

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

KAROLINE FERREIRA DOS ANJOS

**ANÁLISE DA CONSTRUTIBILIDADE NA IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRUTURAS
DE TRANSIÇÃO EM OBRAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

São Leopoldo

2019

KAROLINE FERREIRA DOS ANJOS

**ANÁLISE DA CONSTRUTIBILIDADE NA IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRUTURAS
DE TRANSIÇÃO EM OBRAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Graduado em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientadora: Prof.(a) Dr. (a) Dóris Zechmeister Bragança Weinmann

São Leopoldo

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sei que nunca estive sozinha.

Agradeço aos meus pais, Bento e Nina Rosa, que depositaram confiança nas minhas escolhas ao longo de toda minha vida, sei que fizeram o máximo que poderiam fazer.

Agradeço aos meus irmãos Daiane, Deize, Daniele, Guilherme e Gustavo, cada um de vocês contribuiu para construir a pessoa que sou hoje, por isso parte da minha conquista também é de vocês.

Agradeço a minha orientadora Dóris, pelo apoio, compreensão e dedicação que empregou a mim e ao meu trabalho. És simplesmente uma das pessoas mais dedicadas que já conheci em toda minha vida, uma inspiração não só acadêmica, mas para o mercado de trabalho e para a vida.

Agradeço a todos os professores que cruzaram por mim ao longo desta jornada, especialmente professor Rogério Steffenon, que me ajudou e me inspirou, mesmo não sendo da área da engenharia civil.

Um agradecimento especial aos muitos chefes que tive durante estes anos de trabalho na construção civil, especialmente Rafael, Charles, Willians e Fernanda, de cada um de vocês apanhei conhecimentos que levarei para o resto da minha carreira profissional, vocês são inspiração.

Agradeço as duas construtoras que aceitaram colaborar com esta pesquisa. Ao Eng. Georgio, que mesmo muito atarefado, me recebeu e sanou minhas dúvidas.

Aos colegas de trabalho Diego, Marcelo e Fabiana, agradeço o aprendizado e por melhorarem o ambiente do canteiro de obras, os dias foram melhores com vocês. Agradeço aos amigos Caiane, Thiago, Lucas e Jéssica, que compartilharam comigo muitos momentos especiais ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço imensamente a paciência e compreensão de todos meus familiares e amigos, peço desculpas pela minha ausência, vocês sabem que minha jornada não começou a cinco anos atrás, ela se estendeu durante minha vida inteira.

As recompensas um dia chegam, essa é a primeira delas.

“Os sonhos dão trabalho...”

Paulo Coelho

RESUMO

Este trabalho inclui o estudo de construtibilidade entre dois sistemas construtivos, a alvenaria estrutural e as estruturas de transição em concreto armado. Esta análise é feita através de estudo de caso em um empreendimento que utiliza os dois métodos construtivos. A alvenaria estrutural é amplamente empregada no Brasil, considerada um método construtivo mais ágil que o tradicional e mais econômico. Contudo, a partir das suas restrições, como a utilização de uma grande área de implantação para que o empreendimento seja viável, é necessário o emprego de estruturas auxiliares de concreto armado, como as estruturas de transição. As vigas de transição têm finalidade de redirecionar a carga de lances de paredes a apoios alternativos, logo há um desvio no percurso da carga em direção ao solo. Por conta da magnitude da carga aplicada para que o elemento tenha rigidez suficiente para resistir as solicitações do efeito arco, a seção transversal deste elemento é consideravelmente mais robusta em comparação com elementos de concreto armado convencional. Torna-se necessário então, avaliar o impacto da implementação destas estruturas em um canteiro de obras essencialmente planejado para a alvenaria estrutural. A análise do comportamento dos sistemas construtivos acerca da construtibilidade se deu através de ampla documentação fornecida pela construtora, acompanhamento da execução e entrevistas com colaboradores da empresa. Os resultados demonstraram que as estruturas de transição possuem menor construtibilidade que a alvenaria estrutural no cenário avaliado. A construtibilidade ainda não se encontra completamente aplicada a execução destas estruturas por se tratar do primeiro empreendimento deste segmento dentro da construtora, em comparação com anos de construção em alvenaria estrutural. Entre outros motivos, o sucesso de uma inovação incremental está associado ao conhecimento que é possível obter através de material técnico e ao número de repetições em que uma etapa é executada (curva de aprendizagem). Visto a escassez de materiais técnicos que abordem a execução destas estruturas, esta pesquisa apresenta orientações frente as principais restrições encontradas na construção deste tipo de empreendimento com base nos requisitos de construtibilidade.

Palavras-chave: Construtibilidade. Alvenaria estrutural. Estruturas de transição. Inovação. Curva de aprendizagem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de uma teoria sobre produção	22
Figura 2 – Etapas do ciclo de vida dos projetos segundo diversos autores	22
Figura 3 - Requisitos básicos apresentados por Zucchetti (2010).....	26
Figura 4 – Esquema demonstrando a hierarquia dos métodos	29
Figura 5 – Distribuição do carregamento	39
Figura 6 – Interação das paredes em um canto	40
Figura 7 – Interação das paredes na região de uma janela	40
Figura 8 – Blocos em diferentes materiais	41
Figura 9 – Formas de disposição da argamassa.....	42
Figura 10 – Detalhes de amarração alvenaria.....	42
Figura 11 – Bloco cerâmico vazado	43
Figura 12 – Bloco cerâmico maciço	44
Figura 13 – Preenchimento das juntas de argamassa	45
Figura 14 – Pontos de graute em alvenaria estrutural.....	45
Figura 15 – Exemplo de modulação.....	48
Figura 16 – Exemplo de paginação de elevação.....	50
Figura 17 – Primeira fiada	51
Figura 18 – Passos da execução da primeira fiada.....	51
Figura 19 – Etapas para execução e finalização da alvenaria	52
Figura 20 – Inspeção graute.....	52
Figura 21 – Modulação dos blocos em edifício de alvenaria estrutural sob pilotis	54
Figura 22 – Vista de uma parede com a compatibilização do graute e elétrica	54
Figura 23 – Distribuição das cargas no concreto armado	56
Figura 24 – Componentes das fôrmas	58
Figura 25 – Estrutura de concreto armado e alvenaria estrutural.....	59
Figura 26 – Ação conjunta do sistema parede-viga	60
Figura 27 – Carregamento uniformemente distribuído vs. Efeito arco	61
Figura 28 – Separação entre a parede e a viga	62
Figura 29 – Carregamento equivalente independentemente da altura.....	62
Figura 30 – Modelo importado do QiAlvenaria	63
Figura 31 – Diagramação da pesquisa.....	66
Figura 32 – Delineamento da pesquisa.....	67

Figura 33 – Empreendimento 1 (alvenaria estrutural sob pilotis)	72
Figura 34 – Implantação do empreendimento 1	73
Figura 35 – Planta baixa do pavimento tipo	74
Figura 36 – Planta baixa térreo (pilotis).....	74
Figura 37 – Empreendimento 2 (alvenaria estrutural convencional)	77
Figura 38 – Implantação do empreendimento 2	78
Figura 39 – Planta baixa do pavimento tipo	78
Figura 40 – Implantação do empreendimento 3	80
Figura 41 – Implantação do empreendimento 4	81
Figura 42 – Proposta da pesquisa.....	82
Figura 43 – Curva de aprendizagem	122
Figura 44 – Tipologias estruturais	123

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Residencial de alvenaria estrutural com blocos de concreto.....	70
Fotografia 2 – Residencial de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Capacidade de influenciar nos custos da edificação por etapas	23
Gráfico 2 – Atende satisfatoriamente.....	85
Gráfico 3 – Atende	85
Gráfico 4 – Atende parcialmente.....	85
Gráfico 5 – Não atende	85
Gráfico 6 – Critério de avaliação – não aplicável	85
Gráfico 7 – Resultado da avaliação entre os sistemas – padronização	90
Gráfico 8 – Resultado da avaliação entre os sistemas – simplificação	95
Gráfico 9 – Resultado da avaliação entre os sistemas – acessibilidade	98
Gráfico 10 – Resultado da avaliação entre os sistemas – influências climáticas	101
Gráfico 11 – Resultado da avaliação entre os sistemas – manutenibilidade.....	104
Gráfico 12 – Resultado da avaliação entre os sistemas – segurança.....	107
Gráfico 13 – Resultado da avaliação entre os sistemas – otimização e processos	110
Gráfico 14 – Resultado da avaliação entre os sistemas – compatibilidade.....	112
Gráfico 15 – Resultado da avaliação entre os sistemas – adequação	117
Gráfico 16 – Resultado da avaliação entre os sistemas – projetar.....	119
Gráfico 17 – Curva de aprendizagem da construtibilidade	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplos das restrições encontradas na execução.....	25
Quadro 2 - Requisitos da padronização	29
Quadro 3 – Requisitos de simplificação	30
Quadro 4 – Requisitos de acessibilidade	32
Quadro 5 – Requisitos de segurança	33
Quadro 6 – Requisitos de manutenibilidade.....	34
Quadro 7 – Requisitos de influências climáticas	35
Quadro 8 – Requisitos de otimização de técnicas e sequências construtivas	35
Quadro 9 – Requisitos de compatibilidade e visualização	36
Quadro 10 – Requisitos de adequação.....	37
Quadro 11 – Requisitos de projetar para eficiência.....	37
Quadro 12 – Comparativo resumo entre os sistemas construtivos	68
Quadro 13 – Análise global dos sistemas - estrutura	75
Quadro 14 – Análise global dos sistemas - instalações	76
Quadro 15 – Ferramentas de análise da construtibilidade	84
Quadro 16 – Análise do requisito - padronização.....	89
Quadro 17 – Dados do estudo de caso – padronização	90
Quadro 18 – Análise do requisito – simplificação.....	95
Quadro 19 – Dados do estudo de caso – simplificação	96
Quadro 20 – Análise do requisito – acessibilidade.....	98
Quadro 21 – Dados do estudo de caso – acessibilidade	99
Quadro 22 – Análise do requisito – influência das condições climáticas.....	101
Quadro 23 – Dados do estudo de caso – influência das condições climáticas	102
Quadro 24 – Análise do requisito – manutenibilidade	104
Quadro 25 – Dados do estudo de caso – manutenibilidade.....	105
Quadro 26 – Análise do requisito – segurança.....	106
Quadro 27 – Dados do estudo de caso – segurança	107
Quadro 28 – Análise do requisito – otimização de técnicas e processos.....	109
Quadro 29 – Dados do estudo de caso – otimização e processos.....	110
Quadro 30 – Análise do requisito – compatibilidade e ferramentas	112
Quadro 31 – Dados do estudo de caso – compatibilização e visualização	113
Quadro 32 – Análise do requisito – adequação.....	116

Quadro 33 – Dados do estudo de caso – adequação	117
Quadro 34 – Análise do requisito – projetar para a eficiência	118
Quadro 35 – Dados do estudo de caso – projetar para a eficiência.....	119
Quadro 36 – Resumo das análises – construtibilidade do empreendimento 1	121
Quadro 37 – Instrução técnica para estruturas de transição	125
Quadro 38 – Dados do estudo de caso – empreendimento 4	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões de blocos utilizados	49
Tabela 2 – Comparativo da ficha técnica das duas obras	79

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CII	<i>Construction Industry Institute</i>
EPI	Equipamento de proteção individual
EPC	Equipamento de proteção coletiva
MCMV	Minha Casa Minha Vida
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PAR	Programa de Arrendamento Residencial
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat
PPMOF	<i>Prefabrication, Preassembly, Modularization and Offsite construction</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 TEMA	18
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	18
1.3 PROBLEMA	18
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 Objetivo geral	19
1.4.2 Objetivos específicos	19
1.5 JUSTIFICATIVA	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 CONSTRUTIBILIDADE	21
2.1.1 Etapas da construtibilidade	23
2.1.2 Restrições na construtibilidade	24
2.1.3 Requisitos de construtibilidade	24
2.1.3.1 Padronização	27
2.1.3.1.1 <i>Pré fabricação, pré-montagem, modularização e montagem fora do local definitivo (PPMOF)</i>	27
2.1.3.2 Simplificação	29
2.1.3.2.1 <i>Montagem manual</i>	30
2.1.3.3 Acessibilidade	32
2.1.3.4 Segurança	32
2.1.3.5 Manutenibilidade	33
2.1.3.6 Influências Climáticas.....	34
2.1.3.7 Otimização de técnicas e sequências construtivas	35
2.1.3.8 Compatibilidade de tolerâncias e ferramentas de visualização	36
2.1.3.9 Adequação de materiais, produtos, recursos e mão de obra	36
2.1.3.10 Projetar para eficiência da construção	37
2.1.5 Estudos recentes sobre construtibilidade	37
2.2 ALVENARIA ESTRUTURAL	38
2.2.1 Conceito estrutural básico	39
2.2.2 Definições do método construtivo	41
2.2.1.1 Bloco Cerâmico	43
2.2.1.2 Argamassa	44

2.2.1.3 Graute	45
2.2.3 Projeto de alvenaria estrutural	46
2.2.3.1 Principais potencialidades do sistema	46
2.2.3.2 Principais restrições do sistema	47
2.2.4 Execução de alvenaria estrutural	48
2.2.4.1 Modulação	48
2.2.4.2 Paginação	50
2.2.4.3 Execução	50
2.2.5 Estudos recentes sobre alvenaria estrutural	53
2.3 CONCRETO ARMADO	54
2.3.1 Conceito estrutural básico	55
2.3.2 Definições do método construtivo	56
2.3.2.1 Formas e cimbramentos	56
2.3.3 Projeto de concreto armado	57
2.3.4 Estudos recentes sobre concreto armado	57
2.4 ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO	59
2.4.1 Efeito arco	60
2.4.2 Estudos recentes sobre estrutura de transição	63
3 METODOLOGIA	64
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	66
3.2 ETAPA EXPLORATÓRIA	68
3.2.1 A construtora	69
3.2.2 Empreendimentos analisados	71
3.1.2.1 Empreendimento 1 (estudo de caso)	72
3.1.2.2 Empreendimento 2 (parâmetro de alvenaria estrutural da construtora)	77
3.1.2.3 Ficha técnica comparativa – empreendimento 1 e 2	79
3.1.2.4 Empreendimento 3	80
3.1.2.5 Empreendimento 4	81
3.2. PROBLEMÁTICA	82
3.3 ETAPA SELETIVA	83
3.4 ETAPA ANALÍTICA	84
3.5 ETAPA INTERPRETATIVA	84
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	86
4.1 PADRONIZAÇÃO	86

4.2 SIMPLIFICAÇÃO.....	93
4.3 ACESSIBILIDADE	97
4.4 INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	100
4.5 MANUTENIBILIDADE	102
4.6 SEGURANÇA.....	105
4.7 OTIMIZAÇÃO DE TÉCNICAS E PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO.....	108
4.8 COMPATIBILIDADE E FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO	111
4.9 ADEQUAÇÃO DE MATERIAIS, PRODUTOS, RECURSOS E MÃO DE OBRA.....	115
4.10 PROJETAR PARA EFICIÊNCIA DA CONSTRUÇÃO	118
4.11 A CONSTRUTIBILIDADE DE OBRA COM ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO...	120
5 EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DE SISTEMAS DE TRANSIÇÃO.....	122
5.1 PROPOSTA DE INSTRUÇÃO TÉCNICA BASEADA NA CONSTRUTIBILIDADE	125
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
REFERÊNCIAS.....	130
APÊNDICE A – FORMULÁRIO PARA ENTREVISTA	136
ANEXO A – INSTRUÇÃO DE TRABALHO DE ALVENARIA ESTRUTURAL.....	138
ANEXO B – INSTRUÇÃO DE TRABALHO DE CONCRETO ARMADO	145

1 INTRODUÇÃO

Em 2009, a partir da criação do Programa Minha Casa Minha Vida, o Brasil teve um grande crescimento no mercado da construção civil, apesar disso, havia o predomínio do uso do sistema convencional – estrutura de concreto armado com vedação em bloco cerâmico – nas edificações, visto a falta de conhecimento em novos sistemas (VASQUES; PIZZO, 2014). Contudo, a partir do ano de 2015, segundo Petrucci (2015), o mercado da construção civil teve muitas demissões por conta da instabilidade do mercado e a crise econômica. A partir das condições citadas acima, a demanda por tecnologias que possam embasar a execução de obras econômicas e seguras é grande, visto a baixa porcentagem de lucro que as construtoras participantes do programa obtêm na construção de seus empreendimentos.

A alvenaria estrutural é um método construtivo mais ágil que o tradicional e mais econômico (VIEIRA, 2006), por conta disso, é bastante difundido nas construções de padrão econômico a médio, pois a demanda por grandes vãos – uma de suas restrições – não é necessária neste segmento de mercado. Contudo, a alvenaria estrutural nem sempre é a mais adequada para todos os projetos, muitas vezes porque demanda de um terreno com grande área de implantação para que o empreendimento seja viável.

Neste aspecto, uma questão importante a ser avaliada é a interação da alvenaria estrutural com eventuais estruturas auxiliares em concreto armado, como as estruturas de transição. A escolha do arranjo estrutural de uma edificação é atribuída pela sua forma, objetivando atender a estética, a funcionalidade e a segurança alinhadas com economia e durabilidade (ALVA, 2007).

As vigas de transição têm a finalidade de redirecionar a carga de lances de paredes a apoios alternativos, logo há um desvio no percurso da carga em direção ao solo, dada a descontinuidade dos apoios (CHING, 2015). Por conta da magnitude da carga aplicada para que o elemento tenha rigidez suficiente para resistir às solicitações do efeito arco, a seção transversal deste elemento torna-se ampla em comparação aos elementos convencionais de concreto armado.

Devido à robustez dos elementos de concreto armado e especialmente a mudança de sistema estrutural que existe nessas edificações, torna-se necessário um projeto, planejamento e processo muito bem definidos e adequados para um completo uso dos benefícios do sistema. Os requisitos de construtibilidade podem ajudar a

mensurar as potencialidades e restrições da construção em alvenaria estrutural com e sem estrutura de transição.

Nesta pesquisa, buscou-se aplicar os requisitos de construtibilidade para avaliar o sistema de alvenaria estrutural e o sistema de estrutura de transição em concreto armado, a fim de obter as diferenças do desempenho da construtibilidade para obras que introduzem elementos de transição junto à alvenaria estrutural.

1.1 TEMA

Este trabalho tem como tema a avaliação do impacto em termos de construtibilidade na implementação de estruturas de transição em obras de alvenaria estrutural.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Esta pesquisa avalia comparativamente dois métodos construtivos – alvenaria estrutural e estrutura de transição em concreto armado – dentro de uma mesma obra, um condomínio residencial localizado no município de São Leopoldo – RS, do programa MCMV, faixa 2. Aplicando a metodologia implementada por Zucchetti (2010) com a avaliação de dez requisitos de construtibilidade para cada um dos métodos. Foram analisados dados obtidos por documentos, projetos, entrevistas e acompanhamento de execução, sendo 153 unidades acompanhadas no empreendimento durante todo o período de execução da obra.

A avaliação da construtibilidade para os dois sistemas e para a totalização da obra do estudo de caso, se deu através de métrica qualitativa, pois não há estudos que determinem pesos ou um parâmetro de quantificação dos requisitos de construtibilidade avaliados nesta pesquisa.

1.3 PROBLEMA

Os sistemas estruturais de transição vêm sendo empregados na construção civil com grande força nos últimos tempos devido ao ganho de área útil que elas proporcionam. Na maioria das vezes, elas são implementadas em obras com sistema estrutural em concreto armado, portanto não causam diferenças bruscas em termos

de logística dentro do canteiro de obras. Contudo, existe a implementação dessas estruturas junto à alvenaria estrutural, que, portanto, alternam os sistemas construtivos – concreto armado e alvenaria estrutural – dentro do mesmo canteiro de obras.

A alvenaria estrutural distribui as cargas de maneira uniforme e as tensões são essencialmente de compressão, já o concreto armado distribuí as cargas de forma pontual e sofre esforços de compressão e flexão, por este motivo, edifícios de alvenaria estrutural apoiados sobre concreto armado possuem altas concentrações de tensões normais verticais e de cisalhamento horizontal na base da parede nos trechos próximos aos apoios das vigas. Vigas de transição são dimensionadas para suportar essa mudança de distribuição dos esforços e as implicações do efeito arco, portanto acabam se tornando estruturas ditas especiais devido à sua robustez, diferenciando-se de vigas de concreto armado convencionais.

Neste cenário, é importante avaliar o impacto em termos de construtibilidade de se possuir dois sistemas diferentes dentro de um mesmo canteiro de obras, visando obter e medir os benefícios e as dificuldades encontradas na construção destas edificações, utilizando os requisitos de construtibilidade para medir e comparar os métodos construtivos independentes entre si e depois verificando o impacto em termos de construtibilidade em se construir um empreendimento misto.

1.4 OBJETIVOS

Nesta seção estão apresentados os objetivos geral e os objetivos específicos que conduzem esta pesquisa.

1.4.1 Objetivo geral

Avaliação do impacto na implementação de estrutura de transição em empreendimento de alvenaria estrutural através dos requisitos de construtibilidade.

1.4.2 Objetivos específicos

Esta pesquisa analisa, mede e avalia os seguintes temas:

- a) Coletar dados dos processos e procedimentos construtivos de cada método;

- b) Avaliar qualitativamente os requisitos de construtibilidade para o sistema de alvenaria estrutural e o sistema de estrutura de transição em concreto armado;
- c) Analisar comparativamente as potencialidades e restrições encontradas na execução de uma obra com os dois sistemas;
- d) Apresentar melhorias para a evolução tecnológica na execução de estruturas de transição.

1.5 JUSTIFICATIVA

Os projetos executados para o programa Minha Casa Minha Vida vêm apresentando avanços tecnológicos, geralmente porque as obras deste segmento são executadas com baixo orçamento e cronogramas apertados, necessitando de alta tecnologia para evitar perdas e danos. Neste contexto, é importante avaliar a importância da implementação de novos métodos de construção – como implementar dois diferentes sistemas construtivos – e avaliar os impactos de execução que esta medida causa dentro de um canteiro de obras.

Estruturas de transição vem sendo bastante executadas a fim de aumentar a área útil do terreno, contudo, é importante avaliar os impactos de produtividade e logística de canteiro que um método como esse causam na execução de uma obra.

Através dos requisitos implementados por Zucchetti (2010), pode-se verificar as diferenças de padronização, simplificação, acessibilidade, segurança, manutenibilidade, influências climáticas e otimização de técnicas para estruturas de transição junto à alvenaria estrutural.

Conforme será apresentado nos capítulos posteriores, a construtibilidade se refere à importância direta da influência do projeto nas operações dentro do canteiro de obras, este parâmetro verifica os resultados do projeto em termos de cronograma de execução, otimização de processos e uso de recursos. Atualmente, alvenaria estrutural e concreto armado convencional já possuem grandes avanços em termos de construtibilidade, contudo, esta pesquisa visa verificar a construtibilidade quando os dois sistemas são utilizados dentro de um mesmo canteiro de obras através de uma edificação que possui vigas e laje de transição nos pilotis e alvenaria estrutural no pavimento tipo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta revisão teórica tem como objetivo introduzir os estudos acerca dos requisitos de construtibilidade na construção civil, que serão utilizados para caracterizar os processos de concepção, projeto, execução, uso e manutenção de obras de alvenaria estrutural e também de obras de alvenaria estrutural com estruturas em concreto armado, especialmente estrutural de transição, tema do estudo de caso.

2.1 CONSTRUTIBILIDADE

O conceito de construtibilidade é abordado na construção civil alinhado ao aumento de produtividade e à garantia de qualidade do produto (LOW, 2001), todavia, muitas empresas do ramo não estão familiarizadas com o termo e nem mesmo possuem procedimentos para garantia dele. A construtibilidade pode ser definida como o alcance em termos de facilidade na execução que um projeto pode conseguir sem abdicar dos requisitos de qualidade e satisfação do cliente (WONG et al., 2006 b). O autor também observa a importância dos projetos nas operações do canteiro de obras, como afetam produtividade, custo, qualidade e segurança.

É possível observar que os estudos sobre construtibilidade são, em sua maioria, associados a um determinado segmento (por exemplo industrial), ou tecnologia (por exemplo concreto armado e *drywall*). Por conta disso, é perceptível que a construtibilidade tem suas origens na prática das empresas e que o desenvolvimento de um referencial teórico ligado a ela ocorre no sentido de justificar os conceitos e teorias por detrás das práticas. (KOSKELA, 2000).

Com base no modelo de Koskela (2000), no topo da pirâmide da teoria da produção temos o “conceito”, que se trata da ideia geral de construtibilidade vista nesta pesquisa, enquanto os princípios são os desenvolvimentos acerca do conceito de construtibilidade. A metodologia trata-se dos métodos utilizados, as ferramentas, práticas e abordagens que agrupam os princípios e resultam em ações – na prática – para o desenvolvimento da construtibilidade. A estrutura de uma teoria de produção de Koskela está representada na pirâmide da Figura 1.

É importante ressaltar que o ciclo onde a construtibilidade é empregada pode ser variável para alguns autores. Pode-se dizer que há duas maneiras de se pensar o

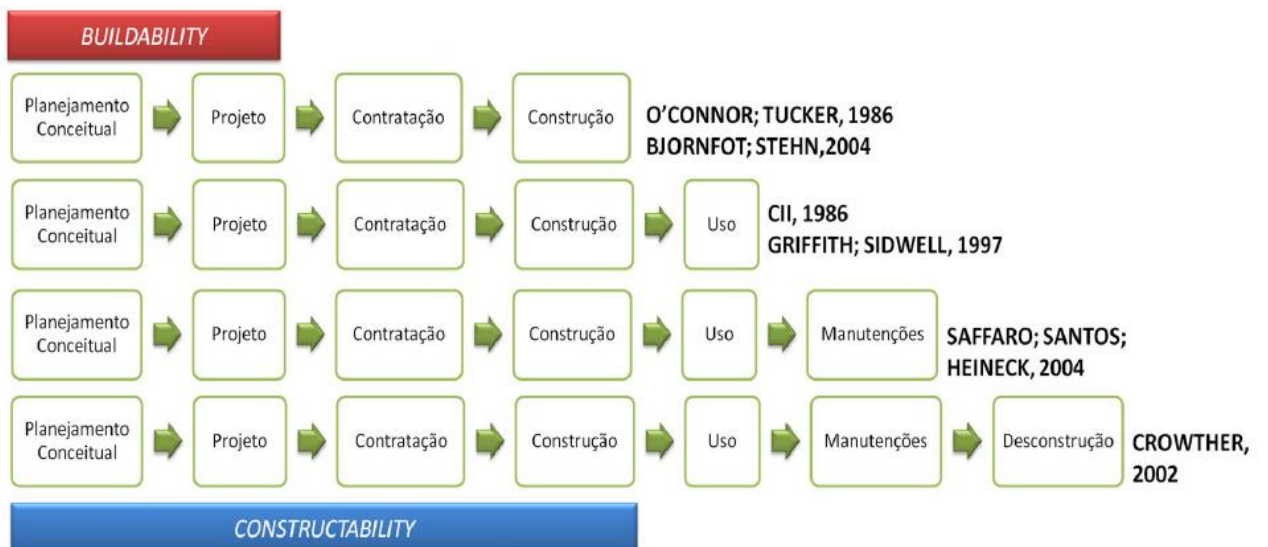
ciclo da construtibilidade – a abordagem europeia e a americana – podemos ver na figura 2 a evolução desses pensamentos.

Figura 1 – Estrutura de uma teoria sobre produção



Fonte: KOSKELA, 2001

Figura 2 – Etapas do ciclo de vida dos projetos segundo diversos autores

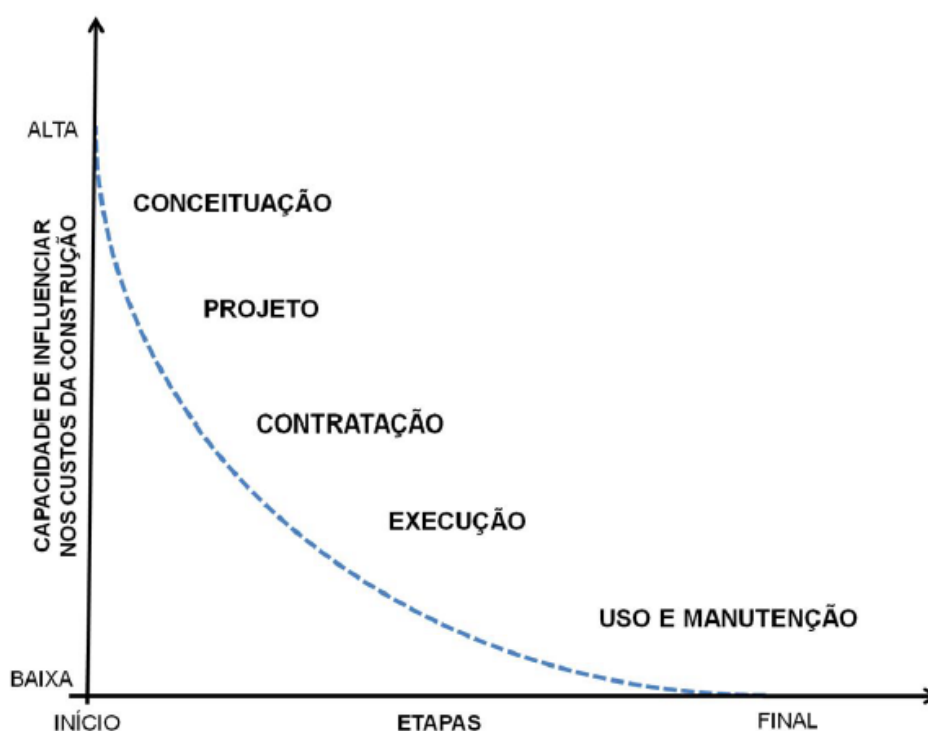


Fonte: ZUCCHETTI, 2010

2.1.1 Etapas da construtibilidade

No Brasil, o termo construtibilidade é amplamente abordado através do viés americano, ou seja, a *constructability*, onde todas as etapas da construção devem estar ajustadas aos padrões de construtibilidade, não somente a fase de projeto. Apesar disso, podemos verificar que a importância da fase de projetos ainda é bem maior que as demais fases quando observado através do impacto nos custos da construção, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 – Capacidade de influenciar nos custos da edificação por etapas



Fonte: CII, 1986

Esta pesquisa avalia a construtibilidade de edificações de alvenaria estrutural com estrutura de transição em todas as etapas, contudo, irá verificar amplamente as medidas tomadas na execução, visto que foi realizado acompanhamento de toda esta etapa, onde já foi verificado deficiências em termos de projeto.

Podemos verificar que a influência da execução nos custos da construção é um pouco menor do que a metade da influência da etapa de projetos. Apesar disto, o alcance desta etapa é bastante relevante em termos de custos e a aplicação da

construtibilidade na execução pode influenciar nas etapas seguintes e em toda a vida útil do empreendimento.

2.1.2 Restrições na construtibilidade

Através de estudos, Alshawi e Unferwood (1994) concluíram quais são as principais dificuldades que ocasionam problemas de execução no canteiro de obras e os classificaram em quatro categorias: coordenação dimensional, as tolerâncias incompatíveis, padronização de materiais e dimensões e a complexidade dos projetos de construção.

Antecipadamente, podemos relacionar estes quatro conceitos citados pelos autores com alguns exemplos gerais encontrados dentro dos canteiros de obra com sistema construtivo de alvenaria estrutural, concreto armado e sistemas construtivos que alternam ambos, resumidos no Quadro 1.

2.1.3 Requisitos de construtibilidade

Os primeiros estudos sobre os requisitos de construtibilidade citavam apenas sete princípios de melhoria nas etapas de projeto e planejamento O'Connor et al. (1987). A partir daí diversos autores introduziram e complementaram múltiplos outros conceitos para a construtibilidade. Zucchetti (2010), levantou os requisitos utilizados por vários autores e definiu os dez requisitos básicos apresentados na figura 3 para analisar a construtibilidade. Esta pesquisa utilizará como base os requisitos definidos por Zucchetti (2010), pois melhores se adequam ao padrão da construção utilizada como estudo de caso.

Quadro 1 – Exemplos das restrições encontradas na execução

PROBLEMA	SISTEMA CONSTRUTIVO		
	ALVENARIA ESTRUTURAL	CONCRETO ARMADO	ALVENARIA COM TRANSIÇÃO
COORDENAÇÃO DIMENSIONAL	Falta de blocos com dimensões especiais (bloco 19, 21 ,24)	Variabilidade nas dimensões de vigas e pilares; Falta de alinhamento entre os elementos	Necessidade de troca de prumadas nas tubulações através de elementos flexíveis
TOLERÂNCIAS INCOMPATÍVEIS	Falta de todos os elementos pré-moldados para vãos (vergas de tamanhos especiais)	Elementos que se deparam com dimensões desiguais	Locação dos arranques na laje de transição para a estrutura; Sequência de montagem das armaduras de vigas
PADRONIZAÇÃO DE MATERIAIS E DIMENSÕES	Projetos com alta variabilidade de dimensões, alternância de tamanho de blocos	Alta variação de diâmetro de aço; recorrente variação do tipo de concreto	Estruturas de transição possuem alta complexidade nas armações
COMPLEXIDADE DOS PROJETOS DE CONSTRUÇÃO	Elementos que comprometam a linearidade da produção, como esperas elétricas/hidráulicas com mau posicionamento	Detalhes arquitetônicos que não utilizam segmentos retos; Tubulações embutidas no concreto	Necessário diversos outros detalhamentos e projetos auxiliares

Fonte: Autor

Figura 3 - Requisitos básicos apresentados por Zucchetti (2010)



Fonte: Adaptado de Zucchetti, 2010

2.1.3.1 Padronização

Este requisito pertence a fase de projeto e planejamento, seu principal impacto é de origem econômica. Este requisito define que os componentes construtivos devem ser amplamente utilizados (repetidas vezes) e devem estar sempre à disposição quando houver a necessidade de uso (CII, 1987).

Com a ocorrência da padronização em dimensões de projetos, tipos de conexões, paginações e **sistemas construtivos**, minimizam as chances de problemas de compatibilização e execução no canteiro de obras, otimizando tempo e custo, e conseqüentemente, a construtibilidade (ZIN, 2004; O'CONNOR, 1986)

A seguir, são abordados os métodos de execução relacionados a este requisito.

2.1.3.1.1 Pré fabricação, pré-montagem, modularização e montagem fora do local definitivo (PPMOF)

De acordo com CII (2002), a pré-fabricação, pré-montagem, modularização e montagem fora do local definitivo (PPMOF, em inglês), são métodos que tem potencial de vencer adversidades encontradas dentro do canteiro de obras, como construir em condições climáticas adversas, cronogramas apertados e falta de mão de obra especializada.

CII (2002), Zin (2004), Nima (2002) apontam estes quatro itens como potencializadores da construtibilidade dentro do requisito da padronização, reduzindo os custos da construção. De acordo com CII (2002), podemos definir estes métodos da seguinte forma:

Pré-fabricação: É um processo de fabricação onde podemos unir diversos materiais a fim de formar um único componente para a instalação final. É um processo de manufatura, como exemplos temos elemento de concreto armado (vergas, contravergas, lajes). Qualquer elemento que não é produzido dentro do canteiro de obras pode ser considerado um pré-fabricado. Para Barth e Vefago (2008), a pré-fabricação traz benefícios referentes à precisão de medidas, controle de qualidade, segurança e confiabilidade de prazos.

Pré-montagem: É o processo onde vários elementos pré-fabricados ou não, são montados em local afastado do canteiro de obras para serem instalados posteriormente. Pode ser considerada uma junção da pré-fabricação com a

modularização, aumentando o nível de produtividade e possibilitando o trabalho em condições adversas. Um exemplo são elementos metálicos que compõem uma treliça, onde são montados para posteriormente serem integrados na construção.

Modularização: É o conjunto de vários elementos montados fora do canteiro e podem incluir porções de vários sistemas. Refere-se à construção de um elemento completo, que é transportado pronto para o canteiro, como banheiros químicos, por exemplo.

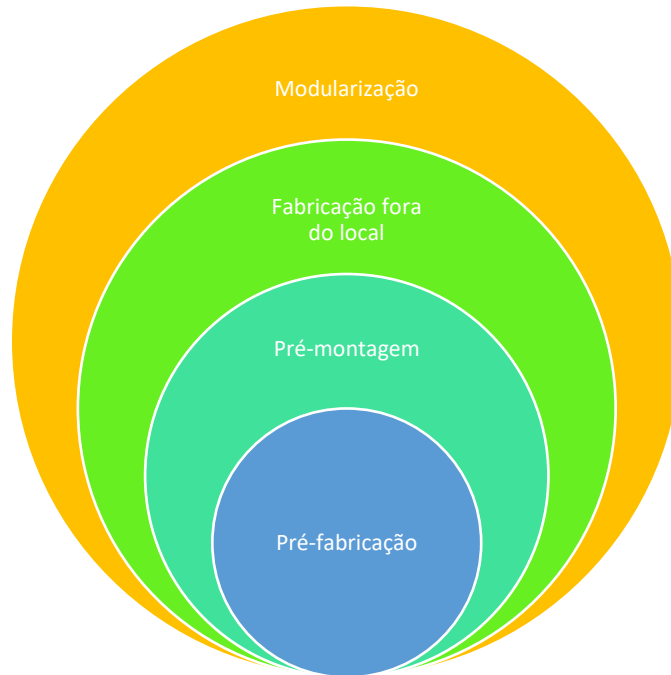
Montagem fora do local definitivo: É o resultado de uma série de operações, dentro ou fora do canteiro, onde a montagem ocorre fora do local definitivo.

Segundo CII (2002), alguns dos benefícios encontrados ao utilizar os quatro itens acima, são:

- 1) redução de custos obtidas a partir do aumento de produtividade dentro de fábricas em comparação com àquela obtida dentro do canteiro;
- 2) redução da infraestrutura dentro do canteiro de obras, conseqüentemente, redução do fluxo de trabalhadores, desperdício de material e impacto causado pelas instalações;
- 3) maiores chances de cumprir prazos, visto que o processo dentro das fábricas reduz o tempo para a execução das atividades;
- 4) redução do prazo total do empreendimento, visto que a produção pode ser suprida por mais de uma fábrica ao mesmo tempo;
- 5) melhor controle de qualidade, visto que a produção se dá em condições controladas de manufatura.
- 6) menores riscos à segurança dos trabalhadores, visto que a maior parte do trabalho se dá em nível de solo;
- 7) redução de mão de obra.

O esquema da figura 4 demonstra a hierarquia entre os métodos, e demonstra que eles podem estar sobrepostos e diretamente relacionados Rodrigues (2005). O Quadro 2 mostra os requisitos de construtibilidade para padronização.

Figura 4 – Esquema demonstrando a hierarquia dos métodos



Fonte: Autor

Quadro 2 - Requisitos da padronização

PADRONIZAÇÃO	Emprega dimensões modulares, repetição de tamanhos de componentes e de detalhes de conexão, minimizando a variabilidade dos produtos e processos e simplificando as operações de canteiro.		
	Utiliza repetição nos processos e atividades construtivas.		
	Emprega componentes com conexões padronizadas e acessíveis		
	Pré-fabricação	Apresenta precisão dimensional e tolerâncias compatíveis com os processos de montagem	
		Apresenta conectividade com outros componentes do mesmo elemento, com outros elementos do mesmo subsistema e com outros subsistemas.	
		Fornece condições para a padronização de projetos.	
Fornece condições e dimensões máximas adequadas para o transporte, armazenamento e instalação.			
Reduz o desperdício de materiais, o tempo de execução e de utilização de equipamentos de auxílio.			

Fonte: Adaptado de Zucchetti (2010)

2.1.3.2 Simplificação

A simplificação busca revogar a complexidade nos projetos, é um dos requisitos mais abordados pelos autores e de extrema importância. De acordo com Koskela (1992), a simplificação não está relacionada somente com a redução do número de

componentes de um produto, mas também está relacionada com a redução do número de passos no fluxo de informações e materiais das atividades.

A construtibilidade pode ser aumentada através da simplificação com os seguintes itens:

- 1) redução do número de passos e componentes do projeto através de alterações no próprio projeto ou uso de elementos pré-fabricados (KOSKELA, 1992);
- 2) eliminar qualquer função do produto que não agregue valor para o cliente (BOOTHROYD & DEWHURST, 1989);
- 3) agrupar vários usos para determinado componente, como o *radier* que funciona como fundação e contrapiso (OLIVEIRA, 1994);
- 4) evitar recortes, inclinações, angulações e curvas (SAFFARO, 2004);
- 5) coordenar materiais dimensionalmente (FOX, 2002);
- 6) utilizar materiais e componentes de fácil manipulação e instalação (por exemplo, ligações aparafusadas em vez de soldadas);
- 7) utilizar de processos que minimizem a interdependência entre atividades, como o uso de elementos pré-fabricados, que permitem a execução simultânea de atividades dentro do canteiro de obras.

No Quadro 3, podemos verificar os requisitos de simplificação.

Quadro 3 – Requisitos de simplificação

SIMPLIFICAÇÃO	Integra diferentes elementos e funções num mesmo elemento, reduzindo as partes e os passos do produto e dos processos.
	Utiliza materiais, componentes e conexões compatíveis com tamanhos e configurações disponíveis no mercado.
	Emprega formas simples e minimiza as interdependências.
	Utiliza conexões simples e de fácil execução, minimizando os tempos de percepção, decisão e manipulação.
	Permite ajustes dimensionais em canteiro.
	Exige poucos cuidados quanto ao armazenamento e utilização.

Fonte: Adaptado de Zucchetti (2010)

2.1.3.2.1 Montagem manual

Design for human assembly refere-se às regras impostas para assegurar a construtibilidade na montagem manual. Visto a alta utilização de montagens manuais

no canteiro de obras, é necessário atenção para garantir um projeto eficiente de montagem manual.

Scur (2009), assinala que o processo de montagem manual pode-se dividir em duas partes, a primeira refere-se ao manuseio da peça (aquisição, orientação espacial e manipulação), e a segunda refere-se à fixação da peça (encaixe das partes). Os principais parâmetros que podem influenciar negativamente no processo de montagem manual são o tempo de preparação para a atividade, as diferentes possibilidades de manusear a peça e a necessidade de orientação das peças (possuir um lado de encaixe, por exemplo) (CHEDIER E NAVEIRO, 1999).

Buscando minimizar os problemas encontrados na montagem, Boothroyd e Dewhurst (1991), sugeriram as seguintes regras:

- 1) Redução do número e tipos de peças (como a inclusão de mais de uma função para determinada peça);
- 2) Garantia de acesso adequado ao local de trabalho e sem minimização das restrições visuais;
- 3) Peças auto alinháveis e auto locáveis;
- 4) Uso de peças que não permitam a montagem incorreta das mesmas;
- 5) Eliminação da etapa de ajuste dos elementos;
- 6) Seguir a mesma linha de montagem, por exemplo, de cima para baixo ao longo de toda produção;
- 7) Assimetria para diferenciar as peças, diminuindo o tempo de tomada de decisão do operador.

Já Back (2008), acrescentou novas regras à essas já existentes:

- 1) Identificação das peças através de cores ou guias;
- 2) Redução da utilização de ferramentas adicionais/especiais, redução das distancias de operação e demasia movimentação e/ou movimentos complexos;
- 3) Previsão da organização no acondicionamento das peças, como a capacidade de poder ser empilhada;
- 4) Facilidade de manipulação, posicionamento e fixação das peças;
- 5) Componentes que não se emaranhem ou desorientem-se;
- 6) Redução dos cantos vivos, arestas e superfícies que facilitem cortes nos trabalhadores;
- 7) Fuga de peças pesadas que possam cansar o trabalhador.

2.1.3.3 Acessibilidade

As dificuldades de acesso dentro dos canteiros de obras, seja dos trabalhadores, materiais, máquinas ou equipamentos, causam sérios problemas no processo produtivo, impactando diretamente o prazo, reduzindo a produtividade e aumentando o número de retrabalhos (O'CONNOR, 1987). Portanto, o projeto de produto e processos devem levar em conta a acessibilidade envolvida ao longo das atividades (NIMA, 2002).

Dentre as práticas identificadas por Oliveira (1994), estão:

- 1) Disponibilizar aos projetistas as dimensões dos equipamentos e espaços
- 2) Verificação dos espaços mínimos de trabalho entorno do edifício;
- 3) Especificar as rotas de acesso no *layout* de canteiro – atentar para a mudança dessas rotas ao longo da obra;
- 4) Definir, identificar e demarcar os espaços de armazenamento de materiais e equipamentos;
- 5) Construir os acessos definitivos o mais cedo possível;
- 6) Organização das sequencias construtivas no processo afim de evitar interferências nas tarefas;
- 7) Utilização de modelos que capacitem a visualização prévia dos possíveis congestionamentos entre tarefas.

No Quadro 4 podemos verificar os requisitos de construtibilidade para a acessibilidade.

Quadro 4 – Requisitos de acessibilidade

ACESSIBILIDADE	Não necessita de equipamentos especiais para transporte, manipulação, construção e instalação.
	Não existe espaços especiais para armazenamento e construção.
	Minimiza os tempos de estocagem de andaimes.
	Reduz os espaços de estocagem pela possibilidade de empilhamento.
	Possibilita a minimização de danos causados em trabalhos já concluídos.
	Não necessitam de proteção especial, particularmente nas arestas, eliminando a preocupação com danos decorrentes de transporte, manipulação, empilhamento, circulação e instalação no canteiro.

Fonte: Adaptado de Zucchetti (2010)

2.1.3.4 Segurança

A segurança deve ser considerada durante as etapas de projeto e execução, a construtibilidade é melhorada quando esta consideração é feita principalmente em

etapas críticas do processo de construção, como fundações, escavações e trabalhos em altura (LAM; WONG; CHAN; 2006).

Projetos que não consideram a segurança previamente, apresentam atrasos no cronograma, custo extras por conta de acidentes e danos à imagem da empresa (LAM; WONG; CHAN; 2006). Diferentes autores propuseram medidas quanto à segurança durante o processo e implementaram essas medidas em diferentes etapas dele. No Quadro 5, temos os requisitos de construtibilidade para segurança.

Quadro 5 – Requisitos de segurança

SEGURANÇA	Apresenta sequência seguras de construção.
	Utiliza materiais e componentes com tamanhos e pesos seguros para a manipulação, construção, instalação e manutenção.

Fonte: Adaptado de Zucchetti (2010)

2.1.3.5 Manutenibilidade

Este requisito garante o uso do edifício de forma constante, sem interrupções significativas no seu desempenho, pois a manutenção ocorre quando o sistema, um componente ou material não apresenta desempenho adequado. Sendo que atualmente, a facilidade de se realizar a manutenção de forma eficaz é indispensável, já que as falhas são inevitáveis (BACK, 2008).

Com as novas exigências da norma de desempenho NBR 15575, é de suma importância garantir a qualidade e o menor número de situações de pós obra possíveis. Contudo, caso ocorram, é imprescindível que o projeto contemple a facilidade de substituição e renovação dos componentes (SANCHES, FABRICIO, 2009).

A seguir são apresentadas algumas ações para garantir a construtibilidade em termos de manutenibilidade em uma edificação:

- 1) Reduzir o número de sub-montagens, garantindo que o operário não necessite de grandes habilidades par fazer a manutenção;
- 2) Prever os espaços necessários para realizar a montagem, desmontagem e manutenção;
- 3) Utilizar componentes padronizados, facilitando a substituição do mesmo;

- 4) Projetar partes modulares, que possam ser reparadas independentemente do produto.

No Quadro 6, temos os requisitos de construtibilidade para manutenibilidade.

Quadro 6 – Requisitos de manutenibilidade

MANUTENIBILIDADE	Emprega características físicas e funcionais simples.
	Utiliza reduzido número de componentes e sub-montagens.
	Apresenta espaços adequados para o acesso visual e realização de atividades de manipulação
	Permite a montagem e desmontagem de maneira adequada.
	Utiliza componentes padronizados, com coordenação e tolerâncias adequadas.
	Utiliza partes modulares que possam ser facilmente testadas e reparadas independentemente do produto final.

Fonte: Adaptado de Zucchetti (2010)

2.1.3.6 Influências Climáticas

Na construção civil, uma elevada parcela do trabalho é conduzida ao ar livre, por conta disso, a influência das condições climáticas causa impactos nos processos do canteiro de obras e conseqüentemente, nos prazos (RODRIGUES, 2005). As condições climáticas interferem com maior intensidade em obras horizontais, que ficam expostas às intempéries por maior tempo, do que obras verticais.

Através das propostas introduzidas por O'Connor (1987), podemos aumentar a construtibilidade e minimizar os impactos das influências climáticas através das seguintes ações:

- 1) Reduzir a quantidade de atividades ao ar livre, ou executá-las o mais rápido possível (como a cobertura, por exemplo);
- 2) Maximizar o volume de trabalho executado fora do canteiro (como o uso de pré-moldados, por exemplo);
- 3) Minimizar os efeitos da chuva dentro do canteiro de obras (como implementar um eficiente sistema provisório de drenagem, por exemplo);
- 4) Adotar centrais de trabalho em grandes galpões ou espaços protegidos da chuva.

No Quadro 7, temos os requisitos de construtibilidade para as influências das condições climáticas.

Quadro 7 – Requisitos de influências climáticas

INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS	Minimiza o desenvolvimento de atividades ao ar livre.
	Permite o fechamento de espaços nas etapas iniciais, possibilitando que estes funcionem como indústrias e/ou armazenem equipamentos e materiais.
	Utiliza métodos PPMOF ¹ , minimizando trabalhos em canteiro.

Fonte: Adaptado de Zucchetti (2010)

2.1.3.7 Otimização de técnicas e sequências construtivas

Diversas técnicas de otimização são citadas pelos autores durante a concepção do projeto, contudo, algumas técnicas podem ser implementadas durante o projeto do processo, contribuindo para a construtibilidade do produto. As práticas relacionadas a este requisito, estão inclusas nas atividades de conversão (RODRIGUES, 2005).

Segundo Nima (2005), algumas ações podem ser difundidas a fim de otimizar as técnicas e sequências construtivas:

- 1) Inovar nos materiais e sistemas de construção para instalações provisórias, como o uso de containers ou trailers como escritório de obra;
- 2) Modificar e renovar as ferramentas existentes para que facilitem o processo, aumentem a produtividade, segurança e mobilidade;
- 3) Introduzir equipamentos inovadores ou adaptar equipamentos existentes para garantir o aumento de produtividade.

No Quadro 8, tem-se os requisitos de construtibilidade para o requisito.

Quadro 8 – Requisitos de otimização de técnicas e sequências construtivas

OTIMIZAÇÃO DE TÉCNICAS E SEQUÊNCIAS CONSTRUTIVAS	Emprega materiais novos para usos tradicionais.
	Reduz a quantidade de trabalho desenvolvido em canteiro
	Minimiza perdas e retrabalhos na construção.
	Reduz os tempos de espera e possibilita a minimização de congestionamentos em canteiro.
	Emprega sequências práticas de construção e operações contínuas que melhoram a produtividade.
	Propicia a utilização de métodos construtivos inovadores.

Fonte: Adaptado de Zucchetti (2010)

¹ Pré fabricação, pré-montagem, modularização e montagem fora do local definitivo

2.1.3.8 Compatibilidade de tolerâncias e ferramentas de visualização

A identificação prévia de tolerâncias que não devem ser aplicadas na construção em canteiro, bem como a identificação das diferenças entre tolerâncias que podem ser aplicadas a diferentes atividades, são ações que contribuem para a construtibilidade. (ZIN, 2004).

Os principais problemas de ajuste ocorrem nas **interfaces entre os diferentes sistemas** e componentes da construção, métodos construtivos, materiais e processos, portanto, devem ser empregadas medidas que diminuam as dificuldades encontradas justamente nestes casos (HASSAN, 2006).

O principal recurso para auxiliar na identificação da incompatibilidade de tolerâncias são as ferramentas de visualização. Na engenharia civil como na arquitetura, as ferramentas de visualização devem ser empregadas ao longo de toda obra, não somente na fase de projeto, pois facilitam a compreensão de todas as etapas, bem como a visualização dos pontos críticos de incompatibilidade (BOUCLAGHEM et al., 2005 apud Zucchetti, 2010, p.62). No Quadro 9 temos os requisitos de construtibilidade para compatibilidade e visualização.

Quadro 9 – Requisitos de compatibilidade e visualização

COMPATIBILIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO	Usa ferramentas de visualização permitindo a identificação antecipada de interferências físicas e de compatibilidade dimensional entre os componentes e sistemas.
	Emprega ferramentas virtuais que possibilitam a visualização da compatibilidade de conexão entre os diferentes componentes e sistemas.
	Utiliza programas computacionais que permitem a simulação do movimento das partes móveis.

Fonte: Adaptado de Zucchetti (2010)

2.1.3.9 Adequação de materiais, produtos, recursos e mão de obra

A construtibilidade é melhorada quando materiais adequados são introduzidos no processo, por isso, a seleção dos materiais e produtos deve ser minuciosa, visto que nem todas as vezes haverá normas de desempenho que os certifiquem. Deve ser considerado o local de utilização, características como forma, tamanho, coloração e propriedades químicas (ZIN; HASSAN; 2006).

Do mesmo modo, a seleção deve ser minuciosa para produtos e recursos, como instalações, equipamentos, ferramentas e conhecimentos disponíveis. Já para

mão de obra, existe uma grande variabilidade conforme localidade e disponibilidade, contudo, se deve atentar para qualificações e nível de conhecimento geral das equipes (ZIN, 2004). No Quadro 10 temos os requisitos de construtibilidade para adequação.

Quadro 10 – Requisitos de adequação

ADEQUAÇÃO	Utiliza materiais e produtos já empregados e aceitos pela indústria da construção ou novos materiais avaliados formalmente e funcionalmente.
	Minimiza a utilização e o retorno de equipes de especialistas.
	Utiliza mão de obra e recursos disponíveis localmente e compatíveis com a tecnologia utilizada.

Fonte: Zucchetti (2010)

2.1.3.10 Projetar para eficiência da construção

Este requisito está presente no projeto e planejamento do empreendimento, consiste no resumo de todos os itens já citados, pois pressupõe simplicidade, disponibilidade de mão de obra e recursos e utilização de tecnologias para visualização antecipada da construção, além de flexibilidade e facilidade de manutenção (CII, 1987). No Quadro 11 temos os requisitos de construtibilidade para projetar para eficiência.

Quadro 11 – Requisitos de projetar para eficiência

PROJETAR P/ A EFICIÊNCIA	Apresenta flexibilidade e adaptabilidade aos projetos.
	Emprega simplificação, mão de obra disponível e tecnologias de simulação que permitam a visualização antecipada da construção.

Fonte: Zucchetti (2010)

2.1.5 Estudos recentes sobre construtibilidade

A aplicação da construtibilidade no projeto gerou um resultado positivo na etapa de construção das edificações, contudo, o mecanismo de visualização antecipada da construção ainda era falho na indústria da construção, sobretudo no Brasil. Nos anos 1990, através da iniciativa privada, o chamado projeto para produção ganhou

investimento no Brasil (BARROS; MELHADO, 2006), consistiu na contratação de projetistas até então inexistentes no mercado, que elaboraram projetos especialmente projetos construtivos de alvenaria de vedação e fôrmas para concreto armado (SABBATINI; AGOPYAN, 1991). Esta categoria de projetos conhecida como *shop drawings*, pode ser caracterizada segundo Pietroforte (1997), **como a maior aproximação entre os produtos descritos no projeto e sua verdadeira construção.**

A partir da importância da maior quantidade de informações possíveis que possam ser utilizadas dentro do canteiro de obras, ocorreu o avanço da tecnologia BIM (modelagem da informação da construção) e a simulação em 4D. Diversos autores já destacaram as facilidades e vantagens de se utilizar a simulação 4D para a coordenação das etapas construtivas (GELISEN, 2014; BIOTTO; FORMOSO; ISATTO, 2015). A avaliação da capacidade de construção de um projeto se torna preciso e rápido através das ferramentas de simulação 4D (BARBOSA; ANDERY, 2016).

Um dos estudos mais recentes, foram definidos alguns requisitos de modelagem com o objetivo de caracterizar uma ferramenta que meça a construtibilidade ideal, propondo modelos para quantificar a capacidade de construção do projeto. Foi proposto um modelo de emprego das técnicas da tecnologia recente de projetos, a modelagem das informações, para ter a integração de projetos por meio de uma ferramenta de automação de projetos, ou seja, o projeto pode ser explorado e o resultado da análise pode ser utilizado para melhorar a capacidade do desempenho da etapa de construção (FADOUL; TIZANI; KOCH, 2017).

2.2 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria como material estrutural é um dos mais antigos métodos construtivos utilizados. As paredes de pedra e tijolos cerâmicos é conhecida desde a antiguidade. Com o desenvolvimento tecnológico, o surgimento do aço como material de construção civil e o surgimento do concreto armado, a alvenaria estrutural foi perdendo espaço pois não oferecia a versatilidade, esbeltez, possibilidade de grandes vãos e liberdade arquitetônica que o aço e o concreto proporcionam.

A alvenaria estrutural ressurgiu a partir da possibilidade de redução de custos da obra final, agora com novos materiais e aproveitando toda sua possibilidade de ser

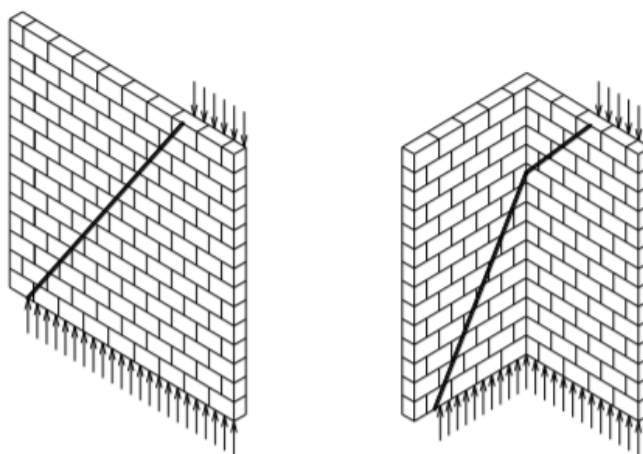
uma estrutura de suporte e vedação vertical ao mesmo tempo, a partir dos anos 90 o sistema se popularizou e atualmente é utilizada em larga escala (CAMPOS, 2011).

2.2.1 Conceito estrutural básico

O principal conceito estrutural utilizado pela alvenaria estrutural é a transmissão de ações **através de tensões de compressão**. Se trata de um elemento de alvenaria não armado ou parcialmente armado, no qual a armadura é desconsiderada para resistir aos esforços solicitantes da estrutura (ABNT, 2010). As tensões de tração presentes na estrutura devem se restringir a determinados pontos do sistema, contudo, não devem apresentar valores muito elevados. Caso as tensões sejam elevadas, a estrutura pode estar dentro do limite teórico, porém são economicamente inviáveis. Portanto, é importante ressaltar que os vãos criados através desse sistema devem ser relativamente pequenos, apresentando uma deficiência séria ao sistema (RAMALHO, A.; CORRÊA, R. S., 2004).

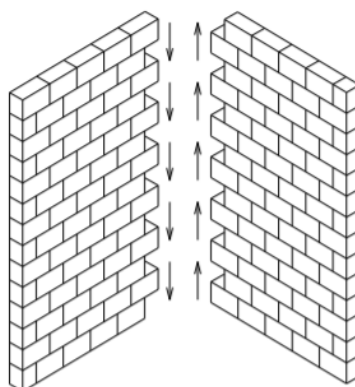
Um carregamento vertical localizado sobre uma parte do comprimento de uma parede de alvenaria, se distribui através de um espalhamento dessa carga ao longo de sua altura. A NBR-10837 (1989) prescreve que esse espalhamento ocorre num ângulo de 45 graus.

Figura 5 – Distribuição do carregamento



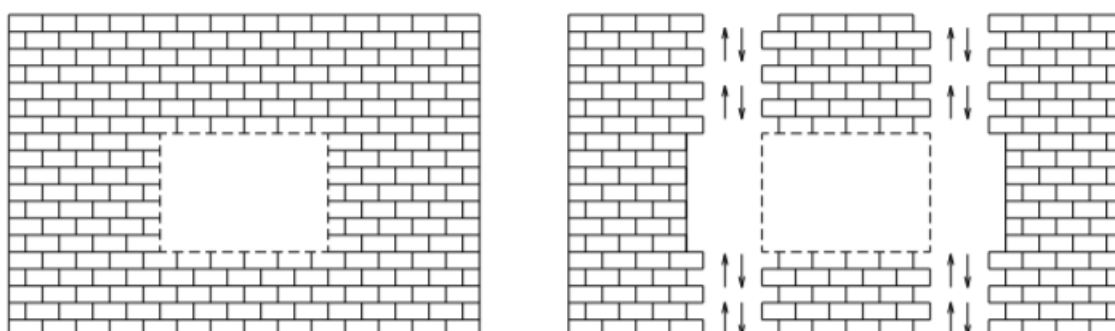
Fonte: ABNT NBR 10837 (1989)

Figura 6 – Interação das paredes em um canto



Fonte: ABNT NBR 10837 (1989)

Figura 7 – Interação das paredes na região de uma janela



Fonte: ABNT NBR 10837 (1989)

A principal vantagem deste sistema estrutural está ligada aos conceitos de racionalização, produtividade e qualidade, tudo isso associado a um bom desempenho tecnológico a baixo custo, pois as paredes têm a função de resistir a todas as cargas, substituindo pilares e vigas (ROMAN; MUTTI; ARAÚJO, 1999).

Autores como Ramalho e Corrêa (2003), evidenciam a economia de fôrmas, a redução nos revestimentos, a redução de desperdícios de material e mão de obra, e redução de especialização e a flexibilidade no ritmo de execução da obra.

2.2.2 Definições do método construtivo

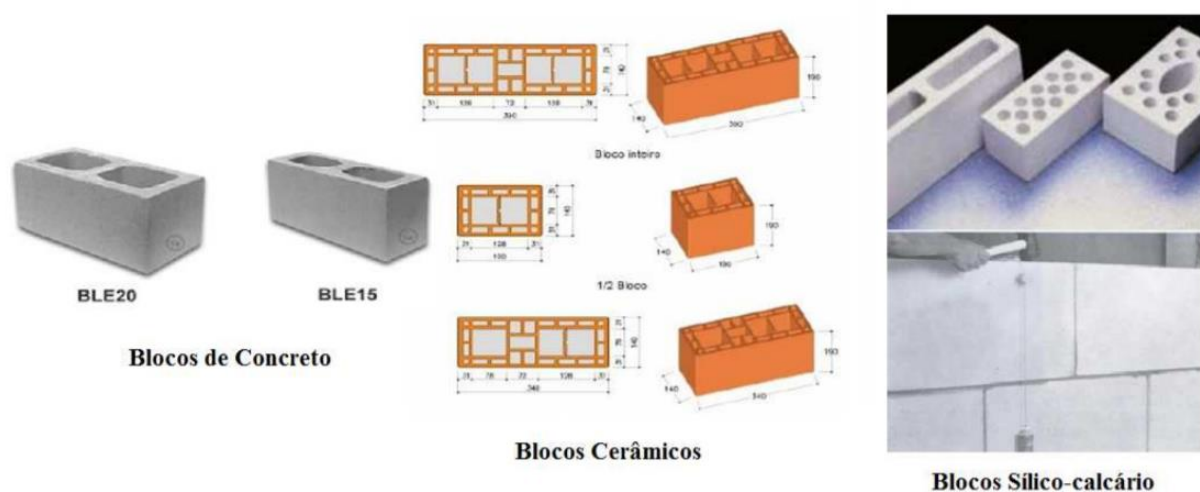
Para o melhor entendimento desta pesquisa, os elementos e componentes dos dois sistemas construtivos associados (alvenaria estrutural e concreto armado) serão listados e explicados brevemente, a fim de facilitar a compreensão das diferenças construtivas entre os dois métodos.

As recentes normas brasileiras trazem diversas definições básicas sobre os elementos e componentes da alvenaria estrutural, segundo Parsekian (2014), podemos resumir estas partes do sistema através das descrições abaixo:

1) Componente: menor unidade que compõe um elemento da estrutura.

1.1) Bloco: unidade básica que forma a alvenaria, podem ser de concreto, cerâmicos ou sílico-calcários, com resistências variadas conforme a necessidade de projeto;

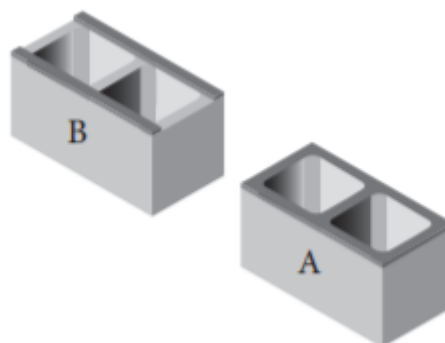
Figura 8 – Blocos em diferentes materiais



Fonte: Campos (2011)

1.2) Junta de argamassa: componente utilizado na ligação entre os blocos, a disposição do preenchimento do bloco pode variar para cada projeto ou para cada parte em um mesmo projeto. As resistências da argamassa de assentamento estrutural são inúmeras no mercado e variam de acordo com o projeto;

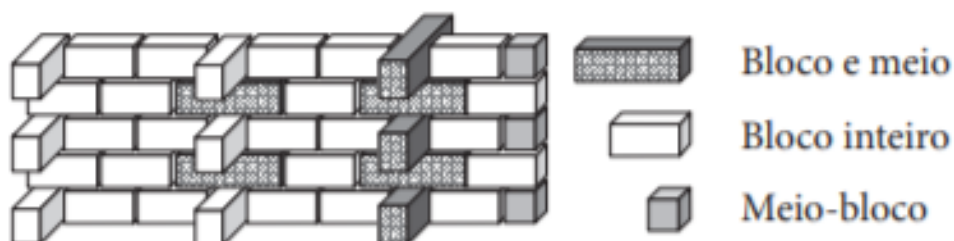
Figura 9 – Formas de disposição da argamassa



Fonte: Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural, Parsekian (2012)

- 1.3) Reforço de graute: componente utilizado para preenchimento de espaços vazios de blocos, com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar capacidade resistente.
- 2) Elemento: parte da estrutura suficientemente elaborada constituída da reunião de dois ou mais componentes
 - 2.1) Elemento de alvenaria não-armado
 - 2.2) Elemento de alvenaria armado
 - 2.3) Elemento de alvenaria protendido

Figura 10 – Detalhes de amarração alvenaria



Fonte: Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural, Parsekian (2012)

- 3) Viga, contraverga, cinta ou coxim
 - 3.1) Viga: Elemento colocado sobre os vãos para suportar carregamentos, usualmente compostos por canaleta grauteada e armada
 - 3.2) Contraverga: Elemento colocado sobre os vãos de aberturas
 - 3.3) Cinta: Elemento estrutural apoiado continuamente na parede, ligado ou não às lajes, usualmente composta de uma canaleta grauteada e armada

3.4) Coxim: Elemento estrutural não contínuo, normalmente composto por canaleta grauteada e armada.

4) Enrijecedor: Elemento normalmente de alvenaria, vinculado a uma parede estrutural, com finalidade de produzir um enrijecimento na direção perpendicular ao seu plano.

5) Prisma: Corpo de prova obtido pela superposição de blocos unidos por junta de argamassa, grauteados ou não, a ser ensaiado a compressão.

6) Pilar ou parede: Elementos que resistem a compressão

6.1) Pilar: Cujas maior dimensão da seção transversal não excede cinco vezes a menor dimensão

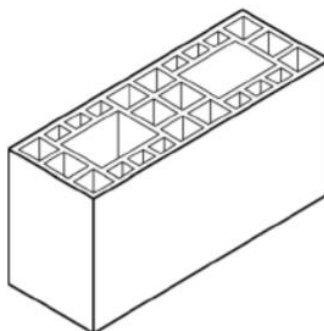
6.2) Parede: Cujas maior dimensão da seção transversal não excede cinco vezes a menor dimensão.

Nos itens abaixo, as definições dos elementos do sistema construtivo em alvenaria estrutural estão resumidas com o foco orientado aos elementos utilizados nas duas obras tema da pesquisa.

2.2.1.1 Bloco Cerâmico

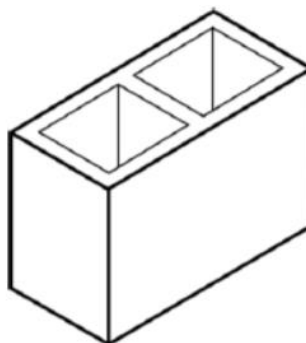
Os blocos cerâmicos utilizados na alvenaria estrutural são projetados para serem assentados com os furos na vertical. As indicações de rastreabilidade devem estar presentes em todas as unidades do lote. No mercado, existem diversos tipos de blocos, como o bloco cerâmico maciço, o vazado e o perfurado. A matéria prima utilizada para sua fabricação é a argila e sua queima é feita a temperaturas elevadas (ABNT NBR 15270-2:2005).

Figura 11 – Bloco cerâmico vazado



Fonte: ABNT NBR 15270-2 (2005)

Figura 12 – Bloco cerâmico maciço



Fonte: ABNT NBR 15270-2 (2005)

Nos empreendimentos analisados nesta pesquisa, os dois tipos de bloco acima foram utilizados, pois, para o empreendimento 1, as resistências a compressão se alteram ao longo dos pavimentos, utilizando blocos de 15MPa, 10MPa e 7 MPa.

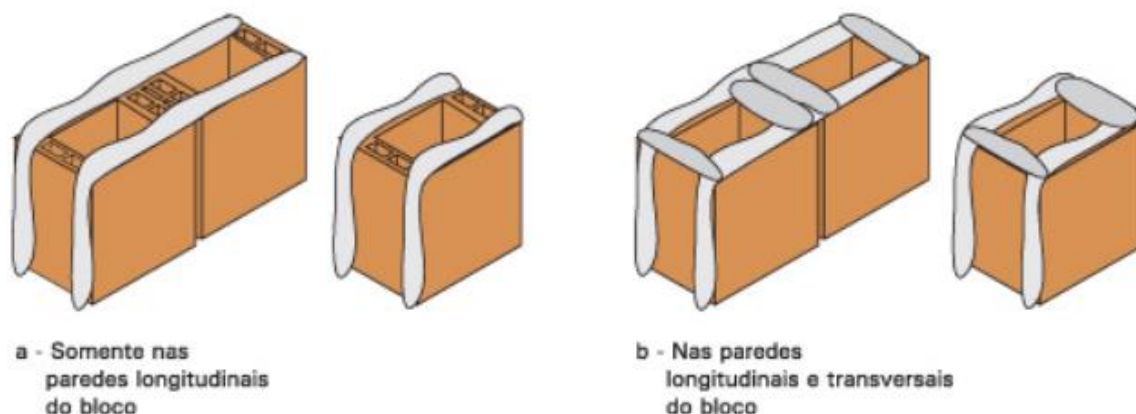
2.2.1.2 Argamassa

A argamassa de assentamento estrutural é uma mistura homogênea, podendo ser industrializada ou dosada na própria obra. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), esta argamassa contém areia, cimento, cal e água. Ela deve possuir características como trabalhabilidade e resistência, além de plasticidade, pois é essa característica que absorve as tensões ocorridas na edificação (TAUIL E NESSE, 2010).

As juntas horizontais devem ser espalhadas nas laterais ou em toda superfície do bloco, (no empreendimento 1, foi utilizado as duas formas), e devem possuir espessura de 1 cm (Figura 7). As juntas verticais devem garantir a resistência ao cisalhamento e em edifícios de até 5 pavimentos, podem ser preenchidas até 15 dias após o término da parede, caso edifícios maiores, devem ser preenchidas imediatamente (PARSEKIAN, 2012).

A argamassa industrializada (utilizada nos empreendimentos tema), podem ser fornecidas em saco, granel ou container. São regidas pela NBR 13281 (ABNT,2005). Além das orientações de uso, a embalagem deve conter a resistência característica, as informações do lote, data de fabricação e validade, assim como os dados do fornecedor.

Figura 13 – Preenchimento das juntas de argamassa

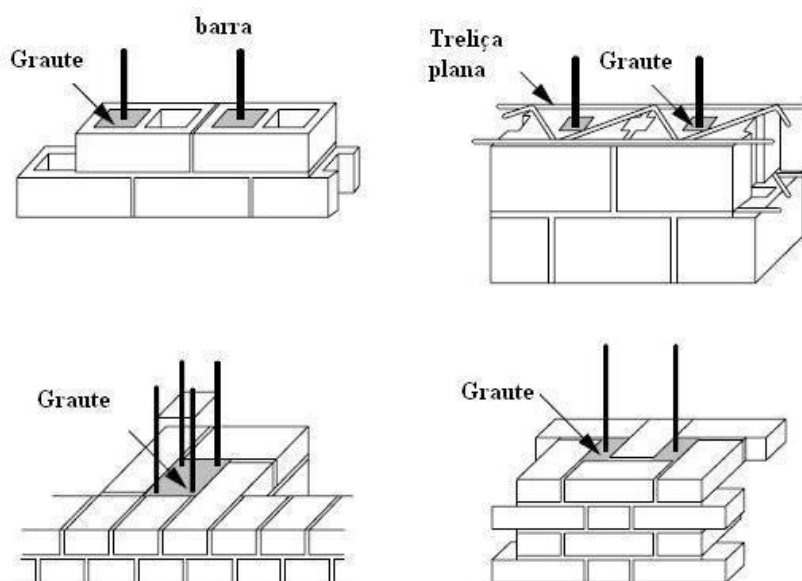


Fonte: Selecta blocos, Grupo Estrutural

2.2.1.3 Graute

O graute é um concreto com agregados de pequenas dimensões e fluidez considerável para o preenchimento de vazios das unidades (RAMALHO E CORRÊA, 2003). O graute tem função de aumentar a capacidade resistiva das paredes, pois melhora a interação entre armadura e bloco. Conforme a NBR 15961 – 2 (ABNT, 2011), o graute não deve apresentar retração e nem falhas. O graute também deve possuir um sistema para garantir a rastreabilidade dele, a fim de obter os laudos de resistência.

Figura 14 – Pontos de graute em alvenaria estrutural



Fonte: Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural, Parsekian (2012)

2.2.3 Projeto de alvenaria estrutural

Segundo Ramalho e Correa (2004), o acréscimo de custo para a produção da alvenaria estrutural compensa a economia que se obtém a partir da retirada de pilares e vigas (sistema de concreto armado). Segundo o mesmo autor, é necessário possuir atenção em alguns detalhes para que o processo não se inverta, ou seja, a alvenaria estrutural acabe sendo um sistema com custo superior ao concreto armado. A partir desta verificação, podemos atentar para três itens importantes no momento de decidir qual sistema estrutural utilizar:

- a) Altura da edificação: Para os parâmetros do Brasil, deve considerar uma altura da edificação de no máximo 15 ou 16 pavimentos para alvenaria estrutural, alturas superiores a esta requerem um grauteamento generalizado. Se esse número de pontos for muito elevado, a economia da obra está diretamente comprometida.
- b) Arranjo arquitetônico: Neste quesito, é necessário pensar na importância da densidade de paredes estruturais por m² de pavimento. Ou seja, é necessário que haja no mínimo 0,5 a 0,7m de paredes estruturais por m² de pavimento, pois dentro desses limites, a densidade de paredes pode ser considerada usual e possível de dimensionamento com alvenaria estrutural.
- c) Tipo de uso: Justamente pelo item anterior, é necessário verificar o padrão construtivo desejado para o edifício, pois edifícios comerciais ou residenciais de alto padrão normalmente possuem grandes vãos, portanto o sistema construtivo em alvenaria estrutural já não é indicado. A alvenaria estrutural é adequada para edifícios residenciais de padrão médio ou baixo, onde os ambientes são pequenos. Para edifícios comerciais, é desaconselhável o sistema também porque a alvenaria estrutural limite a flexibilidade dos ambientes, e edifícios para esse fim normalmente estão em constante mudança pois abrigam empresas de diversos portes, que podem necessitar de tipologias de ambientes diversas.

2.2.3.1 Principais potencialidades do sistema

Ainda segundo Ramalho e Corrêa (2004), podemos caracterizar os principais pontos positivos do sistema em relação a estruturas de concreto armado, por exemplo:

- a) Economia de fôrmas: Caso existam, se limitam as necessárias para concretagem das lajes, que são fôrmas lisas, baratas e de fácil reaproveitamento;
- b) Redução significativa de revestimentos: Devido ao maior controle de qualidade na execução, portanto melhor acabamento da alvenaria, o uso de revestimento é reduzido. Normalmente, nas áreas secas é utilizado somente revestimento de gesso sobre os blocos estruturais, e nas áreas úmidas os azulejos podem ser assentados também sobre os blocos;
- c) Redução de desperdícios de material e mão de obra: Devido as paredes não admitirem intervenções, como rasgos e quebras, as instalações hidráulicas e elétricas são feitas com maior compatibilidade com o projeto, em locais já destinados e, portanto, obtendo menor desperdício de material visto que não ocorrem quebras, rasgos e nem arremates;
- d) Redução do número de mão de obra especializada: Deixam de ser necessários ferreiros e carpinteiros;
- e) Flexibilidade no ritmo de execução da obra: Caso as lajes forem pré-moldadas, o ritmo da obra não é vinculado aos tempos de cura necessários no concreto armado.

Em termos gerais, percebe-se que a principal vantagem da alvenaria estrutural é uma maior **racionalidade** do sistema executivo, reduzindo o consumo de materiais e desperdícios que normalmente são vistos em obras de concreto armado.

2.2.3.2 Principais restrições do sistema

Segundo Ramalho e Corrêa (2004), as principais desvantagens do sistema de alvenaria estrutural em relação ao concreto armado são as seguintes:

- a) Dificuldade de se adaptar arquitetura para um novo uso: Esta é a principal desvantagem, pois se as paredes são a estrutura, obviamente não existe a possibilidade de intervenções nas mesmas.
- b) Interferência entre projetos de arquitetura/estrutura/instalações: A manutenção do módulo afeta o projeto arquitetônico e a impossibilidade de furar paredes e esta restrição condiciona de forma marcante os projetos de instalações;

- c) Necessidade de mão de obra qualificada: As equipes devem fazer um treinamento prévio, caso contrário, riscos de falhas irão comprometer a segurança da edificação.

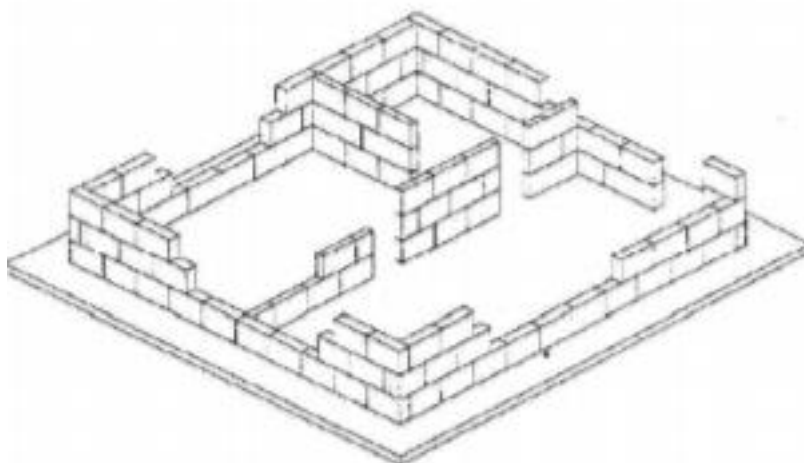
2.2.4 Execução de alvenaria estrutural

Em termos de vedação vertical, a execução da alvenaria estrutural consiste basicamente na confecção das paredes e aplicação de revestimentos mínimos, pois nessa forma de construção, as paredes já são a estrutura, eliminando 90% da madeira, concreto, aço e boa parte da mão de obra (ABCI, 1992). Nesta etapa, será apresentado resumidamente as etapas de execução da alvenaria, utilizadas pela construtora foco do estudo, para melhor entendimento da pesquisa. No anexo A, consta a instrução de trabalho da construtora referente à execução de alvenaria estrutural.

2.2.4.1 Modulação

Segundo Pastro (2007), para projetar um edifício em alvenaria estrutural é preciso um estudo de modulação juntamente com o projeto arquitetônico, a modulação nada mais é do que “acomodar” os blocos uns nos outros respeitando todas as amarrações, formando um prisma. Um exemplo de esquema modular pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – Exemplo de modulação



Fonte: Pastro (2007)

A racionalização da alvenaria estrutural e os ganhos de produtividade são obtidos não só pela simples utilização dos blocos, mas pela racionalidade e compatibilização dos projetos. É nesse contexto que se inserem os projetos destinados à produção. O projeto para produção de alvenaria deve reduzir o número de decisões a serem tomadas no canteiro, integrando-se aos demais projetos com a incorporação de todos os itens de instalações prediais e definição dos elementos a serem utilizados, visando preparar e planejar a execução (SIQUEIRA; et al, 2012)

A modulação garante a racionalização da produção e permite alto índice de produtividade. As famílias de blocos cerâmicos são o conjunto de componentes necessários para a construção da alvenaria e suas amarrações (ABCI, 1992), na Tabela 1, seguem as dimensões utilizadas nos projetos.

Tabela 1 – Dimensões de blocos utilizados

DIMENSÃO DE FABRICAÇÃO	DIMENSÃO MODULAR
14X19X29	15x30
14X19X44	15x45
14X19X14	15x15
14X19X4	15x25
14X19X24*	15x5
14X19X21*	15x22
14X19X19*	15x20

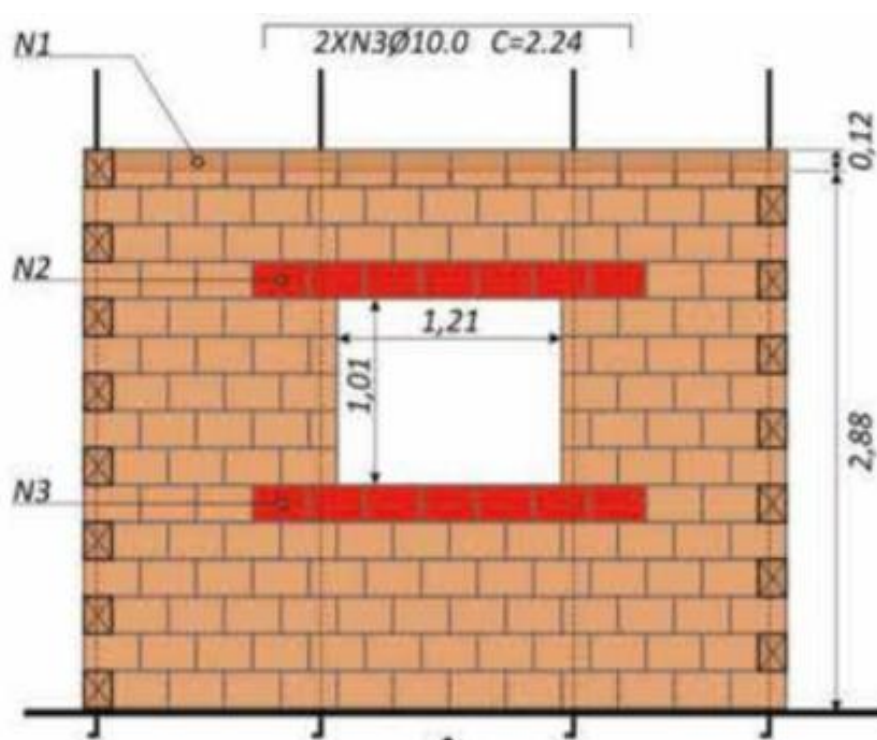
Fonte: Autor

Podemos verificar que os 4 primeiros tipos de blocos são dimensões comuns no mercado e os últimos 3 tipos são os chamados blocos especiais, necessários para a compensação do vão. A modulação vertical pode se dar através de módulos de 20cm, utilizando compensadores ou canaletas em “U” para vãos de janelas e portas, elementos pré-moldados, como blocos de concreto compensadores, vergas e contravergas de concreto também são utilizados.

2.2.4.2 Paginação

Para conseguirmos uma modulação ideal é necessário trabalhar com medidas dos blocos desde a concepção dos espaços. É importante um trabalho conjunto entre arquiteto e projetista estrutural. Com as primeiras definições das paredes, o calculista pode determinar quais serão as paredes estruturais e pode-se então iniciar a paginação definitiva (WENDLER, A., 1999). Na Figura 16 podemos ver um exemplo de paginação de alvenaria estrutural.

Figura 16 – Exemplo de paginação de elevação



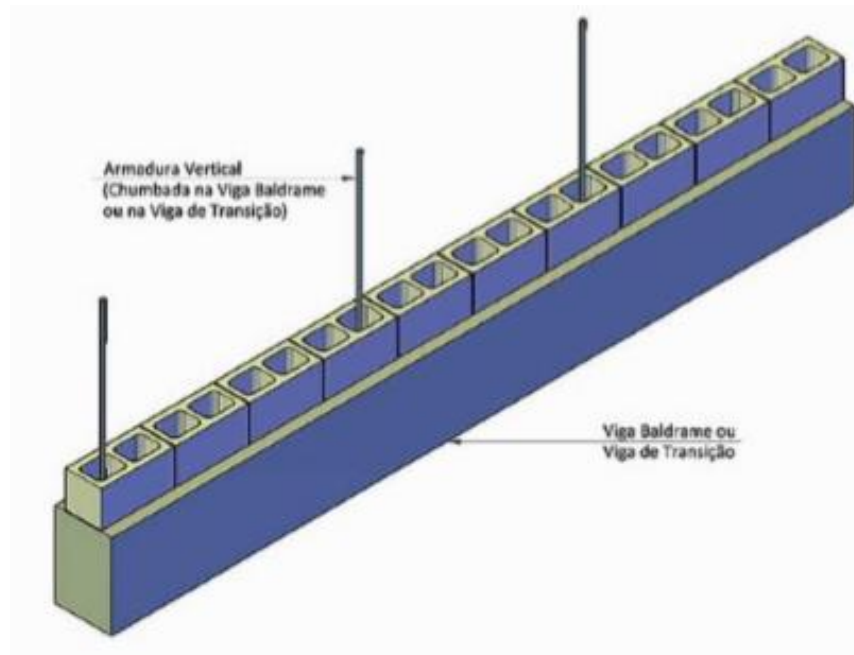
Fonte: Manual técnico de alvenaria, SINDICERMG (2014)

2.2.4.3 Execução

O projeto de alvenaria estrutural e seus detalhes construtivos deve possuir o maior detalhamento possível, a fim do setor de execução de obras poder compreender o projeto de forma clara e objetiva. Quando maior a padronização e modularização do projeto, maior é o aumento de produtividade na execução e conseqüentemente, da construtibilidade. Se deve organizar as sequencias de atividades, bem como as interferências, e a previsão dos espaços adequados de trabalho, movimentação e estoque (ROMAN; MUTTI; ARAÚJO, 1999).

A marcação da primeira fiada de blocos é o primeiro passo da execução, o assentamento é feito com argamassa de maior resistência diretamente na base de transição entre estrutura de fundação/transição e a estrutura da alvenaria, atentar para posicionamento correto dos arranques para os pontos de graute, como mostra a Figura 17.

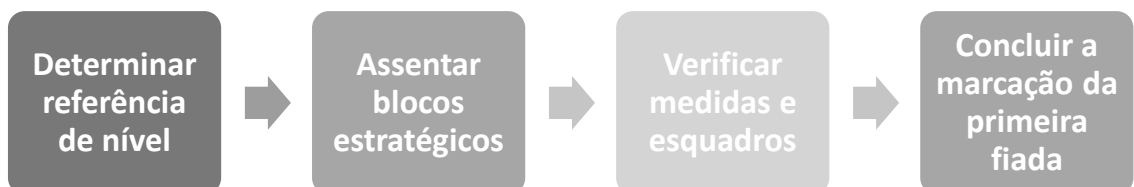
Figura 17 – Primeira fiada



Fonte: TAUIL; NESSE (2010)

Os passos para execução da marcação da alvenaria podem ser definidos através das seguintes etapas apresentadas no fluxograma da Figura 18 (PINI, 2009):

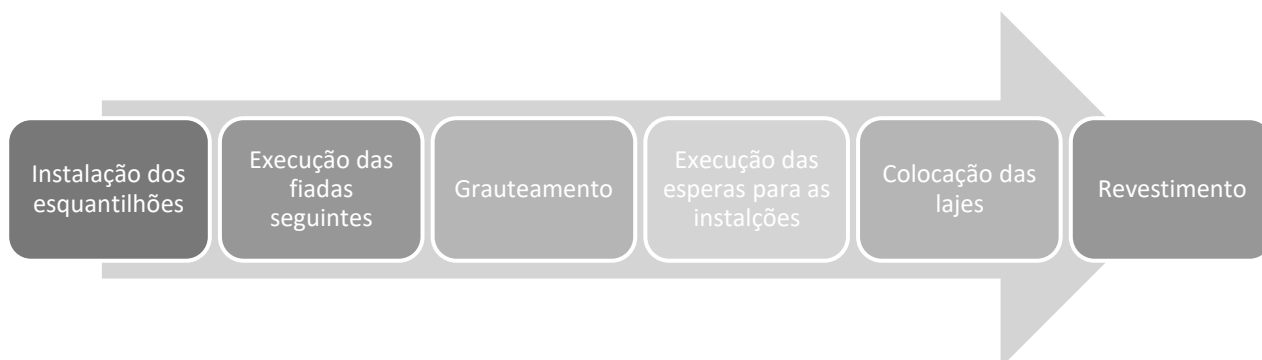
Figura 18 – Passos da execução da primeira fiada



Fonte: Autor

Os passos para a etapa seguinte, a elevação, seguem abaixo na Figura 19:

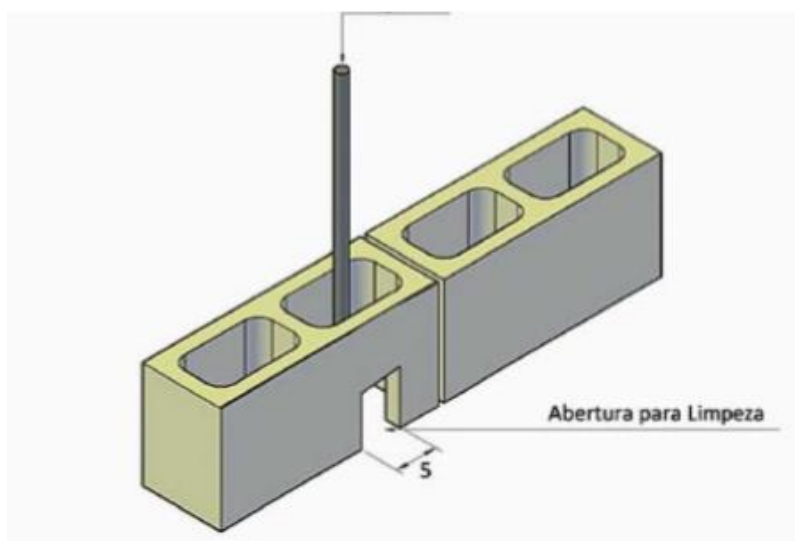
Figura 19 – Etapas para execução e finalização da alvenaria



Fonte: Autor

Ainda na primeira fiada, para garantir o preenchimento completo da coluna de descida de graute, é feita uma abertura de inspeção no gomo do bloco a ser grauteado, a qual deve ser fechada antes do lançamento do graute e aberta posteriormente a finalização do serviço com o objetivo que verificar a integridade do grauteamento do topo até a base da coluna, como mostra a figura 20 (TAUIL; NESE, 2010).

Figura 20 – Inspeção graute



Fonte: Tauil; Nesse (2010)

Os escantilhões devem ser posicionados e conferidos pela equipe técnica, a partir desta etapa, se pode iniciar a elevação. A elevação da alvenaria deve começar pelos cantos, em forma de “castelo”, que servirão como referência para o alinhamento

das paredes. Após a conclusão da elevação da alvenaria, é feita a montagem das armaduras quando alvenaria armada e o grauteamento das paredes.

2.2.5 Estudos recentes sobre alvenaria estrutural

No projeto-livro *Alvenaria Estrutural: Construindo Conhecimento* (MOHAMAD; MACHADO; JANTSCH, 2017), correlacionaram a produção técnica literária e conhecimentos específicos sobre o tema da técnica da construção da alvenaria estrutural, para organizar e discutir a construção de um material didático e visual do sistema construtivo a fim de sequenciar a execução do sistema construtivo, beneficiando acadêmicos da área da engenharia civil e arquitetura e gerando conhecimento aos pesquisadores.

A modulação em BIM para realizar a modelação em 3D de projetos de alvenaria estrutural vem sendo amplamente utilizada na construção civil. Esse desenvolvimento é de extrema importância para a revisão e definição final da coordenação modular, pois ela permite construir virtualmente os pavimentos, analisando interferências e incompatibilidades, a fim de antecipar problemas na etapa de construção. Esta modelagem também permite realizar os quantitativos de materiais a serem utilizados, de posse de todas as informações do projeto, os projetistas podem fazer as alterações necessárias e depois encaminhar para o calculista para as verificações finais, definição dos pontos de graute e armaduras. Dessa forma, diversas possíveis interferências podem ser resolvidas ainda na fase de projeto, anterior à execução, tais como: pontos de elétrica e hidráulica, questões com amarração de blocos, corretos posicionamentos de vãos de portas e janelas (IBRACON, 2018). Na Figura 21 podemos ver o detalhe de uma modulação de blocos em 3D. Já na Figura 22 é possível verificar como é demonstrada a compatibilização do projeto em alvenaria estrutural em modelagem em BIM, com os pontos de graute, inspeção de graute e elétrica na mesma vista.

Figura 21 – Modulação dos blocos em edifício de alvenaria estrutural sob pilotis



Fonte: Concreto & Construções, IBRACON (2018)

Figura 22 – Vista de uma parede com a compatibilização do graute e elétrica



Fonte: Concreto & Construções, IBRACON (2018)

2.3 CONCRETO ARMADO

O concreto armado se caracteriza pela associação do concreto com barras de aço e o funcionamento do conjunto desses materiais só é possível graças a aderência (ARAÚJO, 2003).

O uso do concreto armado como sistema estrutural de edifícios é extremamente difundido no Brasil. Ele tem a possibilidade de ser empregado em estruturas mais simples até as mais complexas, desde o baixo até o mais alto padrão (FAJERSZTAJN, 1987).

Segundo Zorzi (2002), a execução do concreto armado representa o caminho crítico da obra, pois determina o início de todas as atividades subsequentes, sendo de difícil recuperação os atrasos obtidos nesta etapa. A execução dá através do sistema de fôrmas, armação e concretagem.

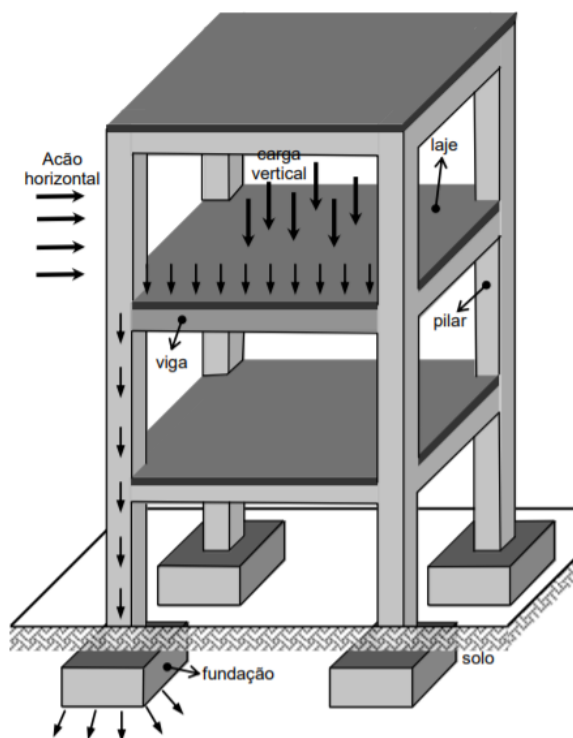
2.3.1 Conceito estrutural básico

O concreto é um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão, porém, apresenta baixa resistência à tração (cerca de 10 % da sua resistência à compressão) (IBRACON, 2005). Portanto, existe a necessidade de atrelar ao concreto um material com alta resistência à tração, que arranjado favoravelmente, irá resistir as tensões de tração atuantes.

O material destinado a esse fim é o aço, portanto o composto (concreto e armadura – barras de aço), chama-se concreto armado. No entanto, o conceito de concreto armado envolve o fenômeno da aderência, que deve obrigatoriamente existir entre o concreto e a armadura. Para a existência do concreto armado é imprescindível que haja real solidariedade entre ambos os materiais. Em resumo, pode-se definir o concreto armado como “a união do concreto simples e de um material resistente à tração de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes”. (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo a NBR 6118, os elementos estruturais básicos que compõem a estrutura, são os pilares – elementos lineares de eixo reto, dispostos na vertical – que recebem os esforços de compressão oriundos do peso próprio e a combinação de outras cargas. As vigas – elementos lineares, dispostos na horizontal – recebem esforços essencialmente de flexão. Já as lajes ou placas são elementos estruturais laminares de superfície plana que recebem ações normais ao seu plano e normalmente constituem os pisos dos edifícios (ABNT, 2003). Podemos observar o modelo de distribuição das cargas no concreto armado na Figura 23.

Figura 23 – Distribuição das cargas no concreto armado



Fonte: Engel (2001)

2.3.2 Definições do método construtivo

O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Pode também conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (ABCP, 2002). Abaixo, seguem alguns esclarecimentos sobre componentes importantes para a execução do concreto armado.

2.3.2.1 Formas e cimbramentos

A garantia de que uma estrutura ou qualquer peça de concreto armado seja executada fielmente ao projeto e tenha a forma correta, depende da exatidão e rigidez das fôrmas e de seus escoramentos. Usualmente as formas têm a sua execução atribuída aos mestres de obra ou encarregados de carpintaria, estes procedimentos resultam em consumo intenso de materiais e mão de obra, fazendo um serviço

empírico, as fôrmas podem ficar superdimensionadas ou subdimensionadas (FREITAS, 2011).

No ciclo de execução da estrutura de concreto armado (forma, armação e concreto), as formas são caminho crítico, responsável por cerca de 50% do prazo de execução da estrutura do empreendimento. (NAZAR, 2007). Alguns requisitos são necessários para uma boa execução de formas:

- a) Devem ser executadas conforme projetos, respeitando rigorosamente as medidas;
 - b) Os cimbramentos devem ser executados conforme projeto;
 - c) Devem ser estanques;
 - d) Devem ser projetadas a fim de serem utilizadas o maior número possível de vezes.
- b) Devem ser praticamente estanques.

2.3.3 Projeto de concreto armado

Segundo Bastos (2014), o concreto armado alia as qualidades do concreto com o aço:

- a) Permite construir elementos de variadas formas e volumes;
- b) Fácil adaptabilidade projetos arquitetônicos;
- c) Resistência ao fogo com elevada resistência a altas temperaturas;
- d) Durabilidade
- e) Impermeabilidade

Já como restrições, Bastos (2014), evidencia os seguintes temas relacionados ao concreto armado:

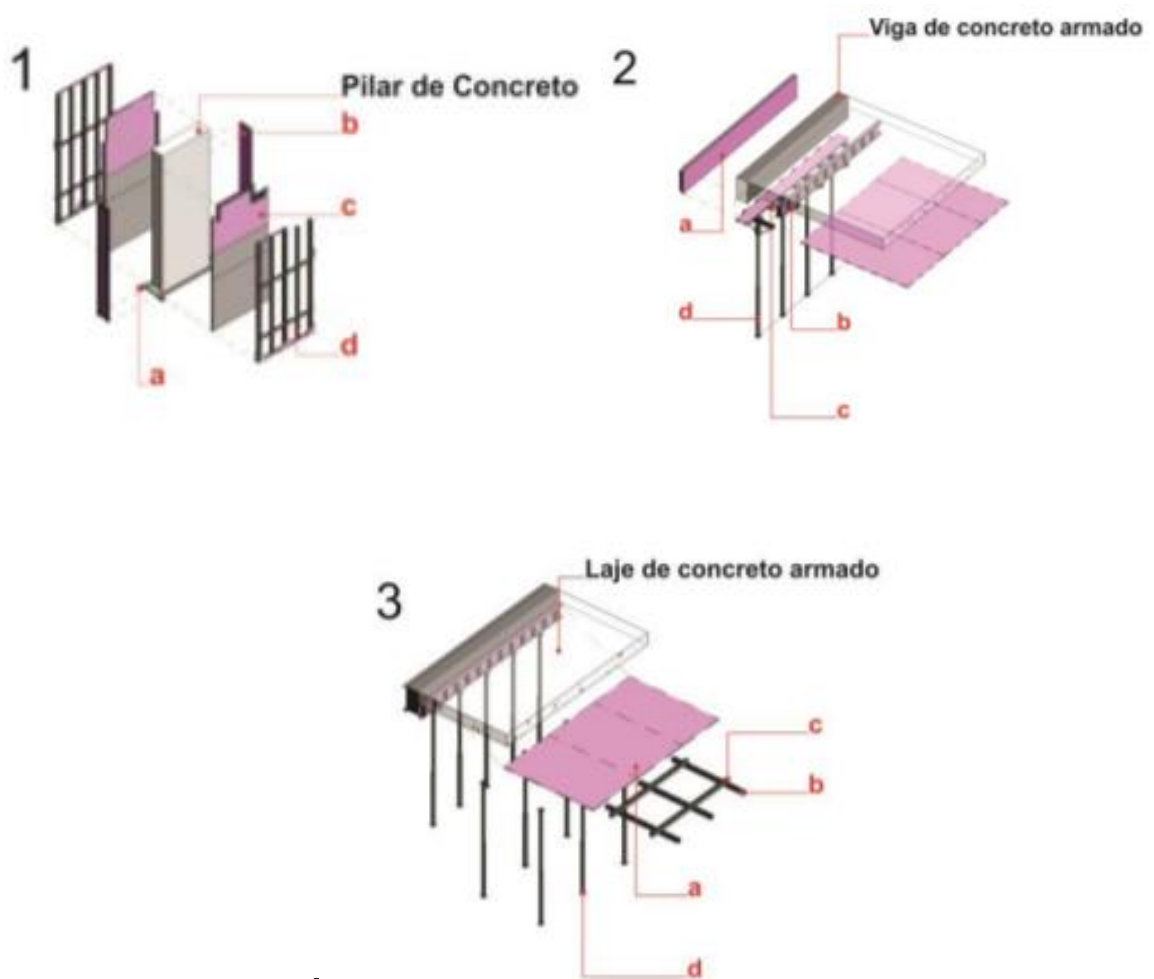
- a) Necessidade de formas e escoramentos;
- b) Alterações de volume;
- c) Necessidade de controlar idades de cura;
- d) Transmite calor e som.

2.3.4 Estudos recentes sobre concreto armado

Neiva Neto e Ruschel (2015), propuseram em um estudo recente, uma biblioteca de componentes para o projeto de fôrmas de madeira através do BIM, com

modelagem, quantificação, simulação 4D e procedimentos associados. O método de pesquisa associado foi a *Constructive Research* e os componentes foram desenvolvidos no *Revit Structure*. Na figura 24 podemos verificar a modelagem de fôrmas para pilares, vigas e laje de concreto armado, que foram criadas através da geometria dos componentes básicos das fôrmas, como sarrafo, pontalete e a placa de compensado.

Figura 24 – Componentes das fôrmas



Fonte: NEIVA NETO, RUSCHEL (2015)

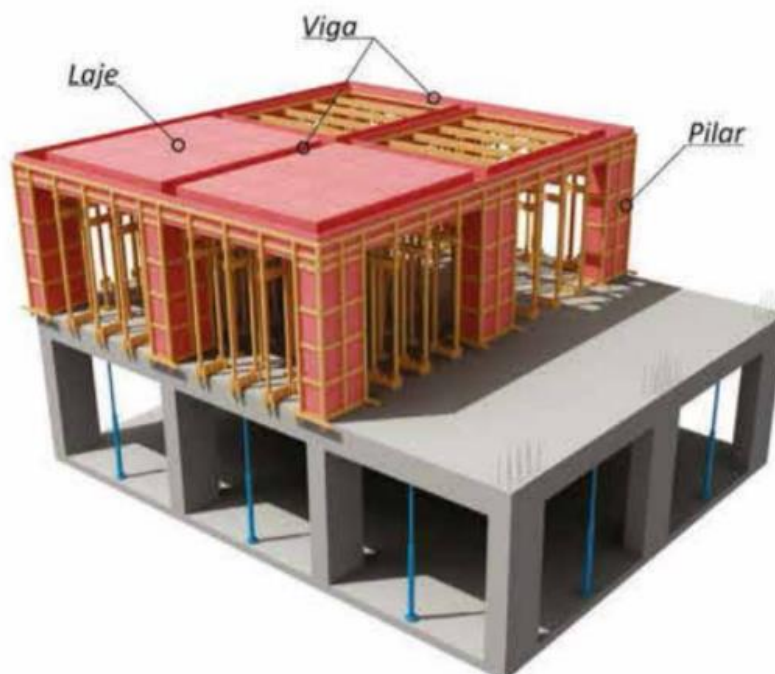
2.4 ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO

É perfeitamente possível executar altos edifícios sobre uma estrutura de concreto armado nos subsolos e térreo, desde que a arquitetura permita a localização adequada dos pilares (WENDLER, A., 1999), Figura 12.

A distribuição de esforços verticais nas paredes depende do arranjo estrutural projetado para a edificação. Caso não houver pilotis no projeto, é interessante utilizar o maior número possível de paredes como estruturais, para que a carga chegue às fundações de forma mais distribuída. (WENDLER, 1999).

Ainda segundo o mesmo autor, quando houver a presença de pilotis, devemos determinar algumas paredes como não estruturais. Cada encontro de parede é um ponto de carga que deve ser apoiado. Portanto, deve-se projetar a fim de não haver tantos cruzamentos entre paredes, pois assim se necessita de um menor número de pilares ou de fundações pontuais.

Figura 25 – Estrutura de concreto armado e alvenaria estrutural



Fonte: Manual técnico de alvenaria, SINDICERMG (2014)

Através da inserção dos elementos de transição, o pavimento térreo pode ser aproveitado como garagem e/ou conter diversas modificações arquitetônicas em

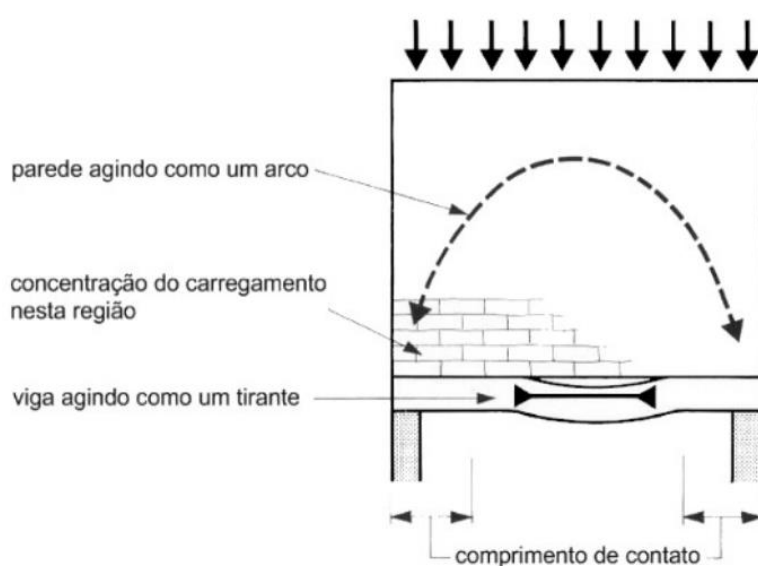
relação ao pavimento tipo, pois o pilotis, através do lançamento de pilares e vigas, irá transmitir as cargas para a fundação (PARSEKIAN, 2010).

2.4.1 Efeito arco

A transmissão do carregamento vertical de uma parede de alvenaria estrutural sob um pórtico formado por uma viga apoiada em pilares ocorre com o encaminhamento dos esforços em direção aos apoios (pilares) (PARSEKIAN, 2010). O efeito que é causado por essa distribuição, é chamado de efeito arco. Através desse efeito, ocorre o surgimento de esforços de tração (principalmente na base da parede, formando um tirante) e a concentração de esforços de compressão nas extremidades da parede.

Ainda segundo o mesmo autor, um carregamento uniformemente distribuído sobre a parede será encaminhado para a viga, movendo esses esforços diretamente aos apoios, resultando em valores maiores próximos aos apoios, diminuindo a flexão na viga. O efeito arco será maior quando a rigidez da viga for comparativamente menor que a rigidez da parede. Portanto, paredes sobre uma viga muito rígida, não haverá o efeito arco. Então, do contrário, se a viga de base não possuir rigidez, só será possível vencer o vão com alvenaria em forma de arco (Blucher, 2009).

Figura 26 – Ação conjunta do sistema parede-viga

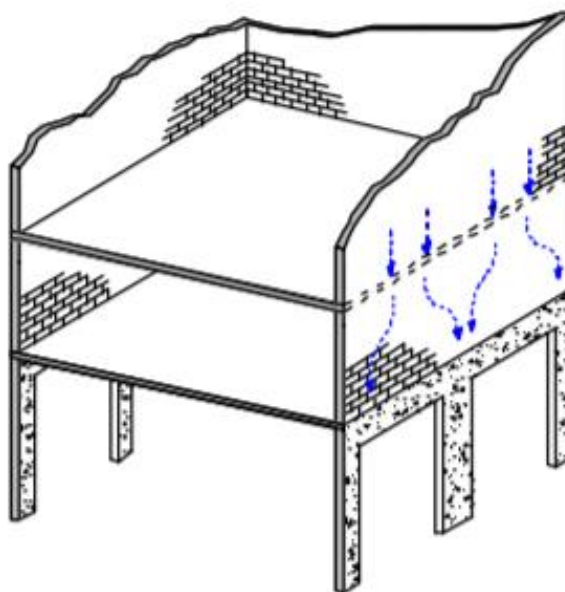


Fonte: Haseltine, Moore (1981)

Portanto, estruturas de transição tendem a apresentar robustez já que as cargas são distribuídas até o ponto mais rígido, os apoios. (WENDLER, 1999).

O efeito arco provoca alterações nas tensões da parede e nos esforços da viga que está apoiando, esses efeitos precisam ser considerados no dimensionamento. Por esse motivo, o ideal é evitar os apoios discretos e projetar apoios contínuos, contudo, nem sempre isso é possível, pois muitas vezes eles se tornam necessários para satisfazer imposições arquitetônicas, como por exemplo, vãos livres num pavimento inferior de uma edificação para servir de garagem. Na figura 27, podemos ver a carga da parede portante superior se distribuindo uniformemente para a parede abaixo, contudo, isso não ocorre quando a carga se distribui para a viga de baixo, o efeito arco, faz com que a maior concentração da carga vá diretamente para os apoios.

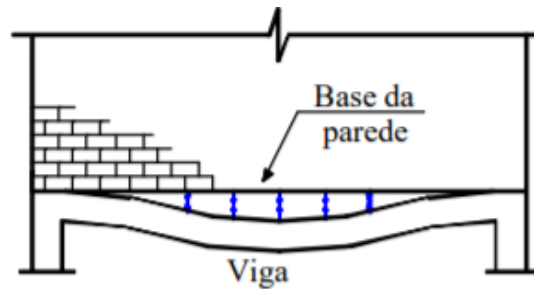
Figura 27 – Carregamento uniformemente distribuído vs. Efeito arco



Fonte: Haseltine, Moore (1981)

Como visto, na interface entre a parede e a viga, ocorrem tensões normais verticais de tração e quando elas alcançam um valor máximo que o material pode suportar, pode haver um “descolamento” entre a parede e a viga. Quando esta separação acontece, geralmente irá ocorrer no meio do vão, onde a tração vertical é maior, esse perda de contato acentua ainda mais a transferência de cargas aos apoios, conforme mostra a Figura 28.

Figura 28 – Separação entre a parede e a viga

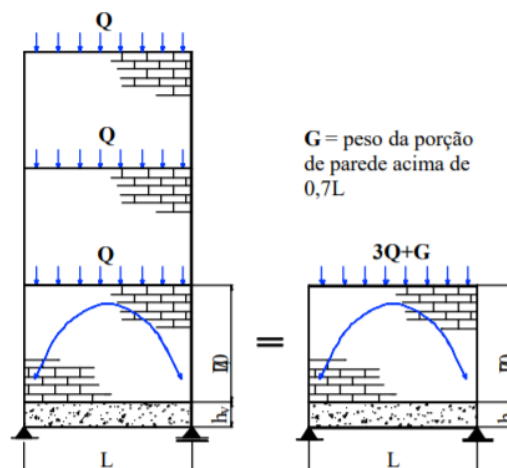


Fonte: Haseltine, Moore (1981)

É de extrema importância considerar o efeito arco no dimensionamento das estruturas de alvenaria estrutural e concreto armado, pois o resultado dessa interação adiciona esforços diferentes à estrutura, podemos verificar que este é um dos motivos pelo qual as vigas de transição possuem uma seção transversal bastante robusta em relação a uma estrutura de concreto armado convencional.

Ainda, segundo Riddington & Stafford Smith (1978), para paredes com alturas superiores a 70% do vão, mantendo constante a carga total sobre a viga, a configuração do arco permanece inalterada. Ou seja, o peso da porção de parede acima de $0,7L$ seria considerada apenas como acréscimo de carga. Na Figura 29 podemos compreender melhor este conceito, visto que a partir dele podemos perceber que a altura da edificação não influencia no efeito arco.

Figura 29 – Carregamento equivalente independentemente da altura



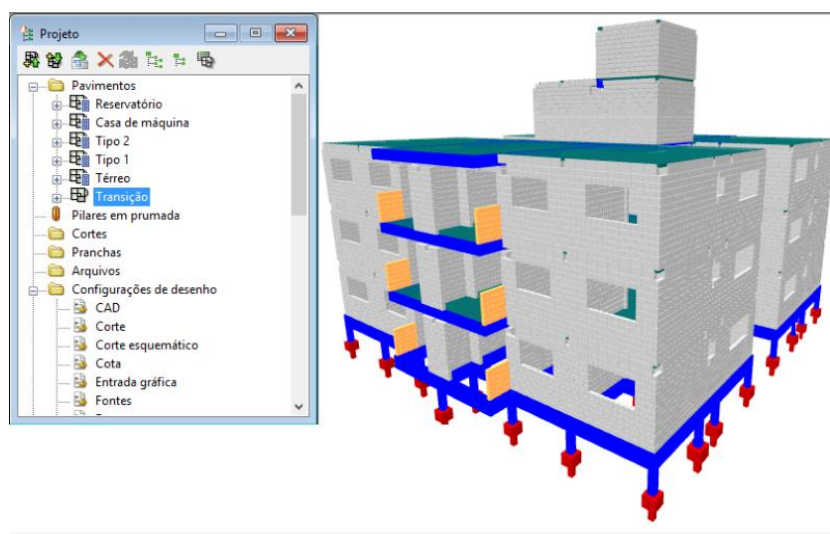
Fonte: Haseltine, Moore (1981)

2.4.2 Estudos recentes sobre estrutura de transição

A AltoQi desenvolveu o programa QiAlvenaria, o qual permite criar as plantas de modulação e realizar de forma automática a distribuição dos blocos nas paredes, bem como a amarração entre as paredes e o detalhamento de suas elevações. Após o desenvolvimento do modelo geométrico é necessário realizar o dimensionamento das paredes, das lajes e de toda estrutura de apoio e fundações. Esta etapa normalmente é complexa quando realizada de forma manual, visto a dificuldade de se considerar todas as cargas e obter as tensões para dimensionamento das paredes de alvenaria. Com o objetivo de automatizar e agilizar este processo, foi desenvolvido o módulo dimensionamento de alvenaria estrutural no Eberick, que trabalha de maneira integrada ao QiAlvenaria (CUNHA, 2019).

A novidade é um recurso criado com o intuito de facilitar e agilizar o lançamento, que é a opção de criar automaticamente um pavimento de transição que servirá de apoio para as paredes de alvenaria. Neste pavimento já poderão ser lançados os pilares e as vigas de apoio das paredes de forma automática, conforme os critérios adotados pelo usuário durante a criação do pavimento (CUNHA, 2019). A Figura 30 mostra a edificação de alvenaria estrutural com o pavimento de transição para apoio das paredes automaticamente inserido.

Figura 30 – Modelo importado do QiAlvenaria



Fonte: CUNHA, K (2019)

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o método utilizado nesta pesquisa afim de obter todas as informações necessárias para a caracterização da construtibilidade total em obra de alvenaria estrutural com estrutura de transição. Para auxiliar nesta avaliação, os requisitos de construtibilidade foram analisados para os dois sistemas construtivos separadamente dentro do mesmo empreendimento, condomínio residencial do programa MCMV, depois, com o desempenho da alvenaria estrutural definido, foi possível avaliar o impacto construtivo na implementação de estruturas de transição nesta obra de alvenaria estrutural - este foi denominado empreendimento 1.

Segundo Gil (2002), a elaboração de uma pesquisa é feita mediante a consideração das etapas necessárias para o desenvolvimento e a conclusão do projeto. Essas etapas podem ser identificadas através de um fluxo de pesquisa, Gil (2002) criou uma diagramação de pesquisa, como visto na Figura 31, contudo não necessariamente as etapas precisam seguir o fluxo do autor, na figura, já é possível ver o fluxo adaptado a esta pesquisa.

Na primeira diagramação da Figura 31, tem-se a formulação do problema, que nesta pesquisa se trata de avaliar a construtibilidade de obra que implementa estrutura de transição na alvenaria estrutural, pois são estruturas de concreto armado ditas especiais, que possuem grande complexidade tanto de projeto estrutural como complexidade de execução no canteiro de obras devido à sua robustez. Na segunda diagramação tem-se as hipóteses obtidas na pesquisa, que consistem basicamente em analisar as diferenças entre a alvenaria estrutural convencional e alvenaria estrutural com estrutura de transição de forma qualitativa através dos requisitos de construtibilidade.

O plano da pesquisa foi coletar o maior número de informações sobre o empreendimento 1 (estudo de caso) e sobre o empreendimento 2 da mesma construtora (obra de alvenaria estrutural utilizada como parâmetro de construtibilidade para o sistema construtivo). Também foram coletados dados de execução de estruturas de transição em outra obra que utiliza o sistema – empreendimento 4 – para fins de ampliação do conhecimento, visto a falta de estudos técnicos sobre a execução destas estruturas.

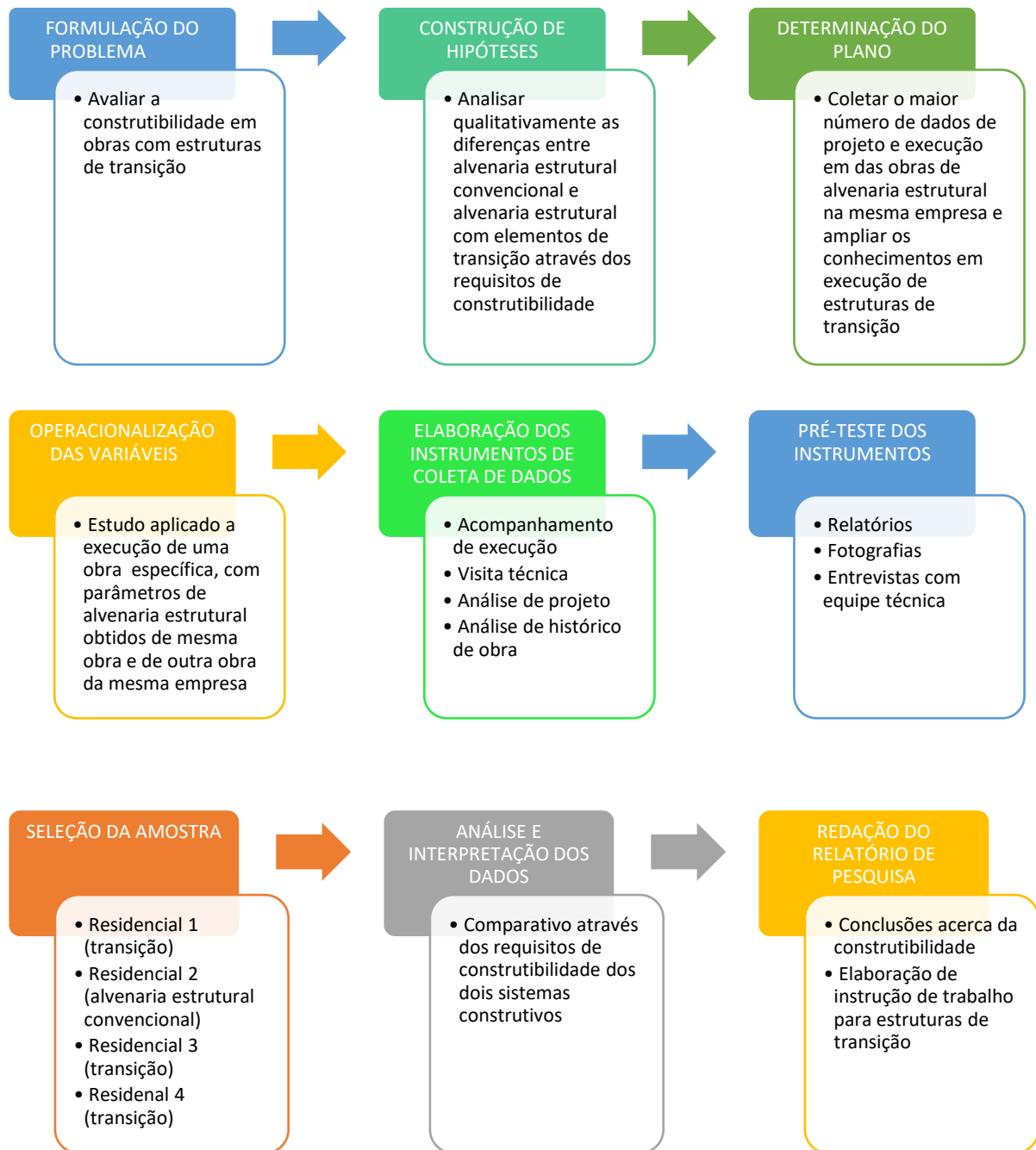
A quarta diagramação explica a operacionalização das variáveis encontradas na pesquisa, que se refere a esclarecer que a pesquisa se trata de um estudo de caso,

aplicado a uma obra específica de uma construtora que aplicou o sistema de transição pela primeira vez neste empreendimento. Na quinta e sexta diagramação temos discriminados quais foram os instrumentos de coleta utilizados para a construção e conclusão dos resultados.

Sobre as amostras utilizadas, como visto anteriormente, o empreendimento 1 foi utilizado como estudo de caso nesta pesquisa, as análises de resultados da construtibilidade para a alvenaria estrutural e para a estrutura de transição foram feitas a partir desta obra, o impacto gerado na implementação destas estruturas pode então ser percebido através da construtibilidade total deste empreendimento onde tem-se a construtibilidade da alvenaria estrutural do empreendimento 1 mais a construtibilidade da estrutura de transição do empreendimento 1 resultado na construtibilidade total da obra 1. O empreendimento 2 é o referencial de alvenaria estrutural executada pela construtora, ou seja, podemos comparar a diferença de obras de alvenaria estrutural com e sem estruturas de transição através da avaliação da construtibilidade do empreendimento 1 vs. empreendimento 2. Os empreendimentos 3 e 4 serão utilizados no capítulo 5, onde serão apresentadas sugestões de melhorias e padronizações no processo de construção de estruturas de transição, onde o objetivo é apresentar um material técnico que aborde esse tipo de execução, visto a escassez deste tipo de conteúdo na atualidade.

Portanto, as diagramações 8 e 9 abordam, respectivamente, a análise qualitativa da construtibilidade feita entre os dois sistemas – alvenaria estrutural e estrutura de transição - e as conclusões possíveis de observar através da comparação da construtibilidade total de um empreendimento que utiliza estes dois métodos. Percebe-se que a partir da avaliação da construtibilidade, é possível identificar as restrições e potencialidades em cada um dos requisitos e sub-requisitos, para as etapas de projeto, planejamento e execução. Ou seja, a construtibilidade é utilizada como forma de avaliação qualitativa de um método, etapa ou elemento da construção, contudo, ao se fazer esta avaliação fica perceptível onde estão as restrições e potencialidades do objeto avaliado. Portanto, podemos utilizar esta análise como ferramenta de melhoria futura do objetivo avaliado. Nesta pesquisa, portanto, foi possível elaborar uma instrução técnica para estruturas de transição baseada na construtibilidade.

Figura 31 – Diagramação da pesquisa



Fonte: Adaptado de GIL (2002)

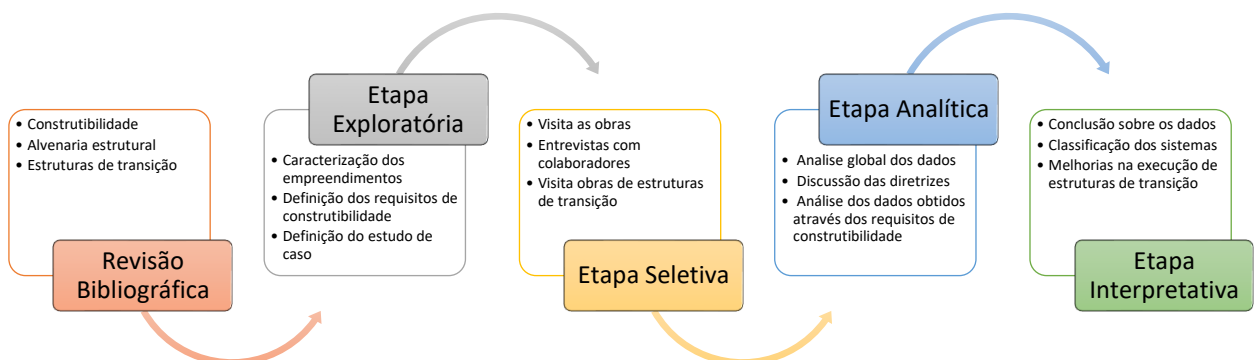
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Esta pesquisa está estruturada a partir de cinco etapas principais: etapa de revisão bibliográfica, etapa exploratória, etapa seletiva, etapa analítica e etapa interpretativa.

Na Figura 32 tem-se o delineamento da pesquisa, onde é descrito os itens verificados em cada etapa:

- 1) A revisão bibliográfica desenvolve três tópicos principais: construtibilidade, obras de alvenaria estrutural com e sem estrutura de transição.
- 2) A etapa exploratória consiste na caracterização dos empreendimentos, definição dos requisitos utilizados para a análise e a definição do estudo de caso.
- 3) Na etapa seletiva consta as ferramentas utilizadas para coleta de dados, como o acompanhamento da obra, entrevistas com colaboradores e visitas técnicas à outras obras.
- 4) Na etapa analítica desta pesquisa, foi feita a análise global dos dados, discussão das diretrizes e análise dos dados através da avaliação dos requisitos de construtibilidade.
- 5) Na etapa interpretativa constam as conclusões obtidas através da coleta e análise de dados, onde foi possível concluir o impacto da implementação de estruturas de transição em obras de alvenaria estrutural e por fim, apresentar melhorias na execução destas estruturas.

Figura 32 – Delineamento da pesquisa



Fonte: Autor

3.2 ETAPA EXPLORATÓRIA

Esta etapa visa explorar as informações sobre os principais temas envolvidos na pesquisa já aplicados à obra do estudo de caso, visto que a caracterização e as informações necessárias para o entendimento dos tópicos já foram abordadas no capítulo anterior.

Como visto, nas etapas anteriores foi utilizado de informações bibliográficas para construir o embasamento teórico da pesquisa. Foi possível apresentar as principais definições de cada sistema construtivo (concreto armado e alvenaria), caracterizar as estruturas de transição e apresentar os requisitos de construtibilidade. Abaixo, no Quadro 12, segue um resumo das principais diferenças entre os sistemas de concreto armado e alvenaria estrutural.

Quadro 12 – Comparativo resumo entre os sistemas construtivos

SISTEMAS ESTRUTURAIS	ALVENARIA ESTRUTURAL	CONCRETO ARMADO
Principais tipologias	Edifícios de média altura; vãos entre 5 e 6 metros; Necessidade de integração com outros subsistemas	Grande flexibilidade, uso em qualquer tipo de estrutura
Emprego no Brasil	Associado a edificações residenciais de interesse social	Utilizado em todas as regiões do país, grande variedade de empreendimentos
Aspectos relacionados a mão de obra	Mão de obra qualificada	Mão de obra tradicional da construção civil
Vantagens	Estrutura também é a vedação vertical; Racionalização; Redução do uso de concreto, aço e fôrmas; Simplificação das instalações elétricas e hidrossanitárias; Possibilidade de utilização de lajes e escadas pré-moldadas	Execução de obras com grandes vãos e alturas; Facilidade de execução em diversos tipos de fôrmas; Personalização dos espaços
Desvantagens	Limitações no projeto arquitetônico; Impossibilidade de remoção de paredes; Necessidade constante de treinamento	Menor proteção térmica; elevada utilização de aço, concreto e fôrmas

Fonte: Autor

A análise da construtibilidade em estruturas de transição se deu em um empreendimento residencial localizado na cidade de São Leopoldo – RS, pertencente a empresa B, como base comparativa foram utilizados os dois sistemas empregados dentro desta mesma obra. É através dessa comparação que podemos analisar as diferenças na construtibilidade para os dois métodos e concluir qual a construtibilidade total da obra. Outra obra de alvenaria estrutural convencional foi utilizada neste trabalho a fim de exemplificar as diferenças gerais entre uma obra de alvenaria estrutural convencional e uma obra de alvenaria estrutural com elementos em concreto armado. Além disso, algumas referências externas de obras com elementos de transição foram utilizadas a fim de obter melhorias para o método de execução dessas estruturas. Nos itens a seguir constam as informações sobre a empresa e os empreendimentos avaliados.

3.2.1 A construtora

Como visto, o objetivo do trabalho é avaliar o impacto na construtibilidade – sobretudo em termos de logística de canteiro – da inclusão de estruturas de transição em empreendimentos de alvenaria estrutural.

A empresa B possui mais de 36 anos de atuação na construção civil dentro do Rio Grande do Sul, com obras principalmente localizadas no Vale do Rio dos Sinos, como os municípios de São Leopoldo, Novo Hamburgo, Sapucaia do Sul e Portão e já entregou mais de 5000 unidades habitacionais.

Apesar dos anos de experiência na construção civil, a empresa ainda é nova no mercado de comercialização de imóveis, visto que nos primeiros anos a construtora atuou através do PAR (Programa de Arrendamento Residencial) e também com imóveis do PAC, através do programa MCMV faixa 1, onde os imóveis têm a construção paga pelo governo que posteriormente distribuí à população de baixa renda.

A partir de 2009, o ano em que a construtora entregou o primeiro empreendimento como incorporação imobiliária, pôde-se verificar um elevado crescimento em termos de padrão de qualidade e melhoria dos processos dentro da construtora, apesar da mesma já possuir o certificado do PBQP-H – nível A, desde o ano de 2004. A partir daí a construtora vem atuando em todas as faixas do programa

MCMV, com todas as obras financiadas pelo programa e nenhuma construída com capital próprio.

Apesar da contínua melhoria dos processos e implementação de tecnologias dentro dos canteiros de obras, a empresa seguiu construindo apenas o sistema de alvenaria estrutural, de blocos cerâmicos ou de concreto, onde adquiriu larga experiência e elevada produtividade através de planejamento e melhoria de processos durante mais de 30 anos utilizando esse sistema construtivo. Podemos verificar nas Fotografias 1 e 2, algumas das obras executadas pela construtora.

Fotografia 1 – Residencial de alvenaria estrutural com blocos de concreto



Fonte: Acervo da empresa B (2016)

Fotografia 2 – Residencial de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos



Fonte: Acervo da empresa B (2016)

No ano de 2017, a construtora lançou o empreendimento objeto desse estudo de caso, o primeiro edifício da construtora em que os pavimentos tipos são em alvenaria estrutural sobre pilotis de concreto armado. Para atingir este objetivo, foi necessário implementar vigas e laje de transição como sistema complementar. Abaixo, segue o empreendimento avaliado (objeto do estudo de caso) e os empreendimentos auxiliares utilizados na avaliação da construtibilidade da alvenaria, bem como os empreendimentos utilizados para conclusão das sugestões de melhorias para o método executivo de estruturas de transição.

3.2.2 Empreendimentos analisados

A fim de comparar – através dos requisitos de construtibilidade – a influência da construção com sistemas de transição em concreto armado, será utilizado uma obra da empresa B, sendo a obra que utiliza alvenaria estrutural sob vigas de transição em concreto armado.

O empreendimento 2, é uma obra de referência do padrão da construtora, feita de alvenaria estrutural convencional, ela serve para exemplificar as diferenças de proposta dos dois empreendimentos. Através desse comparativo, poderemos associar as principais diferenças entre as duas obras, além de integrar e interpretar as informações coletadas sobre cronograma, logística, planejamento e custo.

Em dezembro de 2018, a construtora iniciou as obras do segundo empreendimento de alvenaria estrutural com estrutura de transição no pilotis, nesta segunda obra com esta tipologia, algumas melhorias já puderam ser implementadas na execução da transição em concreto armado. Estas melhorias foram trazidas através do aprendizado adquirido na primeira obra, nenhum material técnico foi consultado, visto a escassez de instruções técnicas específicas para estruturas de transição. Este segundo empreendimento da empresa será denominado empreendimento 3.

Na etapa de coleta de dados desta pesquisa, a fim de obter maiores informações acerca da execução de estruturas de transição, um quarto empreendimento foi analisado através de visita técnica e entrevista com os responsáveis, o empreendimento 4. Este empreendimento pertence a empresa V, que constrói estruturas de transição a pelo menos 10 anos, nele poderemos analisar

algumas melhorias que a construtora implementou na execução destas estruturas através do aprendizado adquirido ao longo da construção de cada obra.

3.1.2.1 Empreendimento 1 (estudo de caso)

Com início de obras em outubro de 2017, o empreendimento 1 é a **principal** fonte de análise de construtibilidade desta pesquisa, é um residencial multifamiliar do programa MCMV, faixa 2, localizado no município de São Leopoldo – RS. O empreendimento possui 3 tipos de plantas de apartamentos, duas disposições com dois dormitórios e uma com um dormitório. São 153 apartamentos ao total, distribuídos em 17 pavimentos, todos com vaga de garagem, em um lote com 4845,26m². Na Figura 33 podemos verificar a perspectiva do condomínio.

Figura 33 – Empreendimento 1 (alvenaria estrutural sob pilotis)



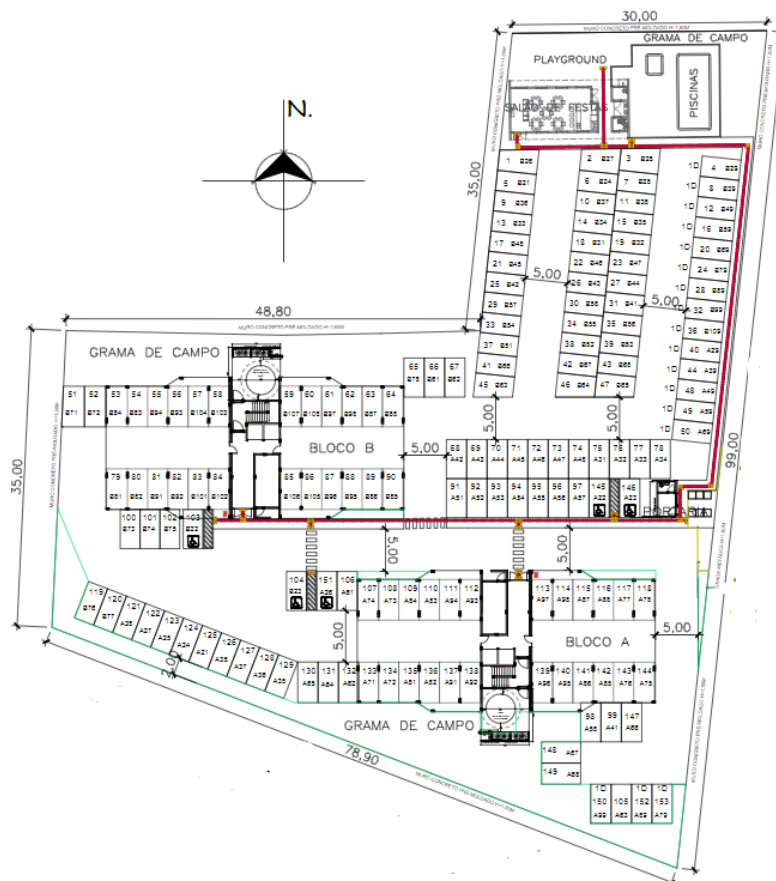
Fonte: Acervo da construtora B

O empreendimento tem a fundação constituída de estacas de concreto armado do tipo hélice contínua, pilotis de concreto armado, vigas e laje de transição em concreto armado, pavimentos-tipo de alvenaria estrutural com laje pré-moldada.

A concepção arquitetônica do projeto foi desenvolvida para a utilização da alvenaria estrutural como sistema construtivo, ou seja, **a construtora projetou para o sistema em alvenaria estrutural**. Visto o tamanho do lote e a necessidade de incluir vagas de estacionamento para todos os apartamentos, foi feito o acréscimo do concreto armado como estrutura de transição. A torre B possui um pavimento a mais do que a torre A, pois o índice de aproveitamento do terreno é de 1,4996 (para um máximo de 1,5), portanto as torres possuem projetos estruturais diferentes para um

mesmo projeto arquitetônico. Na Figura 34 consta a implantação do condomínio, se pode verificar que 48 vagas das 153 unidades totais ficam sob os pilotis.

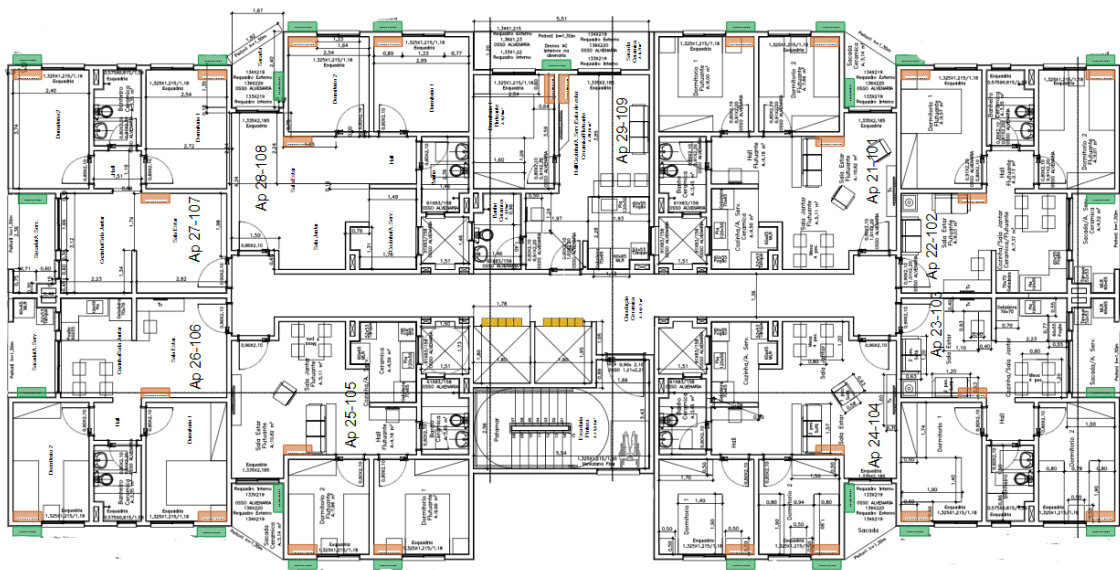
Figura 34 – Implantação do empreendimento 1



Fonte: Acervo da empresa B

Na Figura 35, temos o projeto arquitetônico do pavimento-tipo, pode-se analisar que a tipologia de ponta foi devidamente adequada para as condições ideais da alvenaria estrutural, como a realização do projeto a partir do quadriculado multimodular de referência. Esta tipologia já foi utilizada em outros empreendimentos da construtora, em blocos convencionais com quatro apartamentos por pavimento, todos iguais. Portanto, esta tipologia foi “reaproveitada” para este empreendimento, visto que ela tem um ótimo aproveitamento da área e cada cômodo tem as medidas próximas ao mínimo exigido pelo plano diretor. Contudo, mais a frente nesta pesquisa, podemos perceber que esta tipologia empregou algumas dificuldades executivas no pavimento de transição, justamente por que esta planta foi desenvolvida para um empreendimento convencional de alvenaria estrutural. As tipologias de meio e de 1 dormitório foram desenvolvidas originalmente para este pavimento-tipo.

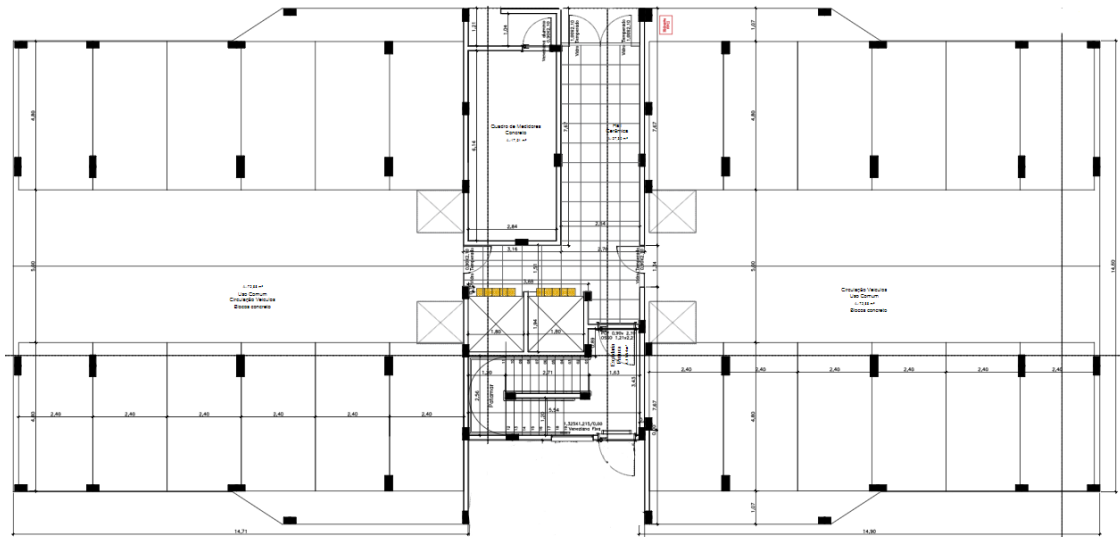
Figura 35 – Planta baixa do pavimento tipo



Fonte: Acervo da empresa B

Na Figura 36, temos o projeto arquitetônico do térreo da edificação, nele o principal objetivo foi incluir o maior número de vagas de estacionamento.

Figura 36 – Planta baixa térreo (pilotis)



Fonte: Acervo da empresa B

Para facilitar o entendimento das diferenças que ocorrem entre os sistemas neste empreendimento, o Quadro 13 faz uma análise global a partir dos subsistemas que interagem entre eles.

Quadro 13 – Análise global dos sistemas - estrutura

SISTEMA	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	MATERIAL	ESPECIFICAÇÕES	DIMENSÕES	LIGAÇÃO
ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA	Alvenaria	Blocos cerâmicos de 15 Mpa, 10Mpa e 7Mpa	Conforme projeto estrutural de cada pavimento (variável)	Blocos 44cm, 29cm, 24cm, 21cm, 19cm, 14cm e 4cm	Argamassa de assentamento
		Argamassa	Argamassa industrializada de 7Mpa e 5Mpa	Conforme projeto estrutural de cada pavimento (variável)	Junta de 1cm +/- 0,3mm	Água no substrato quando necessário
		Aço	Barras de 10mm e treliça TG 8 L	Fixar transpasses de 50mm nas vigas de transição e na alvenaria do pavimento anterior, pontos de graute conforme projeto estrutural de cada pavimento (variável)	Conforme projeto	Graute
		Graute	Graute industrializado de 30Mpa, 20Mpa e 15Mpa (conforme pavimento)	Inspeção de graute na 1ª fiada, umedecer o ponto antes do grauteamento e conferir a integridade da concretagem (ocos)	Totalmente preenchido	Água para limpeza do ponto de graute
		Verga/ Contraverga	Elementos pré-moldados em concreto armado	Conforme projeto estrutural	Garantir a medida da extensão do vão mais o reforço	Argamassa de assentamento e graute
TRANSIÇÃO	ESTRUTURA	Formas	Madeira pinus bruta 2,5mm para vigas, chapa de compensado resinado plastificado 12mm para fundo de laje, madeira eucalipto bruta 2,5mm para pilares	Projeto de formas das vigas foi dimensionado para compensado resinado, contudo foi utilizado madeira de pinus bruta.	Conforme projeto	Travamento das tábuas de 30cm com sarrafos na vertical para compor a altura das vigas
		Escoramento	Elementos de escoramento metálicos: Cinta, barra de ancoragem, escora pontual e aprumadora, cruzeta, presilha, cabeçal e porca	Cimbramento conforme projeto estrutural da empresa fornecedora dos elementos metálicos	Conforme projeto	Sargentos fixados através de presilhas e porcas, escoras acima de tábuas impedindo contato com o solo
		Armaduras	Vergalhão CA-50 de bitolas variadas: 25mm, 20mm, 16mm, 12,5mm, 10mm, 8mm e 6,3mm.	Conforme projeto estrutural, pavimento de transição possui 82 vigas	Armadura positiva e negativa em até 3 camadas, estribos e armadura de pele com detalhes específicos, espaçamento entre camadas de 2cm	Concreto
		Concreto	Concreto classe C30, fator a/c <0,60, módulo de elasticidade 27.000 Mpa e brita 1.	Molhar abundantemente as formas antes na concretagem, planejar e executar a cura controlada do concreto, não permitir contaminação das armaduras com barro ou outras impurezas	Cobrimento da armadura de 3cm	Água para limpeza das formas

Fonte: Autor

Quadro 14 – Análise global dos sistemas - instalações

SISTEMA	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	MATERIAL	ESPECIFICAÇÕES	DIMENSÕES	LIGAÇÃO
ALVENARIA ESTRUTURAL	INSTALAÇÕES	Instalações elétricas	Caixa elétrica de embutir octogonal e eletroduto flexível	Conforme projeto elétrico compatibilizado com o estrutural / Eletrodutos e caixas de passagem concretadas nas lajes pré-moldadas / Deixar espera nas calhas grauteadas / Passar eletroduto dentro do gomo do bloco	Furar a alvenaria com serra-copo de 100mm	Caixa sob pressão na alvenaria
		Instalações hidrossanitárias	Shaft de alvenaria de vedação nas paredes / Forro de gesso acartonado RU / Fita intumescente na divisão vertical	Furos dispostos na posição de projeto nas lajes pré-moldadas / Executar shaft de alvenaria de vedação até a 8ª fiada / Finalizar prumada pavimento de cima / Concluir shaft	Conforme projeto para furações / Shaft 60cm x 30cm	Chumbamento da tubulação com graute
		Instalações de gás	Guias de sacrifício para embutir as valas na laje pré-moldada / Massa preta para envelopamento da tubulação / Graute no bloco na parede	Canaleta nas lajes pré-moldadas / Embutido no gomo do bloco e grauteado	Tamanho da vala que garanta que a tubulação fique totalmente embutida na laje	Paginação conforme projeto
TRANSIÇÃO	INSTALAÇÕES	Instalações elétricas	Caixa de passagem de PVC octogonal na laje / Eletroduto de PVC flexível na laje / Eletroduto rígido de PVC / Condulete de PVC c/ rosca e tampa	Posicionar tubulações conforme projeto / Concretagem da laje e vigas de transição / Iluminação pilares e vigas através de tubulação externa	Conforme projeto elétrico	Parafuso para fixação das abraçadeiras
		Instalações hidrossanitárias	Esperas nas lajes de PVC / Tubulações de PVC Esgoto e água fria / Fita Walsywa para fixação / Tubo PEX monocamada para concretagem do dreno do ar nas vigas / Conexão fixa macho PEX / Adaptador com rosca PVC água fria	Posicionar os furos conforme projeto / Posicionar tubulações PEX entre vigas / Conferir reforço de furo para passagem das tubulações / Concretar laje / Montagem das tubulações	Conforme projeto hidrossanitário	Ligações de finalização feitas na alvenaria e após desforma do pavimento de transição
		Instalações de gás	Guia de sacrifício para embutir as valas na laje moldada in loco	Furos dispostos na posição de projeto nas lajes pré-moldadas	Conforme projeto de gás	Chumbamento da tubulação com graute

Fonte: Autor

3.1.2.2 Empreendimento 2 (parâmetro de alvenaria estrutural da construtora)

Com início de obras em abril de 2018, o empreendimento 2 é um residencial multifamiliar do programa MCMV, faixa 2, também localizado no município de São Leopoldo. O empreendimento possui somente um tipo de planta, com dois dormitórios, sendo quadro apartamentos iguais por pavimento. São 160 apartamentos no total, em um lote com 8641m². Abaixo, na Figura 37, temos a perspectiva do empreendimento.

Figura 37 – Empreendimento 2 (alvenaria estrutural convencional)



Fonte: Acervo da empresa B

O empreendimento tem a fundação constituída de estacas de concreto armado do tipo hélice contínua, radier de concreto armado, pavimentos-tipo de alvenaria estrutural com laje pré-moldada.

A concepção arquitetônica do projeto foi desenvolvida para a utilização da alvenaria estrutural como sistema construtivo, ou seja, a construtora projetou para o sistema em alvenaria estrutural. Na Figura 38 temos a implantação do condomínio.

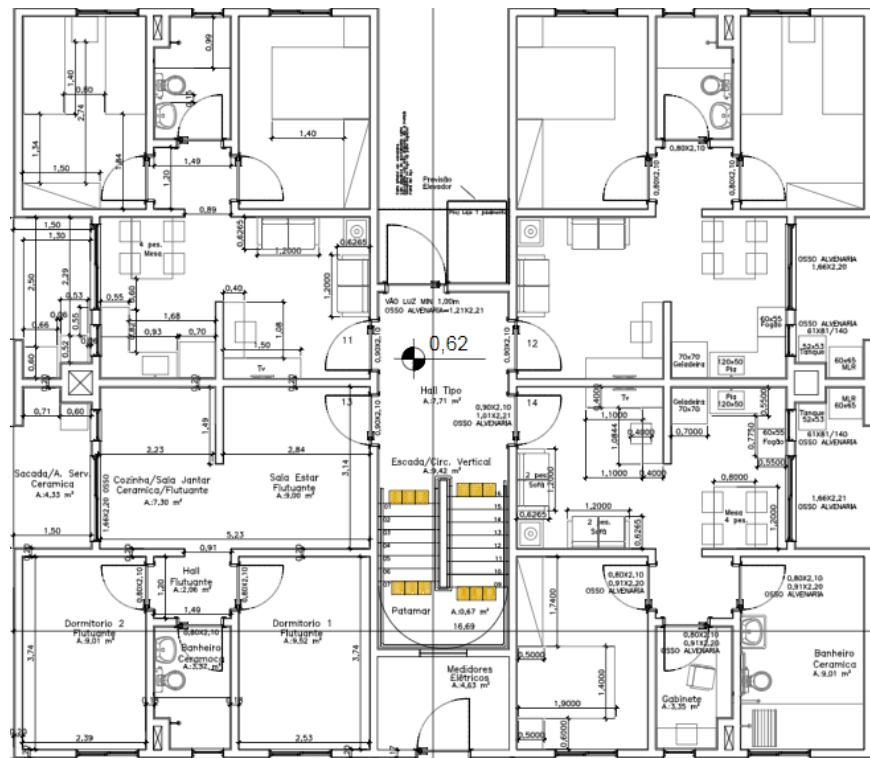
Na Figura 39, através da planta do pavimento tipo de empreendimento 2, podemos verificar que a tipologia é a mesma do apartamento de canto do empreendimento 1.

Figura 38 – Implantação do empreendimento 2



Fonte: Acervo da construtora B

Figura 39 – Planta baixa do pavimento tipo



Fonte: Acervo da empresa B

3.1.2.3 Ficha técnica comparativa – empreendimento 1 e 2

Através da Tabela 2, pode ser feita a análise comparativa de alguns dados técnicos dos dois empreendimentos, tais dados facilitam o entendimento das diferenças entre as duas obras e pode-se compreender por que a construtora resolveu investir em obras com dois métodos construtivos empregados.

Tabela 2 – Comparativo da ficha técnica das duas obras

DESCRIÇÃO	EMPREENHIMENTO	
	1 (transição)	2 (convencional)
Localização	São Leopoldo - RS	São Leopoldo - RS
Total apartamentos	153 apartamentos	160 apartamentos
Área do terreno	4837m ²	8641m ²
Total Torres	2 torres	8 torres
Total pavimentos	10 e 9 pavimentos	5 pavimentos
Aptos por pavimento	9 apartamentos	4 apartamentos
Área aptos	51,13m ²	51,72m ²
Índice de aproveitamento	1,4996	0,8961
Área construída	7266,14m ²	7508,00m ²
Taxa de ocupação	21,00	21,00
Tipologias	3	1
Área de projeção dos prédios	1076,26m ²	1238,87m ²
Prazo	21 meses	11 meses

Fonte: Autor

Analisando a tabela acima, se pode afirmar que para construir um número bem próximo de unidades (153 para 160) no empreendimento com transição, foi utilizado um lote com apenas 56% da área do lote do empreendimento convencional.

Se observa que a área construída também é muito próxima, no empreendimento 1 temos uma área construída equivalente a 97% da área construída do empreendimento 2. O índice de aproveitamento do empreendimento 1 também é muito superior: 1,4996 para um máximo de 1,5, contra 0,8961 do empreendimento 2.

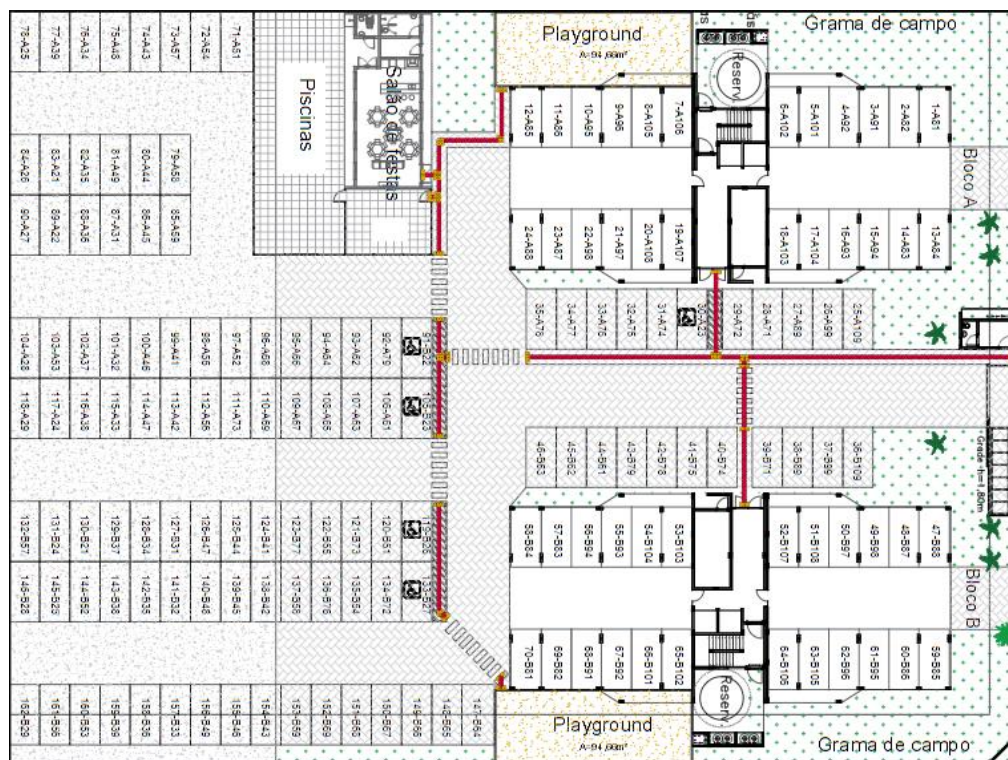
Apesar de serem empreendimentos muito parecidos em termos de áreas e unidades de apartamentos, a construtora previu um prazo com dez meses a mais de construção para o empreendimento 1, quase o dobro do prazo total do

empreendimento 2, visto a complexidade do empreendimento e pela construção de estruturas de transição ser uma inovação dentro da construtora.

3.1.2.4 Empreendimento 3

O empreendimento 3 teve início de obras em dezembro de 2018, 14 meses depois do empreendimento 1 (primeiro com estrutura de transição da construtora). Localizado em Novo Hamburgo – RS, possui o mesmo projeto arquitetônico e estrutural, com exceção do número de pavimentos. Por se tratar de um terreno maior, se pôde incluir 1 pavimento a mais na segunda torre. São 162 apartamentos ao total, todos com vaga de garagem. Na Figura 40 temos a implantação do condomínio.

Figura 40 – Implantação do empreendimento 3



Fonte: Acervo da empresa B

As melhorias implementadas nesse empreendimento foram majoritariamente na etapa de execução, visto que os projetos eram anteriores ao empreendimento 1. Ou seja, este empreendimento deveria ter sido lançado antes do empreendimento 1, porém por questões burocráticas e pendências do município ele foi lançado após, contudo, os projetos e detalhamentos já estavam todos prontos e não foi possível

adaptar o projeto as falhas que foram verificadas na execução do primeiro empreendimento.

3.1.2.5 Empreendimento 4

O empreendimento pertence a empresa V, que constrói a mais de 10 anos obras de alvenaria estrutural com estruturas de transição em concreto armado. Com localização em Canoas – RS, são 384 apartamentos, distribuídos em 4 torres com 12 pavimentos tipos em alvenaria estrutural, estrutura de transição em concreto armado no 1º pilotis e estrutura de concreto armado pré-moldado no 2º pilotis, as fundações são estacas metálicas. Na Figura 41 consta a implantação do condomínio.

Figura 41 – Implantação do empreendimento 4



Fonte: Acervo da empresa V

O empreendimento também pertence ao programa MCMV, faixa 2, os apartamentos possuem área de 52 a 53m², todos com dois dormitórios. A estrutura de transição fica somente abaixo da projeção do pavimento tipo de alvenaria estrutural, contudo, no entorno das torres, toda área de uso comum está sob o pilotis de concreto armado pré-moldado. No térreo temos um pavimento de concreto armado pré-moldado, utilizado para estacionamento.

As informações coletadas sobre este empreendimento foram utilizadas somente na última etapa desta pesquisa, onde foi estabelecida uma instrução de trabalho para estruturas de transição.

3.2. PROBLEMÁTICA

Esta pesquisa busca avaliar tecnicamente as seguintes questões:

a) Impacto da inserção de estruturas de concreto armado em obras de alvenaria estrutural: Avaliação das adaptações feitas pela construtora e principais dificuldades encontradas;

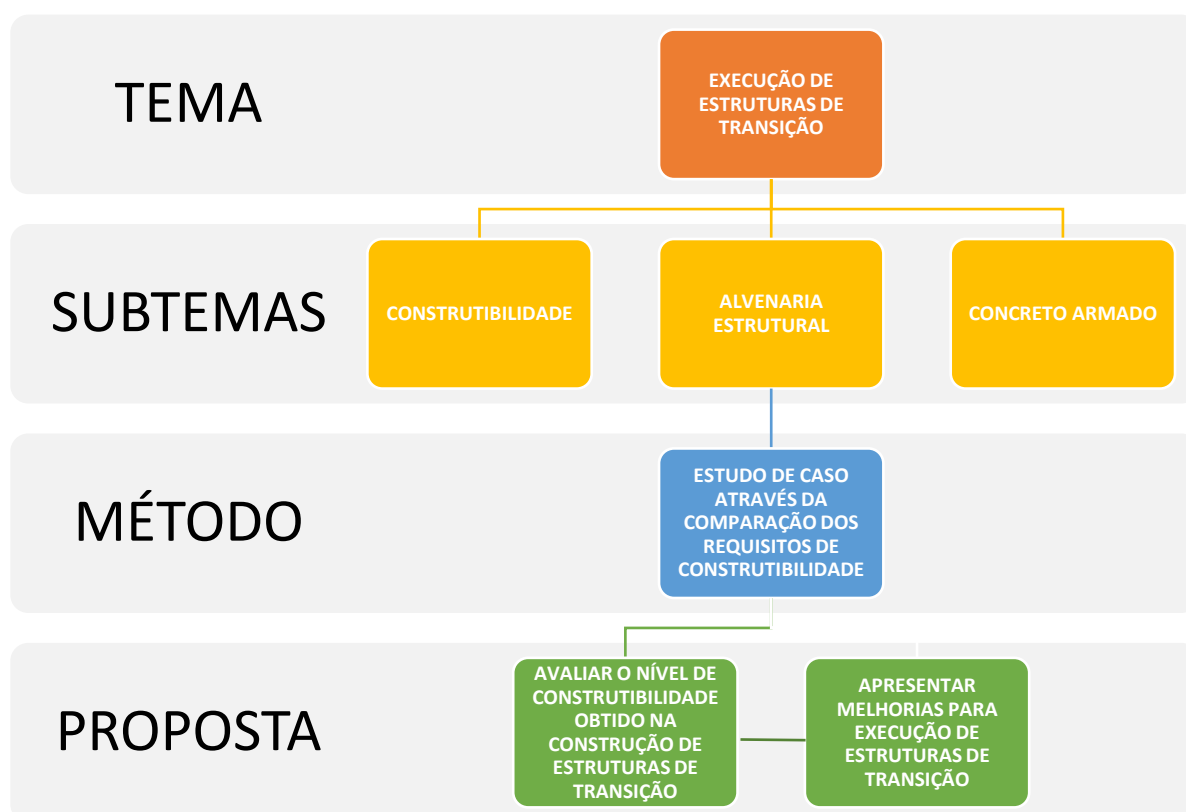
b) Estruturas de transição em termos de logística de execução;

c) Considerações acerca da construtibilidade para os dois métodos: Quantificar qual método possui maior construtibilidade;

d) Avaliar o impacto de construtibilidade ao implementar sistema auxiliar de concreto armado na alvenaria estrutural.

Para fins de esclarecimento, a Figura 42 apresenta a diagramação da proposta da pesquisa.

Figura 42 – Proposta da pesquisa



Fonte: Autor

3.3 ETAPA SELETIVA

Os dados coletados têm como objetivo principal identificar as principais restrições encontradas pela construtora na execução da obra do estudo de caso e através destes dados, avaliar a construtibilidade geral para esta obra, evidenciando as falhas encontradas em cada processo. Para obtenção dos dados serão utilizados os seguintes meios:

a) **Visita às obras:** Este método permite a observação direta do processo de execução das obras da empresa, objetivando identificar as diferenças globais entre ambas e perceber quais os problemas encontrados dentro do canteiro de obras diariamente. O empreendimento 1 foi acompanhado pelo autor durante toda a execução, de outubro de 2017 à novembro de 2019.

b) **Documentação fornecida pela empresa:** Coleta dos projetos (arquitetônico, estrutural, instalações e detalhamentos), memoriais descritivos, cronograma das obras, diários de obra;

c) **Entrevista com funcionários:** Relacionar os requisitos de construtibilidade com o projeto, produto e processo de cada obra através de entrevistas semiestruturadas, principalmente com diretoria, projetistas e engenheiros. No formulário incluso no **Apêndice A**, estão contidos os requisitos de construtibilidade, que foram utilizados de roteiro para a entrevista (a coluna três refere-se a problemas já encontrados na execução, que servem de incentivo ao entrevistado para adentrar aos assuntos, ou seja, trata-se de uma entrevista estruturada). Foram entrevistadas sete pessoas da empresa através desse questionário, entre membros da equipe técnica da obra, gestor de planejamento, gestor técnico e engenheiros de outras obras da empresa;

d) **Entrevista com terceiros:** Visto que a construtora não possui experiência com concreto armado, as entrevistas com terceiros terão como objetivo principal buscar diferentes alternativas e otimizações feitas no processo de execução de estruturais de transição, visando a melhoria do próprio processo da empresa, com possíveis novas técnicas;

f) **Pesquisa bibliográfica:** Construtibilidade, alvenaria estrutural, concreto armado e alvenaria estrutural com elementos de transição.

3.4 ETAPA ANALÍTICA

Nesta etapa ocorreu a análise das informações que foram obtidas através do conteúdo técnico adquirido através da fundamentação teórica, as informações do estudo de caso e as informações obtidas do questionário aplicado a equipe técnica.

Todo conteúdo obtido foi dirigido de forma que houvesse a possibilidade de fazer uma avaliação através dos dez requisitos de construtibilidade, ou seja, não houve outro método de avaliação que não a construtibilidade. Para facilitar o entendimento, cada requisito foi avaliado e apresentado em forma de gráfico de colunas, sendo quatro barras que representam gradativamente o quanto o sistema construtivo atende a cada requisito. O Quadro 15 possui as ferramentas que possibilitaram a análise dos requisitos de estudo.

Quadro 15 – Ferramentas de análise da construtibilidade

REQUISITOS	PROJETO	MEMORIAL DESCRITIVO	PLANEJAMENTO	ORÇAMENTO	VISITA TÉCNICA	ENTREVISTA	PÓS OBRA
Padronização	✘				✘		
Simplificação	✘		✘		✘		
Acessibilidade				✘	✘	✘	
C. Climáticas			✘		✘		
Manutenibilidade	✘	✘			✘		✘
Segurança				✘	✘	✘	
Otimização	✘	✘	✘	✘	✘	✘	
Compatibilidade	✘				✘		
Adequação		✘			✘		
Projetar	✘			✘		✘	

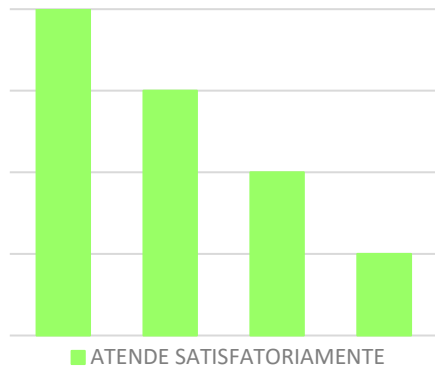
Fonte: Autor

3.5 ETAPA INTERPRETATIVA

Através dos dados obtidos nas etapas anteriores utilizando as ferramentas de análise do Quadro 15, foi possível comparar as duas obras através dos dez requisitos de construtibilidade adaptados de Zucchetti (2010). Para interpretar os resultados, foi disposta uma avaliação em forma de gráfico de colunas, no total são quatro barras representando o atendimento do sistema construtivo para determinado requisito, elas representam de forma crescente, respectivamente, não atende, atende parcialmente, atende e atende satisfatoriamente. Para um requisito que não for possível aplicar ao

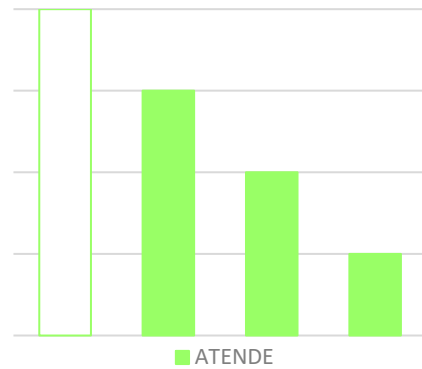
sistema construtivo, será representado pelo símbolo de não aplicável. Nos gráficos 2, 3, 4, 5 e 6 temos a representação das simbologias dos critérios de avaliações.

Gráfico 2 – Atende satisfatoriamente



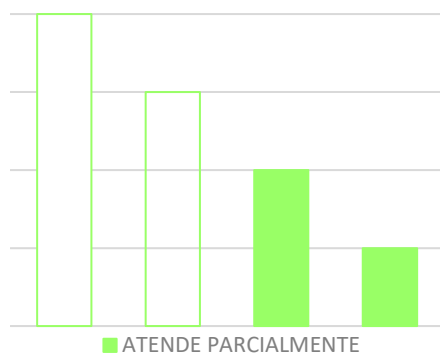
Fonte: Autor

Gráfico 3 – Atende



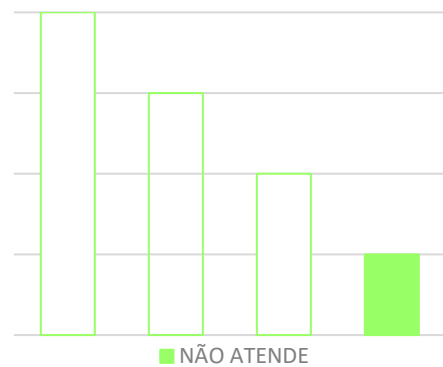
Fonte: Autor

Gráfico 4 – Atende parcialmente



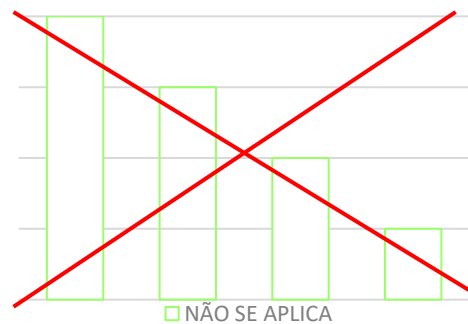
Fonte: Autor

Gráfico 5 – Não atende



Fonte: Autor

Gráfico 6 – Critério de avaliação – Não aplicável



Fonte: Autor

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Este capítulo exhibe a análise de resultados obtidos através desta pesquisa. Considerando os requisitos de construtibilidade descritos ao longo deste trabalho, a avaliação dos dois sistemas estruturais – alvenaria estrutural convencional e alvenaria estrutural com elementos de transição – pôde ser feita através deste estudo de caso dentro de uma mesma obra que utiliza os dois métodos.

Nos subcapítulos seguintes, cada sistema estrutural é avaliado conforme critério definido na etapa interpretativa para cada requisito e sub-requisito de construtibilidade. Por fim, é possível fazer uma comparação geral da construtibilidade entre os dois sistemas. O empreendimento 1 foi utilizado para avaliação da alvenaria estrutural e avaliação da estrutura de transição, no entanto, a alvenaria estrutural do empreendimento 2 pode ser considerada igual à do empreendimento 1 (pois se trata de exatamente os mesmos processos, métodos construtivos, padrão da obra e mesma construtora). A análise neste capítulo foi feita para os dois sistemas na mesma obra por se tratar da mesma planta e, portanto, as percepções das diferenças ficam mais evidentes e legítimas.

Através da avaliação destes requisitos, é possível perceber as potencialidades e restrições de cada sistema. Cada requisito apresenta uma breve descrição das situações encontradas nos projetos e execuções das duas obras.

4.1 PADRONIZAÇÃO

No requisito de padronização, percebe-se que a alvenaria estrutural tem um bom desempenho, tanto na fase de projeto quanto na fase de planejamento. O sistema possui solução para a padronização dos elementos e coordenação de medidas dimensionais, os componentes são amplamente utilizados e repetidas vezes dentro do canteiro de obras. Contudo, segundo a NBR 15873 (ABNT, 2010), a coordenação modular deve ocorrer através de uma medida padrão conhecida como módulo básico de 10mm, essa técnica não foi devidamente utilizada para os dois projetos de alvenaria estrutural, visto que o objetivo principal na fase de projeto era atingir as áreas mínimas para cada cômodo do apartamento. O ideal para a construtibilidade na alvenaria estrutural neste quesito, é utilizar a mesma família de blocos, ou seja, blocos com dimensões que encaixem entre si sem necessidade de complementação para

atingir a totalidade da dimensão do projeto. Blocos compensadores de 4 cm x 14 cm x 19cm foram utilizados para complementar as paginações e elevações da alvenaria, bem como blocos de dimensões especiais como 24 cm x 14 cm x 19 cm, 21 cm x 14 cm x 19 cm e 19 cm x 14 cm x 19 cm, principalmente nas portas, devido a elas não obedecerem a coordenação modular.

Apesar do uso de blocos de dimensões especiais no pavimento tipo da alvenaria estrutural, através do quantitativo de blocos utilizados em cada pavimento (kanban) pode-se perceber que não são elevadas quantidades. Percebe-se que não acarretou grandes restrições a construtibilidade no requisito de modularização. Para a estrutura de transição em concreto armado, a coordenação dimensional é observada pois o objetivo era incluir o maior número de vagas de estacionamento sob os pilotis. Contudo, visto o projeto elaborado um independente do outro, ou seja, o pavimento tipo em alvenaria estrutural teve um objetivo específico (áreas mínimas) e o pilotis outro (maior número de vagas), a interface entre vigas/alvenaria teve que se adaptar aos dois projetos, isso acarretou em várias restrições a construtibilidade neste sub-requisito, como a seções das vigas bastante variadas e o uso de diferentes bitolas de armaduras.

A alvenaria estrutural atendeu o sub-requisito referente a repetição nos processos e atividades construtivas, a única incidência de falha foi a falta de compatibilização entre o projeto do elevador e o vão osso da alvenaria, que para atender as dimensões necessárias para a porta do elevador, houve necessidade de incluir uma alvenaria de vedação posteriormente a execução da alvenaria do pavimento. A execução da estrutura de transição atende satisfatoriamente o sub-requisito de repetição de processos visto que a execução da estrutura se deu conforme o planejamento para as duas torres, inclusive com reutilização dos materiais, pois cada torre foi concretada em duas etapas (separadas pela dilatação), assim quando o concreto atingia a idade mínima para desforma, o material pôde ser encaminhado à outra torre.

A alvenaria estrutural apresentou desempenho satisfatório no emprego de componentes e conexões padronizadas com a utilização de blocos, argamassa de assentamento, armaduras e graute com especificações bastante comuns e amplamente utilizadas no mercado da construção civil. Os subsistemas de instalações e revestimentos na alvenaria estrutural não apresentaram nenhum componente ou conexão que não possuísse especificações acessíveis e padronizadas. Já a estrutura

de transição não atende a esse requisito de construtibilidade, visto a grande variabilidade de materiais e componentes utilizados no subsistema de instalações elétricas e hidráulicas, necessitando de adaptadores para mudança de materiais (PEX-PVC) nas tubulações de drenos de ar condicionado. O projeto elétrico não considerou a grande robustez (altura) das vigas e as tubulações precisaram ser definidas após a estrutura pronta, foram utilizados eletrodutos rígidos aparentes com uma elevada utilização de curvas de 90° e luvas para ligação.

Na precisão dimensional, a alvenaria apresentou desempenho satisfatório visto a qualidade da execução, com juntas horizontais e verticais dentro das tolerâncias, nível, prumo e esquadro dentro das tolerâncias e alta qualidade da alvenaria em geral, nesse requisito é perceptível a experiência da empresa na execução desse tipo de sistema. A estrutura de transição não apresentou precisão dimensional visto a qualidade inadequada do material utilizado para as fôrmas (madeira pinus bruta), além do material ter sido reutilizado nas quatro concretagens. O dimensionamento dos cimbramentos foi feito considerando a utilização de outro material (chapa compensada plastificada), por esse motivo, ocorreu abertura de algumas fôrmas nas concretagens, além de alta incidência de rebarbas no concreto (espaço que ficou entre as tábuas de 30 cm para compensação da altura da viga).

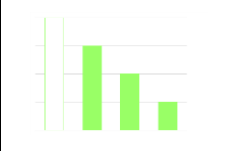
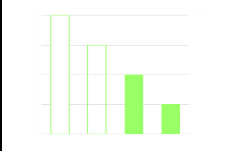
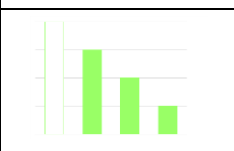
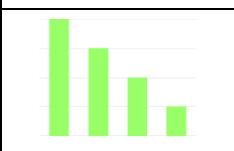
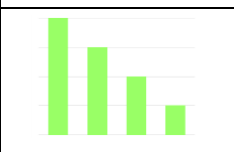
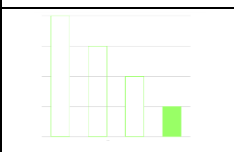
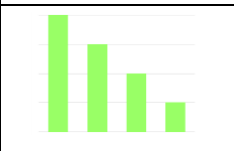
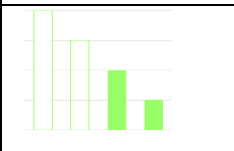
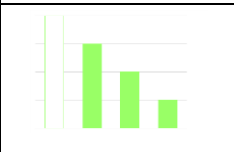
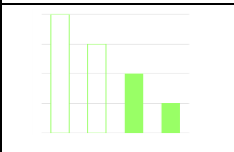
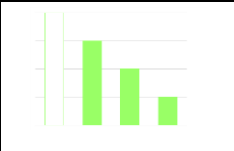
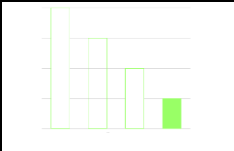
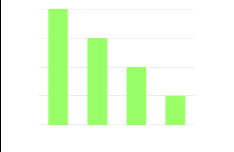
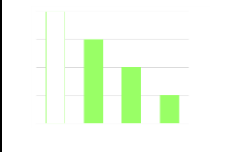
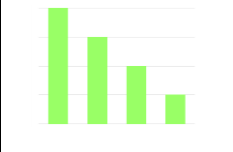
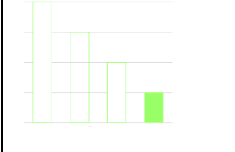
O empreendimento com transição não atendeu ao requisito de padronização dos projetos, principalmente no projeto de armadura das vigas, foi verificado que das 82 vigas presentes na composição do pavimento de transição, 64 delas possuíam um projeto de armadura específico, não havendo repetição de seção de viga, ou seja, somente 9 vigas possuíam uma repetição de projeto, além disso, nenhuma repetição ocorreu mais que duas vezes.

É de conhecimento geral que a alvenaria estrutural utiliza a racionalização, ou seja, no sub-requisito referente produtividade através da redução do desperdício de materiais, tempo e utilização de equipamentos de auxílio, ela atendeu satisfatoriamente visto o alto detalhamento dos projetos que permite uma visualização previa tanto da execução quanto do quantitativo de material. A estrutura de transição analisada não atendeu a este requisito, visto a falta de projetos executivos que facilitassem a sequência construtiva, como um plano de montagem para as armaduras de vigas, uma etapa que se estendeu mais do que o planejado pela empresa.

O Quadro 16 apresenta a análise do requisito de padronização para cada sub-requisito dos dois sistemas construtivos. Nele é possível verificar o nível de construtibilidade que cada método atingiu em cada item.

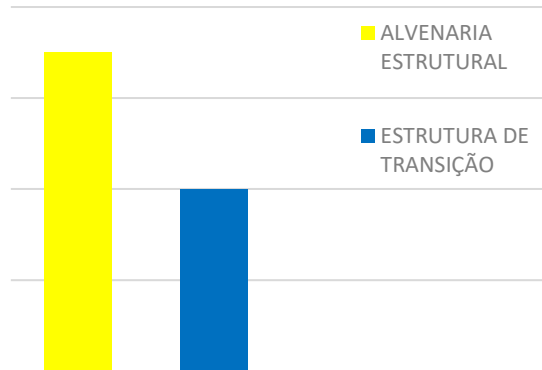
No Gráfico 7 consta o resultado para o requisito de padronização, onde a alvenaria estrutural apresentou maior construtibilidade.

Quadro 16 – Análise do requisito - padronização

REQUISITO		ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO	
PADRONIZAÇÃO	Emprega dimensões modulares, repetição de tamanhos de componentes e de detalhes de conexão, minimizando a variabilidade dos produtos e processos e simplificando as operações de canteiro.			
	Utiliza repetição nos processos e atividades construtivas.			
	Emprega componentes com conexões padronizadas e acessíveis			
	Pré-fabricação	Apresenta precisão dimensional e tolerâncias compatíveis com os processos de montagem		
		Apresenta conectividade com outros componentes do mesmo elemento, com outros elementos do mesmo subsistema e com outros subsistemas.		
		Fornecer condições para a padronização de projetos.		
		Fornecer condições e dimensões máximas adequadas para o transporte, armazenamento e instalação.		
		Reduz o desperdício de materiais, o tempo de execução e de utilização de equipamentos de auxílio.		

Fonte: Autor

Gráfico 7 – Resultado da avaliação entre os sistemas – padronização




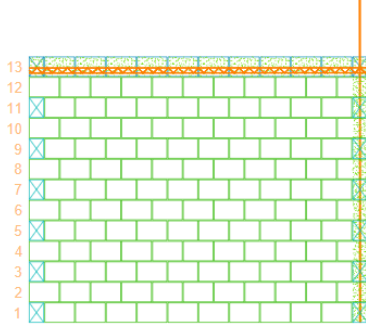
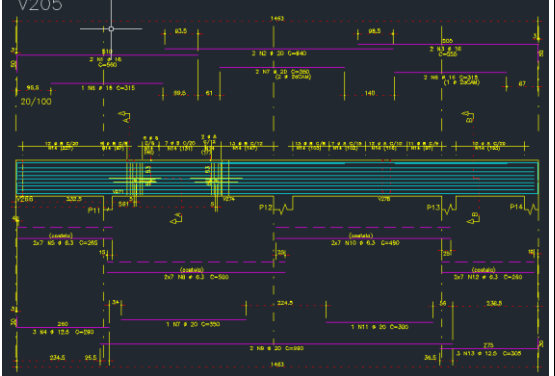

Fonte: Autor



No quadro 17 constam os dados do estudo de caso que serviram de embasamento teórico e prático para a conclusão acerca da construtibilidade para os dois sistemas no requisito de padronização.

Quadro 17 – Dados do estudo de caso – padronização

(continua)

PADRONIZAÇÃO	SISTEMA CONSTRUTIVO														
	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO													
	<p>BLOCOS ESTRUTURAIS (largura = 14 cm)</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td></td> <td>BLOCO (14 x 19 x 29)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>BLOCO E MEIO (14 x 19 x 44)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>MEIO BLOCO (14 x 19 x 14)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>COMPENSADOR 04 (14 x 19 x 04)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>COMPENSADOR 09 (14 x 19 x 09)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>BLOCO ESPECIAL 24 (14 x 19 x 24)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>BLOCO ESPECIAL 19 (14 x 19 x 19)</td> </tr> </tbody> </table>		BLOCO (14 x 19 x 29)		BLOCO E MEIO (14 x 19 x 44)		MEIO BLOCO (14 x 19 x 14)		COMPENSADOR 04 (14 x 19 x 04)		COMPENSADOR 09 (14 x 19 x 09)		BLOCO ESPECIAL 24 (14 x 19 x 24)		BLOCO ESPECIAL 19 (14 x 19 x 19)
	BLOCO (14 x 19 x 29)														
	BLOCO E MEIO (14 x 19 x 44)														
	MEIO BLOCO (14 x 19 x 14)														
	COMPENSADOR 04 (14 x 19 x 04)														
	COMPENSADOR 09 (14 x 19 x 09)														
	BLOCO ESPECIAL 24 (14 x 19 x 24)														
	BLOCO ESPECIAL 19 (14 x 19 x 19)														
<p>Uso de apenas dois tipos de blocos especiais e dois blocos compensadores na execução do pavimento tipo de alvenaria estrutural.</p>	<p>Alta variabilidade de seções de viga, incluindo mudança de seção de em uma mesma viga por influência da disposição da alvenaria estrutural.</p>														

	
<p>Alvenaria estrutural executada com boa qualidade, conhecimento executivo do sistema pela empresa.</p>	<p>Acabamento aquém do desejado nas vigas devido a utilização de material inadequado na composição das fôrmas.</p>
<p style="text-align: center;">PAREDE 55A</p> 	
<p>Apresenta conectividade entre os elementos e padronização dos componentes.</p>	<p>Apresenta grande variabilidade entre os elementos e complexidade de projeto.</p>
	

<p>Apresenta conectividade com os subsistemas e boa qualidade na execução.</p>	<p>Não apresenta conectividade com os subsistemas, necessitando de tubulações externas implantadas após conclusão da estrutura; elevado carregamento na estrutura impossibilita embutir elementos dos subsistemas; elevada quantidade de peças e conexões.</p>
	
<p>Uso de shaft para passagem das tubulações hidrossanitárias; drenos de ar condicionado embutidos no bloco cerâmico</p>	<p>Mudança do tipo de material utilizado em uma mesma prumada: PVC esgoto para alvenaria e PEX nas vigas acarretando o uso de muitas conexões</p>

<p>Uso da mesma tipologia em dois diferentes empreendimentos, apartamentos de ponta não possuem nenhum bloco especial, perceptível o uso da coordenação modular</p>	<p>O aproveitamento da tipologia da obra convencional de alvenaria estrutural acarretou a falta de compatibilidade com os apoios do pilotis, necessidade de uma viga de seção 0,55x1,00 m e elevada taxa de aço para fazer a compensação estrutural.</p>

Fonte: Autor

4.2 SIMPLIFICAÇÃO

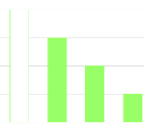
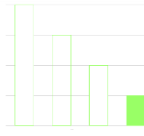
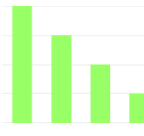
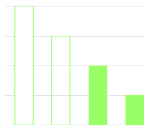
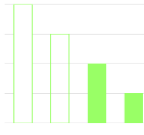
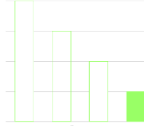
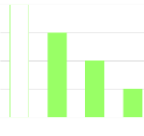
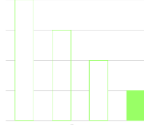
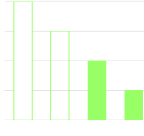
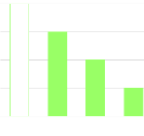
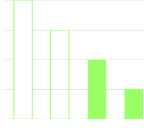
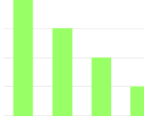
No sistema construtivo em alvenaria estrutural, o uso de projetos para produção e principalmente a compatibilização com os subsistemas de instalações elétricas, hidrossanitárias e gás, totalmente embutidos na estrutura da edificação acrescentam resultados positivos na construtibilidade no requisito de simplificação. Os processos executivos dentro do canteiro de obras estão devidamente interligados. O uso de lajes pré-moldadas diminui a quantidade de atividades dentro do canteiro bem como possibilita um maior controle da qualidade. Este processo diminui o número de trabalhadores no canteiro e possibilita o aproveitamento do guindaste para montagem das lajes, pois a necessidade já ocorreria para o abastecimento dos pallets de blocos no pavimento. A alvenaria estrutural necessita de mão de obra específica que deve

ser devidamente treinada antes de iniciar as atividades na obra. Contudo, ainda assim essa aprendizagem não compromete o cronograma da obra nem a oferta de mão de obra atualmente, visto que o sistema é amplamente utilizado no Brasil.

Em contrapartida do concreto armado para estruturas de transição, a mão de obra no canteiro não deveria ser uma mão de obra convencional da construção civil, visto a alta complexidade dos projetos de formas, armaduras e cimbramentos. A concentração de carpinteiros dentro do canteiro de obras no período da execução do concreto armado é elevada, visto a grande metragem de fôrmas de madeira por m² de estrutura. Os vergalhões vêm cortados e dobrados e a montagem para composição da viga é feita de forma manual, ferreiros e armadores foram necessários em larga escala para concluir essa etapa. Em uma obra convencional, as treliças na alvenaria já vêm prontas e as barras de aço para o graute são de somente um tipo de bitola e todas retas, necessitando de somente um corte. Nos dias de concretagem também é necessária uma quantidade significativa de trabalhadores, visto a necessidade de vibração ser superior a uma estrutura de concreto armado convencional, devido a alta taxa de armadura. O expressivo volume de concreto por pavimento (cerca de 178,4m³) demanda uma concretagem rápida e eficiente para que possa ser feita em um mesmo dia, portanto, também é necessário um maior número de membros da equipe técnica no acompanhamento da concretagem, para receber os caminhões, realizar *slump test*, fazer a rastreabilidade e acompanhar a vibração das vigas (garantindo que toda a extensão de cada viga tenha sido devidamente vibrada). Esta atividade não se repete ao longo da obra, sendo somente dois dias de concretagem.

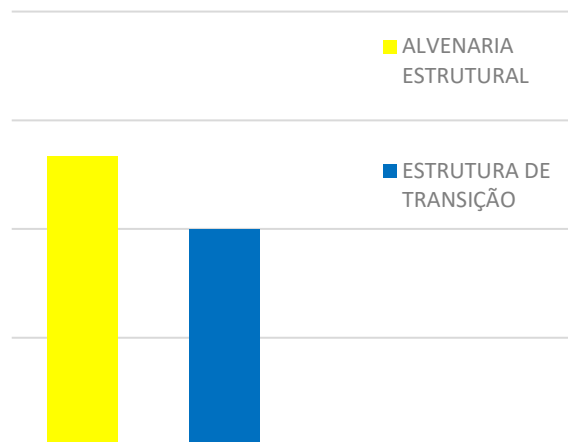
Em termos de armazenamento, a alvenaria estrutural demanda um alto controle dos materiais envolvidos no processo, como bloco cerâmico, argamassa de assentamento estrutural e o aço. Em contrapartida, a estrutura de transição não exige tantos cuidados no armazenamento das fôrmas e aço. A alvenaria estrutural também necessita de uma central de argamassa, diferente do concreto armado, portanto neste quesito, a simplificação da alvenaria estrutural é reduzida. O Quadro 18 apresenta o comparativo do requisito simplificação entre os sistemas construtivos. O gráfico 8 mostra o resultado da avaliação através da média obtida no somatório de cada sub-requisito. O quadro 19 apresenta os dados obtidos no estudo de caso que possibilitaram a conclusão desta análise.

Quadro 18 – Análise do requisito – simplificação

SIMPLIFICAÇÃO	REQUISITO	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO
	Integra diferentes elementos e funções num mesmo elemento, reduzindo as partes e os passos do produto e dos processos.		
	Utiliza materiais, componentes e conexões compatíveis com tamanhos e configurações disponíveis no mercado.		
	Emprega formas simples e minimiza as interdependências.		
	Utiliza conexões simples e de fácil execução, minimizando os tempos de percepção, decisão e manipulação.		
	Permite ajustes dimensionais em canteiro.		
	Exige poucos cuidados quanto ao armazenamento e utilização.		

Fonte: Autor

Gráfico 8 – Resultado da avaliação entre os sistemas – simplificação



Fonte: Autor

Quadro 19 – Dados do estudo de caso – simplificação

		SISTEMA CONSTRUTIVO	
		ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO
SIMPLIFICAÇÃO			
	Após a montagem das lajes pré-moldadas, com o mesmo guindaste é feito o armazenamento do material e a marcação da primeira fiada já pode ser executada.	A dilatação permite a concretagem da transição em duas etapas, assim a alvenaria já pode ir sendo executada enquanto as formas estão em andamento no lado oposto.	
			
	Elementos pré-moldados como vergas e contravergas facilitam a execução, diminuindo a quantidade de mão de obra.	Não emprega formas simples de serem executadas, aumentando o número de trabalhadores no canteiro.	
			
Necessidade de central de argamassa e maiores cuidados com o armazenamento de materiais no canteiro.	Armazenamento das formas e escoras não exigem maiores cuidados. O aço deve ser mantido fora do contato com o solo.		

Fonte: Autor

4.3 ACESSIBILIDADE

Para realizar o içamento das lajes pré-moldadas na alvenaria estrutural é necessário o uso de caminhão *munck* para os primeiros pavimentos e posteriormente, conforme a elevação da edificação, é necessário o uso de guindaste. O abastecimento das lajes é feito no mesmo dia da montagem das mesmas, contudo, apenas metade da quantidade de blocos é abastecida, visto que não há espaço suficiente para abastecer todos os *pallets* e as lajes não suportariam o empilhamento dos mesmos.

Para a estrutura de transição, também é necessária a utilização de caminhão *munck* para o içamento das armaduras das vigas de transição, as armaduras vêm cortadas e dobradas do fornecedor, elas são montadas no canteiro na central de ferragens e içadas já montadas para cima das formas prontas. Para a concretagem das vigas e lajes, é necessária bomba lança de concreto.

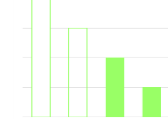
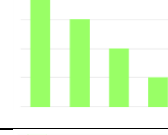
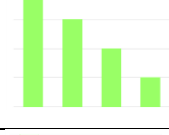
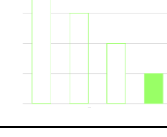
Quanto à estocagem, os dois sistemas não necessitam de grandes locais de armazenamento, com os materiais podendo ser empilhados. Na alvenaria estrutural, é necessária uma central de argamassa coberta para o armazenamento da argamassa de assentamento estrutural, para a estrutura de transição não é necessária cobertura para nenhum tipo de material estocado.

Após a retirada do escoramento de uma obra com pilotis, ocorre a possibilidade de utilizar o espaço como depósito para diversos tipos de materiais utilizados na etapa de instalações, revestimentos e acabamentos, o que não ocorre em uma obra de alvenaria estrutural convencional.

Para a obra com estrutura de transição, principalmente no período onde ocorria a execução de ambos os sistemas (concreto armado e alvenaria estrutural) e por se tratar de um terreno relativamente pequeno, houve uma grande desorganização de materiais no canteiro de obras, visto a elevada quantidade e diversidade de materiais estocados no canteiro (armaduras, formas de madeira, blocos cerâmicos, argamassa de assentamento, peças metálicas de cimbramentos).

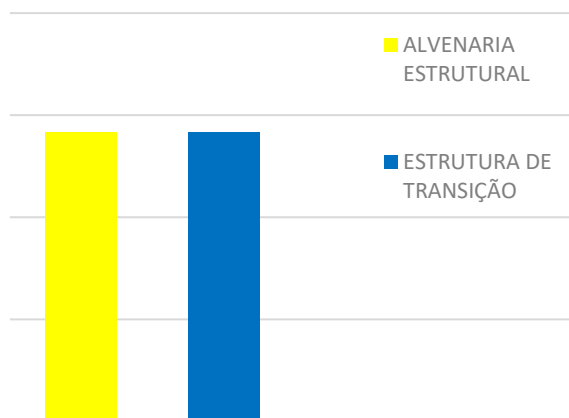
O Quadro 20 contém a análise geral do requisito para os dois sistemas. O Gráfico 9 contém a comparação da média calculada para o requisito de acessibilidade nos dois sistemas. O Quadro 21 contém os dados do estudo de caso necessários para estas conclusões.

Quadro 20 – Análise do requisito – acessibilidade

ACESSIBILIDADE	REQUISITO	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO
	Não necessita de equipamentos especiais para transporte, manipulação, construção e instalação.		
	Não existe espaços especiais para armazenamento e construção.		
	Minimiza os tempos de estocagem de andaimes.		
	Reduz os espaços de estocagem pela possibilidade de empilhamento.		
	Possibilita a minimização de danos causados em trabalhos já concluídos.		
	Não necessitam de proteção especial, particularmente nas arestas, eliminando a preocupação com danos decorrentes de transporte, manipulação, empilhamento, circulação e instalação no canteiro.		

Fonte: Autor

Gráfico 9 – Resultado da avaliação entre os sistemas – acessibilidade



Fonte: Autor

Quadro 21 – Dados do estudo de caso – acessibilidade

		SISTEMA CONSTRUTIVO	
		ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO
ACESSIBILIDADE			
	<p>Processo de transporte e montagem necessita de equipamentos especiais. Necessário uso de guindastes na montagem de lajes e abastecimento de blocos no pavimento.</p>	<p>Processo de transporte e montagem necessita de equipamentos especiais (necessário uso de guindastes para içamento das armaduras das vigas e bombas para o transporte do concreto).</p>	
			
	<p>Reduz os espaços de estocagem pela possibilidade de empilhamento; Estocagem em cima das lajes não podem ser empilhadas devido à sobrecarga, pavimento é abastecido em duas etapas.</p>	<p>Não necessita de espaços especiais de armazenamento; Possibilidade de empilhamento dos materiais de escoramento das fôrmas.</p>	
			
<p>Necessita de proteção nas arestas, como proteções periféricas.</p>	<p>Necessita de proteção nas arestas, como proteções periféricas.</p>		

Fonte: Autor

4.4 INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

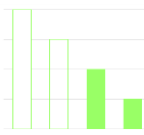
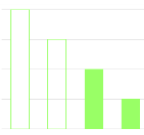
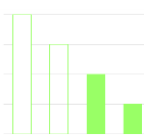
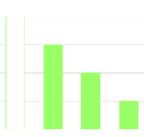
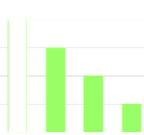
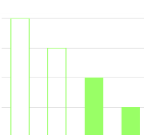
Com a utilização de um método construtivo parcialmente industrializado (obras em análise), a alvenaria estrutural tem as lajes produzidas fora do canteiro de obras, que vêm para montagem após atingirem a idade mínima de resistência do concreto (quatorze dias). Esse processo minimiza a influência das condições climáticas para a alvenaria estrutural, contudo, a montagem das lajes não pode ocorrer em dias de chuva, principalmente pela segurança dos colaboradores envolvidos na atividade. A elevação da alvenaria em dias de chuva não deve ocorrer visto a contaminação da argamassa de assentamento com a água e os blocos não devem possuir excessiva concentração de água, pois a saturação elevada do bloco estrutural prejudica a aderência com a argamassa. Além disso, os *pallets* de blocos cerâmicos devem ser cobertos com lona ou material que impeça o contato com a água enquanto eles estiverem armazenados no canteiro próximos ao uso na estrutura.

Em contrapartida, na execução de estruturas de transição, algumas atividades podem ser executadas em dias de chuva, como a montagem de formas e cimbramentos, pois feito o fundo de viga e fundo de lajes, é possível trabalhar embaixo da estrutura executando os fechamentos laterais de formas e posteriormente, todo o cimbramento e escoramento da estrutura de formas. A montagem de armaduras que ocorre na central de ferragens também pode ocorrer em dias de chuva, pois o local é coberto. O posicionamento das armaduras nas formas não é indicado em dias de chuva visto as condições de segurança, pois tendem a estar escorregadias. Contudo, não há qualquer dano ao material ou qualidade do serviço caso seja feita a montagem com condições climáticas ruins. A concretagem não pode ser feita com a presença de chuva pois a água pode alterar a relação a/c do concreto, alterando sua resistência. Por se tratar de uma concretagem demorada devido ao alto volume de concreto, é imprescindível consultar a previsão do tempo para o dia inteiro de concretagem, por essa razão o sistema atendeu parcialmente o requisito.

Quanto à umidade relativa do ar, para a alvenaria estrutural é recomendado o umedecimento dos blocos quanto a umidade é baixa e o calor excessivo, assim como molhar o ponto de graute antes da concretagem. Para o sistema de transição, a cura do concreto deve ser controlada principalmente quando se tem baixa umidade do ar, pois podem ocorrer fissuras superficiais na laje de concreto por perda de água para o ambiente.

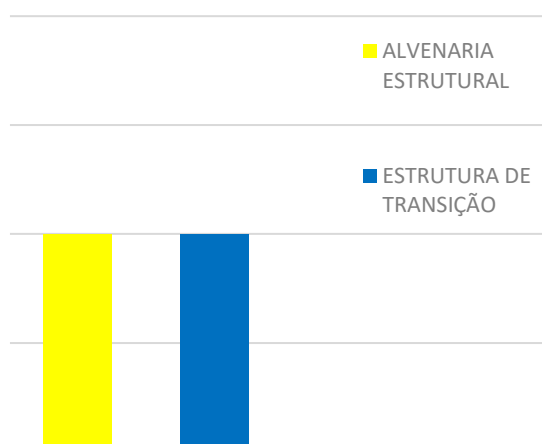
No Quadro 22 temos a análise de cada sub-requisito referente a influência das condições climáticas para as obras com sistema em alvenaria estrutural e com sistema de transição. No gráfico 10 consta o desempenho geral dos dois sistemas no requisito. O Quadro 23 apresenta os dados coletados no estudo de caso que possibilitaram estas conclusões.

Quadro 22 – Análise do requisito – influência das condições climáticas

INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS	REQUISITO	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO
	Minimiza o desenvolvimento de atividades ao ar livre.		
	Permite o fechamento de espaços nas etapas iniciais, possibilitando que estes funcionem como indústrias e/ou armazenem equipamentos e materiais.		
	Utiliza métodos PPMOF ¹ , minimizando trabalhos em canteiro.		

Fonte: Autor

Gráfico 10 – Resultado da avaliação entre os sistemas – influências climáticas



Fonte: Autor

¹ Pré fabricação, pré-montagem, modularização e montagem fora do local definitivo.

Quadro 23 – Dados do estudo de caso – influência das condições climáticas

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	SISTEMA CONSTRUTIVO	
	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO
		
	Blocos devem ser protegidos contra chuva caso houver possibilidade de chuva próximo ao assentamento.	Processo de fôrmas, cimbramentos e escoramentos pode ocorrer em dias de chuva.
		
	Elementos pré-moldados diminuíam a quantidade de tarefas dentro do canteiro de obras.	Longo período de concretagem exige atenção com a previsão do tempo.

Fonte: Autor

4.5 MANUTENIBILIDADE

A fase mais longa de uma edificação é o seu uso e operação, para garantir uma adequada utilização nessa etapa, é importante passar ao usuário todas as informações referentes à edificação, para que o uso e as manutenções sejam adequados.

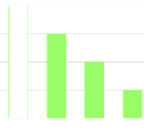

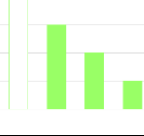
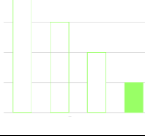
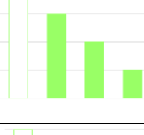
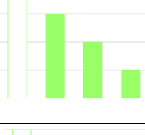
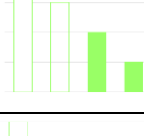
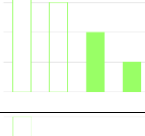
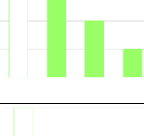
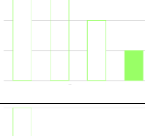
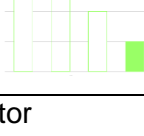
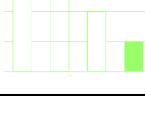
O manual de uso, operação e manutenção é imprescindível para qualquer edificação que seja entregue ao cliente (conforme norma ABNT NBR 14037, 2011), seja industrial, comercial ou residencial. Uma edificação que possui mais de um sistema construtivo obviamente possui uma complexidade maior em termos de informações gerais da edificação, necessitando de um manual de uso mais elaborado.

A alvenaria estrutural emprega características físicas e funcionais bastante simples no que se refere a manutenibilidade, contudo, a vedação vertical é também a estrutura de toda edificação, por este motivo, qualquer interferência nas paredes podem acarretar em danos permanentes à estrutura, neste contexto, pode-se considerar que o sistema não possui partes modulares que podem ser reparadas com facilidade, não atendendo a este sub-requisito. No que se refere à estrutura de transição, a vedação vertical é alvenaria de vedação, neste contexto, a manutenção é bastante simples e não acarretam danos à estrutura.

Referente ao subsistema de instalações, a manutenibilidade da estrutura de transição não apresenta construtibilidade no que se refere aos espaços de visualização e manipulação da manutenção se a mesma ocorrer nas passagens embutidas dentro do concreto das vigas, visto que, o alto carregamento e a rigidez que deve permanecer inalterada na seção das vigas impossibilitam qualquer rasgo ou vibração na estrutura. Caso ocorra qualquer problema nas tubulações embutidas, como por exemplo, os drenos de ar condicionado que estão dentro da estrutura, não há qualquer tipo de inspeção ou plano de manutenção para eles. Já na alvenaria estrutural, os drenos de ar condicionado possuem tampa cega de inspeção, assim como as tubulações hidrossanitárias não são embutidas na estrutura, elas possuem *shafts* nas paredes e forro de gesso nas lajes, possibilitando a manutenção sem qualquer perturbação da estrutura.

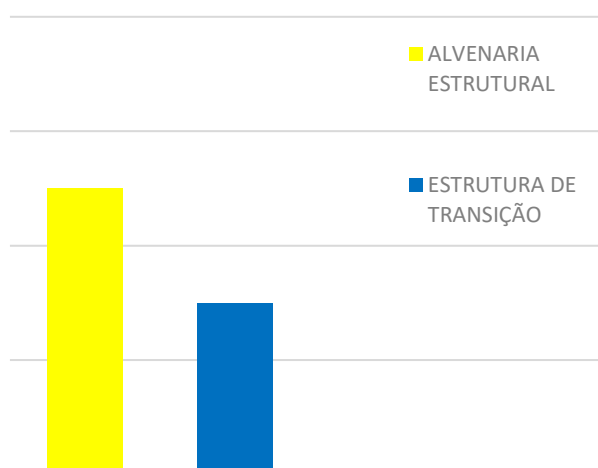
No Quadro 24 é possível consultar a análise do requisito para os dois sistemas, e no Gráfico 11 se pode analisar o desempenho geral dos dois sistemas. Apesar da alvenaria estrutural ser amplamente conhecida por não apresentar bom desempenho em manutenibilidade, é possível perceber que há uma diferença significativa na construtibilidade da manutenibilidade entre ela e a estrutura de transição em concreto armado, pois não foi considerado esse requisito na fase de projeto da transição, por esta ser a primeira experiência da empresa com este tipo de sistema construtivo. No Quadro 25 constam os dados de coleta do estudo de caso.

Quadro 24 – Análise do requisito – manutenibilidade

MANUTENIBILIDADE	REQUISITO	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO
	Emprega características físicas e funcionais simples.		
	Utiliza reduzido número de componentes e sub-montagens.		
	Apresenta espaços adequados para o acesso visual e realização de atividades de manipulação		
	Permite a montagem e desmontagem de maneira adequada.		
	Utiliza componentes padronizados, com coordenação e tolerâncias adequadas.		
	Utiliza partes modulares que possam ser facilmente testadas e reparadas independentemente do produto.		


Fonte: Autor

Gráfico 11 – Resultado da avaliação entre os sistemas – manutenibilidade



Fonte: Autor

Quadro 25 – Dados do estudo de caso – manutenibilidade

		SISTEMA CONSTRUTIVO	
		ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO
MANUTENIBILIDADE			
	Tubulações hidrossanitárias são independentes a estrutura, a manutenção pelos shafts nas paredes e forro de gesso nas lajes.	Tubulações embutidas no concreto impossibilitam a manutenção sem danos à estrutura.	

Fonte: Autor

4.6 SEGURANÇA

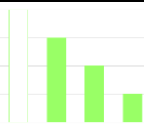
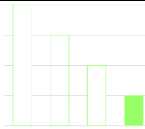
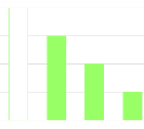
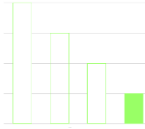
Na construção em alvenaria estrutural a utilização de içamentos de materiais é constante, a área que deve permanecer isolada durante este içamento é relativamente grande, o que dificulta a movimentação no canteiro de obras, principalmente se o terreno for pequeno. Durante o içamento das lajes pré-moldadas, o entorno da edificação e o entorno do guindaste é isolado, o pavimento onde as lajes estão sendo montadas também é isolado, o acesso ao local só é permitido aos colaboradores que estão auxiliando na montagem e um membro da equipe técnica que acompanha a montagem para verificação das posições e níveis. No término da montagem de lajes, o pavimento está livre de vãos, apenas os poços de ventilação e dos elevadores permanecem abertos. O abastecimento dos pallets de blocos cerâmicos é feito logo após a montagem das lajes do pavimento, para aproveitamento do guindaste. As proteções periféricas são montadas ainda neste momento, por trabalhadores que utilizam cintos de paraquedista até o momento em que a última proteção é montada. Após o término da instalação das proteções, a marcação da primeira fiada é liberada.

A elevação da alvenaria é feita até a 8ª fiada, neste momento, as telas de proteção periférica podem ser elevadas a uma altura superior, protegendo os trabalhadores que concluirão a alvenaria. Uma bandeja de proteção de dejetos é montada no entorno de toda a edificação no primeiro pavimento de alvenaria, porém ela é ancorada na estrutura de transição, ela fica montada até o término da estrutura de alvenaria estrutural.

Já na estrutura de transição foi montada uma proteção periférica sem qualquer projeto, feitas de escoras de madeira, guias e uma tela de proteção. Uma escada de madeira manual dava acesso à parte superior das formas e após a concretagem foi montada uma escada de madeira fixa. Na etapa de montagem das armaduras das vigas de transição, ajustes e conferências não foi atendido o requisito de segurança, pois os trabalhadores e equipe técnica precisavam se equilibrar em cima das armaduras das vigas tanto para acessá-las quanto conferi-las, cada viga ficava um metro acima da fôrma antes de ser baixada.

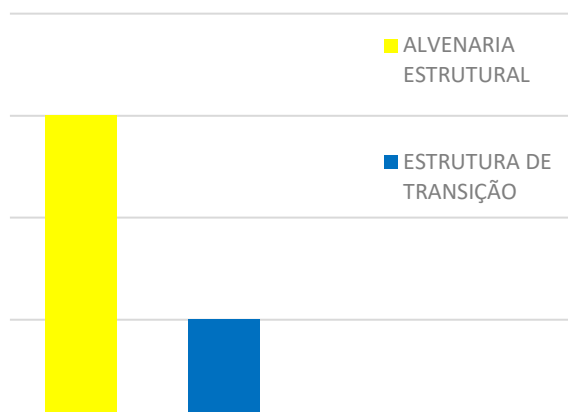
No Quadro 26 consta a análise dos dois sistemas para cada sub-requisito. No gráfico 12 é possível verificar o resultado da avaliação para cada sistema. No Quadro 27 constam os dados da coleta do estudo de caso, que permitiram a avaliação da construtibilidade para o requisito de segurança dos dois sistemas. É possível concluir que segurança para o sistema de transição também não foi devidamente planejada, visto a falta de visualização das etapas de construção da estrutura. É perceptível que as robustas dimensões da estrutura não foram consideradas ao fazer o planejamento e proporção dos riscos da construção.

Quadro 26 – Análise do requisito – segurança

SEGURANÇA	REQUISITO	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO
	Apresenta sequência seguras de construção.		
Utiliza materiais e componentes com tamanhos e pesos seguros para a manipulação, construção, instalação e manutenção.			

Fonte: Autor

Gráfico 12 – Resultado da avaliação entre os sistemas – segurança





Fonte: Autor

Quadro 27 – Dados do estudo de caso – segurança

(continua)

SEGURANÇA	SISTEMA CONSTRUTIVO	
	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO
	 <p>Sequências seguranças de construção, projeto de segurança do trabalho com elementos pré-fabricados.</p>	 <p>Escadas manuais para acesso a estrutura; Proteções periféricas feitas no local, sem projeto e ineficientes.</p>
		

<p>Etapas seguras de execução.</p>	<p>Robustez das armaduras das vigas dificultavam o trabalho e a acessibilidade; Trabalhadores caminham se equilibrando em cima delas ou pulando.</p>
	
<p>Materiais e componentes para os poços com dimensões incompatíveis com a alvenaria.</p>	<p>Devido a falta de segurança da proteção periférica, linhas de vida foram montadas no meio da estrutura, porém causou improdutividade pois os talabartes retráteis dos trabalhadores impossibilitavam a movimentação.</p>

Fonte: Autor

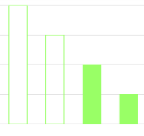
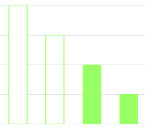

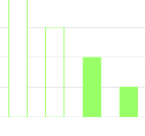

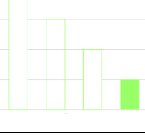
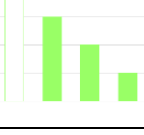
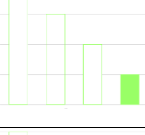
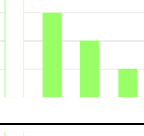
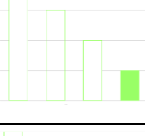
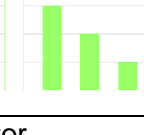
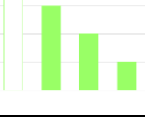
4.7 OTIMIZAÇÃO DE TÉCNICAS E PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

A evolução tecnológica dentro dos canteiros de obras segue um caminho lento, porém cada vez mais contínuo no Brasil. Algumas substituições de materiais e técnicas tradicionais por soluções mais eficientes e inovadoras vêm sendo aplicadas principalmente nas construções de edificações onde a margem de lucro é muito baixa, como por exemplo, obras pertencentes ao programa MCMV. A utilização da alvenaria estrutural com elementos pré-moldados, gera a diminuição das atividades no canteiro de obras e conseqüentemente a demanda por mão de obra. A estrutura de transição avaliada nesta pesquisa, necessitou de elevada mão de obra para execução, visto a falta de tecnologia no processo executivo, prejudicando o desempenho da obra e atrasando o cronograma da estrutura (transição e alvenaria). Devido ao conhecimento

superior na construção de alvenaria estrutural, alinhado a um projeto mais detalhado e construtivo, a alvenaria demonstrou atendimento mais linear a este requisito.

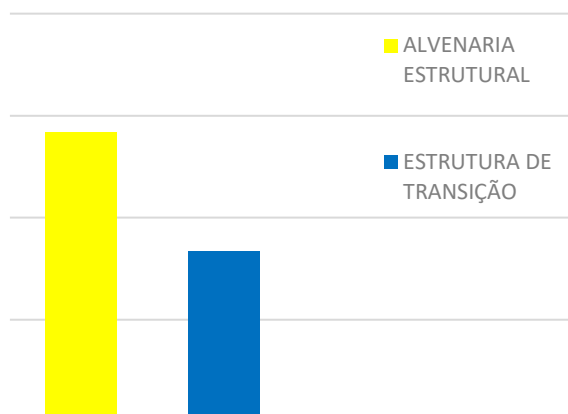
A estrutura de transição foi construída com materiais inadequados e ultrapassados, visto a falta de entendimento da complexibilidade da estrutura. O trabalho desenvolvido dentro do canteiro de obras, bem como a quantidade de mão de obra superou a alvenaria estrutural. A demanda da carpintaria foi superior ao planejado, pois as formas precisaram ser montadas para cada viga, por exemplo, cada altura de seção precisava de três unidades de tábuas de trinta centímetros, que foram todas montadas dentro do canteiro. A falta de sequência de montagem das armaduras causou retrabalho, pois elas foram içadas inteiras e não se encaixavam na montagem da malha, portanto as armaduras negativas principais tiveram de ser retiradas para encaixe das vigas e após recolocadas. No Quadro 28 consta a análise do requisito, no Gráfico 13 o resultado da análise e no Quadro 29 os dados de coleta do estudo de caso.

Quadro 28 – Análise do requisito – otimização de técnicas e processos

OTIMIZAÇÃO DE TÉCNICAS E SEQUÊNCIAS CONSTRUTIVAS	REQUISITO	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO
	Emprega materiais novos para usos tradicionais.		
	Reduz a quantidade de trabalho desenvolvido em canteiro		
	Minimiza perdas e retrabalhos na construção.		
	Reduz os tempos de espera e possibilita a minimização de congestionamentos em canteiro.		
	Emprega sequências práticas de construção e operações contínuas que melhoram a produtividade.		
Propicia a utilização de métodos construtivos inovadores.			

Fonte: Autor



Gráfico 13 – Resultado da avaliação entre os sistemas – otimização e processos


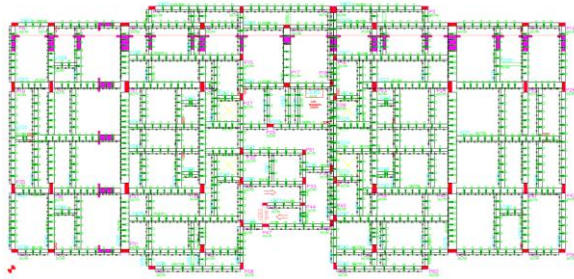


Fonte: Autor

Quadro 29 – Dados do estudo de caso – otimização e processos

(continua)

		SISTEMA CONSTRUTIVO	
		ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO
OTIMIZAÇÃO E PROCESSOS			
		Execução de boa qualidade sem retrabalhos de acabamento. Verga pré-moldadas garantem agilidade no processo.	Retrabalhos devido a falhas de acabamento na execução; Falhas na interface alvenaria-concreto.

		
	<p>Sequências construtivas rápidas e contínuas. Redução da quantidade de trabalho realizado em canteiro.</p>	<p>Construção engloba elevado número de componentes, aumentando o trabalho de atividades realizadas em canteiro.</p>

Fonte: Autor

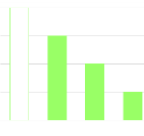
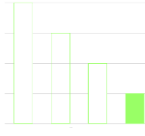
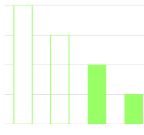
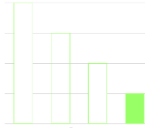
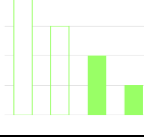
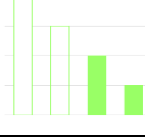
4.8 COMPATIBILIDADE E FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO

A utilização de ferramentas de visualização no momento da realização e compatibilização se demonstrou adequada para a alvenaria estrutural, com projetos complementares bastante detalhados, evitando possíveis problemas de interferências na execução, com utilização de ferramentas de visualização de maior detalhamento com recursos em 3D e BIM. A construtibilidade neste quesito não deve ser somente aplicada à fase de projeto, ela deve acontecer durante todo o ciclo da edificação, neste contexto de execução, não foi utilizado esse tipo de ferramenta para nenhum dos dois sistemas nem para a interface deles.

Foi observada a utilização de projetos impressos pela equipe técnica e trabalhadores durante a execução e conferências dos dois sistemas. Entretanto, a visualização de projetos e detalhamento das soluções poderia ter sido atualizada através da utilização de ferramentas digitais de maior alcance virtual. Os projetos para a estrutura de transição eram relativamente detalhados, contudo, mais complexos de serem executados. Verifica-se que se tratando de projetos separados, alvenaria estrutural e estrutura de transição em concreto armado, eles atendiam à construtibilidade de maneira relativamente boa (somente fase de projeto), contudo, para os projetos de complementares principalmente a edificação trocava de sistema, faltou detalhamento e compatibilidade de materiais e dimensões, necessitando de ajustes no canteiro de obras.

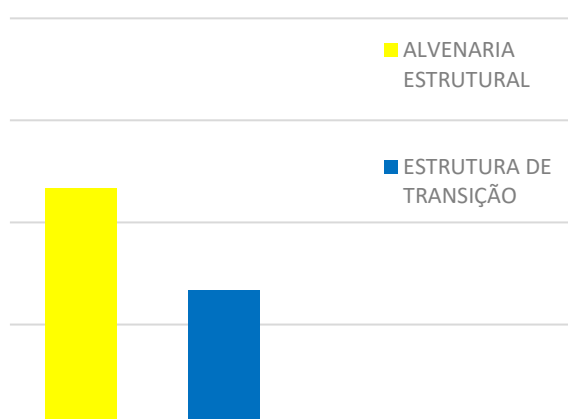
Como mostra o Quadro 30, o requisito de compatibilização de tolerâncias e ferramentas de visualização foi analisado nas suas subdivisões conforme os dados do estudo de caso deste trabalho. A definição do resultado de cada critério se deu com base no nível de desempenho de construtibilidade. O Gráfico 14 mostra o resultado da construtibilidade neste requisito para os dois sistemas. O Quadro 31 mostra os dados coletados neste estudo de caso para obtenção da avaliação de desempenho da construtibilidade neste requisito.

Quadro 30 – Análise do requisito – compatibilidade e ferramentas

COMPATIBILIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO	REQUISITO	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO
	Usa ferramentas de visualização permitindo a identificação antecipada de interferências físicas e de compatibilidade dimensional entre os componentes e sistemas.		
	Emprega ferramentas virtuais que possibilitam a visualização da compatibilidade de conexão entre os diferentes componentes e sistemas.		
	Utiliza programas computacionais que permitem a simulação do movimento das partes móveis.		

Fonte: Autor

Gráfico 14 – Resultado da avaliação entre os sistemas – compatibilidade

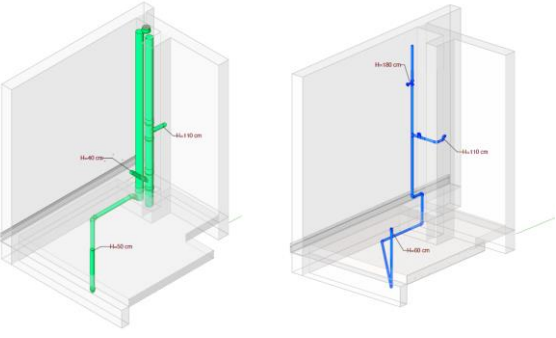
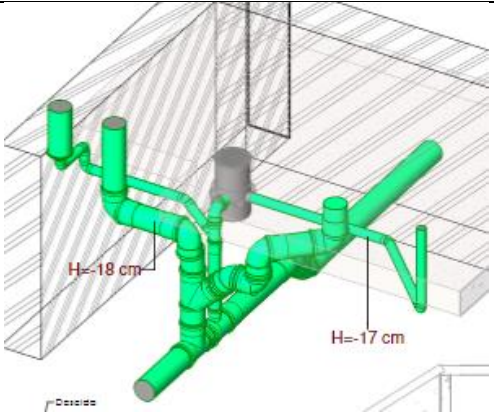
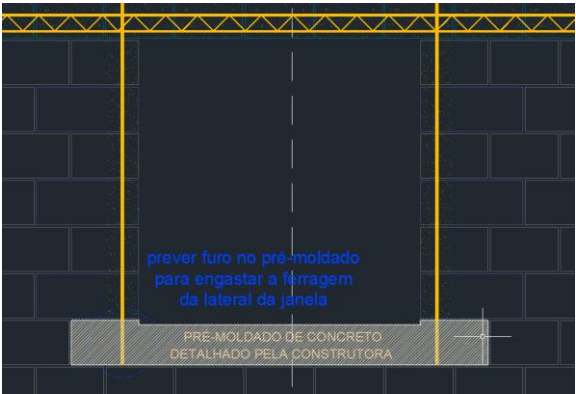
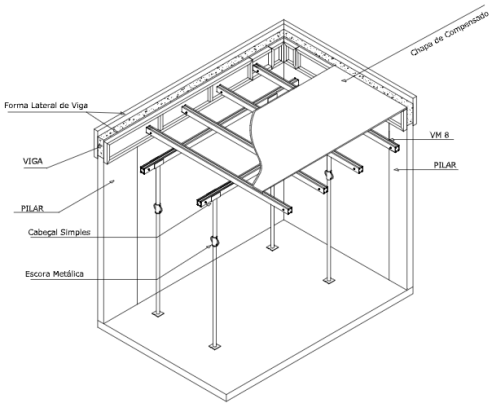
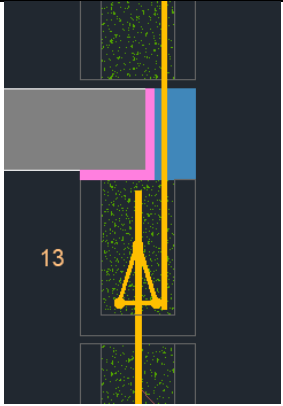
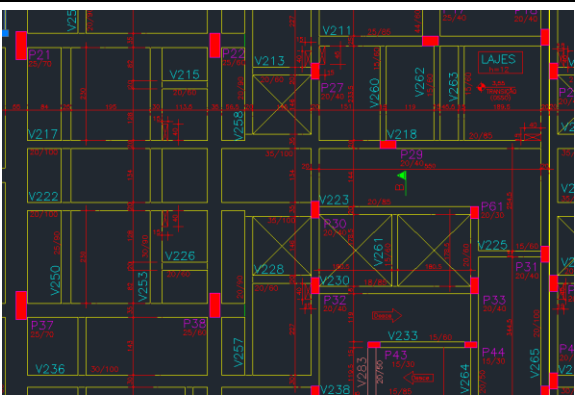


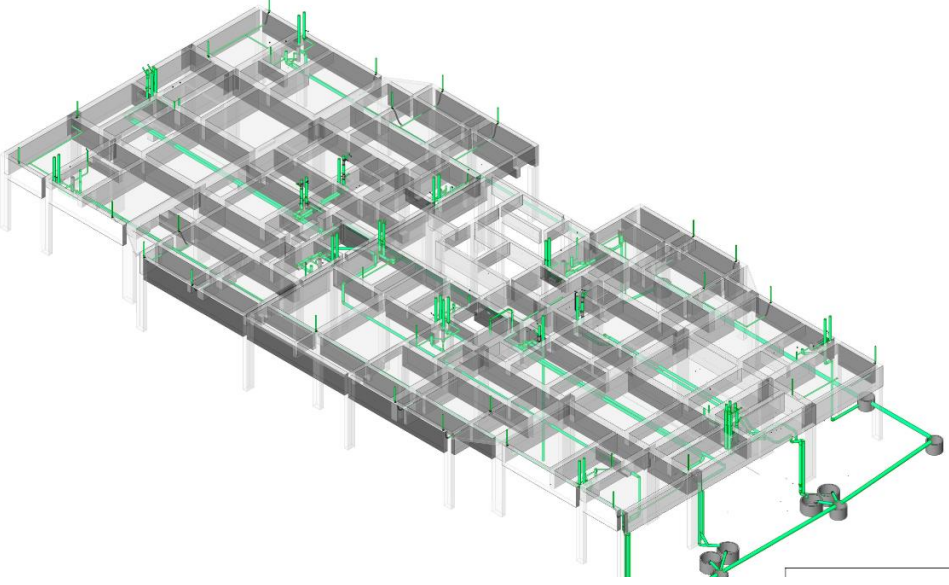
Fonte: Autor

Quadro 31 – Dados do estudo de caso – compatibilização e visualização

(continua)

		SISTEMA CONSTRUTIVO	
		ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO
COMPATIBILIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO			
		Projetos complementares mais simples de serem executados e com repetição de peças e componentes.	Projetos complementares sem repetição de partes, componentes ou padronização do desenho, devido as caixas de passagem serem embutidas na estrutura (tubulação foi projetada para passar onde a viga permitia o furo).
			
	Elementos como mochetas utilizados para esconder tubulações aparentes.	Incompatibilidade e complexidade dos projetos complementares causaram falhas de execução.	

	
<p>Construtora utiliza ferramentas de visualização 3D que permite identificação antecipada das interferências.</p>	<p>Projeto de visualização 3D foi feito <i>as built</i>, a equipe da obra não possuía projeto de visualização 3D, somente a planta baixa onde passavam as tubulações.</p>
	 <p>Detalhe Típico Laie Macica</p>
<p>Projetos com maior detalhamento de componentes, contudo utilizando somente ferramentas de visualização 2D.</p>	<p>Projetos com detalhamentos de componentes apenas para determinados elementos do sistema.</p>
	

Programas computacionais com recursos limitados de visualização para alguns detalhes construtivos, gerando improdutividade no canteiro de obras.	Programas computacionais com recursos limitados de visualização e que permitem somente visualizar a geometria, sem detalhes de conectividades entre elementos.
	
Projeto hidrossanitário as <i>built</i> do pilotis.	

Fonte: Autor

4.9 ADEQUAÇÃO DE MATERIAIS, PRODUTOS, RECURSOS E MÃO DE OBRA

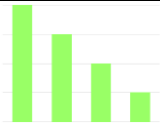


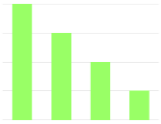
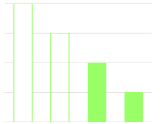
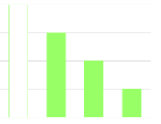
Os produtos e materiais utilizados nos projetos dos dois sistemas foram, em geral, adequados, com controle de qualidade atestados por fornecedores e bastante conhecidos no mercado da construção civil. Contudo, algumas decisões tomadas pela empresa na execução dos dois sistemas não atenderam a esse requisito de construtibilidade, como o uso inadequado de material para as fôrmas. Todos os materiais utilizados possuíam vasta disponibilidade no mercado. As lajes pré-moldadas da alvenaria estrutural, apesar de passarem por um processo de produção mais controlado, com diminuição das falhas de execução, vinham com acabamento inadequado na parte inferior e superior e variação dimensional, principalmente na

espessura. Os blocos cerâmicos também tinham grande variabilidade dimensional, principalmente o bloco U.

A mão de obra de execução de concreto armado tende a ser mais convencional dentro da construção civil, são necessários basicamente carpinteiros, ferreiros, armadores e pedreiros. Apesar disso, na execução da estrutura de transição os profissionais com experiência em concreto armado convencional tiveram algumas dificuldades no entendimento do projeto, devido a complexidade e do elevado número de componentes, como por exemplo, o escoramento das formas, que possuíam muitos componentes diferentes e em elevadas quantidades, gerando um alto retrabalho e elevado tempo de execução. Na montagem das armaduras também ocorreram problemas de execução, pois não havia uma sequência de içamento, ocorrendo atrasos no encaixe entre elas quando já estavam em posicionadas acima das formas.

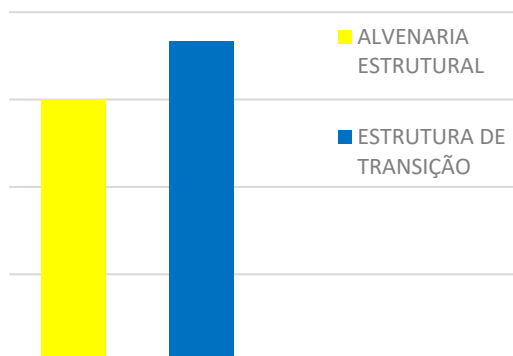
Para execução da alvenaria estrutural os profissionais necessitam de alto nível de conhecimento de projeto e de controle de qualidade, os profissionais que assentam os blocos não são pedreiros convencionais e são chamados no mercado de bloqueiros, pois são mão de obra especializada em assentamentos de blocos estruturais. No Quadro 32, temos que a estrutura de transição se demonstrou superior em termos de construtibilidade nos três sub-requisitos avaliados. O Gráfico 15 mostra a avaliação geral da construtibilidade para os dois sistemas e o Quadro 33 contém os dados do estudo de caso.

Quadro 32 – Análise do requisito – adequação

ADEQUAÇÃO	REQUISITO	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO
	Utiliza materiais e produtos já empregados e aceitos pela indústria da construção ou novos materiais avaliados formalmente e funcionalmente.		
Minimiza a utilização e o retorno de equipes de especialistas.			
Utiliza mão de obra e recursos disponíveis localmente e compatíveis com a tecnologia utilizada.			



Fonte: Autor

Gráfico 15 – Resultado da avaliação entre os sistemas – adequação



Fonte: Autor

Quadro 33 – Dados do estudo de caso – adequação

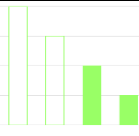
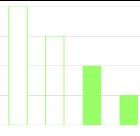
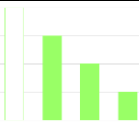
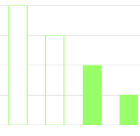
	SISTEMA CONSTRUTIVO	
	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO
ADEQUAÇÃO	<p>Materiais Blocos, conforme projetos; Argamassa industrializada; Cimento; Areia média; Areia grossa; Brita Zero; EPS (isopor); Aço; Cola epóxi (quando aplicável); Tela para limpeza e/ou espuma Linha de nylon; Vergas, contravergas e "bolachas" (pré-moldados) Projeto paginação 1º fiada plastificado (escala 1:50); Projeto elevações; Abraçadeira de nylon(para pontos de graute).</p>	<p>Materiais Formas: Madeiras; Chapas de compensado; Escoras de eucalipto ou metálicas; Pregos com cabeça dupla e simples; Desmoldante;</p> <p>Armadura: Vergalhões especificados em projeto; Arame recozido; Espaçador.</p>
	Sistema construtivo emprega materiais e produtos com fácil disponibilidade.	Sistema construtivo emprega materiais e produtos com fácil disponibilidade.
		
	Mão de obra especializada.	Mão de obra convencional da construção civil.

Fonte: Autor

4.10 PROJETAR PARA EFICIÊNCIA DA CONSTRUÇÃO

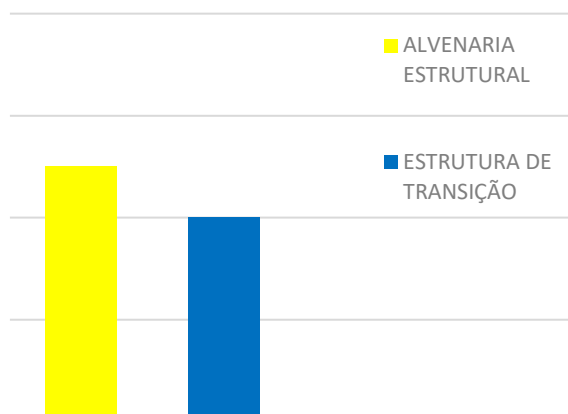
Este requisito é destinado exclusivamente a fase de projeto e planejamento de um empreendimento, ele conglomerava diversos requisitos já vistos anteriormente. O projeto de alvenaria estrutural foi desenvolvido para melhorar a viabilidade da construção, em termos de produtividade e em termos de custo, buscando otimizar os recursos para uma maior eficiência da construção em geral. O projeto da estrutura de transição foi elaborado principalmente para garantir a viabilidade em termos de custo, não considerando a otimização dos processos no canteiro, resultando em uma estrutura difícil de ser executada, com diversas incompatibilidades de projeto e com as decisões sendo tomadas especialmente dentro do canteiro de obras. A visualização antecipada da construção não teve desempenho máximo em nenhum dos dois sistemas, contudo, para a alvenaria estrutural torna-se mais fácil essa visualização devido a experiência da construtora com projetos neste sistema, o que não ocorreu com a estrutura de transição. Através dos dados coletados no canteiro de obras (Quadro 35), foi possível verificar o alto retrabalho que ocorreu na estrutura de transição, principalmente em termos de revestimento e acabamento, por decisões tomadas na etapa de planejamento da edificação. Também foi possível perceber que a execução das etapas posteriores da construção sempre apresentava menor produtividade quando executada na transição, por exemplo, as instalações possuíam uma alta produtividade na alvenaria estrutural, que era perdida quando precisava ser executada no pilotis, pois existiam várias inconsistências de projeto que precisavam ser decididas pela equipe técnica da obra. No Quadro 34 temos a análise do requisito para os dois sistemas e no Gráfico 16 o resultado da avaliação.

Quadro 34 – Análise do requisito – projetar para a eficiência

PROJETAR P/A EFICIÊNCIA	REQUISITO	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA TRANSIÇÃO
	Apresenta flexibilidade e adaptabilidade aos projetos.		
Emprega simplificação, mão de obra disponível e tecnologias de simulação que permitam a visualização antecipada da construção.			

Fonte: Autor

Gráfico 16 – Resultado da avaliação entre os sistemas – projetar



Fonte: Autor

Quadro 35 – Dados do estudo de caso – projetar para a eficiência

PROJETAR PARA A EFICIÊNCIA	SISTEMA CONSTRUTIVO															
	ALVENARIA ESTRUTURAL		ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO													
		ALVENARIA ESTRUTURAL	IT008 Data: 08/04/19 Revisão: 13	VIGAS E LAJES (FORMAS, ARMADURA, CONCRETAGEM)	IT005-C Data: 24/05/18 Revisão: 01											
	<p>Serviços Anteriores Contrapiso ou Laje Impermeabilização - Quando térmico e necessário Proteção periférica ou linha de vida</p> <p>Preservação dos Serviços Anteriores Não se aplica.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th> Materiais</th> <th> Equipamentos</th> <th> Equipamentos de Segurança</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Blocos, conforme projetos; Argamassa industrializada; Cimento; Areia média; Areia grossa; Brita Zero; EPS (isopor); Aço; Cola epóxi (quando aplicável); Tela para limpeza e/ou espuma; Linha de nylon; Vergas, contravergas e "bolachas" (pré-moldados) Projeto paginação 1° fiada plastificado (escala 1:50); Projeto elevações; Abraçadeira de nylon(para pontos de graute).</td> <td>Betoneiras e/ou Argamassadeiras; Pá e enxada; Estilete; Carro de mão; Nível laser ou mangueira; Colher especial tipo calha, desempenadeira ou palheta; Colher de pedreiro; Caixas para argamassa individual; Caixa para uso comum; Nível de Bolha (3 bolhas - magnético) Prumo de face; Esquadro (tamanho mínimo 80 cm.); Escala vertical; Furadeira e brocas; Andaime; Marreta.</td> <td>Capacete com identificação; Botina; Luva de raspa; Luva látex alongada; Calça comprida; Cinto de segurança (quando aplicável); Máscara, protetor auricular e óculos de proteção (ao utilizar a betoneira); Camisa de manga comprida (indicação); Protetor solar.</td> </tr> </tbody> </table>		Materiais	Equipamentos	Equipamentos de Segurança	Blocos, conforme projetos; Argamassa industrializada; Cimento; Areia média; Areia grossa; Brita Zero; EPS (isopor); Aço; Cola epóxi (quando aplicável); Tela para limpeza e/ou espuma; Linha de nylon; Vergas, contravergas e "bolachas" (pré-moldados) Projeto paginação 1° fiada plastificado (escala 1:50); Projeto elevações; Abraçadeira de nylon(para pontos de graute).	Betoneiras e/ou Argamassadeiras; Pá e enxada; Estilete; Carro de mão; Nível laser ou mangueira; Colher especial tipo calha, desempenadeira ou palheta; Colher de pedreiro; Caixas para argamassa individual; Caixa para uso comum; Nível de Bolha (3 bolhas - magnético) Prumo de face; Esquadro (tamanho mínimo 80 cm.); Escala vertical; Furadeira e brocas; Andaime; Marreta.	Capacete com identificação; Botina; Luva de raspa; Luva látex alongada; Calça comprida; Cinto de segurança (quando aplicável); Máscara, protetor auricular e óculos de proteção (ao utilizar a betoneira); Camisa de manga comprida (indicação); Protetor solar.	<p>FORMAS E ARMADURAS</p> <p>Serviços Anteriores Locação da obra; Fundações; Blocos de fundação; Vigas de fundação quando existir; Pilares.</p> <p>Preservação dos serviços anteriores Não se aplica.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th> Materiais</th> <th> Equipamentos</th> <th> Equipamentos de Segurança</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Madeiras; Chapas de compensado; Escoras de eucalipto ou metálicas; Pregos com cabeça dupla e simples; Desmoldante; Armadura: Vergalhões especificados em projeto; Arame recozido; Espaçador.</td> <td>Formas: Nível a laser e/ou Mangueira de nível; Prumo de face; Lápis de carpinteiro; Pé-de-cabra; Torquês; Trena; Linha de nylon; Serrote; Martelo; Serra circular; Marreta; Trincha; Lava jato; Esquadro;</td> <td>Capacete com identificação; Luva; Bota de borracha; Calça comprida; Óculos de proteção (para operador da serra e esmerilhadeira); Botina; Protetor auricular (para operador da serra); Protetor de vergalhão; Protetor solar; Luva de ferroiro; Avental de raspa de couro.</td> </tr> </tbody> </table>		Materiais	Equipamentos	Equipamentos de Segurança	Madeiras; Chapas de compensado; Escoras de eucalipto ou metálicas; Pregos com cabeça dupla e simples; Desmoldante; Armadura: Vergalhões especificados em projeto; Arame recozido; Espaçador.	Formas: Nível a laser e/ou Mangueira de nível; Prumo de face; Lápis de carpinteiro; Pé-de-cabra; Torquês; Trena; Linha de nylon; Serrote; Martelo; Serra circular; Marreta; Trincha; Lava jato; Esquadro;	Capacete com identificação; Luva; Bota de borracha; Calça comprida; Óculos de proteção (para operador da serra e esmerilhadeira); Botina; Protetor auricular (para operador da serra); Protetor de vergalhão; Protetor solar; Luva de ferroiro; Avental de raspa de couro.
Materiais	Equipamentos	Equipamentos de Segurança														
Blocos, conforme projetos; Argamassa industrializada; Cimento; Areia média; Areia grossa; Brita Zero; EPS (isopor); Aço; Cola epóxi (quando aplicável); Tela para limpeza e/ou espuma; Linha de nylon; Vergas, contravergas e "bolachas" (pré-moldados) Projeto paginação 1° fiada plastificado (escala 1:50); Projeto elevações; Abraçadeira de nylon(para pontos de graute).	Betoneiras e/ou Argamassadeiras; Pá e enxada; Estilete; Carro de mão; Nível laser ou mangueira; Colher especial tipo calha, desempenadeira ou palheta; Colher de pedreiro; Caixas para argamassa individual; Caixa para uso comum; Nível de Bolha (3 bolhas - magnético) Prumo de face; Esquadro (tamanho mínimo 80 cm.); Escala vertical; Furadeira e brocas; Andaime; Marreta.	Capacete com identificação; Botina; Luva de raspa; Luva látex alongada; Calça comprida; Cinto de segurança (quando aplicável); Máscara, protetor auricular e óculos de proteção (ao utilizar a betoneira); Camisa de manga comprida (indicação); Protetor solar.														
Materiais	Equipamentos	Equipamentos de Segurança														
Madeiras; Chapas de compensado; Escoras de eucalipto ou metálicas; Pregos com cabeça dupla e simples; Desmoldante; Armadura: Vergalhões especificados em projeto; Arame recozido; Espaçador.	Formas: Nível a laser e/ou Mangueira de nível; Prumo de face; Lápis de carpinteiro; Pé-de-cabra; Torquês; Trena; Linha de nylon; Serrote; Martelo; Serra circular; Marreta; Trincha; Lava jato; Esquadro;	Capacete com identificação; Luva; Bota de borracha; Calça comprida; Óculos de proteção (para operador da serra e esmerilhadeira); Botina; Protetor auricular (para operador da serra); Protetor de vergalhão; Protetor solar; Luva de ferroiro; Avental de raspa de couro.														
	<p>Construtora possui instrução técnica bem elaborada, padronizada para todas as edificações da empresa, já possui 13 revisões, demonstrando a evolução dos procedimentos ao longo dos anos no sistema de alvenaria estrutural. Consultar em Anexo A.</p>		<p>Construtora elaborou a instrução técnica após a execução da edificação. A instrução contém informações superficiais de execução de estruturas de transição, sua utilização é mais adequada para estruturas de concreto armado convencional. Consultar em Anexo B.</p>													

Fonte: Autor

4.11 A CONSTRUTIBILIDADE DE OBRA COM ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO

A partir dos quarenta e cinco quesitos que compõem os dez requisitos de construtibilidade, foi feita a análise dos dois sistemas construtivos – alvenaria estrutural e estrutura de transição – no empreendimento 1 para verificar o nível de construtibilidade que cada um apresenta nas etapas de projeto, planejamento e execução.

O comparativo de desempenho entre os dois sistemas foi analisado ao longo desta pesquisa, onde o desempenho geral de cada sistema no requisito era representado através de gráficos a fim de sintetizar a comparação. A partir destes dados, pode-se determinar a construtibilidade geral da obra de alvenaria estrutural com estrutura de transição, ou seja, avaliar o impacto em termos de construtibilidade gerados pela implementação desse tipo de estrutura em uma obra de alvenaria estrutural.

O Quadro 36 apresenta o resumo da análise de construtibilidade entre os sistemas de alvenaria estrutural e de estruturas de transição (que foram apresentados anteriormente em cada requisito) e a construtibilidade obtida no empreendimento 1 para cada requisito. Conclui-se que a estrutura de transição diminuiu a construtibilidade total da obra, resultando em um empreendimento menos construtivo que as demais obras de alvenaria estrutural convencional da construtora. A alvenaria estrutural atendeu de forma mais satisfatória nove dos dez requisitos de construtibilidade, ficando atrás da estrutura de transição em concreto armado apenas no requisito de adequação. Por se tratar dos mesmos procedimentos e processos de construção da alvenaria estrutural, pode-se perceber que a construtibilidade total do empreendimento 1 é menor que a do empreendimento 2 da mesma construtora.

Não se pode afirmar que todas as obras que empregam esse tipo de estrutura são menos construtivas que obras de alvenaria estrutural convencional. Percebe-se que as dificuldades encontradas no projeto, planejamento e execução do empreendimento 1 ocorreram principalmente por se tratar da primeira experiência da construtora com este tipo de método construtivo.

Ainda sobre empreendimentos que utilizam mais de um sistema construtivo empregado, através dessa pesquisa pode-se perceber que o ideal é que cada um deles, isoladamente, obtenham parâmetros parecidos no atendimento da construtibilidade, pois a construtibilidade total é prejudicada pelo método que possuir

menor construtibilidade. Contudo, ademais, é importante manter uma certa proporção entre eles, uma vez que se essa diferença for brusca – como nos requisitos de padronização e segurança – tem-se uma instabilidade grande dentro do canteiro de obras que acarretam problemas mais acentuados.

Sabe-se que não existe material técnico sobre a execução deste tipo de estrutura que auxilie as construtoras a implementarem esse sistema de forma mais assertiva. Em geral, na primeira experiência, as empresas elaboram o projeto e estabelecem o planejamento por meio de instruções técnicas de concreto armado convencional, ocorrendo diversos problemas durante a execução que são resolvidos nesta etapa de forma improvisada (neste estudo de caso, o problema foi ainda mais evidente pela construtora não possuir experiência mesmo no concreto armado convencional). A partir deste cenário, percebe-se que as construtoras acabam executando estruturas de transição através do efeito de aprendizagem, ou seja, o desempenho é melhorado conforme a repetição da construção dessas estruturas.

No capítulo seguinte, constam instruções a serem consideradas nas etapas de projeto, planejamento e execução para melhorar a construtibilidade dessas estruturas.

Quadro 36 – Resumo das análises – construtibilidade do empreendimento 1

REQUISITOS DE CONSTRUTIBILIDADE														
PADRONIZAÇÃO			SIMPLIFICAÇÃO			ACESSIBILIDADE			INFLUÊNCIA			MANUTENIBILIDADE		
AE	ET	E1	AE	ET	E1	AE	ET	E1	AE	ET	E1	AE	ET	E1
SEGURANÇA			OTIMIZAÇÃO			COMPATIBILIDADE			ADEQUAÇÃO			PROJETAR		
AE	ET	E1	AE	ET	E1	AE	ET	E1	AE	ET	E1	AE	ET	E1
LEGENDA														
AE					ET					E1				
ALVENARIA ESTRUTURAL					ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO					EMPREENHIMENTO 1				

Fonte: Autor

5 EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DE SISTEMAS DE TRANSIÇÃO

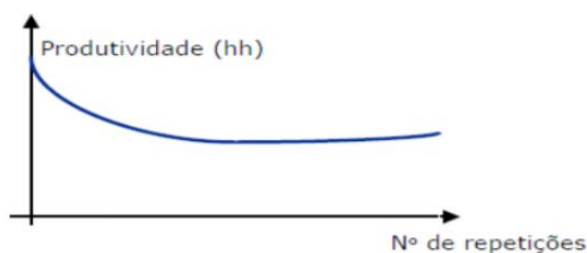
No capítulo anterior, a avaliação da construtibilidade empreendimento 1 foi feita através da comparação entre a alvenaria estrutural e a estrutura de transição. Verificou-se que a estrutura de transição apresentou resultados inferiores à alvenaria nos requisitos de construtibilidade. Este resultado pode ser atribuído a inexperiência da construtora na construção desse tipo de estrutura em contrapartida com trinta anos de experiência na construção de edificações em alvenaria estrutural convencional.

De acordo com Heineck (1991), o efeito da aprendizagem ocorre quando se tem múltiplas repetições de uma mesma etapa da produção, ele pode ser perceptível já nas primeiras repetições. Juntamente com o número de reproduções, existem outros fatores que tem influência no grau do efeito de aprendizagem, são eles:

- 1) grau de dificuldade do trabalho;
- 2) composição da equipe técnica e operacional;
- 3) duração do trabalho conjunto dos operários;
- 4) interrupções no processo de execução;
- 5) nível de preparação das atividades.

Este efeito pode ser verificado na Figura 43, denominada curva de aprendizagem, onde o número de horas x homens empenhadas em uma determinada tarefa vai diminuindo na medida em que há repetições, até o momento que estabiliza e não há maiores ganhos com relação a este aspecto

Figura 43 – Curva de aprendizagem

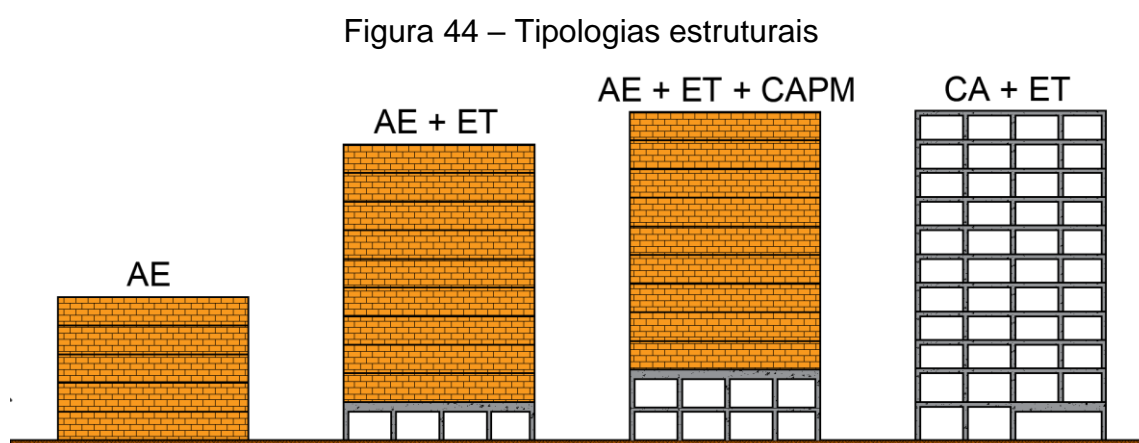


Fonte: Heineck, 1991

Portanto, quando se faz um incremento de inovação na construção civil, voltamos ao início da curva de aprendizagem. O empreendimento 1 é de fato um aperfeiçoamento da construtora, pois a inserção de uma estrutura de transição na tipologia de alvenaria estrutural acarreta diversas vantagens na edificação

(discriminadas anteriormente), contudo, por se tratar da primeira repetição de uma tarefa, é necessário mais esforço para obter desempenho. Na Figura 44, temos a representação estrutural dos empreendimentos avaliados nesta pesquisa e o conceito de estrutura de transição aplicado aos métodos construtivos de alvenaria estrutural e concreto armado:

- 1) **empreendimento 2:** Alvenaria estrutural convencional construída pela empresa há mais de trinta anos e construtibilidade superior (AE)¹;
- 2) **empreendimento 1:** Alvenaria estrutural com estrutura de transição, incremento de inovação, início da curva de aprendizagem e estudo de caso para comparativo de construtibilidade (AE + ET)²;
- 3) **empreendimento 3:** Segundo empreendimento construído na tipologia de alvenaria estrutural com estrutura de transição da construtora, ou seja, segunda repetição, utilizado para elaboração da instrução técnica (AE + ET)²;
- 4) **empreendimento 4:** Alvenaria estrutural com estrutura de transição em concreto armado e estrutura de concreto armado pré-moldado, pertencente à construtora que utiliza esse tipo de sistema a mais de quatorze anos, ou seja, está mais à frente na curva de aprendizagem (AE + ET + CAPM)³.
- 5) (CA + ET)⁴: Estrutura de transição aplicada ao concreto armado.



Fonte: Autor

¹ Alvenaria estrutural

² Alvenaria estrutural com estrutura de transição em concreto armado

³ Alvenaria estrutural com estrutura de transição em concreto armado e concreto armado pré moldado no segundo pilotis

⁴ Estrutura de transição empregada em edificações de concreto armado assimétricas

A partir das considerações acerca da curva de aprendizagem na construção civil e o ganho de desempenho através das repetições, considerando que a construtibilidade é um parâmetro de eficiência construtiva, pode-se traçar uma curva de construtibilidade através do tempo (Gráfico 17), onde podemos incluir os empreendimentos avaliados nesta pesquisa.

Gráfico 17 – Curva de aprendizagem da construtibilidade



Fonte: Autor

A partir das considerações acima determina-se que para ocorrer a estabilização de uma inovação é necessário maior esforço e maiores repetições ao longo do tempo, assim, a construtibilidade é atendida de forma mais satisfatória a cada empreendimento construído. Uma das formas de aumentar a construtibilidade em uma inovação na etapa de projeto e planejamento, é consultar a maior quantidade de material técnico disponível, uma vez que o desempenho da construtibilidade na execução não terá nenhum parâmetro de aprendizagem prática para seguir – pois se trata da primeira repetição.

Como abordado anteriormente, não encontram-se materiais técnicos sobre estruturas de transição em termos de execução. Inclusive, estudos recentes sobre o assunto ainda tentam otimizar os cálculos dessas estruturas afim de considerar todos os efeitos da interação entre o concreto e a alvenaria para evitar o

superdimensionamento delas, ou seja, o assunto precisa ser evoluído também em parâmetros de projeto estrutural. Para fins de conclusão deste trabalho, no subcapítulo seguinte, foi elaborada uma instrução técnica baseada na construtibilidade para este tipo de método construtivo, como forma de acrescentar um material técnico sobre a execução deste tipo de estrutura.

5.1 PROPOSTA DE INSTRUÇÃO TÉCNICA BASEADA NA CONSTRUTIBILIDADE

A seguir, no Quadro 37, consta a instrução técnica elaborada através dos requisitos de construtibilidade avaliados ao longo desta pesquisa. É necessário observar que algumas **etapas que se equiparam com o concreto armado ou a alvenaria estrutural não foram incluídas** na instrução para fins de otimização da instrução e maior objetividade de mesma, instruções gerais de execução de concreto armado deveram ser consultadas em material externo. O documento serve então para ilustrar de forma objetiva quais são as diferenças mais significativas que devem ser consideradas ao projetar, planejar e executar este tipo de estrutura. As informações mais detalhadas podem ser consultadas nos quadros do capítulo 4 – dados do estudo de caso.

Quadro 37 – Instrução técnica para estruturas de transição

(continua)

ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO (Formas, armaduras, concretagem e interface com alvenaria)	
Projeto:	Padronização: Diminuir a variabilidade de seções de viga por influência da disposição da alvenaria estrutural e diminuir a complexidade do projeto estrutural – implementar paredes internas no pavimento tipo com drywall (empreendimento 4), o número de vigas diminui já que a alvenaria estrutural acarreta em uma viga abaixo de cada parede e o sistema drywall não necessita de tal emprego; Aumentar a conectividade com os subsistemas, projetos específicos de instalações para a interface alvenaria-concreto.
	Simplificação: Projetar visando o emprego de formas simples, diminuir a taxa de aço nas armaduras – tubulações horizontais não devem ser embutidas na seção da vigas, aumentando a quantidade de aço para reforço de furo (empreendimento 3).
	Acessibilidade: Projetar uma proteção periférica eficiente que não necessite de linhas de vida no meio do pavimento, causando improdutividade pela dificuldade de movimentação na concretagem.

<p>Segurança: Considerar a robustez da estrutura nos projetos de segurança, atentar para a quantidade de procedimentos envolvidos até a finalização. A tecnologia empregada na segurança da alvenaria deve ser empregada a estrutura de transição, com elementos pré-fabricados e desmontáveis.</p>		
<p>Manutenibilidade: Projetar com características físicas e funcionais simples, reduzir o número de componentes para facilitar o manual de uso e operação. Atentar para tubulações embutidas no concreto e alvenaria (projetar inspeções).</p>		
<p>Influências climáticas: Projetar considerando o tempo máximo para concretagem, evitar altos volumes de concreto que precisem ser executados sem interrupções – uso de estruturas pré-moldadas quando não houver necessidade de transição (empreendimento 4).</p>		
<p>Otimização e seqüências: Diminuir o número de componentes através de projetos mais otimizados para as etapas críticas neste requisito: escoramento e armaduras.</p>		
<p>Compatibilidade: Padronizar os componentes agregados aos dois sistemas (alvenaria estrutural e concreto); Fazer projeto detalhado da interface alvenaria-concreto para visualizara a falta de compatibilidade. Projeto da transição deve possuir as mesmas ferramentas de visualização empregadas na alvenaria estrutural.</p>		
<p>Adequação: Treinamento contínuo da mão de obra, não considerar que ela é inteiramente convencional pois os projetos possuem alta complexidade.</p>		
<p>Projetar: Evitar decisões no canteiro e projetos <i>as built</i> pois se trata de uma estrutura robusta com dificuldades de qualquer adaptabilidade.</p>		
<p>Serviços anteriores: Fundações Blocos de fundação Pilares</p>		
<p>Obs. Pilares: Observar o correto transpasse dos arranques para as vigas e garantir que os mesmos fiquem posicionados dentro das armaduras das vigas; Incluir detalhamento de fôrmas no topo do pilar na interseção com a viga; Prever reforço nas fôrmas no topo.</p>		
<p>Preservações dos serviços anteriores: Formas: não se aplica; Armaduras: As armaduras devem ser montadas acima das fôrmas em posição aprumada e respeitando as medidas do projeto, de maneira que não acarrete danos as formas já executadas e conferidas ao baixá-las para encaixe de maneira manual, o encaixe deve garantir a integridade das fôrmas; Concretagem: Não se aplica.</p>		
<p>Materiais: Formas: Madeira de chapas de compensado ou metálica;</p>	<p>Ferramentas/Equipamentos: Formas: Nível a laser; Prumo de face; Lápis de carpinteiro;</p>	<p>EPI's e EPC's: Capacete; Luva; Bota de borracha; Calça comprida;</p>

<p>Elementos de cimbramento metálicos; Escoras metálicas; Pregos com cabeça dupla e simples; Desmoldante; Armaduras: Vergalhões especificados em projeto; Arame recozido; Espaçadores; Concretagem: Concreto usinado conforme especificação de projeto;</p>	<p>Pé-de-cabra; Torquês; Trena; Linha de nylon; Serrote; Martelo; Serra circular; Marreta; Trincha; Lava jato; Esquadro</p>	<p>Óculos de proteção; Botina; Protetor auricular; Protetor de vergalhão; Protetor solar; Luva de ferro; Avental de raspa de couro.</p>
<p>Projetos necessários:</p> <p>Fôrmas; Cimbramentos e escoramentos; Armaduras; Sequência de montagem das armaduras; Projeção dos arranques para a alvenaria estrutural; Furações para hidrossanitário e elétrico; Projetos complementares de detalhes construtivos na interface alvenaria-concreto.</p>		
<p>Procedimento de execução:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Executar o corte e montagem dos painéis conforme especificação de projeto; 2) Identificar cada fôrma com o número da viga; 3) Limpeza das fôrmas e passar desmoldante nas faces que terão contato com o concreto; 4) Verificar se o topo dos pilares está limpo; 5) As fôrmas devem ser montadas apoiando diretamente sobre as escoras metálicas conforme projeto; 6) A montagem prévia das armaduras das vigas deve ocorrer na central de ferragens, a viga deve ser montada sem as armaduras negativas (cargas) e o içamento até o local deve ocorrer com as vigas incompletas; 7) A sequência de montagem das armaduras no local deve ocorrer da seguinte maneira: no eixo de menor dimensão, dispor todas as vigas (sem as armaduras negativas), depois, dispor as vigas do outro eixo e somente após o içamento de todas as vigas, começar a concluir a montagem das armaduras negativas. Se a montagem ocorrer com as vigas completas, em determinado momento não haverá o encaixe de toda a malha de vigas (devido a alta quantidade de barras em cada uma) e as vigas precisarão ser desmanchadas; 8) Colocar espaçadores lateais plásticos nesta etapa, atentando para que os mesmos não fiquem alinhando, acarretando uma região enfraquecida de concreto; 		




- 9) Após a conferência, as vigas podem ser inseridas no local de forma manual;
- 10) Montar a armadura da laje;
- 11) Montar os eletrodutos e caixas elétricos no local, bem como furações para as tubulações hidrossanitárias;
- 12) Lançar o concreto conforme plano de concretagem;
- 13) Usar vibrador para garantir que não ocorram vazios no concreto, não vibrar a armadura (possibilitar um projeto que seja considerado o uso do vibrador sem encostar na armadura);
- 14) Após a laje ser reguada, realizar o acabamento (prever um contrapiso para a laje de transição visto a impossibilidade de um bom acabamento);
- 15) Realizar a cura adequada do concreto, prever que o alto volume de concreto causa um aumento elevado da temperatura.

Controle de qualidade: Realizar a rastreabilidade do concreto. Atentar para a legibilidade do documento, visto a elevada quantidade de caminhões.

Fonte: Autor

No Quadro 38 constam algumas considerações sobre o empreendimento 4 que puderam ser analisadas através de visita técnica e que foram utilizadas para elaboração da instrução técnica.

Quadro 38 – Dados do estudo de caso – empreendimento 4

EMPREENHIMENTO 4		
		
Paredes drywall substituem as paredes de alvenaria.	Concreto pré-moldado no estacionamento inferior (diferença no padrão de acabamento, menos retrabalho).	Estacionamento onde se encontra a estrutura de transição, maior número de vigas e acabamento inferior.

Fonte: Autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo principal a avaliação do impacto na implementação de estruturas de transição em obras de alvenaria estrutural com base nos requisitos de construtibilidade, aplicados em um estudo de caso. A partir da pesquisa bibliográfica, definiu-se que a construtibilidade seria avaliada de forma qualitativa e através dos dez requisitos implementados por Zucchetti (2010), para cada um dos sistemas – alvenaria estrutural e estruturas de transição em concreto armado.

As análises foram realizadas através de informações obtidas para o empreendimento 1, a partir do acompanhamento da execução e pela documentação global da obra. Mais especificamente, foi avaliada a construtibilidade total do empreendimento construído com os dois sistemas, comparando este impacto de construtibilidade que o sistema auxiliar empregou ao todo.

Salientando que as principais conclusões desta pesquisa não devem ser consideradas de forma absoluta, por se tratar de um empreendimento específico. A partir da síntese obtida através dos fatores considerados principais para a construtibilidade, pode-se ampliar o conhecimento dos dois sistemas e identificar os fatores que inferiram para o desempenho ideal da construtibilidade, disponibilizando material de análise para tomadas de decisões futuras que busquem o melhoramento contínuo dos dois sistemas.

A partir da análise qualitativa da construtibilidade da estrutura de transição, verificou-se que o empreendimento 1 obteve desempenho inferior, pois a transição empregou menor construtibilidade total a obra. Não se pode concluir obras com os dois sistemas construtivas que obras de alvenaria estrutural convencional. A partir desta pesquisa, apode-se apresentar melhorias para a evolução tecnológica na execução deste método, pois o conteúdo ampliou quais foram as potencialidades e restrições encontradas no sistema. Sabe-se que a implantação de estruturas de transição engloba a necessidade de mais esforço – como toda a inovação na construção -, este esforço é otimizado através do conhecimento da construtora no sistema, que pode ser adquirido através das repetições (curva de aprendizagem) e na consulta de especificações e orientações técnicas sobre o sistema. Como resultado desta pesquisa, obteve-se a compreensão das principais diferenças encontradas na execução de obras de alvenaria estrutural com e sem estruturas de transição possibilitando a elaboração de instrução técnica específica para o sistema.

REFERÊNCIAS

ALSHAWI, M., UNDERWOOD, J. **A Process and Na Object Oriented Analysis to Integrate Design and Construction**. Proceedings of CIB W78 Workshop on Computer Integrated Construction. Helsinki, Finland, 20 pag., ago, 1994.

ALVA, G. M. S. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**: de acordo com a nova NBR 6118. 2 ed. Rio Grande: Dunas, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10837: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto**. 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270: Componentes cerâmicos – Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15961: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais**. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações.** 2011.

BACK, N., OLIGIARI, O., DIAS, A., SILVA, J.C.DA. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem.** São Paulo: Ed. Manole. 2008.

BARBOSA, P., ANDERY, P. **Contribuição ao estudo de medidas para a melhoria da construtibilidade no processo de projeto em empresas construtoras.** Open Journal of Civil Engineering. 2016. 6v

BARROS, M. M. B.; SABBATINI, F. H. **Diretrizes para o processo de projeto para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios.** São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 2003. BT/PCC/172.

BARROS, M. M. S. B. de; MELHADO, S. B. **Recomendações Para a Produção de Estruturas de Concreto Armado em Edifícios.** 2006. Notas de Aula. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BASTOS, P. S. do S. **Estruturas de Concreto Armado.** Bauru- São Paulo.2014.

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. **Uso de Modelagem 4D e Building Information Modeling na Gestão de Sistemas de Produção em Empreendimentos de Construção. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 65-77, abr./jun. 2015.**

BLUCHER. **Alvenaria Estrutural Construindo o conhecimento.** 2009.

BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. **Product Design fro assembly.** Wakefield: Boothroyd Dewhurst, Inc., 1989.

BRANSÃO, D. E.; HEINECK, L. F.M. **Variabilidade de Layouts x Construtibilidade: algumas soluções para a promoção da versatilidade espacial em alguns apartamentos.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998.

CAMPOS, Prof. João Carlos De. **Alvenaria Estrutural.** São Paulo. 2011.

CHING, Francis D. K.; ONOUYE, Barry S.; ZUBERBUHLER, Douglas. **Sistemas estruturais ilustrados: padrões, sistemas e projeto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

COELHO, Paulo. Frases. 2 ed. Ediouro, 1995.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Prefabrication, Preassembly, Modularization, and Offsite Fabrication in Industrial Construction: A framework for decision-making program**, The University of Texas at Austin, 2002.

CUNHA, K. **Novo módulo: Dimensionamento de alvenaria estrutural**. Desenvolvimento colaborativo da AltoQi. Eberick, 2019.

ENGEL, H. **Sistemas de Estructuras**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 2001.

FADOUL, Abdelaziz; TIZANI, Walid; KOCH, Christian. **Constructability Assessment Model for Buildings Design**. Universidade de Nottingham, Reino Unido, 2017.

FOX, S., MARSH, L., COCHERHAM, G. **Constructability rules: guidelines for successful application to bespoke buildings**. Construction Management and Economics, vol 20, jun. 2002.

GELISEN, G. **Automated Productivity-Based Schedule Animation: Simulation-Based Approach to Time-Cost Trade-Off Analysis**. Journal of Construction Engineering and Management, Reston, v. 140, n. 4, p. B4013007, abr. 2014.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4a ed. São Paulo: 2002.

HASELTINE, B.A.; MOORE, J.F.A. **Handbook to BS-5628: structural use of masonry. Part 1: Unreinforced masonry**. The Brick Development Association, 1981.

HEINECK, L. F. **Efeito aprendizagem, efeito continuidade e efeito concentração no aumento da produtividade na alvenaria**. Anais do III Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil, Florianópolis-SC, 1991.

IBRACON. **CONCRETO & Construções**. Edição 90. Abril – junho. 2018.

IBRACON. **Concreto, ensino, pesquisa e realizações Vol.1**. 2005.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction.** 2000. Thesis (Doctor of Technology) – Technical Research Center of Finland, VTT Building Technology, Helsinki, 2000.

LAM, P. T. I.; WONG, F. W. H.; CHAN, A. P. C. Contributions of designers to improving buildability and constructability. **Journal Design Studies.** V. 27, n.4, jul, 2006.

PHENG LOW, Sui. **Quantifying the relationships between buildability, structural quality and productivity in construction.** Structural Survey, v. 19, n. 2, p. 106-112, 2001.

NAKAMURA, J. A redescoberta da alvenaria estrutural. **Téchne.** São Paulo. PINI: junho, 2003.

NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V.F.; CASTRO, E.B.P.; MEDEIROS, L. M. S., BORGES, M. M.; SOUZA FILHO, R. S. **O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial: conceitos, reflexões, aplicações e formação profissional.** 2001.

NEIVA NETO, R. S.; RUSCHEL, R. C. **BIM aplicado ao projeto de fôrmas de madeira em estrutura de concreto armado.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 183-201, out./dez. 2015.

NIMA, Mekdam A. Constructability Concepts in West Port Highway in Malaysia. **Journal of Construction Engineering and Management.** New York, jul. 2002.

O'CONNOR, J. T.; LARIMORE, M. A.; TUCKER, R.L. Collecting Constructability Improvement Ideas. **Journal of Construction Engineering and Management.** 1986.

PACHECO, B. **Avaliação da construtibilidade entre os sistemas construtivos wood frame e alvenaria estrutural: um estudo de caso em um condomínio de alto padrão em Xangrilá – RS.** 2019.

PARSEKIAN, G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural.** 2013.

PARSEKIAN, Guilherme Aris. **Parâmetros de Projeto de Alvenaria Estrutural com Bloco de Concreto.** São Paulo: EdUFSCar – Editora da Universidade Federal de São Paulo. 2012.

PASTRO, Rodrigo Zambotto. **Alvenaria Estrutural – Sistema Construtivo**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

PETRUCCI, Celso. **Balanco do mercado imobiliário**. Secovi. São Paulo, 2015.

PINI. **Construção passo-a-passo**. 2009.

RAMALHO, M.A.; CORRÊA.M.R.S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RIDDINGTON, J.R; STAFFORD SMITH, B. **Composite method of design for heavily loaded wall-beam structures**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 1, v.64, p.137-151, February, 1978.

RODRIGUES, Marilucy Butinholi. **Diretrizes Para a Integração Dos Requisitos De Construtibilidade Ao Processo De Desenvolvimento De Produtos De Obras Repetitivas**. 2005. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

ROMAN, Humberto Ramos; MUTTI, Cristine do Nascimento; ARAÚJO, Hércules Nunes De. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Florianópolis - SC, 1999.

SAFFARO, F. A., SANTOS, D. G., HEINECK, L.F. **Uma proposta para classificação de decisões voltadas a melhorias da construtibilidade**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXIV, 2004 Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0502_0176.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2019.

SANCHES I.D.A.; FABRICIO, M. M. **a Importância Do Projeto Na Manutenção De His**. In: Simpósio Brasileiro de Gestão da economia da construção, VI. Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2009, João Pessoa, Paraíba, 2009.

SELECTA, Blocos. Grupo Estrutural. Disponível em: <http://www.grupoestrutural.com.br/selecta/>. Acesso em: 30 mar 2019.

SINDCERMG. Manual técnico: Execução de alvenaria estrutural racionalizada em blocos cerâmicos. 2014. Disponível em: <http://www.sindicermg.com.br/estudante/ManualTecnicoAlvenaria.pdf>.

SIQUEIRA, Renata A.; MALARD, Maria L.; SILVA, Margarete M. A.; TELLO, Marina; ALVES, José M, **Coordenação Modular da Alvenaria Estrutural: Concepção e Representação**. 2012. Artigo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

TAUIL, Carlos Alberto; Nese, Flávio José Martins. **Alvenaria Estrutural**. 1 ed. São Paulo: Pini Ltda.2010.

VASQUES, Caio C.; PIZZO, Luciana M. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares**. Trabalho de conclusão de curso do Centro Universitário de Lins. São Paulo, 2014.

VIEIRA, H. F. **Logística aplicada à construção civil: como melhorar o fluxo de produção nas obras**. 1 ed. São Paulo: Pini, 2006.

WENDLER, Arnaldo. **Curso sobre projeto de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto (CAEB/P)**. 1999.

WONG, F. W. H. et al. **A review of buildability performance in Hong Kong and strategies for improvement**. Surveying and Built Environment, v. 17, n. 2, p. 37-48, 2006.

ZECHMEISTER, Dóris. Construção Civil IV. **Notas de aula**, 2019.

ZIN, R. M. **Design phase constructability assessment model**. Tese (Doutado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade de Tecnologia da Malasia, 2004.

ZIN, R. M., HASSAN, S. H. **Design phase constructability concepts for highway construction**. In: International Conference on Construction Industry, 2006. Disponível: http://eprints.utm.my/782/1/CT_13 [1]. **_Design_Phase_Constructability._Rosli.pdf**. Acesso em 25/03/2019.

ZUCCHETTI, Lais. **A construtibilidade como requisito de avaliação de componentes para a edificação: o caso do Elemento de Integração alvenaria / esquadria**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO PARA ENTREVISTA

REQUISITOS	DESCRIÇÃO	TÓPICOS	RESPOSTAS	
			COM TRANSIÇÃO	SEM TRANSIÇÃO
(RODRIGUES, 2005; ZUCCHETTI, 2010)	(ZUCCHETTI, 2010)	(AUTOR)		
PADRONIZAÇÃO	Emprega dimensões modulares, repetições de tamanhos de componentes de detalhes de conexão, minimizando variabilidade de produtos e processos.	Projeto de armadura de vigas variável (disposição e diâmetros).		
	Utiliza repetição nos processos.	Mudança de sistema construtivo.		
	Emprega componentes e conexões padronizadas e acessíveis	Abordagem do ponto crítico (segundo pavimento – pilotis), com troca de materiais de conexões e afins.		
	Apresenta precisão dimensional e tolerâncias compatíveis.	Uso de formas inadequadas.		
	Apresenta conectividade entre elementos	Encaixe armaduras de vigas.		
	Fornecer condições para padronização dos projetos.	Interface concreto-alvenaria.		
	Fornecer condições de dimensões máximas adequadas para transporte, armazenamento e instalação.	Falta de sequência de montagem de armaduras.		
	Reduz o desperdício de materiais e tempo de execução.	Uso de formas.		
SIMPLIFICAÇÃO	Integra diferentes elementos e funções em um mesmo elemento.	Estrutura e vedação vertical.		
	Utiliza componentes com tamanho e configurações disponíveis no mercado.	Principalmente em projetos de instalações.		
	Emprega formas simples e minimiza interdependências.	Concretagem, tempo de cura, escoramento, cimbramentos.		
	Permite ajustes dimensionais no canteiro.	Em geral, a estrutura não permite.		
	Exige poucos cuidados quanto ao armazenamento e utilização.	Em geral, maior infraestrutura para armazenamento dos materiais da alvenaria estrutural.		
ACESSIBILIDADE	Não necessita de equipamentos especiais.	Bomba, guindastes para içamento de lajes.		
	Não exige espaços especiais para armazenamento e construção.	Isolamento do canteiro para içamento de lajes pré-moldadas.		
	Minimiza o tempo de estocagem de andaimes.			
	Reduz os espaços de estocagem pela possibilidade de empilhamento.	Fôrmas, elementos de escoramentos, pallets de blocos.		
	Possibilidade a minimização de danos a trabalhos já concluídos.			
	Não necessita de proteção.			
INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS	Menor tempo de atividades ao ar livre.	Concretagem vs. alvenaria		
	Permite o fechamento de espaços nas etapas iniciais.			
	Utiliza métodos PPMOF			
MANUTENIBILIDADE	Emprega características físicas e funcionais simples.	Projetos complexos para a estrutura de transição.		
	Utiliza reduzido número de componentes.			
	Apresenta espaços adequados para acesso visual e realização das atividades.	Manutenibilidade da alvenaria e estrutura de concreto possível em atividades.		

		geral, dificuldades encontradas na interface entre os sistemas.		
	Permite montagem e desmontagem.			
	Utiliza componentes padronização.			
	Utiliza partes modulares que possam ser facilmente testadas e reparadas.	Dificuldade de reparos na alvenaria estrutural, falta de flexibilidade.		
SEGURANÇA	Apresenta sequencias seguras de construção.	Projeto inadequado para a estrutura de transição.		
	Utiliza materiais e componentes com tamanhos e pesos seguros.			
OTIMIZAÇÃO DE TÉCNICAS E SEQUENCIAS CONSTRUTIVAS	Emprega materiais novos para usos tradicionais.	Dois métodos bastante conservadores.		
	Reduz a quantidade de trabalho em canteiro.	Pico de mão de obra na execução do concreto armado.		
	Minimiza as perdas e retrabalhos.	Falta de materiais adequados gerou retrabalhos em termos de acabamento.		
	Reduz os tempos de espera e possibilita a minimização de congestionamentos no canteiro.			
	Emprega sequencias práticas e operações contínuas.			
	Propicia a utilização de métodos inovadores.			
COMPATIBILIDADE E VISUALIZAÇÃO	Uso de ferramentas de visualização para compatibilidade dimensional.	Projetos com grande disparidade de detalhamento.		
	Uso de ferramentas de visualização para interferências.	Não utilizou para a interface concreto-alvenaria. Utilizou de forma deficiente no concreto.		
ADEQUAÇÃO	Usa materiais e produtos já empregados no mercado.			
	Minimiza a utilização e retorno de equipes de especialistas.			
	Utiliza mão de obra e recursos disponíveis localmente.			
PROJETAR PARA A EFICIÊNCIA	Apresenta flexibilidade e adaptabilidade aos projetos.			
	Emprega simplificação, mão de obra disponível e tecnologias de simulação que permitam a visualização antecipada.			

Fonte: Autor

ANEXO A – INSTRUÇÃO DE TRABALHO DE ALVENARIA ESTRUTURAL

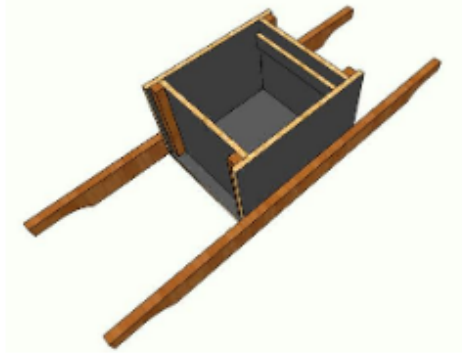
	ALVENARIA ESTRUTURAL	IT008	
		Data: 08/04/19	Revisão: 13

Serviços Anteriores Contrapiso ou Laje Impermeabilização - Quando térreo e necessário Proteção periférica ou linha de vida		
Preservação dos Serviços Anteriores Não se aplica.		
Materiais Blocos, conforme projetos; Argamassa industrializada; Cimento; Areia média; Areia grossa; Brita Zero; EPS (isopor); Aço; Cola epóxi (quando aplicável); Tela para limpeza e/ou espuma; Linha de nylon; Vergas, contravergas e "bolachas" (pré-moldados) Projeto paginação 1º fiada plastificado (escala 1:50); Projeto elevações; Abraçadeira de nylon(para pontos de graute).	Equipamentos Betoneiras e/ou Argamassadeiras; Padiola; Pá e enxada; Estilete; Carro de mão, Nível laser ou mangueira; Colher especial tipo calha, desempenadeira ou palheta; Colher de pedreiro; Caixas para argamassa individual; Caixa para uso comum; Nível de Bolha (3 bolhas - magnético) Prumo de face; Esquadro (tamanho mínimo 80 cm.); Escala vertical; Furadeira e brocas; Andaime; Marreta.	Equipamentos de Segurança Capacete com identificação; Botina; Luva de raspa; Luva látex alongada; Calça comprida; Cinto de segurança, (quando aplicável); Máscara, protetor auricular e óculos de proteção (ao utilizar a betoneira); Camisa de manga comprida (indicação); Protetor solar.
Procedimento Execução Executar a primeira fiada: <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar se o local está adequado para iniciar o serviço. <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Verificar se o ambiente de serviço está limpo; 1.2 Conferir esquadro e nível. 2. Selecionar as peças a serem utilizadas, de acordo com projeto de paginação. 3. Posicionar sem argamassa os blocos de acordo com projeto de paginação. 4. A primeira fiada será assentada com argamassa produzida em obra – massa preta (junta horizontal somente). O traço da massa preta encontra-se no quadro de traços fixado na central de argamassa e graute. <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Nesta primeira etapa, a diferença de nível já deve ser ajustada, caso do desnível do piso seja de até 3cm; 		

	ALVENARIA ESTRUTURAL	IT008	
		Data: 08/04/19	Revisão: 13
<p>NOTA: Caso o desnível do piso seja superior a 3cm deve ser executado um graute para nivelamento da primeira fiada nos pontos necessários.</p> <p>4.2 Nesta fiada a argamassa é colocada em toda a base do bloco.</p> <p>5. Inicia-se com os blocos dos cantos das paredes externas.</p> <p>6. Com o auxílio da linha de nylon, assentar o restante dos blocos finalizando a marcação da primeira fiada.</p> <p>6.1 Verificar se os vãos das portas, medidas dos ambientes internos e esquadro se estão corretamente locados.</p> <p>7. Caso esteja executando a alvenaria de 2º pavimento ou superior, verificar o prumo em relação à 1º fiada do pavimento anterior ou em relação aos pilares dos pilotis.</p> <p>8. Verificar onde são os pontos de graute estrutural, retirar estes blocos, fazer as janelas de inspeção.</p> <p>NOTA: Com a repetição do serviço os pontos de graute já estão "decorados na memória". Sendo assim na hora de assentar a fiada de marcação, já podem ser locados os blocos com janela de inspeção nos devidos lugares.</p> <p>9. Nos pontos de graute, coloca-se o vergalhão com dimensões definidas em projetos, fixados com auxílio de marreta garantindo a fixação do vergalhão no contrapiso no caso do pavimento térreo.</p> <p>10. As juntas verticais deverão ser preenchidas posteriormente com argamassa industrializada ou argamassa produzida em obra, com o auxílio da colher de pedreiro. Antes do início da 2º fiada. Isso ocorre por motivo de realocação de algum bloco, facilitando a movimentação.</p> <p>11. Após a finalização da primeira fiada, esperar a conferência da equipe responsável pela obra, para poder seguir com serviço.</p> <p>ALVENARIA PROPRIAMENTE DITA:</p> <p>Primeira etapa – Primeira metade da alvenaria:</p> <p>1. Assentar os cantos, formando pirâmides (castelinhos) até a 8ª fiada, controlando as juntas pela marcação da régua vertical.</p> <p>2. Os blocos que fazem a moldura da janela também recebem o auxílio estrutural de graute e aço. Sendo assim a janela de inspeção fica na base da contraverga, caso especificado em projeto;</p> <p>3. Colocar as barras de aço e treliças nos locais onde há graute, antes da concretagem;</p> <p>NOTA: As treliças abaixo do vão das janelas deverão estar de cabeça para baixo, (V) maior largura em cima. Verificar se as calhas das vergas estão limpas, não contendo entulho e restos de massa.</p> <p>4. Posicionar espera de 30 cm que servira de ancoragem para o graute vertical ao lado das janelas;</p> <p>5. Limpar os pontos de graute estruturais, observando nas janelas de inspeção se está completamente limpo e</p>			

	ALVENARIA ESTRUTURAL	IT008	
		Data: 08/04/19	Revisão: 13
<p>livre de entulhos, massa ou outros.</p> <p>6. Fazer o assentamento de todas as paredes até a 8ª fiada.</p> <p>7. Na 8ª fiada é feita a conferência do nível, prumo e esquadro.</p> <p>8. Grautear os pontos indicados no projeto, observando que os mesmos devem ser totalmente preenchidos;</p> <p>9. As paredes devem ser limpas, ou seja, logo após o assentamento e retirada do excesso das juntas com a colher, em ambos os lados da parede. Estas devem, preferencialmente, ser limpas com uma espuma e/ou tela de limpeza, deixando a parede pronta para receber o próximo serviço.</p> <p>10. Após a finalização desta etapa, esperar a conferência da equipe responsável pela obra, para poder seguir com serviço.</p> <p>Instalação da proteção periférica:</p> <p>1. Sempre serão utilizadas as proteções periféricas, a partir do 2º pavimento ou conforme projeto de segurança.</p> <p>2. A instalação das proteções periféricas será conforme o projeto, que prevê pontos de fixação e sistema de encaixe modular;</p> <p>3. A partir da 8ª fiada, devem ser erguidas as telas das proteções, antes de iniciar a montagem dos andaimes, para conclusão da alvenaria.</p> <p>Segunda etapa – Segunda metade da alvenaria:</p> <p>1. Montar os andaimes de forma adequada. Sem o uso de pallets.</p> <p>2. Assentar os cantos, formando pirâmides (castelinhos) até a altura final do pé direito, seguindo a escala vertical.</p> <p>3. Assentar o restante, conforme projeto, verificando prumo, esquadro, nível e alinhamento superior dos blocos.</p> <p>4. Limpar os pontos que serão grauteados. Retirando restos de argamassa, entre outros entulhos. Deixando completamente limpo, principalmente no pé do pilarete.</p> <p>5. Verificar se os pontos verticais de graute estão abertos no fundo da cinta.</p> <p>6. Distribuir o aço seguindo especificações do projeto, bem como transpasses e dimensões da bitola. Observar se pede em projeto uma armadura em "L" nos cantos da cinta da edificação.</p> <p>7. Fechar as janelas de inspeção com um pedaço de compensado e amarrá-lo com fita Helleman.</p>			

	ALVENARIA ESTRUTURAL	IT008	
		Data: 08/04/19	Revisão: 13
<p>8. Verificar se as instalações hidrossanitárias, elétricas, telefônicas, antena, interfone e gás estão conforme projeto de paginação. Avisar a equipe técnica da obra após a conclusão da colocação dos vergalhões e tubulações elétricas, telefônicas para fazer a conferência antes de executar o grauteamento.</p>			
<p>9. Após a conferência e liberação, pela equipe técnica da obra, grautear todos os pontos verticais, as laterais da janela e demais pontos do graute vertical deixando a armadura necessária (especificadas em projeto) para transpasse;</p> <p>NOTA: O traço a ser utilizado no graute encontra-se fixado na central de argamassa e graute. Deve sempre ser respeitada a quantidade de materiais. Na utilização de graute industrializado, verificar PR014 – Controle Tecnológico e Rastreabilidade da Obra.</p>			
<p>10. No processo do graute da cinta, deixar o acabamento regular, paralelo à cinta sem caroços ou vazios.</p>			
<p>11. O serviço somente será considerado finalizado após a limpeza e inspeção da equipe técnica da obra (Engenheiro ou Arquiteto, Auxiliar de Engenharia, Mestre, Contra mestre e Estagiário).</p>			
<p>Diretrizes gerais para Alvenaria Estrutural:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar argamassa industrializada para alvenaria estrutural nas elevações, em hipótese alguma usar outro tipo de argamassa. Utilizar argamassa especificada em projetos nos seus respectivos pavimentos, atentar para as diferentes resistências de argamassa. • NOTA: Caso autorizado pelo engenheiro estrutural pode ser utilizada argamassa produzida em obra, porém o mesmo deve especificar o traço e quantidade de água. • Lembrar que para o bloco de concreto a parte mais espessa deve ficar para cima; • Colocar EPS nas dilatações, à medida que for subindo a alvenaria, nunca depois; • Sempre obedecer ao projeto de paginação; • As paginações devem estar à disposição do bloqueiro; • As laterais das janelas devem sempre ser grauteadas da contra verga até a verga, quando definida na paginação; • Caso seja alvenaria de bloco cerâmico cabe o uso de treliça, nas cintas de amarração, conforme projeto; 			

	ALVENARIA ESTRUTURAL	IT008	
		Data: 08/04/19	Revisão: 13
<ul style="list-style-type: none"> Para alvenaria de bloco de concreto são usadas barras nos pontos estruturais, tanto verticais quanto horizontais, conforme projeto; 			
<p>Limpar a área, deixando livre de materiais e entulhos.</p> <p>SOMENTE APÓS A LIMPEZA DO PAVIMENTO O SERVIÇO SERÁ CONSIDERADO ACABADO.</p> <p>Procedimento Graute</p> <p>1. Preparação para grauteamento Os grauteamento verticais devem ser feitos em 1 etapa, junto com o grauteamento da cinta. É necessária intensa inspeção da limpeza dos pontos verticais, onde após a retirada da argamassa dos vazados dos blocos, deve ser despejado um balde de água para a limpeza da sujeira que está depositada junto as janelas de inspeção. A barra de aço que vai nestes pontos verticais deve possuir um comprimento de 3,20 m, que corresponde a 2,60m do pé direito + 0,10 m espessura da laje + 0,5m de transpasse para amarração com o pavimento de cima, conforme projeto. No caso do Bloco THETA temos o segundo pavimento com as barras de aço com comprimento de 3,30 m, devido a mesmo possuir diâmetro superior aos demais pavimentos. NOTA: Os projetos de SPDA que apresentam instalações no GRAUTE, devem ser verificados as amarrações de barras de forma que mantenha a conectividade do sistema. Verificar detalhamento do projeto. Após limpeza das janelas de inspeção, a mesma deve ser fechada com compensado e abraçadeira de nylon.</p> <p>2. Produção do Graute O graute deve seguir o seguinte traço: 1:2:2 e relação A/C (água /cimento) 0,7.</p>			
			

ALVENARIA ESTRUTURAL		IT008	
		Data: 08/04/19	Revisão: 13
<p>Após lançamento dos agregados, aglomerante e água na betoneira, deve ser acrescentado aditivo Anti-Segregante na mistura, tendo a relação de 1% ao peso do cimento utilizado. O graute deve ser misturado pelo menos 5 minutos na betoneira, que é o tempo que o aditivo demora para reagir e aumentar a viscosidade do graute.</p>			
<p>IMPORTANTE: É fundamental respeitar a relação A/C e a quantidade de aditivo para a produção do graute.</p>			
<p>Itens de Inspeção Primeira Fiada Marcação da primeira fiada (Tolerância ± 1cm, verificar esquadro, nível e prumo do pavimento anterior ou viga com auxílio dos equipamentos calibrados)</p>			

	ALVENARIA ESTRUTURAL	IT008	
		Data: 08/04/19	Revisão: 13
Dimensão dos vãos (Tolerância $\pm 0,5$ cm, com auxílio da trena calibrada conferir as dimensões dos vãos)			
Última Fiada			
Nível e prumo da alvenaria (Tolerância ± 1 cm na altura total da parede e tolerância de $\pm 0,5$ cm no prumo dos vãos, conferir com auxílio de equipamentos calibrados)			
Conferir vãos de portas (Tolerância $\pm 0,5$ cm)			
Conferir vãos de janelas (Tolerância ± 5 mm)			
Conferência dos pré-moldados (Tolerância ± 5 mm nível da peça inteira, conferir com auxílio de nível bolha)			
Limpeza e uniformidade nas juntas (Visual)			
Uso correto do EPS (isopor) (Visual)			
Escoramento dos vãos (Visual, escoras devem estar perpendiculares as peças)			
Graute (SPDA)			
Verificar a execução do SPDA conforme projeto, antes do graute.			
Graute			
Integridade do graute: pontos de graute (Visual, sem tolerância para bitola de vergalhões), limpeza dos pontos de graute e da janela de inspeção (Visual) e esperas das ferragens (Tolerância -5 diâmetros e livre pra mais, com auxílio de trena conferir esperas)			
Preenchimento do graute (Visual, conferir janelas de inspeção)			
Limpeza do posto de trabalho (Visual)			
Procedimento Inspeção			
PIS008 – Alvenaria Estrutural			
Local de Aplicação da Inspeção			
Pavimento			
Normas de referência:			
NBR 15961/2011 - NBR 15812/2010			

ANEXO B – INSTRUÇÃO DE TRABALHO DE CONCRETO ARMADO

	VIGAS E LAJES (FORMAS, ARMADURA, CONCRETAGEM)	IT005-C	
		Data: 24/05/18	Revisão: 01

FORMAS E ARMADURAS

Serviços Anteriores Locação da obra; Fundações; Blocos de fundação; Vigas de fundação quando existir; Pilares.		
Preservação dos serviços anteriores Não se aplica.		
Materiais Formas: Madeiras; Chapas de compensado; Escoras de eucalipto ou metálicas; Pregos com cabeça dupla e simples; Desmoldante; Armadura: Vergalhões especificados em projeto; Arame recozido; Espaçador.	Equipamentos Formas: Nível a laser e/ou Mangueira de nível; Prumo de face; Lápis de carpinteiro; Pé-de-cabra; Torquês; Trena; Linha de nylon; Serrote; Martelo; Serra circular; Marreta; Trincha; Lava jato; Esquadro; Armadura: Giz; Lápis de anilina; Bancada com gabarito de pinos para dobra dos vergalhões; Tesoura e/ou serra para corte de vergalhão; Chave de dobrar vergalhão; Tubo de ferro ou cantoneira para dobrar os ferros; Madeiras para identificação das peças; Esmerilhadeira.	Equipamentos de Segurança Capacete com identificação; Luva; Bota de borracha; Calça comprida; Óculos de proteção (para operador da serra e esmerilhadeira); Botina; Protetor auricular (para operador da serra); Protetor de vergalhão; Protetor solar; Luva de ferreiro; Avental de raspa de couro.
Procedimento Execução 1. Para a fabricação de formas de madeira das vigas e laje, cortar os painéis ou tábuas para montagem de acordo com as dimensões especificadas no projeto. NOTA: Depois das formas montadas, é importante nomeá-las de acordo com as vigas e lajes, passar		

	VIGAS E LAJES (FORMAS, ARMADURA, CONCRETAGEM)	IT005-C	
		Data: 24/05/18	Revisão: 01

desmoldante (a base de óleo vegetal) nas faces e fundo das vigas e nos painéis de suporte das lajes que irão estar em contato direto com o concreto;

2. Verificar se o topo dos pilares está limpo, caso contrário limpar as cabeças dos pilares;
3. Posicionar os fundos das vigas a partir do topo dos pilares, apoiando diretamente nas escoras metálicas, prevendo desde o início o ajuste do nível das mesmas;
4. As escoras metálicas devem ser posicionadas de acordo com o projeto de escoramento;
5. Concluída a montagem, escoramento e nivelamento dos fundos das vigas, iniciar o posicionamento das laterais das vigas e após as mesmas devem ser fixados com gravatas de madeira. As medidas das laterais das vigas, das gravatas de travamento tais como as distancias entre as gravatas devem seguir o projeto de formas.
NOTA: Em uma das extremidades das laterais e fundo de viga a forma deve possuir um taco de aproximadamente 10 cm visando a facilidade de desforma.
6. Após a conclusão da montagem das formas das vigas iniciar a montagem das formas da laje;
7. Para iniciar a montagem do fundo das lajes devem ser posicionadas as longarinas e transversinas, apoiando as mesmas diretamente nas escoras metálicas. A dimensões, afastamentos e níveis devem ser seguidos de acordo com o projeto estrutural e de fôrmas;
8. Fazer o fundo da laje partindo das laterais das vigas e apoiando nas longarinas já niveladas;
9. Concluída a etapa de fôrmas a mesmas deve ser inspecionada pela equipe técnica antes do início da aplicação do desmoldante e da distribuição das armaduras.
10. Iniciar a distribuição das armaduras. Nesta etapa do processo as ferragens já devem estar prontas e etiquetadas por numeração (V01, V02...) e então dispostas sobre as formas para conferência. O procedimento de montagem das armaduras será descrito abaixo;
11. Separar por bitolas as peças a serem utilizadas, de acordo com projeto estrutural. Se for corte e dobra separar os vergalhões por tamanho e bitola;
12. Cortar os ferros nas medidas e quantidades estipuladas em projeto, conferindo o cobrimento do concreto, as esperas, as dobras, os transpasses;
13. Dobrar os estribos, seguindo dimensões do projeto;
NOTA: Caso a armadura seja dobrada e cortada, as etapas 12 e 13 são dispensáveis.
14. Na banca do ferreiro, deve-se ter um lugar específico para amarrar as ferragens tendo acesso por dois lados. Uma espécie de cavalete para por as armaduras longitudinais das vigas e/ou pilares.
15. Espalhar os estribos com espaçamento especificado em projeto e começar a amarrar com auxílio da

	VIGAS E LAJES (FORMAS, ARMADURA, CONCRETAGEM)	IT005-C	
		Data: 24/05/18	Revisão: 01

torquês e arame recozido. Depois de amarrar os dois lados de cima, viram-se as vigas ou pilares e amarram os outros dois lados de baixo;

NOTA: Colocar espaçadores laterais plásticos (roseta) presos nas ferragens nesta etapa, atentar para o cobrimento necessário e o tamanho do espaçador. Se for utilizado espaçadores de concreto ou argamassa, o mesmo, deve apresentar relação água/ cimento menor ou igual a 0,5. Distância entre os espaçadores $\leq 1,5$ metros.

ATENÇÃO: Em barras paralelas os espaçadores NÃO devem ficar alinhados para não criar uma região enfraquecida no concreto.

16. Identificar com etiqueta (que não danifique caso molhe) as armaduras de acordo com nomenclatura em projeto.

17. Após a conferência, as ferragens são inseridas nos devidos lugares conforme projeto estrutural, e em seguida será iniciada a montagem de armadura da laje;

18. A armadura da laje deverá ser montada diretamente no local respeitando os afastamentos e pontos de fixação especificados em projeto;

19. Quando a armadura estiver toda distribuída devem ser colocados espaçadores de fundo garantindo o cobrimento. Também devem ser inseridas as mestras para regular a laje de transição;

20. Nesta etapa deve ser realizada toda a parte de eletrodutos e caixas elétricas, além das furações de passagens de tubulações hidrossanitárias devem ser previstas nas vigas e lajes;

21. Verificar se os topos dos pilares estão completamente limpos, assim facilitando a emenda dos concretos (viga e pilar). Caso não estejam, limpar as mesmas com abundância de água, com auxílio de lava jato, removendo completamente a sujeira;

NOTA: Recomenda-se que o serviço das formas seja concluído um dia antes do lançamento do concreto, conferindo se todo o material necessário está OK.

22. O serviço somente será considerado finalizado após a limpeza e inspeção da equipe técnica da obra (Responsável de Obra, Auxiliar de Engenharia e Estagiário).

Itens de Inspeção

Formas:

Integridade das formas: dimensões (Tolerância ± 5 mm, com auxílio de trena fazer a conferência dos painéis), rigidez e travamento das formas (Visual), nível (Tolerância ± 5 mm. Com auxílio de nível a laser fazer a conferência);

Desmoldante (a base de óleo vegetal) nas faces que irão estar em contato direto com o concreto.

Prumo da face da forma (Tolerância $+5$ mm);

Conferência do nível do arrasamento dos pilares.

Armadura:

Bitolas, quantidades e posição dos vergalhões (Sem tolerância para bitola e quantidades, visual – Tolerância de

	VIGAS E LAJES (FORMAS, ARMADURA, CONCRETAGEM)	IT005-C	
		Data: 24/05/18	Revisão: 01

+10cm para transpasse, NUNCA para menos, com auxílio de trena)
Afastamento entre estribos (Sem tolerância para aumento da distância, com auxílio de trena)
Colocação de espaçadores (Visual)

LANÇAMENTO DE CONCRETO

Serviços Anteriores Formas; Armaduras; Colocação das esperas de instalações elétricas, telefônicas, hidrossanitárias, gás e redes de descarga atmosférica, se constar em projeto.		
Preservação dos serviços anteriores Formas; Armaduras;		
Materiais Concreto usinado.	Equipamentos Vibrador; Pá; Colher de Pedreiro; Desempenadeira; Carrinho de mão; Balde; Caminhão bomba com lança	Equipamentos de Segurança Capacete com identificação; Luva látex; Óculos de proteção; Botina; Protetor solar.
Procedimento Execução 1. Lançar o concreto conforme plano de concretagem, com o auxílio de carrinho de mão, pá, baldes, caminhão bomba, dependendo da situação; 2. Após lançar o concreto nas formas, usar sempre o vibrador, garantindo que não irá criar vazios (bicheiras) na concretagem. Tomar o cuidado para manusear o vibrador a 90° no máximo a 45°, sem deixar no mesmo ponto mais do que 4 segundos; NOTA: Não vibrar a armadura e não vibrar o concreto mais de uma vez no mesmo local. NOTA: Conforme volume de concreto e local a ser concretado, deve ser dimensionada a quantidade necessária de vibradores sempre prevendo um vibrador reserva. OBS: Realizar a rastreabilidade do concreto conforme PR014 – Rastreabilidade. 3. Realizar o acabamento com a colher de pedreiro e/ou desempenadeira após o concreto ser reguado; 4. Manter úmido (hidratado) o concreto o maior tempo possível, para garantir sua resistência. Esta etapa pode variar de acordo com o clima. O importante é não deixar o concreto finalizar a hidratação, pois neste caso não haverá mais o processo da "pega". Depois do processo de cura a água não tem efeito. Para que este processo ocorra de forma adequada, é indicado que seja colocada a manta de bidin para manter o concreto hidratado no período de cura. 5. O serviço somente será considerado finalizado após a limpeza e inspeção da equipe técnica da obra (Responsável de Obra).		
Itens de Inspeção Após desforma, inexistência de falhas (Visual)		

	VIGAS E LAJES (FORMAS, ARMADURA, CONCRETAGEM)	IT005-C	
		Data: 24/05/18	Revisão: 01

Procedimento Inspeção PIS00 – Viga e laje de transição
Local de Aplicação da Inspeção Bloco
Normas de Referência: ABNT NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento ABNT NBR 14931/2004 – Execução de estruturas de concreto - Procedimento