estrutural e de vedação vertical. É importante destacar que o controle de qualidade na execução das paredes de concreto é essencial para que essa economia seja realizada, pois é possível que o valor bastante reduzido de revestimentos seja consumido e superado pela falta de qualidade das paredes, já que apesar da alvenaria estrutural possuir muitos problemas com manifestações patológicas, é um sistema dominado pela construtora.

Outro fator que deve-se atentar é a variabilidade dos preços dos insumos de cada processo construtivo. Nas paredes de concreto os principais insumos são o concreto e o aço, que são facilmente influenciáveis frente a crises econômicas, pois as empresas de construção têm pouco poder de barganha em relação aos setores fornecedores. Já o bloco cerâmico, por exemplo, tende a manter seu custo relativamente constante.

Já a diferença de prazo da estrutura para uma torre entre os sistemas chega a 69,09% (de 55 dias para 17 dias). Sendo assim, um grande diferencial da estrutura em Paredes de Concreto está na redução do tempo de ciclo, como também na redução do número de etapas e partes da produção, através da execução das paredes e lajes ao mesmo tempo, como também a agregação de tarefas de instalações embutidas na etapa da estrutura. Para obter o mesmo prazo final de

obra, concluiu-se que enquanto na obra de paredes de concreto uma torre é executada por vez, na alvenaria estrutural devem ser executadas as estruturas de 4 torres ao mesmo tempo, dificultando assim, a gestão de materiais, pessoas e equipamentos, e do canteiro de obra como um todo, por existirem 4 frentes de trabalho a serem abastecidas de material, mão de obra, controle de qualidade, etc.

Por outro lado, no caso de problemas com a mão de obra, como abandono da obra, redução do efetivo de operários ou baixa produtividade, na alvenaria estrutural, a obra possui mais garantia de continuidade do serviço, como também pode existir compensação de produtividade de uma equipe para outra, por existirem mais equipes disponíveis no canteiro. Por isso, é muito importante o controle constante da equipe de mão de obra para as paredes de concreto, como também, a busca de possíveis subempreiteiros que possam suprir necessidades extraordinárias.

A análise do regime de chuvas da região onde a obra será construída é muito importante, pois nas paredes de concreto, a etapa final, a concretagem, não pode ser compensado em outros dias, como pode acontecer na alvenaria estrutural com o aumento do efetivo de mão de obra.

Já para os revestimentos, a grande diminuição de custo na alternativa de paredes de concreto, se dá, principalmente, pela redução da espessura e de tipos de revestimentos, sendo apenas uma regularização da superfície com massa niveladora. Essas características tornam o preço da mão de obra mais barato, como também diminuem o consumo de material utilizado. Além da redução de custo, ocorre a redução do prazo de execução dos revestimentos, como também a diminuição das etapas dos mesmos, que contribui para a simplificação da produção. De forma geral, a partir da revisão bibliográfica, do histórico da empresa e das definições técnicas consideradas, chegou-se à conclusão que as paredes de concreto possuem pelo menos 15% a menos de atividades que a alvenaria estrutural.

Pode-se concluir que nas paredes de concreto há ainda potencial de reduzir o prazo total da obra, tanto na estrutura como nos revestimentos. No entanto, para viabilizar a utilização do processo construtivo de paredes de concreto, de forma a garantir a economia em relação a alvenaria estrutural, e aproveitar de forma mais eficaz as principais vantagens do sistema, é necessário treinamento das pessoas e mudança de processos, no sentido de implantar uma nova cultura de construção na empresa.

Por fim, como estudo futuro sugere-se a realização de outros estudos comparativos dos dois processos construtivos, que contemplem outros aspectos da gestão da produção, tais como

gestão logística, incluindo *layout* de canteiro e movimentação e armazenamento de materiais, e outras oportunidades de avançar no grau de industrialização de ambos os sistemas. Outro estudo poderia contemplar uma análise sistemática dos riscos de cada processo construtivo, o que pode ser relevante para a tomada de decisão da escolha entre os processos.

REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Parede de Concreto: Coletânea de ativos 2007/2008**. São Paulo: Comunidade da Construção, 2009. 216 p.

_____. **Parede de Concreto: Coletânea de ativos 2008/2009**. São Paulo: Comunidade da Construção, 2010. 180 p.

_____. **Parede de Concreto: Coletânea de ativos 2009/2010**. São Paulo: Comunidade da Construção, 2011. 78 p.

_____. **Práticas recomendadas de alvenaria com blocos de concreto: PR-1, PR-2, PR-3, PR4 e PR-5**. 2004. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/4/anexo/ae06pr4alv.pdf>>. Acesso em: 24 de maio de 2020.

_____. **Programa de Gestão de Parede de Concreto: Relatório de Atividades 2013-14**. Belo Horizonte: Comunidade da Construção, 2015. 20 p.

_____. **Sistemas Construtivos Racionalizados Permitem Obras Mais Rápidas e Eficientes**. São Paulo, 29 de agosto de 2012. Disponível em: <<https://abcp.org.br/imprensa/noticias/sistemas-construtivos-racionalizados-permitem-obras-mais-rapidas-e-eficientes/>>. Acesso em 10 de dezembro de 2019.

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Manual da Construção Industrializada. Conceitos e Etapas. Volume 1: Estrutura e Vedação**. Brasília, 2015. Disponível em: <https://api.abdi.com.br/file-manager/upload/files/Manual_construcao_industrializada_versao_digital.pdf>. Acesso em: 02 de agosto de 2020.

_____. **BIM na Quantificação, orçamentação, planejamento e gestão de serviços da construção: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC**. Vol. 3; 63 p. Brasília, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15812-1:** Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15812-2:** Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15873:** Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 16055:** Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

ALEXANDRE, Ilídio Francisco. **Manifestações Patológicas em Empreendimentos Habitacionais de Baixa Renda Executados em Alvenaria Estrutural: Uma Análise da Relação Causa e Efeito.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ANDERSSON, Niclas; LESSING, Jerker. **The interface between industrialized and project based construction.** Creative Construction Conference, 2017, 19-22, Primosten, Croatia.

ANDRADE, Vanessa Adriano. **Modelagem dos custos para casas de classe média.** 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ARAÚJO, Luana Leal Fernandes; JUNIOR, Claudino Lins Nobrega. **Análise da Viabilidade Econômica de um Edifício Residencial Multifamiliar em João Pessoa-PB.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXVII, Joinville, SC, Brasil, 2017.

ARCARI, Andrey. **Alvenaria Estrutural e Estrutura Apertada de Concreto Armado: Estudo Comparativo de Custos para Execução de Empreendimento Habitacional de Interesse Social.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BALLARD, Glenn; HOWELL, Gregory. **Shielding Production: An Essential Step in Production Control.** Technical Report No. 97-1, Construction Engineering and Management Program, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, 1997.

BARBOSA JUNIOR, Ricardo Rodrigues. **Sistema Construtivo de Paredes de Concreto Moldado in loco Aplicado em Habitação de Interesse Social: Estudo de Caso na Região Metropolitana de Goiânia**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia.

BATAGLIN, Fernanda S.; VIANA, Daniela D.; FORMOSO, Carlos T.; BULHÕES, Iamara R. **Model for planning and controlling the delivery and assembly of engineer-to-order prefabricated building systems: exploring synergies between Lean and BIM**. Canadian Journal of Civil Engineering, v. 47, n. 2, p. 165-177, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0462>>. Acesso em: 12 de outubro de 2020.

BERNARDES, Maurício Moreira e Silva. **Desenvolvimento de um Modelo de Planejamento e Controle da Produção para Micro e Pequenas Empresas de Construção**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERR, Letícia Ramos. **Método de Avaliação da Qualidade Construtiva de Unidades Habitacionais de Interesse Social na Etapa de Uso: Análise Técnica e Percepção dos Usuários**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERR, Letícia Ramos; FORMOSO, Carlos Torres. **Método para a avaliação da qualidade de processos construtivos em ambientes habitacionais de interesse social**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p.77-96, 2012.

BIOTTO, Clarissa Notariano. **Método para Projeto e Planejamento de Sistemas de Produção na Construção Civil com Uso da Modelagem BIM 4D**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BORNIA, Antonio Cezar. **Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas**. São Paulo: Atlas, 2019. 3ª edição. 214 p.

BULHÕES, Iamara Rossi. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil: uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Arquitetura e Construção). Pós-graduação da

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAMACHO, Jefferson Sidney. **Projetos de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural (NEPAE). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Ilha Solteira, 2006.

CHAVES, Carlos. **Produção e produtividade em paredes de concreto**. 2013. Disponível em <<http://nucleoparededeconcreto.com.br/artigos/producao-e-productividade-em-paredes-de-concreto>>. Acesso em: 11 de outubro de 2020.

CICHINELLI, Gisele C. **Sistemas de fôrmas**. 20 de abril de 2010. Disponível em: <<https://arci53.blogspot.com/2010/04/sistemas-de-formas-fonte-revista-techne.html>>. Acesso em: 11 de setembro 2020.

DALDEGAN, Eduardo. **Bloco cerâmico estrutural: Características e detalhes importantes**. Blog Engenharia Concreta. 15 de março de 2017. Disponível em <<https://engenhariaconcreta.com/bloco-ceramico-estrutural-caracteristicas/>>. Acesso em: 07 de setembro de 2020.

DORNELLES, Gabriel Zuanazzi. **Alvenaria Estrutural e Estrutura Aporticada de Concreto Armado: Estudo Econômico Comparativo de Edificações Esbeltas**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EASTMAN, Chuck; TELCHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

FENATO, Thalmus Magnoni. **Método de Modelagem BIM com o Emprego do Revit® para Extração de Quantitativos de Orçamentos com Abordagem Operacional**. 2017. Dissertação (Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

FORGUES, Daniel; IORDANOVA, Ivanka; VALDIVESIO, Fernando; STAUB-FRENCH Sheryl. **Rethinking the Cost Estimating Process through 5D BIM: a Case Study.** Construction Research Congress. ASCE. 2012.

FORMOSO, Carlos Torres. **A knowledge based framework for planning house building projects.** 1991. Thesis (Ph.D). Department of Quantity and Building Surveying, University of Salford, Manchester.

FORMOSO, Carlos Torres; BERNARDES, Maurício Moreira e Silva; OLIVEIRA, Luiz Fernando Menescal de; OLIVEIRA, Keller Augustus de. **Termo de Referência para Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras.** Porto Alegre: SINDUSCON-SP, 1999. 68 p.

FREIRE, Fábio; PUGLIESI FILHO, Paulo; ALBESSÚ; Naiara. **Alvenaria estrutural em edifício de 24 pavimentos.** In: Concreto & Construções. Sistemas construtivos Paredes de Concreto, Alvenaria Estrutural e Pré-fabricados de Concreto. São Paulo: Revista oficial do Ibracon, 2018. Ed. 90. p. 26-33.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, Diretoria de Estatística e Informações. **Déficit Habitacional no Brasil 2015.** Belo Horizonte, 2018, 78 p., Estatística & Informações, n. 6. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/verDocumento.php?iCodigo=76871&codUsuario=0>>. Acesso em: 02 de agosto de 2020.

GONÇALVES, Luis Felipe. **Análise Comparativa de Custos e Execução entre Dois Sistemas Construtivos Aplicados em Programas Sociais: Parede de Concreto Armado Moldado in loco com Fôrmas de Alumínio e Alvenaria de Vedação com Blocos Cerâmicos.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil. Centro Universitário de Brasília. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília.

HAMZEH, Farook; BALLARD, Glenn; TOMMELEIN, Iris D. **Rethinking Lookahead Planning to Optimize Construction Workflow.** Lean Construction Journal, p. 15–34, 2012.

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L.; WOODRUFF, David L. **Practical Strategies for Lead Time Reduction.** Manufacturing Review, v. 3, n. 2, 1990.

ISATTO, Eduardo Luís; FORMOSO, Carlos Torres; CESARE, Cláudia Monteiro de; HIROTA, Ercília Hitomi; ALVES, Thaís da Costa Lago; BERNARDES. **Lean Construction: diretrizes e ferramentas para controle de perdas na construção civil.** 1ª ed. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

JONGELING, Rogier; OLOFSSON, Thomas. **A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD.** Automation in Construction 16 (2) (2007) 189-198.

JONSSON, Henric; RUDBERG, Martin. **Classification of Production Systems for Industrialized Building: a Production Strategy Perspective.** Construction Management and Economics, v. 32, n 1-2, 53-69, 2014.

KEMMER, Sérgio L.; HEINECK, Luiz Fernando M.; ALVES, Thaís da C. L. **Using the line of balance for production system design.** In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 16., Manchester, 2008. Proceedings... Manchester, 2008.

KENLEY, Russell; SEPPÄNEN, Olli. **Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control.** London: Spon Press, 2010.

KERN, Andrea Parisi. **Proposta de um modelo de planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KOSKELA, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction.** CIFE Technical Report, n. 72: Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, 1992.

KOSKELA, Lauri. **An exploration towards a production theory and its application to construction.** 2000. Thesis (Doctor of Technology) VTT Technical Research Centre of Finland. Helsinki University of Technology, Espoo.

LAUFER, Alexander; TUCKER, Richard L.; SHAPIRA, Aviad; SHENNAR, Aaron J. **The Multiplicity Concept in Construction Project Planning.** Construction Management and Economics, London, n.1, p. 53-65, 1994.

LEE, Ghang; SACKS, Rafael; EASTMAN, Charles M. **Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system.** Automation in Construction, v. 15, n. 6, p. 758-776, 2006.

LESSING, Jerker. **Industrialised House-Building: Conceptual orientation and strategic perspectives.** 2015. Faculty of Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

LIKER, Jeffrey K. **The Toyota Way. 14 Management principles from the worlds greatest manufacturer.** 1 ed. United States of America: McGraw-Hill, 2004. 352 p.

LIMA, José Roberto Pereira de; COSTA, Cláudio Pires. **Três sistemas construtivos em empreendimento residencial econômico.** In: Concreto & Construções. Sistemas construtivos Paredes de Concreto, Alvenaria Estrutural e Pré-fabricados de Concreto. São Paulo: Revista oficial do Ibracon, 2018. Ed. 90. p. 21-25.

MANZIONE, Leonardo. **Projeto e Execução de Alvenaria Estrutural.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2004. 1ª edição. v.1. 120 p.

MARCHIORI, Fernanda Fernandes. **Desenvolvimento de um método para elaboração de redes de composições de custo para orçamentação de obras de edificações.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARQUES DE JESUS, Christiano Romanholo. **Análise de Custos para Reabilitação de Edifícios para Habitação.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos.** São Paulo: Pini, 2006. 1ª edição. 281 p.

MENDES JR, Ricardo. **Programação da produção a construção de edifícios de múltiplos pavimentos.** 1999. Tese (Doutorado em Engenharia). Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MESOMO, Marcos Feronatto. **Manifestações Patológicas em Unidades Habitacionais Construídas com Paredes de Concreto Moldadas in loco com Fôrmas Metálicas: Análise das Falhas Observadas na Etapa de Execução.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MISURELLI, Hugo; MASSUDA, Clovis. **Como Construir Paredes de Concreto**. Revista Técnica, 2009. Edição 147. p. 74-80.

MOHAMAD, Gihad; RIZZATTI, Eduardo. **Introdução à alvenaria estrutural**. In: SANCHEZ, Emil (org.). Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: Interciência, 2013a. 1ª edição. p. 1-37.

MOHAMAD, Gihad; RIZZATTI, Eduardo. **Propriedades e Componentes da Alvenaria Estrutural**. In: SANCHEZ, Emil (org.). Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: Interciência, 2013b. 1ª edição. p. 75-125.

MONGE, Rubens; Y MAYOR, Arcindo Vaquero; SILVA, João Batista R. **A construção de um sistema de sucesso**. In: Concreto & Construções. Sistemas construtivos Paredes de Concreto, Alvenaria Estrutural e Pré-fabricados de Concreto. São Paulo: Revista oficial do Ibracon, 2018. Ed. 90. p. 42-46.

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da; ROCHA, Érico Rial Pinto da. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 31, p. 353-410, mar. 2010. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1311/2/BS%2031_final%20A.pdf>. Acesso em: 02 de agosto de 2020.

MORAES, Bruna Demétrio. **Comparação de Custos de Unidades Habitacionais de Interesse Social Produzidas por Sistemas Construtivos Convencional e Paredes de Concreto**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

NEMER, Pedro Curvello da Costa. **Avaliação do sistema construtivo paredes de concreto moldado no local a luz das normas técnicas vigentes**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização). Curso de Produção e Gestão do Ambiente Construído – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NUNES, Sandra Conceição Barbosa. **Betão auto-compactável: tecnologia e propriedades**. 2001. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil). Pós-graduação em estruturas de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

OLIVIERI, Hylton. **Integração de sistemas de planejamento e controle da produção para empreendimentos da construção civil**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas.

PENTILLÄ, Hannu. **Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression**. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), v. 11, Special issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality, p. 395-408, 2006.

POMPERMAYER, Cleonice Bastos. **A Influência de Fatores Organizacionais nos Aspectos Práticos dos Sistemas de Gestão de Custos**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2003. 1ª edição. 174 p.

RICHTER, Cristiano. **Qualidade da Alvenaria Estrutural em Habitações de Baixa Renda: Uma Análise da Confiabilidade e da Conformidade**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RIZZATTI, Eduardo; RAUBER, Felipe Claus; MOHAMAD, Gihad. **O Projeto de Alvenaria Estrutural**. In: SANCHEZ, Emil (org.). Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. 1ª edição. p. 39-73.

ROMAN, Humberto Ramos; MUTTI, Cristine do Nascimento; ARAÚJO, Hércules Nunes de. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Núcleo de Pesquisa em Construção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: Editora da UFSC, 2015.

SABBATINI, Fernando Henrique. **O Processo Construtivo de Edifícios de Alvenaria Estrutural Sílico-Calcária**. 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos – Formulação e Aplicação de uma Metodologia**. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Alvenaria Estrutural: Materiais, execução da estrutura e controle tecnológico**. Caixa Econômica Federal. Superintendência Nacional de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano. Brasília, 2002.

SACKS, Rafael; PARTOUCHE, Rebecca. **Production Flow in the Construction of Tall Buildings**. Construction Research Congress. ASCE. 2009.

SAKAMORI, Marcelo Mino. **Modelagem 5D (BIM) – Processo de orçamentação com estudo sobre controle de custos e valor agregado para empreendimentos de construção civil**. 2015. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SALMI, Aino. **Applying earned value management in construction project**. 2018. Dissertação (Mestrado de Ciência em Tecnologia). School of Engineering, Aalto University, Espoo, Finland.

SAN MARTIN, Alberto Peixoto. **Método de Avaliação de Tecnologias de Edificação para a Habitação de Interesse Social sob o Ponto de Vista da Gestão dos Processos de Produção**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, Marcus Daniel Friederich dos. **Técnicas Construtivas em Alvenaria Estrutural: Contribuição ao Uso**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTOS, Rafael Francisco Cardoso dos. **IPT aprimora concreto autoadensável usado em paredes**. 26 de novembro de 2014. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/concreto-autoadensavel-paredes/>>. Acesso em: 11 de setembro de 2020.

SAUER, Natacha. **Integração da Gestão de Custos ao Planejamento e Controle da Produção baseado em Localização na Construção com apoio de BIM**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHRAMM, Fábio Kellermann; COSTA, Dayana Bastos; FORMOSO, Carlos Torres. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 59-74, 2006.

SEPPÄNEN, Olli; KANKAINEN, Jouko. **Empirical Research on Deviations in Production and Current State of Project Control.** In: Annual Conference International Group for Lean Construction, 12., Helsingor, 2004. Proceedings... Helsingor, 2004.

SIMÕES, Leider; RIBEIRO, Máris de Cássia Ribeiro. **A curva ABC como ferramenta para análise de estoques.** In: Encontro Científico e Simpósio de Educação Unisalesiano, 1., 2007, Lins. Anais... Lins: UNISALESIANO, 2007. Disponível em: <<http://www.unisalesiano.edu.br/encontro2007/trabalho/aceitos/CC04099565629A.pdf>>.

Acesso em: 20 de setembro de 2020.

SOINI, Mika; LESKELÄ, Ilkka; SEPPÄNEN, Olli. **Implementation of Line-of-Balance Based Scheduling and Project Control System in a Large Construction Company.** In: Proceedings of the 12th International Conference for Lean Construction, Dinamarca, 2004.

URBE.ME Serviços Desenvolvimento Urbano. **Por que o Minha Casa Minha Vida é bom para os investidores?** Porto Alegre, 24 de janeiro de 2019. Disponível em: <urbe.me/lab/por-que-o-minha-casa-minha-vida-e-bom-para-os-investidores/> Acesso em: 18 de novembro de 2019.

VARGAS, Fabrício Berger de. **Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WENDLER, Arnoldo; MONGE, Rubens. **Paredes de concreto – como ter uma obra sem manifestações patológicas.** In: Concreto & Construções. Sistemas construtivos Paredes de Concreto, Alvenaria Estrutural e Pré-fabricados de Concreto. São Paulo: Revista oficial do Ibracon, 2018. Ed. 90. p. 38-41.

ZILLI, Leonardo Costa. **Análise comparativa técnica e econômica entre alvenaria estrutural e paredes de concreto armado moldadas no local com formas de alumínio.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

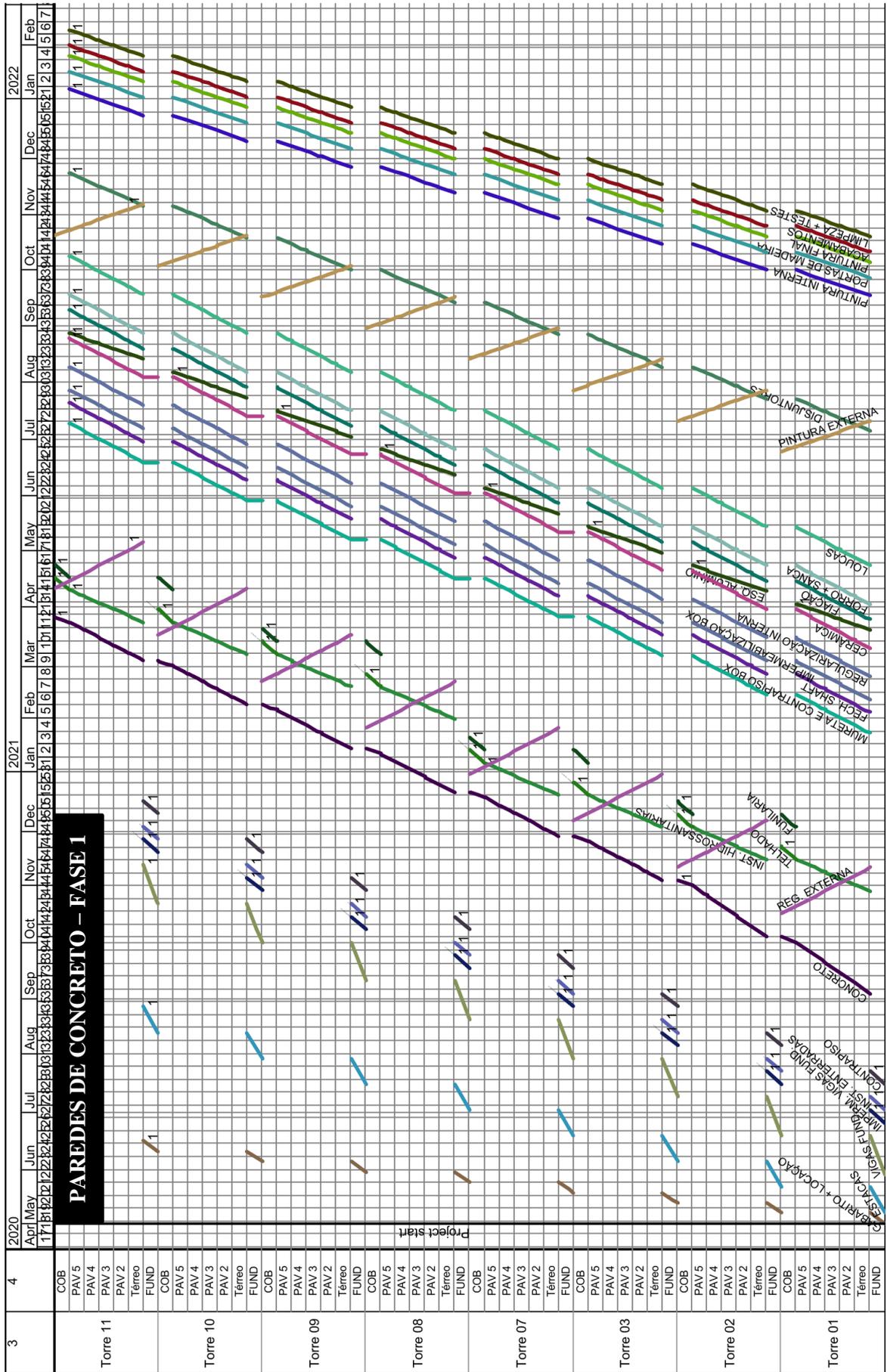
APÊNDICE A – Orçamento executivo habitação

ALVENARIA ESTRUTURAL						
Código	Descrição	Quantidade	Unidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	%
01	LOCAÇÃO				7,65	0,18%
01.001	Gabarito e locação de obra	1.361,54	m	0,006	7,645	0,18%
01.001.001	Mão de obra de montagem do gabarito	1.361,54	m	0,002	2,282	0,05%
01.001.002	Material para montagem do gabarito	1.361,54	m	0,001	0,815	0,02%
01.001.003	Topógrafo para locação da obra	19,00	torre	0,239	4,549	0,11%
02	FUNDAÇÃO				373,08	8,76%
02.001	Estacas escavadas	1.864,50	m³	0,130	241,734	5,68%
02.001.001	Estacas escavadas – Material	1.864,50	m³	0,100	186,965	4,39%
02.001.002	Estacas escavadas - Mão de obra	1.864,50	m³	0,029	54,769	1,29%
02.002	Vigas de Fundação	313,43	m³	0,419	131,351	3,08%
02.002.001	Vigas de Fundação – Material	313,43	m³	0,293	91,957	2,16%
02.002.002	Vigas de Fundação - Mão de obra	313,43	m³	0,126	39,393	0,93%
03	ESTRUTURA				1.295,76	30,43%
03.001	Contrapiso armado e=8 cm	3.906,53	m²	0,019	73,796	1,73%
03.001.001	Contrapiso armado – Material	3.906,53	m²	0,013	50,416	1,18%
03.001.002	Contrapiso armado - Mão de obra	3.906,53	m²	0,006	23,381	0,55%
03.002	Alvenaria Estrutural	34.235,32	m²	0,019	661,068	15,53%
03.002.001	Alvenaria Estrutural – Material	34.235,32	m²	0,011	370,303	8,70%
03.002.002	Alvenaria Estrutural - Mão de obra	34.235,32	m²	0,008	290,765	6,83%
03.003	Lajes pré-moldadas	19.305,65	m²	0,029	560,892	13,17%
03.003.001	Lajes pré-moldadas – Material	19.305,65	m²	0,013	254,425	5,98%
03.003.002	Lajes pré-moldadas - Mão de obra	19.305,65	m²	0,016	306,468	7,20%
04	COBERTURA				77,65	1,82%
04.001	Telhado	3.786,84	m²	0,016	59,063	1,39%
04.001.001	Telhado – Material	3.786,84	m²	0,010	36,399	0,85%
04.001.002	Telhado - Mão de obra	3.786,84	m²	0,006	22,664	0,53%
04.002	Funilaria	1.395,17	m	0,013	18,583	0,44%
04.002.001	Funilaria – Material	1.395,17	m	0,010	14,035	0,33%
04.002.002	Funilaria - Mão de obra	1.395,17	m	0,003	4,549	0,11%
05	FECHAMENTOS				661,08	15,53%
05.001	Esquadrias de alumínio	2.432,00	unid	0,157	382,374	8,98%
05.001.001	Esquadrias de alumínio – Material	2.432,00	unid	0,139	338,234	7,94%
05.001.002	Esquadrias de alumínio - Mão de obra	2.432,00	unid	0,018	44,140	1,04%
05.002	Esquadrias de ferro	1.064,29	m	0,059	62,361	1,46%
05.002.001	Venezianas do telhado	247,00	unid	0,054	13,264	0,31%
05.002.001.001	Venezianas do telhado - Material	247,00	unid	0,031	7,551	0,18%
05.002.001.002	Venezianas do telhado - Mão de obra	247,00	unid	0,023	5,713	0,13%
05.002.002	Guarda-corpo e passa mão	1.064,29	m	0,042	44,640	1,05%
05.002.002.001	Guarda-corpo e passa mão - Material	1.064,29	m	0,037	39,303	0,92%
05.002.002.002	Guarda-corpo e passa mão - Mão de obra	1.064,29	m	0,005	5,337	0,13%
05.002.003	Alçapão e escada marinho	19,00	unid	0,235	4,458	0,10%
05.002.003.001	Alçapão e escada marinho - Material	19,00	unid	0,187	3,548	0,08%
05.002.003.002	Alçapão e escada marinho - Mão de obra	19,00	unid	0,048	0,910	0,02%
05.003	Esquadrias de madeira	1.520,00	unid	0,100	151,741	3,56%
05.003.001	Esquadria de madeira - Material	1.520,00	unid	0,083	125,541	2,95%
05.003.002	Esquadria de madeira - Mão de obra	1.520,00	unid	0,017	26,200	0,62%
05.004	Shaft de gesso acartonado	750,89	m²	0,024	17,976	0,42%
05.004.001	Shaft - Material	750,89	m²	0,018	13,482	0,32%
05.004.002	Shaft - Mão de obra	750,89	m²	0,006	4,494	0,11%
05.005	Forros	3.195,51	m²	0,015	46,631	1,10%
05.005.001	Forro	3.195,51	m²	0,013	41,889	0,98%
05.005.001.001	Forro - Material	3.195,51	m²	0,005	17,409	0,41%
05.005.001.002	Forro - Mão de obra	3.195,51	m²	0,008	24,480	0,57%
05.005.002	Sanca	792,30	m	0,006	4,742	0,11%
05.005.002.001	Sanca - Material	792,30	m	0,004	3,035	0,07%
05.005.002.002	Sanca - Mão de obra	792,30	m	0,002	1,707	0,04%
06	REVESTIMENTOS				713,59	16,76%
06.001	Chapisco interno	5.319,21	m²	0,001	4,856	0,11%
06.001.001	Chapisco Interno - Material	5.319,21	m²	0,000	2,037	0,05%
06.001.002	Chapisco Interno - Mão de obra	5.319,21	m²	0,001	2,819	0,07%
06.002	Azulejo paredes	7.685,07	m²	0,013	100,165	2,35%
06.002.001	Azulejo - Material	7.685,07	m²	0,006	44,597	1,05%
06.002.002	Azulejo - Mão de obra	7.685,07	m²	0,007	55,569	1,31%
06.003	Gesso liso	38.421,79	m²	0,004	150,341	3,53%
06.003.001	Gesso liso - Material	38.421,79	m²	0,003	101,180	2,38%
06.003.002	Gesso liso - Mão de obra	38.421,79	m²	0,001	49,161	1,15%
06.004	Reboco interno	4.861,99	m²	0,008	38,166	0,90%
06.004.001	Reboco interno - Material	4.861,99	m²	0,002	12,025	0,28%
06.004.002	Reboco interno - Mão de obra	4.861,99	m²	0,005	26,141	0,61%

ALVENARIA ESTRUTURAL						
Código	Descrição	Quantidade	Unidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	%
06.005	Piso cerâmico	4.603,28	m²	0,014	65,565	1,54%
06.005.001	Piso cerâmico - Material	4.603,28	m²	0,008	37,173	0,87%
06.005.002	Piso cerâmico - Mão de obra	4.603,28	m²	0,006	28,392	0,67%
06.006	Rodapés e soleiras	1.456,19	m	0,011	16,658	0,39%
06.006.001	Rodapés e soleiras - Material	1.456,19	m	0,002	3,277	0,08%
06.006.002	Rodapés e soleiras - Mão de obra	1.456,19	m	0,007	10,197	0,24%
06.006.003	Régua de granito polido - Material	380,00	unid	0,006	2,274	0,05%
06.006.004	Régua de granito polido - Mão de obra	380,00	unid	0,002	0,910	0,02%
06.007	Degraus basalto escada	360,48	m²	0,044	15,965	0,37%
06.007.001	Degraus basalto escada - Material	360,48	m²	0,034	12,082	0,28%
06.007.002	Degraus basalto escada - Mão de obra	360,48	m²	0,011	3,883	0,09%
06.008	Chapisco e reboco externo	17.491,90	m²	0,013	234,378	5,50%
06.008.001	Chapisco e reboco externo - Material	17.491,90	m²	0,004	67,474	1,58%
06.008.002	Chapisco e reboco externo - Mão de obra	17.491,90	m²	0,010	166,905	3,92%
06.009	Peitoril de basalto	2.299,95	m	0,011	24,943	0,59%
06.009.001	Peitoril de basalto - Material	2.299,95	m	0,007	15,032	0,35%
06.009.002	Peitoril de basalto - Mão de obra	2.299,95	m	0,004	9,911	0,23%
06.010	Molduras de fachada	6.563,07	m	0,010	62,549	1,47%
06.010.001	Molduras de fachada - Material	6.563,07	m	0,007	46,837	1,10%
06.010.002	Molduras de fachada - Mão de obra	6.563,07	m	0,002	15,712	0,37%
07	PINTURAS				320,45	7,53%
07.001	Pintura Interna parede e teto	58.590,51	m²	0,004	213,005	5,00%
07.001.001	Pintura Interna parede e teto - Material	58.590,51	m²	0,001	60,021	1,41%
07.001.002	Pintura Interna parede e teto - Mão de obra	58.590,51	m²	0,003	152,983	3,59%
07.002	Pintura Externa	16.869,28	m²	0,006	104,195	2,45%
07.002.001	Pintura Externa - Material	16.869,28	m²	0,003	45,559	1,07%
07.002.002	Pintura Externa - Mão de obra	16.869,28	m²	0,003	58,635	1,38%
07.003	Pintura das esquadrias de ferro	358,25	m²	0,009	3,248	0,08%
07.003.001	Pintura das esquadrias de ferro - Material	358,25	m²	0,006	2,176	0,05%
07.003.002	Pintura das esquadrias de ferro - Mão de obra	358,25	m²	0,003	1,072	0,03%
08	IMPERMEABILIZAÇÃO E TRATAMENTOS				64,82	1,52%
08.001	Impermeabilização - Vigas de fundação com hidroasfalto	3.439,94	m²	0,002	6,900	0,16%
08.001.001	Impermeabilização - Vigas de fundação com hidroasfalto - Material	3.439,94	m²	0,001	3,606	0,08%
08.001.002	Impermeabilização - Vigas de fundação com hidroasfalto - Mão de obra	3.439,94	m²	0,001	3,294	0,08%
08.002	Impermeabilização - Box do banheiro argamassa polimérica	759,40	m²	0,019	14,180	0,33%
08.002.001	Impermeabilização - Box do banheiro argamassa polimérica - Material	759,40	m²	0,015	11,453	0,27%
08.002.002	Impermeabilização - Box do banheiro argamassa polimérica - Mão de obra	759,40	m²	0,004	2,727	0,06%
08.003	Impermeabilização - Contrapiso do WC	338,35	m²	0,009	2,961	0,07%
08.003.001	Impermeabilização - Contrapiso do WC - Material	338,35	m²	0,003	0,936	0,02%
08.003.002	Impermeabilização - Contrapiso do WC - Mão de obra	338,35	m²	0,006	2,025	0,05%
08.004	Impermeabilização - Calha cobertura	173,94	m²	0,049	8,578	0,20%
08.004.001	Impermeabilização - Calha cobertura - Material	173,94	m²	0,038	6,548	0,15%
08.004.002	Impermeabilização - Calha cobertura - Mão de obra	173,94	m²	0,012	2,030	0,05%
08.005	Juntas deslizante da laje de cobertura	19,00	torre	0,718	13,646	0,32%
08.005.001	Juntas deslizante da laje de cobertura - Material	19,00	torre	0,479	9,097	0,21%
08.005.002	Juntas deslizante da laje de cobertura - Mão de obra	19,00	torre	0,239	4,549	0,11%
08.006	Tratamento Acústico Lajes	5.103,60	m²	0,004	18,556	0,44%
08.006.001	Tratamento Acústico Lajes - Material	5.103,60	m²	0,002	8,950	0,21%
08.006.002	Tratamento Acústico Lajes - Mão de obra	5.103,60	m²	0,002	9,607	0,23%
09	INSTALAÇÕES				702,77	16,51%
09.001	Instalações hidrossanitárias	380,00	apto	0,473	179,810	4,22%
09.001.001	Instalações hidrossanitárias - Material	380,00	apto	0,197	74,870	1,76%
09.001.002	Instalações hidrossanitárias - Mão de obra	380,00	apto	0,276	104,941	2,46%
09.002	Aparelhos sanitários e metais	380,00	apto	0,367	139,278	3,27%
09.002.001	Aparelhos sanitários e metais - Material	380,00	apto	0,305	116,080	2,73%
09.002.002	Aparelhos sanitários e metais - Mão de obra	380,00	apto	0,061	23,198	0,54%
09.003	Instalações de proteção contra incêndio	95,00	pav	0,350	33,205	0,78%
09.003.001	Instalações de proteção contra incêndio - Material	95,00	pav	0,297	28,201	0,66%
09.003.002	Instalações de proteção contra incêndio - Mão de obra	95,00	pav	0,053	5,003	0,12%
09.004	Instalações elétricas	380,00	apto	0,753	286,030	6,72%
09.004.001	Instalações elétricas - Material	380,00	apto	0,452	171,846	4,04%
09.004.002	Instalações elétricas - Mão de obra	380,00	apto	0,300	114,184	2,68%
09.005	Entrada de energia e painéis de medição	38,00	pav	1,696	64,446	1,51%
09.005.001	Entrada de energia e painéis de medição - Material	38,00	pav	1,265	48,071	1,13%
09.005.002	Entrada de energia e painéis de medição - Mão de obra	38,00	pav	0,431	16,375	0,38%
10	COMPLEMENTAÇÃO FINAL				40,94	0,96%
10.001	Complementação e limpeza final	19,00	torre	2,155	40,937	0,96%
10.001.001	Limpeza final	19,00	torre	1,240	23,562	0,55%
10.001.002	Placas	19,00	torre	0,180	3,411	0,08%
10.001.003	Cobertura de entrada das torres	19,00	torre	0,484	9,188	0,22%
10.001.004	Caixa de Correio	19,00	torre	0,251	4,776	0,11%
TOTAL ALVENARIA ESTRUTURAL					4.257,780	100,00%

PAREDES DE CONCRETO						
Código	Descrição	Quantidade	Unidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	%
01	LOCAÇÃO				7,57	0,19%
01.001	Gabarito e locação de obra	1.329,24	m	0,006	7,572	0,19%
01.001.001	Mão de obra de montagem do gabarito	1.329,24	m	0,002	2,228	0,06%
01.001.002	Material para montagem do gabarito	1.329,24	m	0,001	0,796	0,02%
01.001.003	Topógrafo para locação da obra	19,00	torre	0,239	4,549	0,11%
02	FUNDAÇÃO				373,08	9,21%
02.001	Estacas escavadas	1.864,50	m³	0,130	241,734	5,97%
02.001.001	Estacas escavadas - Material	1.864,50	m³	0,100	186,965	4,62%
02.001.002	Estacas escavadas - Mão de obra	1.864,50	m³	0,029	54,769	1,35%
02.002	Vigas de Fundação	313,43	m³	0,419	131,351	3,24%
02.002.001	Vigas de Fundação - Material	313,43	m³	0,293	91,957	2,27%
02.002.002	Vigas de Fundação - Mão de obra	313,43	m³	0,126	39,393	0,97%
03	ESTRUTURA				1.356,03	33,48%
03.001	Contrapiso armado e=8 cm	3.754,35	m²	0,019	70,922	1,75%
03.001.001	Contrapiso armado - Material	3.754,35	m²	0,013	48,452	1,20%
03.001.002	Contrapiso armado - Mão de obra	3.754,35	m²	0,006	22,470	0,55%
03.002	Estrutura moldada in loco	5.692,23	m³	0,226	1.285,112	31,73%
03.002.001	Estrutura moldada in loco - Material	5.692,23	m³	0,142	808,160	19,96%
03.002.002	Estrutura moldada in loco - Mão de obra	5.692,23	m³	0,084	476,952	11,78%
04	COBERTURA				112,27	2,77%
04.001	Telhado	3.633,73	m²	0,023	83,686	2,07%
04.001.001	Telhado - Material	3.633,73	m²	0,016	59,763	1,48%
04.001.002	Telhado - Mão de obra	3.633,73	m²	0,007	23,923	0,59%
04.002	Funilaria	1.697,46	m	0,017	28,586	0,71%
04.002.001	Funilaria - Material	1.697,46	m	0,013	22,895	0,57%
04.002.002	Funilaria - Mão de obra	1.697,46	m	0,003	5,691	0,14%
05	FECHAMENTOS				635,54	15,69%
05.001	Esquadrias de alumínio	2.432,00	unid	0,148	358,794	8,86%
05.001.001	Esquadrias de alumínio - Material	2.432,00	unid	0,133	323,496	7,99%
05.001.002	Esquadrias de alumínio - Mão de obra	2.432,00	unid	0,015	35,297	0,87%
05.002	Esquadrias de ferro	1.064,29	m	0,056	59,741	1,48%
05.002.001	Venezianas do telhado	247,00	unid	0,043	10,644	0,26%
05.002.001.001	Venezianas do telhado - Material	247,00	unid	0,024	5,913	0,15%
05.002.001.002	Venezianas do telhado - Mão de obra	247,00	unid	0,019	4,731	0,12%
05.002.002	Guarda-corpo e passa mão	1.064,29	m	0,042	44,640	1,10%
05.002.002.001	Guarda-corpo e passa mão - Material	1.064,29	m	0,037	39,303	0,97%
05.002.002.002	Guarda-corpo e passa mão - Mão de obra	1.064,29	m	0,005	5,337	0,13%
05.002.003	Alçapão e escada marinho	19,00	unid	0,235	4,458	0,11%
05.002.003.001	Alçapão e escada marinho - Material	19,00	unid	0,187	3,548	0,09%
05.002.003.002	Alçapão e escada marinho - Mão de obra	19,00	unid	0,048	0,910	0,02%
05.003	Esquadrias de madeira	1.520,00	unid	0,100	151,741	3,75%
05.003.001	Esquadria de madeira - Material	1.520,00	unid	0,083	125,541	3,10%
05.003.002	Esquadria de madeira - Mão de obra	1.520,00	unid	0,017	26,200	0,65%
05.004	Shaft de gesso acartonado	790,40	m²	0,024	18,922	0,47%
05.004.001	Shaft - Material	790,40	m²	0,018	14,192	0,35%
05.004.002	Shaft - Mão de obra	790,40	m²	0,006	4,731	0,12%
05.005	Forros	3.163,50	m²	0,015	46,339	1,14%
05.005.001	Forro	3.163,50	m²	0,013	41,506	1,02%
05.005.001.001	Forro - Material	3.163,50	m²	0,005	17,271	0,43%
05.005.001.002	Forro - Mão de obra	3.163,50	m²	0,008	24,235	0,60%
05.005.002	Sanca	807,50	m	0,006	4,833	0,12%
05.005.002.001	Sanca - Material	807,50	m	0,004	3,093	0,08%
05.005.002.002	Sanca - Mão de obra	807,50	m	0,002	1,740	0,04%
06	REVESTIMENTOS				475,44	11,74%
06.001	Azulejo paredes	7.710,12	m²	0,013	100,476	2,48%
06.001.001	Azulejo - Material	7.710,12	m²	0,006	44,742	1,10%
06.001.002	Azulejo - Mão de obra	7.710,12	m²	0,007	55,734	1,38%
06.002	Regularização interna paredes e teto	55.376,01	m²	0,002	127,595	3,15%
06.002.001	Regularização interna paredes e teto - Material	55.376,01	m²	0,001	46,400	1,15%
06.002.002	Regularização interna paredes e teto - Mão de obra	55.376,01	m²	0,001	81,195	2,00%
06.003	Piso cerâmico	4.770,48	m²	0,014	64,933	1,60%
06.003.001	Piso cerâmico - Material	4.770,48	m²	0,008	36,838	0,91%
06.003.002	Piso cerâmico - Mão de obra	4.770,48	m²	0,006	28,095	0,69%
06.004	Rodapés e soleiras	1.465,58	m	0,011	16,789	0,41%
06.004.001	Rodapés e soleiras - Material	1.465,58	m	0,002	3,404	0,08%
06.004.002	Rodapés e soleiras - Mão de obra	1.465,58	m	0,007	10,201	0,25%
06.004.003	Régua de granito polido - Material	380,00	unid	0,006	2,274	0,06%
06.004.004	Régua de granito polido - Mão de obra	380,00	unid	0,002	0,910	0,02%

PAREDES DE CONCRETO						
Código	Descrição	Quantidade	Unidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	%
06.005	Degraus basalto escada	360,48	m²	0,044	15,965	0,39%
06.005.001	Degraus basalto escada - Material	360,48	m²	0,034	12,082	0,30%
06.005.002	Degraus basalto escada - Mão de obra	360,48	m²	0,011	3,883	0,10%
06.006	Regularização externa	16.208,80	m²	0,004	63,114	1,56%
06.006.001	Regularização externa - Material	16.208,80	m²	0,002	24,594	0,61%
06.006.002	Regularização externa - Mão de obra	16.208,80	m²	0,002	38,520	0,95%
06.007	Peitoril de basalto	2.299,95	m	0,011	24,943	0,62%
06.007.001	Peitoril de basalto - Material	2.299,95	m	0,007	15,032	0,37%
06.007.002	Peitoril de basalto - Mão de obra	2.299,95	m	0,004	9,911	0,24%
06.008	Molduras de fachada	6.465,70	m	0,010	61,621	1,52%
06.008.001	Molduras de fachada - Material	6.465,70	m	0,007	46,143	1,14%
06.008.002	Molduras de fachada - Mão de obra	6.465,70	m	0,002	15,479	0,38%
07	PINTURAS				315,99	7,80%
07.001	Pintura Interna parede e teto	58.181,66	m²	0,004	211,491	5,22%
07.001.001	Pintura Interna parede e teto - Material	58.181,66	m²	0,001	59,522	1,47%
07.001.002	Pintura Interna parede e teto - Mão de obra	58.181,66	m²	0,003	151,970	3,75%
07.002	Pintura Externa	16.354,72	m²	0,006	101,265	2,50%
07.002.001	Pintura Externa - Material	16.354,72	m²	0,003	44,169	1,09%
07.002.002	Pintura Externa - Mão de obra	16.354,72	m²	0,003	57,096	1,41%
07.003	Pintura das esquadrias de ferro	357,03	m²	0,009	3,237	0,08%
07.003.001	Pintura das esquadrias de ferro - Material	357,03	m²	0,006	2,169	0,05%
07.003.002	Pintura das esquadrias de ferro - Mão de obra	357,03	m²	0,003	1,068	0,03%
08	IMPERMEABILIZAÇÃO E TRATAMENTOS				53,10	1,31%
08.001	Impermeabilização - Vigas de fundação com hidroasfalto	3.439,94	m²	0,002	6,900	0,17%
08.001.001	Impermeabilização - Vigas de fundação com hidroasfalto - Material	3.439,94	m²	0,001	3,606	0,09%
08.001.002	Impermeabilização - Vigas de fundação com hidroasfalto - Mão de obra	3.439,94	m²	0,001	3,294	0,08%
08.002	Impermeabilização - Box do banheiro argamassa polimérica	743,86	m²	0,019	13,890	0,34%
08.002.001	Impermeabilização - Box do banheiro argamassa polimérica - Material	743,86	m²	0,015	11,219	0,28%
08.002.002	Impermeabilização - Box do banheiro argamassa polimérica - Mão de obra	743,86	m²	0,004	2,671	0,07%
08.003	Impermeabilização - Contrapiso do WC	331,17	m²	0,009	2,898	0,07%
08.003.001	Impermeabilização - Contrapiso do WC - Material	331,17	m²	0,003	0,916	0,02%
08.003.002	Impermeabilização - Contrapiso do WC - Mão de obra	331,17	m²	0,006	1,982	0,05%
08.004	Juntas deslizante da laje de cobertura	19,00	torre	0,575	10,917	0,27%
08.004.001	Juntas deslizante da laje de cobertura - Material	19,00	torre	0,335	6,368	0,16%
08.004.002	Juntas deslizante da laje de cobertura - Mão de obra	19,00	torre	0,239	4,549	0,11%
08.005	Tratamento Acústico Lajes	5.068,44	m²	0,004	18,495	0,46%
08.005.001	Tratamento Acústico Lajes - Material	5.068,44	m²	0,002	8,888	0,22%
08.005.002	Tratamento Acústico Lajes - Mão de obra	5.068,44	m²	0,002	9,607	0,24%
09	INSTALAÇÕES				679,83	16,79%
09.001	Instalações hidrossanitárias	380,00	apto	0,462	175,528	4,33%
09.001.001	Instalações hidrossanitárias - Material	380,00	apto	0,197	74,870	1,85%
09.001.002	Instalações hidrossanitárias - Mão de obra	380,00	apto	0,265	100,658	2,49%
09.002	Aparelhos sanitários e metais	380,00	apto	0,367	139,278	3,44%
09.002.001	Aparelhos sanitários e metais - Material	380,00	apto	0,305	116,080	2,87%
09.002.002	Aparelhos sanitários e metais - Mão de obra	380,00	apto	0,061	23,198	0,57%
09.003	Instalações de proteção contra incêndio	95,00	pav	0,350	33,205	0,82%
09.003.001	Instalações de proteção contra incêndio - Material	95,00	pav	0,297	28,201	0,70%
09.003.002	Instalações de proteção contra incêndio - Mão de obra	95,00	pav	0,053	5,003	0,12%
09.004	Instalações elétricas	380,00	apto	0,704	267,377	6,60%
09.004.001	Instalações elétricas - Material	380,00	apto	0,491	186,440	4,60%
09.004.002	Instalações elétricas - Mão de obra	380,00	apto	0,213	80,937	2,00%
09.005	Entrada de energia e painéis de medição	38,00	pav	1,696	64,446	1,59%
09.005.001	Entrada de energia e painéis de medição - Material	38,00	pav	1,265	48,071	1,19%
09.005.002	Entrada de energia e painéis de medição - Mão de obra	38,00	pav	0,431	16,375	0,40%
10	COMPLEMENTAÇÃO FINAL				40,94	1,01%
10.001	Complementação e limpeza final	19,00	torre	2,155	40,937	1,01%
10.001.001	Limpeza final	19,00	torre	1,240	23,562	0,58%
10.001.002	Placas	19,00	torre	0,180	3,411	0,08%
10.001.003	Cobertura de entrada das torres	19,00	torre	0,484	9,188	0,23%
10.001.004	Caixa de Correio	19,00	torre	0,251	4,776	0,12%
TOTAL PAREDES DE CONCRETO					4.049,799	100,00%



Project start

