

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**A construtibilidade como requisito de avaliação de
componentes para a edificação: o caso do Elemento de
Integração alvenaria/ esquadria**

Lais Zucchetti

Porto Alegre
2010

Lais Zucchetti

**A CONSTRUTIBILIDADE COMO REQUISITO PARA AVALIAÇÃO
DE COMPONENTES PARA A EDIFICAÇÃO: O CASO DO
ELEMENTO DE INTEGRAÇÃO ALVENARIA ESTRUTURAL/
ESQUADRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico. Orientação: Prof. Dra. Ângela Borges Masuero e Prof. Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin.

Porto Alegre

2010

LAIS ZUCCHETTI

**A CONSTRUTIBILIDADE COMO REQUISITO PARA
AVALIAÇÃO DE COMPONENTES PARA A EDIFICAÇÃO: O
CASO DO ELEMENTO DE INTEGRAÇÃO ALVENARIA
ESTRUTURAL/ ESQUADRIA**

Prof. Ângela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dra. pela Universidade de São Paulo
Orientadora

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Ph. D. pela University of Leeds - Inglaterra
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Acir Mércio Loredó Souza (UFRGS)
Ph.D. pela University of Western Ontario - Canadá

Prof. Hélio Adão Greven (UFRGS)
Dr. Ing. pela Universidade de Hannover – Alemanha

Prof. Humberto Ramos Roman (UFSC)
Ph.D. pela University of Sheffield - Inglaterra

Prof. Ronaldo Bastos Duarte (UFRGS)
Ph.D. pela University of Edinburgh - Escócia

CIP - Catalogação na Publicação

Zucchetti, Lais

A construtibilidade como requisito de avaliação de componentes para a edificação: o caso do Elemento de Integração alvenaria/ esquadria / Lais Zucchetti. -- 2010.

175 f.

Orientador: Ângela Borges Masuero.

Coorientador: Denise Dal Molin.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-RS, 2010.

1. Construtibilidade. 2. Elemento de Integração. 3. Interface alvenaria estrutural/ esquadria. I. Masuero, Ângela Borges, orient. II. Dal Molin, Denise, coorient. III. Título.

Dedico este trabalho aos amores da minha vida: Leda, Lou, Augusto e Jonatas, pelo entusiasmo, carinho, compreensão e companheirismo, em especial ao meu querido pai, que com toda certeza está me acompanhando e iluminando.
Muito obrigada! Do fundo do meu coração!

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer à minha mãe, mulher guerreira, persistente, que mesmo frente às mais adversas situações mantém a calma, a serenidade e a clareza pra seguir em frente. Mãe! És um exemplo de mulher, mãe, avó (coruja) e profissional. Tenho muito orgulho de ser sua filha! E obrigada por ter ficado com o Gutinho quando meus prazos não existiam mais!

Ao meu pai, pelos ensinamentos, tranqüilidade, carinho e amor que tinha comigo e minha irmã. Por sentar à noite cansado depois de um dia inteiro de serviço e auxiliar nas tarefas da escola (com a maior paciência do mundo), pelas inúmeras aventuras e histórias e pela música tocada ao violão para dormir. Saudade meu pai querido!

À Lou, minha irmã, sempre muito querida, carinhosa, pacienciosa. O oposto de mim, mas com quem sempre pude contar e receber apoio. Era quem mais perguntava sobre a dissertação, sempre muito interessada, e se animava quando eu dizia que o trabalho “pelo menos não estava parado”. Te amo muito minha irmã!

Aos meus sogros, especialmente à Cila minha sogra, pela disponibilidade em vir para Porto Alegre e ficar com o Augusto e pelo carinho e amor com que cuidou dele quando eu precisei me ausentar.

Ao meu querido e amado Jônatas pelo apoio incondicional, pelo amor, carinho, paciência e tranqüilidade. E por estar ao meu lado ao longo desta jornada, que foi interrompida um tempinho pela chegada do Augusto, anjinho sapeca que torna nossos dias mais felizes e melhores.

Gostaria de agradecer ao meu amado filho Augusto, por tornar meus dias mais leves e divertidos. Amo-te do tamanho do infinito!

Aos meus parentes queridos de Nova Araçá: Vó Lourdes, meus padrinhos Lili e Ede, Tia Leni e Clari, Tia Lizandra e tio Beto, primuchos Affo, Mow, Lisi, Ber e Julinha, pela acolhida calorosa que recebo sempre que vou pra lá, sempre muito preocupados comigo e com minha família.

Às minhas orientadoras Ângela e Denise, pela amizade, acolhida, apoio, compreensão, orientação e ensinamentos ao longo deste trabalho.

Aos professores do Norie, Miguel A.Sattler, Carlos T. Formoso, Luis C. Bonin, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos professores João Masuero, Inácio Morsch e Paulo Salvador pelo interesse, apoio e conhecimentos prestados ao longo da participação no projeto COMPOHIS.

Ao querido colega de projeto e amigo José Azambuja, pela alegria, incentivo, preocupação, auxílio, tranquilidade e ensinamentos transmitidos ao longo das últimas etapas do projeto e em todas as fases deste trabalho. Meu amigo é muito bom poder trabalhar e contar contigo, com certeza esta foi uma das grandes conquistas desta etapa!

Às gurias (titias), minhas colegas queridas que eu adoro tanto: Ana Paula, Camila, Fê (Bonatto), Giovana, Ju (Senisse), Juju (Moelecke), Lê e Lu, pela acolhida, amizade, carinho, incentivo, auxílio, pelas festas, risadas, surpresas, histórias e encontros. Não tenho dúvida alguma de que se não fosse por vocês não teria chego até aqui, vocês são parte fundamental desta minha conquista.

Aos demais colegas do Norie: Daniel, Lulu Cordeiro, Chris Pauletti, Fran, Ana Paula Kirchheim, Geilma, Pati Poyastro, Cristiano Richter, Ju Brito e Eugenia, pela disposição em ajudar, pelo apoio, alegria e amizade ao longo deste trabalho.

Aos colegas e amigos com quem cursei disciplinas: José Rojas, Fabiano Holtz, Simone Ramirez e Mara Bassi, pelo companheirismo, incentivo e amizade.

Aos meninos do laboratório do Norie: Airton, Gilmar e Alexandre pelo auxílio nas montagens e construção, e também ao Sr. Fontes do LEME pelos ensinamentos e disponibilidade na montagem do ensaio estrutural.

Aos bolsistas de iniciação científica Eduardo Pinto, Marlon, Priscila, Mauro Mario, Raquel Wielewicky, Anderson, Diego de Campos, Guilherme Almeida, Thiago Santos e Camila pela disponibilidade, alegria, interesse e auxílio prestados em todas as etapas desta pesquisa.

Às gurias do PPGEC Liliane, Carmen e Ana Luisa sempre solícitas, prestativas, preocupadas e atenciosas.

Às empresas Pauluzzi (pela doação de blocos), Pultrusão do Brasil (doação de trilhos pultrudados) e Siscobrás (pela produção dos protótipos em GRC).

À CIENTEC, especialmente ao Dr. Ronaldo Duarte, pela cessão do espaço para a construção da parede, além da disponibilidade, atenção, incentivo, acompanhamento e ensinamentos transmitidos ao longo da construção e ensaio laboratorial.

Ao PPGEC pelo incentivo, compreensão e auxílio ao longo desta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de desenvolvimento científico e tecnológico - CNPq - pelo auxílio financeiro que permitiu minha dedicação exclusiva aos estudos.

À Financiadora de estudos e projetos (FINEP), à qual este trabalho está vinculado.

Enfim, a todos aqueles que de forma direta e indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Atualmente a utilização de sistemas modulares na indústria da construção tem crescido significativamente, e, dentre estes, destaca-se o sistema construtivo de alvenaria estrutural. Entretanto, diversos estudos apontam para um grande número de manifestações patológicas relacionadas a este sistema, em especial com a interface alvenaria/ esquadria como um dos locais de maior incidência, além de representar um gargalo construtivo, pela necessidade de realização de inúmeras atividades dependentes. Dentro deste contexto, a equipe do projeto COMPOHIS (FINEP) desenvolveu uma nova proposta de solução a estas questões, denominada Elemento de Integração (EI). Para a implementação deste novo elemento, foram necessárias avaliações que garantissem o comportamento adequado do produto nas construções e, um dos requisitos considerados foi a construtibilidade, visto que sua consideração e implementação trazem benefícios relacionados ao custo, tempo e qualidade das construções. Desta forma, o objetivo principal desta pesquisa foi avaliar a construtibilidade do EI. Para que esta avaliação fosse realizada, foram identificados, a partir de revisão bibliográfica, vinte e sete requisitos de construtibilidade. Dentre estes, foram selecionados vinte e dois e, agrupados em dez requisitos básicos. Estes dez requisitos foram utilizados na análise ao longo do desenvolvimento da pesquisa, considerando protótipos virtuais e físicos (construídos com diferentes materiais). Mais especificamente, foram utilizados quatro protótipos virtuais e três protótipos físicos do EI, sendo um em MDF e dois em GRC, e duas modelagens de seqüências construtivas, sendo uma com o EI e a outra com o método tradicional de construção. Sendo que, na última fase, foi construída uma parede experimental real com o EI e, submetida ao ensaio estrutural. Os principais resultados demonstram a adequação e aplicabilidade, formal, funcional e conceitual do EI ao sistema construtivo considerando os requisitos selecionados, com algumas ressalvas quanto à conexão entre o Elemento e a alvenaria (devido às fissuras identificadas nesta interface), quanto à dificuldade de manutenção dos componentes em GRC (considerando a necessidade de execução de substituições), quanto à exclusão de ajustes em canteiro, com relação à necessidade de cuidado com as arestas do EI e, finalmente com relação à segurança (pela instabilidade do EI logo que assentado).

Palavras chave: Patologias em edificações; Interface alvenaria estrutural/ esquadria; Elemento de Integração; Construtibilidade; Requisitos de avaliação.

ABSTRACT

Nowadays, the use of modular systems in the construction industry has grown substantially and, among those, the structural masonry system gains relevance. However, several studies point to a high incidence of pathological manifestations related to this system, particularly the interface between masonry and windows being one of the places with the highest number of problems, besides being a constructive bottleneck, since several activities depend on it. Within this context, the COMPOHIS project developed new solutions to these problems, named Element of Integration (EI). However, to implement this new element, performance evaluations were needed to ensure the adequate performance of the product in buildings, and one of these performance requirements that must be considered is the constructability of the solution. The use of this requirement brings benefits related to cost, time and quality of constructions. Thus, the main objective of this research is to evaluate the constructability of the EI. For this evaluation, 27 constructability requirements were identified in the literature. From those, 22 were selected and grouped into 10 major requirements. These 10 requirements were considered for analysis along the preparation and execution phases of this work, and the analysis was carried out considering physical and virtual prototypes (built with different materials). More specifically, 4 virtual prototypes and three physical prototypes of EI we used - one in MDF and two in GRC - and two sequences of constructive modeling, one with the EI and the other with the traditional method of construction. The last GRC prototype was used to build a wall, which was used for a structural resistance test. The main results demonstrated the formal, functional and conceptual adequacy of EI to the selected requirements, with some reservations about the connection between the element and the structural masonry, due to cracks observed in this interface, the difficulty of maintenance of GRC components, considering the need for repairs and replacements, the need to use protective elements at the edges of the GRC components and finally, in regard to safety, due to the instability of the EI when set in place.

Keywords: Building pathologies, Interface structural masonry / windows; Elemer Integration; Constructability; Evaluation requirements.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Contexto	19
1.2	Problema	23
1.3	Questões	26
1.4	Objetivos.....	26
1.5	Limitações.....	26
1.6	Método de pesquisa.....	27
1.6.1	Filosofia de pesquisa.....	28
1.6.2	Estratégia de pesquisa	28
1.7	Delineamento da pesquisa.....	30
1.7.1	Etapa exploratória	30
1.7.2	Etapa Preparatória	31
1.7.3	Etapa executiva	31
1.7.4	Etapa Conclusiva	32
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1	A Construtibilidade.....	33
2.1.1	Agentes de construtibilidade	38
2.1.2	A construtibilidade ao longo das etapas construtivas	39
2.1.3	Problemas de Construtibilidade	40
2.1.4	Abordagem para a melhoria da construtibilidade.....	41
2.2	Requisitos de Construtibilidade	42
2.2.1	Cronograma orientado à construção	43
2.2.2	Especificações.....	43
2.2.3	Levantamento do local da construção	44
2.2.4	Redução de trabalhos em subsolo	44

2.2.5	Informações completas e claras	44
2.2.6	Padronização.....	46
2.2.7	Pré-fabricação, pré-montagem e modularização (PPM)	47
2.2.8	Simplificação	50
2.2.9	Acessibilidade.....	54
2.2.10	Influência das condições climáticas.....	55
2.2.11	Manutenibilidade	56
2.2.12	Segurança	58
2.2.13	Otimização de técnicas e processos de construção	58
2.2.14	Compatibilidade de tolerâncias e ferramentas de visualização....	61
2.2.15	Adequação de materiais, produtos, recursos e mão-de-obra	62
2.2.16	Projetar para a eficiência da construção	64
2.3	Considerações finais do capítulo	64
3	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO DE ALVENARIA ESTRUTURAL E DESENVOLVIMENTO DO ELEMENTO DE INTEGRAÇÃO	69
3.1	Desenvolvimento da etapa preparatória	69
3.1.1	Caracterização do sistema construtivo tradicional de referência ...	70
3.1.2	Aplicação da metodologia para seleção do material e das primeiras características do EI	81
3.2	Desenvolvimento da etapa executiva.....	84
3.2.1	Primeiro ciclo	85
3.2.2	Segundo ciclo	94
3.2.3	Terceiro ciclo	97
3.2.4	Quarto ciclo	99
4	Análise e discussão DOS RESULTADOS	109
4.1	Padronização	113
4.2	Simplificação.....	115
4.3	Acessibilidade	117

4.4	Influência das condições climáticas	118
4.5	Manutenibilidade.....	119
4.6	Segurança	119
4.7	Otimização de técnicas e processos de construção	120
4.8	Compatibilidade de tolerâncias e ferramentas de visualização	121
4.9	Adequação de materiais, produtos, recursos e mão-de-obra.....	122
4.10	Projetar para a eficiência da construção	123
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	128
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
	ANEXO I	141
	ANEXO II	168
	ANEXO III.....	172

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fissura horizontal sob a pingadeira	20
Figura 2: Fissura originada próximo à esquadria.	20
Figura 3: Vista externa do projeto do EI.....	22
Figura 4: Delineamento da pesquisa	30
Figura 5: Esquema de conceitos de <i>buildability</i>	35
Figura 6: Etapas do ciclo de vida dos projetos segundo diversos autores.	36
Figura 7: Esquema de conceitos de <i>constructability</i>	38
Figura 8: Capacidade de influenciar o custo final de uma edificação	39
Figura 9: Esquema demonstrando as relações entre os métodos	49
Figura 10: Exemplo de Pré-fabricação.....	50
Figura 11: Exemplo de Pré-montagem	50
Figura 12: Exemplo de fabricação fora do local de construção.....	50
Figura 13: Exemplo de Modularização.....	50
Figura 14: Projetar utilizando peças auto- alocação	53
Figura 15: Projetar buscando diminuir a dificuldade de montagem.....	53
Figura 16: Requisitos utilizados na análise de construtibilidade	65
Figura 17: Verificação de prumo.	71
Figura 18: Amarração dos blocos.....	71
Figura 19: Verga e contraverga pré-moldadas.	73
Figura 20: Contraverga grauteada.	73
Figura 21: Partes gerais de uma janela de abrir	74
Figura 22: Parede com blocos canaletas.....	75
Figura 23: Grauteamento da contraverga	75
Figura 24: Execução das laterais do vão	76
Figura 25: Execução da fiada superior ao vão.....	76
Figura 26: Execução da verga	76
Figura 27: Execução do grauteamento da verga	77
Figura 28: Execução da alvenaria.....	77
Figura 29: Instalação da pingadeira pré-moldada	77
Figura 30: Pingadeira pré-moldada.	77
Figura 31: Instalação do contramarco	78
Figura 32: Fixação do contramarco.	78

Figura 33: Detalhe da grapa.	78
Figura 34: Instalação da esquadria	79
Figura 35: Colocação do acabamento	79
Figura 36: Passos e partes envolvidos na construção via método tradicional.	80
Figura 37: Fases do desenvolvimento etapa executiva	84
Figura 38: (a) Vista explodida do EI; (b) EI inserido na alvenaria	86
Figura 39: Seção da verga	87
Figura 40: Seção da contraverga	87
Figura 41: Perfil trilho superior.....	88
Figura 42: Perfil trilho inferior.....	88
Figura 43: Matriz cimentícia fluida.....	89
Figura 44: Fibras que compõe o GRC	89
Figura 45: Configuração do GRC antes da compactação	90
Figura 46: Compactação com rolo espiralado	90
Figura 47: Medidor de espessura.....	90
Figura 48: Processo de pultrusão.....	91
Figura 49: Seqüência construtiva: a) contraverga, b) montantes e c) verga.....	92
Figura 50: Seqüência construtiva: a) EI, b) folhas móveis e c) conjunto finalizado ...	93
Figura 51: Esquema de desenvolvimento do primeiro ciclo	94
Figura 52: Fôrmas de madeira.....	95
Figura 53: Material projetado e início da compactação.....	95
Figura 54: Seqüência de montagem do EI: a) montantes; b) verga; c) folhas móveis	96
Figura 55: Esquema de desenvolvimento do segundo ciclo.....	97
Figura 56: Novas modificações do EI	98
Figura 57: Solução final	98
Figura 58: Modelo utilizado na construção	98
Figura 59: Construção experimental.....	98
Figura 60: Esquema de desenvolvimento do terceiro ciclo	99
Figura 61: Construção das três primeiras fiadas.....	100
Figura 62: Fixação da contraverga sobre a fiada de blocos	100
Figura 63: Encaixe dos montantes	100
Figura 64: Encaixe da verga	100
Figura 65: Finalização do pano de parede	102
Figura 66: Fixação dos trilhos.....	102

Figura 67: Encaixe e travamento das folhas móveis com caixilho em alumínio.....	102
Figura 68: Passos e partes envolvidos no processo construtivo com o EI.....	104
Figura 69: Execução das primeiras fiadas	105
Figura 70: Assentamento da contraverga	105
Figura 71: Encaixe do montante	105
Figura 72: Montantes posicionados.....	105
Figura 73: Encaixe da verga.....	105
Figura 74: Execução da alvenaria.....	105
Figura 75: Etapa final da execução da alvenaria	106
Figura 76: Fissura na interface alvenaria/ esquadria	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Requisitos de construtibilidade identificados na bibliografia	45
Quadro 2: Apresentação dos 10 requisitos básicos	66
Quadro 3: Matriz de interações entre características e requisitos do EI	82
Quadro 4: Pontuação conforme cada material selecionado	83
Quadro 5: Massa dos componentes que compõem o EI	95
Quadro 6: Análise dos 10 requisitos básicos identificados.....	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCI - Associação Brasileira da Construção Industrializada

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

BDA- Building Design Appraisal

CAD - Computer Aided Design

CIB - Conseil International Du Bâtiment

CII - Construction Industry Institute

CIRIA - Construction Industry Research and Information Association

EI - Elemento de Integração

EUA - Estados Unidos da América

FINEP - Financiadora de Estudos e projetos

GRC - Glassfiber Reinforced Concrete

NBR - Norma Brasileira

PAR - Programa de Arrendamento Residencial

PPMOF - Prefabrication, Preassembly, Modularization and Offsite construction

PVC - Cloreto de polivinila

RS - Rio Grande do Sul

1 INTRODUÇÃO

Nesta seção, são apresentados, num primeiro momento, o contexto no qual esta pesquisa se insere e o problema que busca solucionar. A partir destas definições são formuladas as questões e objetivos que ela pretende atingir, assim como são expostas as principais limitações encontradas para o desenvolvimento do trabalho.

Num segundo momento é identificada a metodologia de pesquisa utilizada, bem como a estratégia e filosofia empregadas ao longo deste trabalho. Por fim, são descritas, de forma breve, as principais fases que compõem a pesquisa, seguidas de uma especificação das atividades envolvidas em cada uma delas.

1.1 Contexto

A falta de moradia para a população de baixa renda ainda é um dos problemas relevantes no cenário brasileiro. De acordo com a Fundação João Pinheiro (2008), o déficit habitacional brasileiro estimado em 2006 era de 7.935 mil novas moradias, com incidência notadamente urbana, correspondendo a 82,45% do montante brasileiro, sendo que a cada novo levantamento estes índices sofrem acréscimo.

Buscando diminuir os índices de déficit habitacional, o governo federal lançou diversos programas de provisão habitacional, tais como o PAR e Minha Casa Minha Vida, que utilizam amplamente a alvenaria estrutural como sistema construtivo (RICHTER, 2007). Contudo, a utilização deste sistema não se restringe apenas a edificações para a população mais carente, sendo ele empregado também em construções para as classes mais favorecidas da população, pelas vantagens econômicas e construtivas que agrega.

Entretanto, diversas pesquisas apontam para o aparecimento de manifestações patológicas relacionadas a este sistema construtivo (HOLANDA JUNIOR, 2002; RICHTER, 2007; ALEXANDRE, 2008; BRITO, 2009), normalmente associadas à fissuração, o que, segundo Holanda Junior (2002), acontece pela fragilidade e baixa resistência à tração dos materiais e componentes construtivos utilizados.

Moch (2008) identificou, em sua pesquisa, que 24% das manifestações patológicas em edificações de alvenaria estrutural estão relacionadas à interface alvenaria/esquadria e seu entorno, indicando uma área realmente problemática das construções, já que essas manifestações podem comprometer a habitabilidade, a estética e/ou a estrutura da edificação.

Normalmente, estas manifestações patológicas localizam-se nas paredes externas e são consequência da abertura dos vãos para colocação das esquadrias. Esta configuração do pano de alvenaria leva à uma maior concentração de tensões devido à transferência de carga para as paredes adjacentes (ABCI¹ apud RICHTER, 2007; MOCH, 2008).

Nas figuras 1 e 2 são apresentados exemplos de manifestações patológicas ocorridas na alvenaria, mais especificamente no entorno de esquadrias. Estas manifestações são causadas, na primeira figura, pelo excessivo espaçamento entre a pingadeira e a alvenaria ou pela ineficácia do peitoril e, na segunda imagem, pela ausência ou ineficácia da contraverga, pela sobrecarga da estrutura ou pelo movimento diferencial das fundações (RICHTER, 2007; MOCH, 2008).



Figura 1: Fissura horizontal sob a pingadeira

Fonte: Moch (2008)



Figura 2: Fissura originada próximo à esquadria.

Fonte: Richter (2007)

Além dos problemas patológicos, os procedimentos ligados à preparação do vão e colocação das esquadrias representam um gargalo construtivo no sistema de alvenaria estrutural, pela necessidade de execução de diversas etapas construtivas interdependentes e de profissionais especializados na instalação das janelas (MOCH, 2008; AZAMBUJA et al., 2009).

¹ ABCI. Associação Brasileira da Construção Industrializada. Manual técnico da alvenaria. São Paulo: Edição ABCI/ Projeto/ PW. 1990. 280p.

Esta constatação contraria a atual tendência da construção civil de simplificação dos procedimentos técnicos e operacionais, de desenvolvimento e aplicação de novas soluções e de redução de custos e do desperdício das construções, visando melhores níveis de produtividade e qualidade (MAGALHÃES, 2004; CÉSAR, 2006).

Contudo, mesmo demonstrando consideráveis melhoras, a indústria da construção ainda encontra-se atrasada frente a outros setores industriais, o que acontece, segundo Crowley (1998), pela relutância da maioria dos envolvidos em considerar os processos de construção como passíveis de aplicação dos mesmos conceitos utilizados na indústria de manufatura. Assim, se esta visão do setor se modificasse e novas tecnologias fossem largamente empregadas em conjunto com a gestão e organização da produção, isto resultaria em melhores níveis de produtividade e competitividade (CROWLEY, 1998; NASCIMENTO; SANTOS, 2003).

Para Zechmeister (2005), o contexto da indústria da construção civil do início da década já demandava uma maior capacidade para aliar a busca por melhores índices de construtibilidade à minimização do tempo e do custo de execução, sem que as edificações deixem de fornecer um desempenho adequado aos usuários, observação que continua válida para os dias atuais.

Neste sentido, por se tratar de um sistema modular, a utilização da alvenaria estrutural incentivou o desenvolvimento de novos produtos que buscam uma maior padronização das construções, a melhoria nos processos e a racionalização dos subsistemas das construções tais como: instalações prediais, revestimentos e esquadrias (FRANCO, 1996).

Além disto, a busca por economia, industrialização e racionalização na construção civil têm contribuído para a difusão da alvenaria estrutural como processo construtivo de grande importância econômica e social, cuja utilização proporciona vantagens como rapidez na execução, maior padronização de procedimentos e menor desperdício em obra, quando comparado aos processos construtivos tradicionais (MEDEIROS; SABBATINI, 1993; JOAQUIM, 1999). Aliado a estes benefícios, este sistema não exige grandes investimentos e imobilização de capital para a aquisição de equipamentos e plantas industriais (ALY; SABBATINI, 1994).

O projeto COMPOHIS surgiu dentro deste contexto. Ele se baseia na transferência da tecnologia de materiais para a produção de novos componentes e elementos para a construção de habitação de interesse social, tendo como objetivo principal o desenvolvimento de componentes de conectividade para sistemas construtivos de alvenaria

modular, visando à melhoria da qualidade e a racionalização do processo construtivo. O projeto faz parte do programa de tecnologia da habitação, implantado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), incluindo-se na rede de desenvolvimento e difusão de tecnologias construtivas para a habitação de interesse social, com enfoque na coordenação modular.

Assim, o grupo de pesquisa do NORIE/ UFRGS desenvolveu um elemento de conexão alvenaria /esquadria que busca sanar as manifestações patológicas no entorno do vão, incrementar os índices de racionalização da alvenaria estrutural, reduzir os custos e melhorar a qualidade na interface entre a esquadria e a alvenaria estrutural (AZAMBUJA et al., 2009). A solução proposta denomina-se Elemento de Integração (EI). Ele atua na interface esquadria/alvenaria e é composto por 4 componentes principais de GRC (*Glassfibre Reinforced Concrete*)² que se encaixam através de espigas e recessos (figura 3).

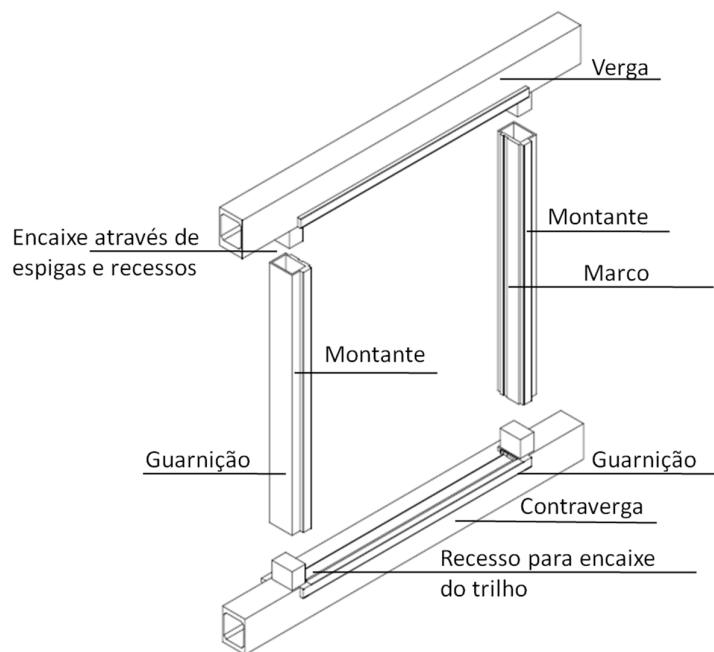


Figura 3: Vista externa do projeto do EI

O EI é formado por dois componentes horizontais, um superior (verga) e outro inferior (contraverga) e dois verticais (montantes), que fazem a conexão entre a verga e a contraverga, sendo os trilhos (por onde deslizam as folhas móveis) produzidos em plástico reforçado de alto desempenho (pultrudado). As folhas móveis podem ser fabricadas com materiais tradicionais, tais como alumínio, madeira ou PVC.

² GRC é a sigla utilizada internacionalmente para denominar o compósito formado por uma matriz cimentícia reforçada com fibras de vidro dispersas, e significa Glassfiber Reinforced Concrete (LAMEIRAS, 2007)

1.2 Problema

Frente ao sistema convencional de construção, onde as vergas e contravergas desempenham o papel estrutural e a esquadria - marco, contramarco, batente, acabamento e folhas - desempenha a função de vedação termo-acústico e de iluminação dos ambientes, o EI representa uma nova solução de produto e processo construtivo, já que alia em um mesmo Elemento, funções estruturais (verga e contraverga), de vedação e de funcionamento da esquadria (trilhos, batentes) com montagem através de encaixes, utilizando um material não-convencional para esta finalidade. Para Panuwatwanich et al. (2009), o desenvolvimento e emprego de novas soluções são primordiais na indústria da construção, já que estão diretamente relacionados à competitividade e, conseqüentemente, à economia.

Contudo, para a implementação de novos produtos e processos, é necessário que avaliações técnicas sejam realizadas a fim de verificar o seu desempenho, evitando assim as experiências desastrosas decorrentes da falta de referenciais técnicos, surgidas no pós-guerra e na década de 70 no Brasil como alternativa às tecnologias tradicionais (GONÇALVES et al., 2003). Aquele contexto permitiu que novas tecnologias fossem implementadas sem estarem suficientemente desenvolvidas, acarretando diversas manifestações patológicas, que comprometeram a estética, a segurança e a habitabilidade das construções (MITIDIERI FILHO; HELENE, 1998).

Assim, para a implementação do EI, verificou-se a necessidade de realização de avaliações que buscassem verificar o seu comportamento e prever o seu desempenho ao longo da vida útil, considerando as exigências dos usuários. De acordo com o CIB (1982), estas exigências decidem “as condições e instalações a serem providenciadas pelo edifício para um propósito específico, independente de onde este está localizado”.

Para alguns autores, o usuário é qualquer pessoa que ocupa o edifício habitacional (HINO; MELHADO, 1998; ABNT, 2008), definindo assim a abrangência do termo apenas para seres humanos ocupantes do espaço construído. Neste contexto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas lançou, em 2008, a Norma de Desempenho para edificações de até cinco pavimentos (NBR 15575), baseada na abordagem de desempenho (ABNT, 2008).

Esta abordagem, segundo Gross (1996), é um meio de pensar e comunicar sobre os problemas e soluções da construção a partir do ponto de vista do resultado final, e não pelas formas e meios de construção, adotando, como foco principal, as necessidades dos usuários, que são transformadas em requisitos de desempenho. A norma NBR 15575

estabelece três grandes grupos de exigências dos usuários: segurança, habitabilidade e sustentabilidade, considerando como usuário aquele que “ocupa o edifício habitacional”, adotando como foco, portanto, o usuário final.

Contudo, existem outras exigências, que não só do usuário final, que também devem ser consideradas e avaliadas, tais como a construtibilidade e a economicidade. Estas exigências são identificadas quando o conceito de usuário torna-se mais amplo, tal como sendo “todo aquele que, de alguma forma, interage com a edificação, envolvendo todos os interessados, pouco importando se estes são humanos ou não” (CIB, 1982).

Nesta pesquisa é utilizado o conceito de usuário definido pelo CIB (1982), agregando ocupantes permanentes, esporádicos, partes interessadas na edificação (bombeiros, vizinhos), construtores e outros, permitindo assim que a construtibilidade seja utilizada como uma exigência dos usuários.

Como descrito acima, estas exigências devem ser transformadas em requisitos de desempenho, de modo que estes possam ser identificados e permitam avaliar qualitativamente a construção.

Os requisitos apresentam-se como as condições e conveniências que a edificação deve satisfazer frente a um uso específico, independente de sua localização. Eles podem incluir aspectos técnicos, fisiológicos, psicológicos e sociológicos e são pensados em termos qualitativos, podendo ser os termos segundo os quais o usuário irá julgar o grau de sucesso de uma edificação (CIB, 1982).

Para outros autores, os requisitos de desempenho são as condições qualitativas às quais um produto deve atender quando submetido às condições de exposição, buscando satisfazer as exigências dos usuários (MASSETO et al. 2008; ABNT, 2008). Para materiais, componentes e subsistemas, os requisitos podem ser definidos para aplicações específicas ou usos e localizações genéricas (CIB, 1982).

Desta forma, faz-se necessária a formulação de requisitos de desempenho relacionados à construtibilidade, que permitam avaliar as construções e/ou suas partes e, mais especificamente, a nova solução proposta, denominada Elemento de Integração. Também é importante desenvolver um melhor entendimento sobre a construtibilidade, seus conceitos e aplicações.

A construtibilidade surgiu inicialmente na Europa, no final de 1970, buscando melhorar a eficiência do processo construtivo, considerando o custo e a qualidade dos projetos de

edificações, bem como reduzir os problemas decorrentes da falta de integração entre o projeto e a construção (ALSHAWI; UNDERWOOD, 1994).

Os primeiros trabalhos desenvolvidos focavam em casos práticos e particulares, considerando somente a etapa de projeto como responsável pela melhoria da construção, sendo reconhecida pelo termo *buildability*. Assim, as pesquisas eram, em sua maioria, listas que continham descrições e/ou recomendações que buscavam a melhoria de aspectos particulares dos projetos em questão, sem muito respaldo científico e conceitual (CAMPOS; TEIXEIRA, 2007).

Neste contexto, O'Connor e Tucker (1986) definiram a construtibilidade como “a capacidade das condições de projeto em garantir a utilização ótima dos recursos de construção”, considerando as etapas de projeto, planejamento e construção.

A partir dos anos 80, um grupo americano de pesquisadores do Construction Industry Institute (CII) começou a desenvolver e utilizar o conceito de construtibilidade com uma abordagem mais científica, utilizando agora o termo *constructability*. Desta forma, propuseram várias metodologias de aplicação do conceito, identificando diversas alternativas e procedimentos para o desenvolvimento da construtibilidade, ampliando o escopo de aplicação proposto pelos pesquisadores europeus e indicando o emprego do conceito nas diferentes fases do ciclo de vida das edificações, a saber: concepção, planejamento e construção (CII, 1986).

Frente ao exposto, o conceito foi definido como “a utilização ótima do conhecimento e experiência de construção no projeto, planejamento e construção, buscando atingir os objetivos globais do empreendimento” (CII, 1986). Assim, a construtibilidade começava a ser entendida, não apenas como um conjunto de regras sem muito respaldo científico, aplicáveis na fase de concepção, mas com uma dimensão muito mais ampla, que poderia e deveria ser aplicada com uma maior abrangência ao longo das diferentes fases do ciclo de vida das edificações (CAMPOS; TEIXEIRA, 2007).

Hoje, a construtibilidade é um conceito bem difundido e utilizado internacionalmente. Contudo, ainda é pouco conhecida no Brasil, de modo que as idéias associadas a ela vêm sendo consideradas de modo indireto, através de iniciativas como a racionalização construtiva, o projeto para a produção e utilização de métodos construtivos como, por exemplo, a pré-fabricação e a pré-montagem (RODRIGUES, 2005).

Assim, como neste trabalho foi proposta a avaliação da construtibilidade de um Elemento de Integração a ser utilizado em alvenaria estrutural, são necessários estudos mais aprofundados para a formulação dos requisitos de desempenho, através dos quais o EI e sua utilização são comparados com os materiais e componentes de uma esquadria de alumínio e com a técnica tradicional de construção. Frente ao exposto, foram definidas as questões e os objetivos desta pesquisa.

1.3 Questões

A partir da discussão apresentada, foram propostas as seguintes questões de pesquisa:

- Como avaliar a construtibilidade do EI?
- Quais os requisitos de desempenho de construtibilidade que permitem avaliar de forma adequada o EI?
- Quais são os benefícios ou entraves gerados pela análise da construtibilidade ao longo do desenvolvimento do EI?
- Qual o desempenho do EI quanto à construtibilidade, frente ao sistema tradicional de construção?

1.4 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho consistiu na avaliação da construtibilidade do EI ao longo do seu desenvolvimento e implementação, comparando-o, quando necessário, ao sistema tradicional de construção caracterizado nesta pesquisa.

Como objetivos complementares pretendeu-se propor uma metodologia de avaliação da construtibilidade do EI em sistemas construtivos de alvenaria estrutural e identificar de que forma a construtibilidade pode auxiliar no desenvolvimento e/ou refinamento de novas soluções.

1.5 Limitações

Para a realização deste trabalho algumas limitações foram consideradas, tais como:

- a utilização de blocos cerâmicos estruturais da família 14, com as seguintes dimensões (c x l x h) 29cm x 14cm x 19cm para bloco inteiro e 14cm x 14cm x 19cm para meio bloco para construção de uma parede experimental com dimensões de 13 blocos inteiros de comprimento por 13 blocos de altura;

- a utilização de argamassa industrializada multiuso Votoran com as seguintes características segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005): Resistência à compressão- P5; Resistência à tração na flexão- R2; Coeficiente de capilaridade - C4 e Densidade de massa no estado fresco - D4;
- componente pré-fabricado em GRC denominado Elemento de Integração, composto por quatro partes denominadas verga, contraverga e montantes, com dimensões totais compatíveis com a modulação da alvenaria conforme segue: altura – 9 blocos; comprimento – 7 blocos, considerando um centímetro tanto para a junta vertical quanto para a horizontal. Cabe ressaltar que são as dimensões máximas adotadas pelo grupo, sendo que o componente pode ser fabricado com tamanhos menores, seguindo a modulação da alvenaria;
- as folhas móveis utilizadas no Elemento serão do tipo de correr, com caixilhos de alumínio da linha Máster da Alcoa e fechamento com vidro transparente 4 mm, cada uma das folhas apresentou as seguintes dimensões: 66,5 cm de comprimento x 140,4 cm de altura;
- devido a fatores de limitação temporal, esta pesquisa avaliou a construtibilidade do EI, contudo verificou-se a necessidade de realizarem-se outras análises que avaliem aspectos de segurança estrutural, contra o fogo e no uso e operação do EI, bem como de habitabilidade, sustentabilidade e economicidade;
- os materiais e métodos de produção utilizados na confecção do EI limitaram-se aos empregados pela empresa Siscobrás, empresa localizada no município de Canoas-RS, responsável pela produção dos componentes em GRC;
- foram realizadas avaliações apenas em protótipos, devido a limitações de tempo, dimensões dos elementos, espaço físico para montagem e construção e recursos do projeto a que esta pesquisa estava vinculada.

1.6 Método de pesquisa

Inicialmente é apresentada a metodologia de pesquisa, com definição da filosofia e estratégia utilizadas para o desenvolvimento do trabalho, seguida do delineamento da pesquisa, onde são apresentadas as etapas que a compõem. Os métodos de avaliação propostos e sua forma de aplicação são apresentados, bem como as ferramentas utilizadas para coleta dos dados.

1.6.1 Filosofia de pesquisa

A filosofia de pesquisa revela como a realidade é compreendida. Segundo Easterby-Smith et al. (1991), existem duas posições filosóficas: o positivismo e a fenomenologia. No positivismo, o mundo social existe e o observador é independente deste, medindo suas propriedades de forma objetiva (quantitativa), evidenciando que dados reais só podem ser resultado de fenômenos observáveis (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2006). Por outro lado, na fenomenologia o mundo é considerado como socialmente construído, sendo que o observador faz parte do que está sendo observado e a investigação pode ser realizada através de métodos qualitativos, mais flexíveis e que necessitam de uma maior reflexão (EASTERBY-SMITH et al., 1991).

Geralmente associam-se os métodos quantitativos ao positivismo e os qualitativos à fenomenologia, entretanto muitas pesquisas fenomenológicas utilizam os métodos quantitativos na coleta de evidências, enquanto que a escolha da abordagem positivista não exclui a utilização de evidências qualitativas para a comprovação de hipóteses (EASTERBY-SMITH et al., 1991).

Nesta pesquisa foi utilizada a abordagem positivista, tendo em vista que o problema se insere num contexto do mundo real, onde são verificados fenômenos observáveis. Contudo, as evidências coletadas foram quantitativas e qualitativas, com a participação direta da pesquisadora.

1.6.2 Estratégia de pesquisa

Existem diversas estratégias de pesquisa tradicionalmente utilizadas, tais como: estudos de caso, survey, pesquisa-ação, análise de arquivos, experimentos (EASTERBY-SMITH, 1991; YIN, 1994;), sendo que cada uma delas apresenta-se com uma maneira diferenciada de coletar e analisar provas empíricas, seguindo um raciocínio lógico (YIN, 1994).

Desta forma, identificou-se que nesta pesquisa não foram empregadas as principais características destas estratégias. Assim, a partir de novos estudos, identificou-se a estratégia denominada *constructive research*, também conhecida como *design research*, ou, neste caso, pesquisa-construída, como mais adequada para o desenvolvimento deste trabalho.

A pesquisa construída tem sido utilizada em investigações que buscam desenvolver e aplicar novas soluções práticas para a solução de problemas do mundo real, tendo como objetivo principal analisar os sistemas técnicos (que podem ser tanto produtos quanto processos), a sua relação com o ambiente (humano, natureza, outros sistemas) e os

processos utilizados para projetá-los (BEITZ, 1994). Esta estratégia tem o seguinte princípio fundamental: o conhecimento e a compreensão do problema e da sua solução são adquiridos na construção e aplicação de um artefato, que podem ser modelos, constructos e métodos, entre outros (HEVNER et al., 2004).

Este tipo de pesquisa normalmente exige um ambiente colaborativo, com a formação de equipe composta por pesquisadores e práticos, onde o aprendizado experimental é realizado e onde se busca entender uma situação particular dentro de um grande contexto (LUKKA, 2003). Ambas as características de composição de equipe e foco mais restrito fazem parte do projeto COMPOHIS e, conseqüentemente, deste trabalho.

Desta forma, a pesquisa construída tem como foco principal o desenvolvimento de soluções, sua implementação e a avaliação da sua real aplicabilidade. Para que esta implementação seja realizada, o projeto sofre sucessivos aprimoramentos, sendo construído ao longo do estudo até que sua adequabilidade seja identificada através dos processos de intervenção (LUKKA, 2003; ROMME, 2003).

Assim, a construção (produção) do artefato serve para demonstrar a sua viabilidade. A partir da construção, verifica-se a necessidade de avaliação deste modelo, que serve para determinar a existência ou não de progresso, gerando informações que retro-alimentam e promovem um melhor entendimento do problema, almejando a melhoria da qualidade do produto e/ou do processo. Este progresso é atingido quando a tecnologia, desenho ou solução é substituída por uma mais efetiva (HEVNER et al., 2004).

Segundo Hevner et al. (2004), a existência de ciclos de construção e avaliação (característica da pesquisa construtiva) é tipicamente uma iteração até atingir uma versão “final” do artefato, este por sua vez deve ser inovador e desenvolvido, e não descoberto (KEKALE, 2001).

Desta forma, a presente pesquisa utilizou a solução desenvolvida pelo projeto de pesquisa COMPOHIS, denominada EI, acompanhando e participando dos ciclos de construção e avaliação, buscando identificar a influência da construtibilidade durante o processo de desenvolvimento desta solução e os aprimoramentos decorrentes desta consideração realizados no produto. Por fim buscou avaliar a construtibilidade do modelo final, implementado na construção da parede experimental, a partir dos requisitos selecionados no capítulo 2, e quando necessário compará-lo com a técnica tradicional de construção.

1.7 Delineamento da pesquisa

A presente pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas principais (figura 4), sendo que a pesquisa bibliográfica permeou o processo de pesquisa por completo, proporcionando, através do embasamento teórico, um melhor entendimento e compreensão ao longo do desenvolvimento da pesquisa.



Figura 4: Delineamento da pesquisa

1.7.1 Etapa exploratória

A etapa inicial caracterizou-se pelo aprofundamento do conceito de construtibilidade e busca de maior conhecimento sobre o sistema construtivo e sobre as seqüências de construção utilizadas tradicionalmente, buscando um melhor entendimento destes, para que a pesquisa e a etapa subsequente a esta fase pudessem ser executadas com uma maior compreensão.

Para isto, foram pesquisados e identificados os principais fatores que permitem realizar uma avaliação da construtibilidade, denominados requisitos de desempenho, apresentados no capítulo 2 deste trabalho. Estes requisitos foram estruturados de forma a permitir um maior entendimento e viabilidade de avaliação do EI. Essa investigação aconteceu a partir de revisão bibliográfica e reunião com grupo de especialistas.

1.7.2 Etapa Preparatória

A segunda etapa da pesquisa teve como objetivo estruturar a metodologia, planejar a construção experimental com o EI e coletar informações buscando caracterizar a técnica tradicional de construção e vedação utilizada como referência nesta pesquisa.

Inicialmente, foi caracterizado o sistema tradicional de construção e vedação utilizado como base nesta pesquisa. Ele foi determinado através de visitas de campo a obras em Porto Alegre e Canoas e, com auxílio de pesquisa bibliográfica, que embasou os procedimentos construtivos verificados. Após esta definição, foi desenvolvida uma modelagem virtual de cada uma das etapas identificadas, buscando um melhor entendimento e, gerando melhores condições para a comparação entre os dois sistemas.

Além disto, nesta etapa foi aplicada a metodologia desenvolvida por Azambuja et al (2008), resultando na seleção do GRC para a produção dos componentes e na definição inicial de características do EI. Ainda nesta etapa, foram providenciados os recursos necessários para a construção experimental com o EI, tais como blocos, argamassa e local de construção. O desenvolvimento e resultados desta etapa podem se verificados no capítulo 3.

1.7.3 Etapa executiva

Nesta etapa, foram desenvolvidos quatro ciclos de construção e avaliação dos protótipos virtuais e físicos do EI. Cada um destes ciclos englobou atividades de desenvolvimento e de avaliação conforme detalhado no capítulo 3, no subtítulo desenvolvimento da etapa executiva.

A fase inicial (primeiro ciclo) desta etapa engloba a definição do EI e a apresentação dos materiais construtivos dos componentes (GRC) e dos trilhos pultrudados (plástico reforçado de alto desempenho). A partir desta definição, foi desenvolvido o primeiro protótipo virtual do Elemento com posterior produção do modelo físico em MDF, que foi montado em laboratório e analisado, resultando na adoção e sugestão de modificação de algumas características do EI.

Os demais ciclos (segundo e terceiro) foram desenvolvidos a partir desta mesma estrutura: modelagem virtual do Elemento, produção, montagem, análises e sugestões de modificações, até a verificação de sua adequação, executada na parte final do terceiro ciclo. Os três primeiros ciclos consistiram na construção e avaliação apenas de protótipos, sem seu emprego em uma parede do sistema construtivo adotado.

Após a definição formal do EI (final do terceiro ciclo), foi iniciado o quarto ciclo, onde foi simulada a seqüência construtiva utilizada na construção de uma parede com o EI. Em seguida, implementou-se aquela seqüência através da construção de uma parede experimental com a utilização do protótipo final, que foi novamente avaliado com base nos requisitos de construtibilidade selecionados no capítulo 2 desta pesquisa, fechando o quarto ciclo. Durante todos os ciclos foram identificados aspectos relacionados aos requisitos de construtibilidade utilizados nesta pesquisa.

1.7.4 Etapa Conclusiva

Nesta etapa foram analisadas as contribuições quanto à consideração da construtibilidade ao longo dos ciclos de construção e avaliação, considerando o desempenho do EI nos três primeiros ciclos e do conjunto composto pela parede com o EI no ciclo final. Os resultados foram comparados, quando necessário, com aqueles identificados segundo a técnica construtiva utilizada na alvenaria estrutural e no sistema de vedação tradicional. Verificou-se a adaptabilidade e adequação da nova solução ao sistema construtivo de alvenaria estrutural, identificando os possíveis benefícios e entraves para a utilização do EI neste sistema, frente à solução tradicional de construção em alvenaria estrutural e vedação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordadas questões relacionadas ao conceito de construtibilidade, identificados os principais agentes, levantados os problemas mais importantes decorrentes da não consideração do conceito e a sua aplicação nas diferentes fases de vida do projeto. Em seguida, são identificados os requisitos propostos por diferentes autores, selecionados e justificados conforme o escopo do trabalho.

2.1 A Construtibilidade

Na pesquisa bibliográfica realizada foram encontrados vários termos relacionados à construtibilidade, bem como diferentes níveis de abrangência do conceito. Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos desde a década de 80, abordando a construtibilidade e suas implicações na indústria da construção. Isso tem acontecido graças ao reconhecimento da importância da aplicação deste conceito, dados os benefícios relacionados ao tempo, custo e qualidade que propicia (TINDIWENSI, 2000).

Quanto aos termos, vários autores utilizam diferentes formas de tratar a construtibilidade (RODRIGUES, 2005; AMANCIO, 2010) ou construtividade (PAIVA, 1989). Na indústria da construção geralmente utiliza-se este conceito em decorrência da necessidade de aumento de produtividade e melhoria nos padrões de qualidade (LOW, 2001). Contudo, muitas empresas não empregam esta terminologia, ou às vezes nenhuma outra (O'CONNOR; RUSCH; SCHULZ; 1987).

Quanto à abrangência, a maioria dos trabalhos aborda a importância da utilização do conceito na fase de concepção, elencando os benefícios e barreiras encontrados quanto à implementação nas diversas etapas do processo construtivo (TATUM, 1987; RUSSEL; GUGEL; RADTKE, 1994; O'CONNOR; MILLER, 1994; RODRIGUEZ; HEINECK, 2003).

Outros buscam identificar o papel dos diferentes agentes envolvidos ao longo do ciclo de vida do projeto (NIMA et. al., 1999; NIMA et. al., 2001) e as relações que o conceito estabelece com outros sistemas de produção (BJORNFOR; STEHN, 2004), com sistemas

de gestão da qualidade (PHENG; ABEYEGOONASEKERA, 2001) e com requisitos tais como segurança (SAURIN, 2005) e manutenção (MESQUITA, 2006).

O conceito de construtibilidade surgiu em resposta à complexidade dos projetos de construção e à separação das atividades de concepção e construção, já que normalmente elas são desenvolvidas por empresas diferentes que não possuem contato, visto que levavam a projetos inexecutáveis, tornando necessárias modificações projetuais, resultando em atrasos e prejuízos econômicos (GLAVINICH, 2005; NIELSEN et al., 2009).

O conceito de construtibilidade surgiu no final dos anos 70 no Reino Unido e Estados Unidos, com abordagens diferentes (GRIFFITH, SIDWELL, 1997). No Reino Unido utiliza-se o termo *buildability*, definido, segundo o *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA, 1983)³ apud Griffith e Sidwell (1997), como “a medida em que o projeto de uma edificação facilita as atividades de construção, considerando os requisitos gerais da edificação construída”.

Esta definição é resultado de pesquisas e aplicações práticas que buscavam melhorias na eficiência, nos custos e na qualidade dos projetos de construção, apontando o projetista como o profissional responsável pela maior ou menor facilidade de construção da edificação (GRIFFITH, SIDWELL, 1997).

O'Connor e Tucker (1986) compartilham desta visão ao definir a construtibilidade como “a capacidade das condições de projeto em garantir a utilização ótima dos recursos de construção” ao longo do processo de projeto, contratação e construção. Eles utilizaram a construtibilidade como uma medida qualitativa de facilidade de construção de uma edificação, considerando a eficiência e a economia das construções.

A construtibilidade (*buildability*) pode ser definida, ainda, como o grau em que o projeto pode auxiliar quanto à utilização eficiente dos recursos de construção, tornando a construção mais fácil e segura, ao mesmo tempo em que busca atender aos requisitos dos clientes (WONG et al., 2006 b). O mesmo autor ressalta que considerações de construtibilidade representam questionamentos sobre como os projetos afetam as operações de canteiro quanto ao tempo, custo, qualidade e segurança.

Para Glavinich (1995) a construtibilidade refere-se à facilidade com que os insumos do processo de construção (trabalho, equipamentos e ferramentas de construção, materiais e

³ CIRIA (Construction Industry Research and Information Association). *Buildability: an assessment*. CIRIA, London, 1983.

equipamentos instalados) podem ser reunidos na etapa projetual, buscando a conclusão rápida e econômica do projeto como um todo.

Este mesmo autor ressalta a importância da integração entre a equipe de projeto e os construtores, detentores da experiência e conhecimento de construção, com a finalidade de considerar durante a etapa de projeto todos os meios e métodos de construção envolvidos com a obra e suas implicações. Destaca que a negligência quanto à construtibilidade, na fase de projeto, comumente resulta em atrasos no cronograma de construção, uso ineficiente dos recursos e problemas nas seqüências de trabalhos (GLAVINICH, 1995).

Assim, nas pesquisas, o termo *buildability* é utilizado quando se busca, através de considerações e de recursos disponíveis na etapa de projeto, uma otimização da construção, resultando numa maior eficiência construtiva, considerando e almejando o desempenho satisfatório da construção quanto à rapidez (tempo), economia, segurança, qualidade e sustentabilidade (figura 5).

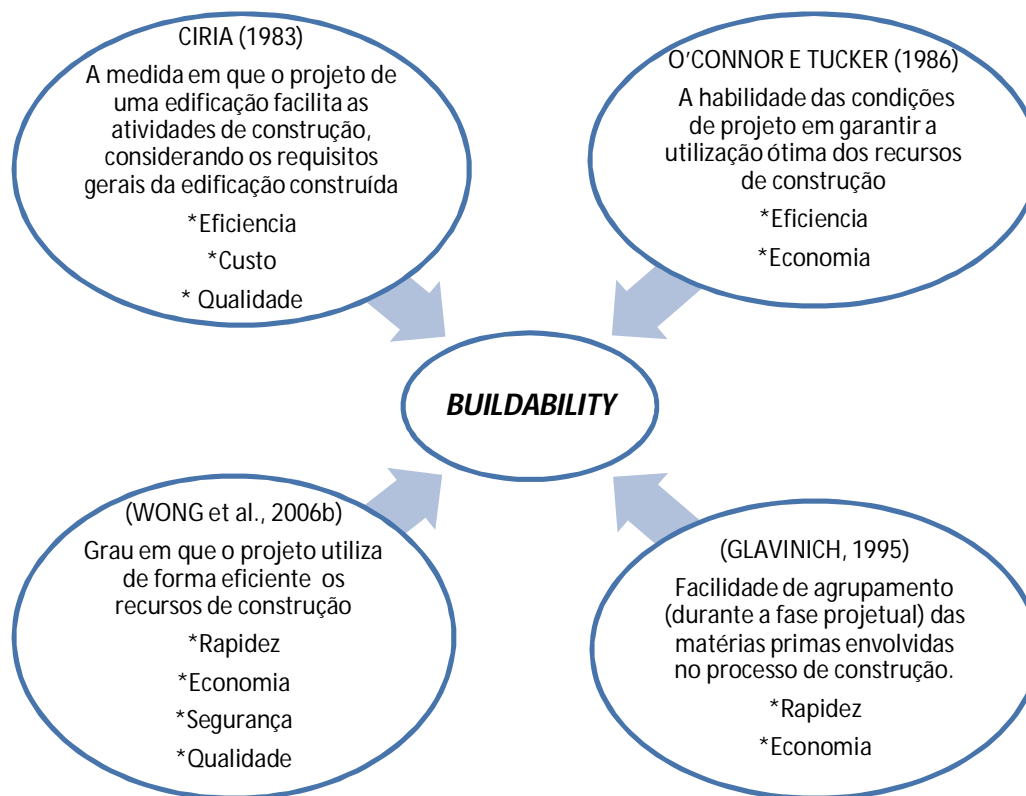


Figura 5: Esquema de conceitos de *buildability*

No Brasil, a maioria das pesquisas utiliza o termo construtibilidade considerando todo o ciclo de vida do empreendimento. Contudo, um dos pioneiros (PAIVA, 1989), segue a tendência europeia e utiliza o termo construtividade como a capacidade que o projeto possui de facilitar a construção, através da racionalização dos elementos de projeto, buscando a melhoria da produtividade na construção e definindo o conceito de forma geral como a “total eficiência e produtividade do projeto”.

Já Crowther (2002) e Pulasky et al. (2004), apontam para a consideração, já na etapa de projeto, da *buildability* em uma nova fase do processo construtivo: a desconstrução, incorporando ao conceito aspectos sustentáveis. Assim, da mesma forma que uma edificação é projetada para sua fácil construção e montagem, ela pode ser pensada para ser facilmente desmontada e desconstruída, visando a reutilização futura ou reciclagem de materiais e sistemas.

Em contrapartida à abordagem europeia, os EUA empregam o termo *constructability*, focando no conceito através de uma perspectiva mais holística, considerando a construtibilidade ao longo das diferentes fases do processo de construção, considerando todo o ciclo de vida da edificação (GRIFFITH, SIDWELL, 1997). A seguir é apresentado na figura 6 um esquema de como a *buildability* e a *constructability* podem ser empregadas e entendidas de diferentes formas pelos pesquisadores.

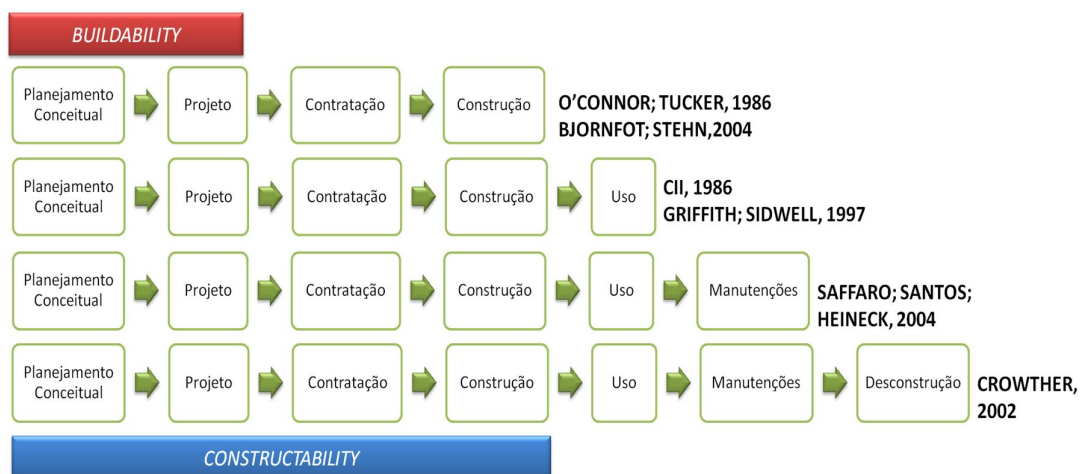


Figura 6: Etapas do ciclo de vida dos projetos segundo diversos autores.

Para o *Construction Industry Institute* (CII, 1986), as etapas incluem o planejamento conceitual, o projeto, a contratação, construção e uso. Algumas pesquisas consideram apenas as fases iniciais que vão desde a concepção até a produção (BJORNFOT; STEHN, 2004; O'CONNOR; TUCKER, 1986), e outras estendem o escopo até as fases de

manutenção e desconstrução (CROWTHER, 2002; SAFFARO; SANTOS; HEINECK, 2004; PULASKY et al., 2004).

Para Griffith e Sidwell (1997), quando a construtibilidade é considerada em todas as fases da construção, que vão desde a concepção até o uso, pode resultar em um processo de construção global mais rápido e eficaz, considerando conjuntamente a gestão e os custos.

Segundo o CII (1986), a *constructability* deve ser utilizada ao longo do planejamento, projeto, contratação e construção. Este ponto de vista enfatiza não apenas a habilidade em construir, mas também a necessidade da entrada de dados advindos da construção em todas as fases do projeto, permitindo que revisões de construtibilidade sejam realizadas, gerando informações que, se adequadamente armazenadas e disponíveis para futuras consultas, fornecem subsídios para o aumento da construtibilidade dos projetos (TATUM, 1987; FISCHER et al. 2000; NIMA et al., 2001; GRIFFITH; SIDWELL, 1997).

Rodriguez e Heineck (2002) destacam a inter-relação necessária entre as etapas de projeto e execução para um adequado emprego da construtibilidade. Quando adequadamente analisada e implementada, considerada como um sistema integrado em todo o ciclo de vida da edificação (TRIGUNARSYAH, 2004), a construtibilidade pode prover diversos benefícios, que somente serão atingidos quando houver uma melhor compreensão e consideração do conceito nas diferentes fases do processo de construção como um todo, bem como nas interfaces entre estas fases (GRIFFITH, SIDWELL, 1997).

Para Wong et al. (2006) um projeto “construtível” é aquele que engloba o emprego econômico dos recursos disponíveis, a utilização otimizada das instalações da obra e da mão-de-obra, e desenvolve o projeto em função dos materiais, acessórios, produtos e pré-fabricados disponíveis.

Assim, tem-se o termo *buildability* utilizado apenas na fase de projeto, enquanto a construtibilidade abrange aspectos mais amplos, referentes às várias fases do desenvolvimento da construção, conforme pode ser visualizado na figura 7. Ambos os conceitos se referem à utilização otimizada dos recursos de construção ou à facilidade de construção (WONG et al., 2006b).

A partir do apresentado, é utilizado nesta pesquisa o conceito de construtibilidade segundo a abordagem americana, visto que o conceito permeou o processo de desenvolvimento e aplicação da nova solução, permitindo a retroalimentação de informações provenientes da fase de aplicação.

O desenvolvimento de um projeto passa por diferentes fases e envolve diferentes agentes ao longo do seu ciclo e as contribuições relacionadas à construtibilidade variam conforme cada participante. Contudo, os projetistas desempenham papel fundamental para a melhoria da construtibilidade (O'CONNOR, TUCKER, 1986; LAM, WONG, CHAN, 2006).

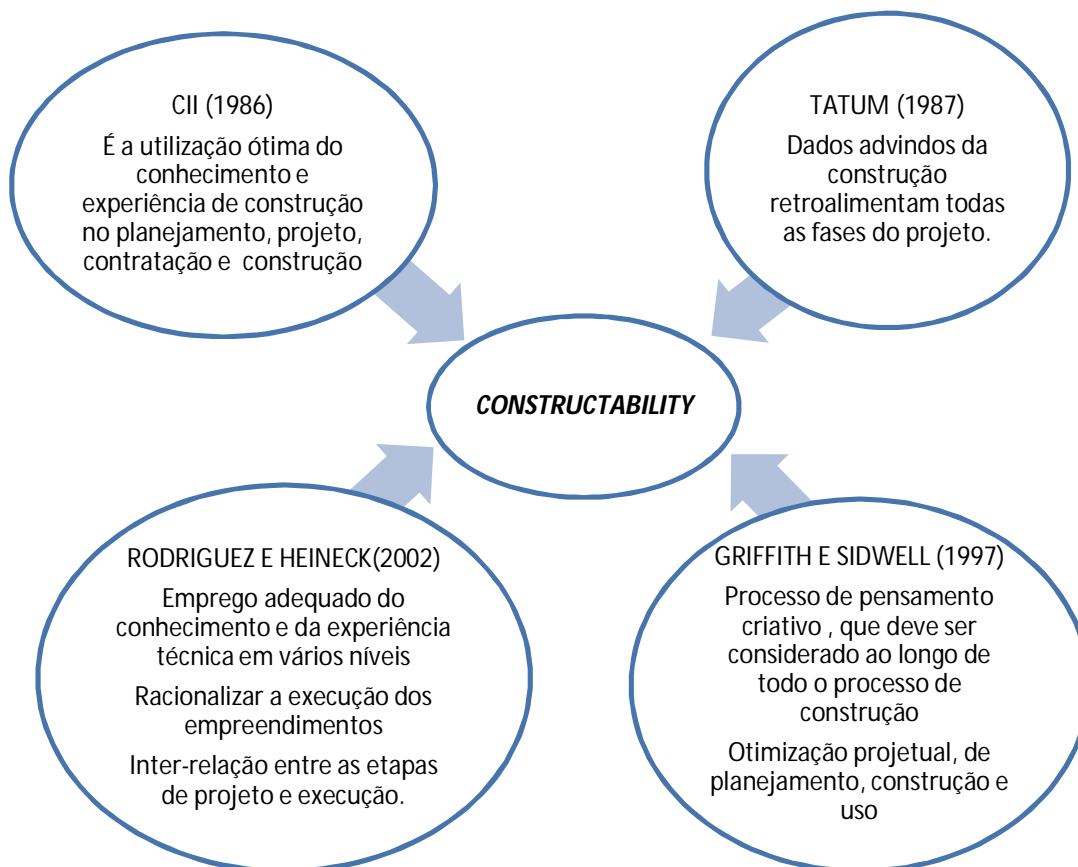


Figura 7: Esquema de conceitos de *constructability*

2.1.1 Agentes de construtibilidade

Os projetistas são os responsáveis diretos pela maioria dos problemas técnicos que surgem durante ciclo de vida do projeto (ZIN, 2004), e aqueles que detêm maior potencial quanto a ações de integração entre a construção e o projeto (HILEY; KHAIDZIR, 1999), sendo que a adequada integração entre os projetistas e construtores conduz à melhoria da construtibilidade (O'CONNOR, TUCKER, 1986).

Quando a construtibilidade é inicialmente considerada e utilizada pela equipe de projeto através da adoção de seus princípios e conceitos, ela tem o potencial de levar benefícios reais a todo o processo de construção (GRIFFITH, SIDWELL, 1997).

Contudo, o conhecimento apenas parcial dos projetistas sobre as necessidades da construção resultam na discordância entre as suas metas e a dos profissionais envolvidos com a construção. Soma-se ainda a resistência encontrada por parte dos proprietários, pelos custos e tempo acrescidos na etapa de projeto pela utilização dos programas de construtibilidade. Estes programas têm por finalidade integrar os agentes envolvidos ao longo das etapas de projeto com aqueles que detêm a experiência e o conhecimento das operações de canteiro, almejando atingir os objetivos do projeto (ANDERSON et al.2000; ARDITI et al., 2002).

Dentro desta perspectiva, Rodriguez e Heineck (2002) desenvolveram diretrizes de construtibilidade que devem ser consideradas pelos agentes envolvidos na primeira etapa do processo de projeto: os projetistas e o coordenador de projetos. Eles consideram que o coordenador de projetos é o mais indicado para gerenciar a aplicação do conhecimento técnico e experiência da execução durante o projeto. Assim os projetistas deverão se preocupar com a racionalização das soluções técnicas, do custo do trabalho decorrente da aplicação destas soluções e dos custos de operação e manutenção.

2.1.2 A construtibilidade ao longo das etapas construtivas

Assim como os envolvidos nas primeiras etapas de projeto entre os agentes, o projeto é a etapa de maior importância no ciclo de vida de um empreendimento (O'CONNOR, TUCKER, 1986; SAFFARO, SANTOS, HEINECK, 2004) e aquela que apresenta maior capacidade de impactar no custo final da construção (CII, 1986; O'CONNOR; DAVIS, 1988), de acordo com a figura 8.

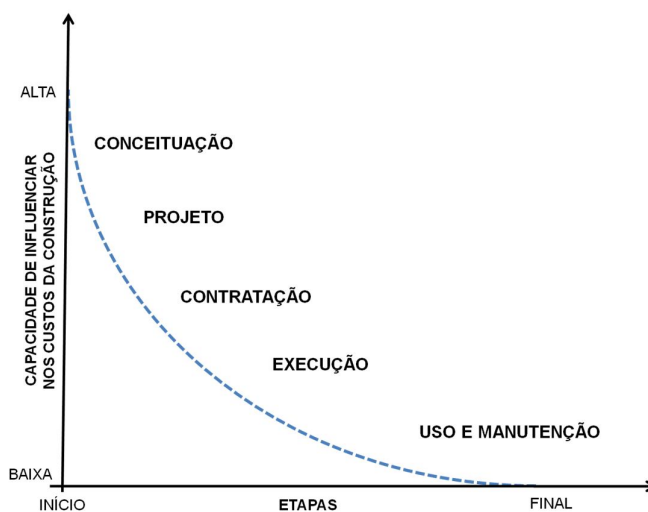


Figura 8: Capacidade de influenciar o custo final de uma edificação ao longo de suas fases

(Fonte: CII, 1986)

O tempo de execução de um projeto de construção é muito importante para o proprietário, dados os planos e compromissos agendados com base na data prevista do seu final. Assim, se algo for esquecido ou mal planejado quanto à etapa de construção, atrasos e problemas de cronogramas ocorrerão durante a mesma (GLAVINICH, 1995; ARDITI, ELHASSAN, TOKLU, 2002).

Tatum (1987) aponta a importância do suprimento de informações advindas da construção na etapa de projeto, buscando uma maior integração entre a etapa de projeto e a construção, e também entre os envolvidos em cada uma delas. O autor elenca três questões principais, desenvolvidas na fase de pré-projeto, que poderiam ser beneficiados com esta proximidade de relação: o desenvolvimento global do empreendimento, a definição do local de construção e a seleção dos principais métodos de construção (TATUM, 1987).

Mesmo com a reconhecida importância da etapa de projeto na melhoria da construtibilidade, diversos trabalhos apontam esta fase como uma das principais causadoras de problemas relacionados ao conceito, resultado da falta de integração entre o projeto e a construção, sendo que a maioria destas falhas somente será verificada na etapa construtiva (ZIN, 2004), onde, segundo a figura 8, a capacidade de influenciar os custos do empreendimento já não é tão alta.

2.1.3 Problemas de Construtibilidade

Alshawi e Underwood (1994) identificaram, através de pesquisas, quais os principais problemas de dificuldade de execução encontrados no canteiro e, a partir da análise dos resultados, os agruparam em quatro categorias principais que abordam a coordenação dimensional, as tolerâncias incompatíveis, a padronização de materiais e dimensões e a complexidade dos projetos de construção.

Quanto à coordenação dimensional, os principais problemas encontrados têm relação com a falta de coordenação entre as dimensões de elementos adjacentes, resultando na maior necessidade de quantidade de trabalho em canteiro para solucionar problemas dimensionais entre elementos ou materiais.

Os problemas relacionados à incompatibilidade de tolerâncias acontecem principalmente na interface entre os elementos, tornando necessária a realização de ajustes em canteiro, ocasionando atrasos nos cronogramas e acréscimos financeiros. Lam, Wong e Chan (2006) apontam a melhoria da compatibilidade entre o amplo número de componentes e de pré-fabricados utilizados na construção como uma etapa crítica, que, se adequadamente

considerada e solucionada, gera benefícios quanto à diminuição dos desperdícios e ao adequado andamento das atividades de construção.

Com relação à padronização dos componentes da construção, os autores indicam a utilização reduzida de tipos de materiais e elementos, buscando uma maior repetição e a redução de problemas relacionados com a alta variabilidade das dimensões destes componentes e elementos.

A complexidade dos projetos é um dos principais desencadeadores de problemas relacionados com a construtibilidade, já que o correspondente aumento de complexidade do processo de construção leva à maior variabilidade dos componentes e elementos construtivos.

2.1.4 Abordagem para a melhoria da construtibilidade

Buscando diminuir os problemas e dificuldades decorrentes da desconsideração ou consideração inadequada da construtibilidade, Wong et al. (2006) propuseram em sua pesquisa três abordagens que buscam minimizar os erros e, conseqüentemente, melhorar a construtibilidade dos projetos. Estas três abordagens referem-se à implementação de programas de construtibilidade, revisão de documentos técnicos e avaliação quantitativa de projetos.

A implementação de programas de construtibilidade compreende a utilização de regras e orientações ao longo de todo o processo de gestão, incluindo todos os fatores e agentes envolvidos, durante as diferentes etapas da construção. Já a revisão da construtibilidade consiste em avaliar os documentos técnicos com a finalidade de identificar discrepâncias ou erros, garantindo a adequada coordenação entre os projetos e evitando o surgimento de problemas na etapa de construção.

Já a avaliação quantitativa de projetos tem como objetivo avaliar atributos de construtibilidade presentes nos projetos, de forma que estes possam ser comparáveis. Contudo, surgem duas questões quanto à utilização desta abordagem: a primeira relacionada à facilidade de se avaliar e melhorar a construtibilidade em projetos que já estão sendo implementados, em contraponto àqueles que ainda estão na etapa de projeto, sem o retorno de informações da construção. A segunda relaciona-se à dificuldade de se considerar, no sistema de avaliação, todos os fatores que afetam a construtibilidade, bem como a necessidade de alterações de requisitos a cada novo projeto executado.

Zechmeister (2005) aponta a construtibilidade como uma alternativa para a redução dos tempos e custos da construção, servindo como um condutor da evolução tecnológica. Além destes benefícios, Jergeas e Van der Put (2001) apontam a melhoria no desempenho, qualidade e segurança das construções.

Outros trabalhos apontam, especificamente, benefícios relacionados à diminuição das tarefas e dificuldades durante a construção, ao reconhecimento das limitações e práticas locais, à melhoria dos métodos construtivos e da utilização de tecnologia e a avanços de coordenação entre os projetistas e construtores, que levam à adoção de um mesmo ponto de vista por todos os membros da equipe (TATUM, 1987). O mesmo autor aponta a interação entre a concepção do projeto e o método construtivo como um aspecto fundamental para o incremento da construtibilidade do empreendimento, com o conseqüente incremento no nível de racionalização da construção.

A partir do exposto, verificou-se a necessidade de maior aprofundamento no tema, buscando identificar quais requisitos ligados à construtibilidade podem ser utilizados para que se possa avaliar adequadamente a solução Elemento de Integração.

2.2 Requisitos de Construtibilidade

Os trabalhos que abordam aspectos relacionados com a construtibilidade não estabelecem uma nomenclatura padrão para os requisitos, fatores, princípios e conceitos. Desta forma, neste trabalho é utilizado o termo requisito, dada a necessidade de avaliação do EI, ressaltando que nem sempre este foi o termo original proposto pelo autor.

Na primeira etapa são apresentados os requisitos em linhas gerais relacionados aos autores que os utilizaram (quadro 1), de acordo com a nomenclatura empregada por eles e, após, são especificados de acordo com a relevância para esta pesquisa. Amancio (2010) aponta a relação existente entre a importância de cada requisito e as características de cada trabalho, projeto e/ou obra, estando a relevância e/ou a escolha de cada fator estritamente ligada às características do objeto em estudo.

Um dos primeiros trabalhos que propôs requisitos de construtibilidade foi o desenvolvido por O'Connor et al. (1987), onde, com base em estudos realizados in loco, os autores identificaram vários fatores que afetaram negativamente o desenvolvimento da construção. Como resultado da pesquisa, eles propuseram sete **princípios** para a melhoria da construtibilidade, que podem ser efetivamente utilizados nas etapas de projeto e planejamento.

Neste mesmo ano o CII (1987) lançou uma coletânea com os quatorze **conceitos** de construtibilidade, sendo que, destes, os seis primeiros devem ser considerados na concepção, outros sete relacionam-se à etapa de projeto e contratação e o último refere-se à fase de construção. Entretanto, os conceitos referenciados na etapa conceitual não fornecem subsídios para o desenvolvimento desta pesquisa, por tratarem de disposição de canteiro, planos globais de construção e envolvimento entre agentes.

Dentro desta mesma perspectiva, mas com um escopo de aplicação mais reduzido, foram propostos pelo CIRIA (1983)⁴, apud Crowter (2002), sete **princípios** de construtibilidade aplicáveis nas fases de concepção e projeto. Já trabalhos mais recentes, como o de Zin (2004) e Rodrigues (2005), indicam, respectivamente, dezoito **conceitos** e sete **princípios** baseados em revisão bibliográfica, aplicáveis à indústria da construção civil. No trabalho da última autora, alguns dos princípios propostos provieram ou foram formados por métodos utilizados na indústria de manufatura, já que focavam em empreendimentos habitacionais com caráter repetitivo.

A partir do levantamento dos requisitos utilizados por diferentes autores em suas pesquisas, visualizados no quadro 1, foram identificados (grifados) aqueles que não apresentam relevância para esta pesquisa, já que são em menor número e não apresentam características que pudessem ser identificadas nas etapas abordadas neste trabalho. A seguir, foram apresentados aspectos peculiares de cada um deles e sua respectiva justificativa.

2.2.1 Cronograma orientado à construção

Os cronogramas de projeto e planejamento devem ser orientados pelas necessidades de construção. Neles, devem ser estabelecidas as principais seqüências de construção, sendo necessário o detalhamento de todos e a conclusão do documento de forma iterativa entre projetistas, construtores e proprietários (O'Connor et al., 1987; CII, 1987; NIMA et al., 2001). Contudo, este requisito não foi utilizado, já que apresenta pouca relação com as atividades desenvolvidas nesta pesquisa, dado seu escopo.

2.2.2 Especificações

O Connor et al. (1987) indicam a necessidade de revisão detalhada das especificações de projeto pelo proprietário, projetista e pessoas ligadas à construção, ressaltando sua importância, pois, através delas pode-se simplificar o processo de construção, tornando-o

⁴ CIRIA (Construction Industry Research and Information Association). Buildability: an assessment. CIRIA, London, 1983.

mais eficiente (CII, 1987). Este requisito não foi empregado nesta pesquisa, já que as atividades desenvolvidas englobavam um número mínimo de especificações, e as atividades de desenvolvimento, produção e construção foram acompanhadas pelo grupo de pesquisa, ou seja, qualquer dúvida era analisada e resolvida no próprio local, quando possível.

2.2.3 Levantamento do local da construção

A construtibilidade é melhorada quando as informações provenientes do levantamento do local de construção são consistentes e completas, resultando na redução de riscos, de atrasos e de alterações de projeto durante o andamento da construção (ZIN; HASSAN, 2006; LAM, WONG, CHAN, 2006).

Como o caráter das atividades desta pesquisa é essencialmente experimental, não envolvendo contato direto com edificações e locais específicos de construção, este requisito não apresenta relevância para este trabalho.

2.2.4 Redução de trabalhos em subsolo

Este requisito busca minimizar os impactos relacionados aos trabalhos desenvolvidos no terreno, necessários para o início da construção. Assim, quanto menor forem estas atividades, maior será a rapidez e construtibilidade do projeto (ZIN, 2004). A aplicação deste requisito, segundo Zin e Hassan (2006), é importante especialmente quando o terreno é perigoso, pobre ou molhado (ZIN, 2004). A partir do apresentado, este requisito não foi utilizado nesta pesquisa, já que não apresenta relação com as atividades desenvolvidas ao longo deste estudo.

2.2.5 Informações completas e claras

Para que a construtibilidade de um projeto seja incrementada, as informações relacionadas a ele devem ser apresentadas de forma clara e completa, anteriormente ao início da construção (ZIN; HASSAN, 2006). Estas informações devem ser planejadas e coordenadas buscando garantir o adequado andamento do processo de construção e facilitar a compreensão e comunicação destas informações no canteiro (ZIN, 2004). Dada a dimensão da nova solução, o número de envolvidos no desenvolvimento, produção e construção do EI e a relação deste requisito com aspectos gerenciais, ele não foi considerado nesta pesquisa.

A partir da exclusão destes cinco requisitos pela irrelevância quanto à aplicação nesta pesquisa, são abordados, a seguir, aqueles requisitos selecionados pela importância e proximidade que estabelecem com este trabalho. Estes requisitos foram especificados e, quando necessário, agrupados ou desmembrados conforme a necessidade apresentada no decorrer do texto.

Quadro 1: Requisitos de construtibilidade identificados na bibliografia

REQUISITOS	Pesquisas identificadas				
	O'Connor et.al.(1987)	CII (1987)	Zin (2004)	Rodrigues (2005)	CIRIA (1983)
Cronograma orientado à construção *	✓	✓			
Projetar buscando eficiência construtiva		✓			
Simplificação	✓		✓	✓	✓
Padronização	✓	✓	✓	✓	✓
Modularização	✓ ¹	✓	✓ ²		
Pré-montagem	✓ ¹	✓	✓ ²		
Acessibilidade	✓	✓	✓	✓	
Influência de condições climáticas	✓	✓	✓	✓	
Especificações *	✓	✓			
Otimização de processos de construção				✓	
Manutenibilidade				✓	
Minimizar tempo das operações de montagem manual				✓	
Levantamento do local da construção *			✓		✓ ³
Redução de trabalhos no subsolo *			✓		
Visualização antecipada da construção			✓		
Compatibilidade de tolerâncias			✓		✓
Minimização de danos nas operações subseqüentes			✓		
Praticidade das seqüencias de construção			✓		✓ ⁴
Considerar armazenamento de materiais no canteiro			✓		
Segurança			✓		
Considerar a mão-de-obra e recursos disponíveis			✓		✓
Adequação de materiais e produtos			✓		✓
Pré-fabricação			✓ ²		
Informações completas e claras *			✓		✓ ³
Rapidez de fechamento da construção			✓		✓ ⁴
Métodos construtivos inovadores		✓			
Projetar buscando minimizar o retorno de equipes especializadas			✓		

* Os requisitos sombreados não foram considerados neste estudo

2.2.6 Padronização

A padronização é um requisito pelo qual os componentes são regularmente e amplamente empregados, devendo estar sempre disponíveis, ou serem prontamente fornecidos. Este requisito deve ser empregado na fase de projeto e planejamento, e seu principal benefício é de ordem econômica (CII, 1987; NIMA et al., 2001).

A efetiva utilização da padronização em conexões, tipos de materiais, dimensões de projeto, detalhes e sistemas construtivos, minimizam a variabilidade dos produtos e processos e conseqüentemente os problemas de interferência, simplificando as operações de canteiro, melhorando assim a construtibilidade (O'CONNOR et al., 1987; ZIN, 2004; O'CONNOR; TUCKER, 1986).

Para Rodrigues (2005), a padronização pode ser aplicada tanto nos elementos do projeto, quanto nos processos construtivos, sendo um pré-requisito para o emprego dos métodos construtivos de pré-fabricação, pré-montagem, modularização e a produção fora da instalação final, também conhecidos como métodos PPMOF.

Low (2001) buscou identificar em sua pesquisa as relações entre a produtividade, a qualidade e a utilização do conceito de construtibilidade. Para isto, utilizou a ferramenta denominada denomina-se Buildable Design Appraisal System (BDAS), para determinar o nível de construtibilidade de um projeto. O BDAS baseia-se em três requisitos básicos: a padronização, a simplificação e a integração de elementos. Para o autor (2001) a padronização refere-se à repetição de módulos, tamanhos de componentes e de detalhes de conexão.

Lam, Wong, Chan (2006) mostraram em seu trabalho, a partir de entrevistas com agentes envolvidos em todo o ciclo de vida da construção, que, para garantir a construtibilidade nos projetos de forma geral, esforços devem ser realizados no sentido de padronizar materiais, componentes e sistemas, buscando a repetição de processos e atividades construtivas, aumentando a segurança e a facilidade de construção. Para isto sugerem o emprego de formas, layouts e geometrias simples, bem como a utilização de componentes modulares.

Segundo O'Connor et al. (1987), a utilização da padronização traz como benefícios: o aumento da produtividade, causado pelo efeito aprendido das atividades repetitivas; além de vantagens não diretamente relacionadas com a construtibilidade, como a vantagem econômica pela compra em volume de um mesmo produto e a simplificação na aquisição e gestão de produtos pela diminuição de variedade. Além destas, o CII (1987) aponta o

aumento na qualidade e na intercambialidade entre as partes, reduzindo assim a variedade de partes nos estoques.

Contudo, padronizar os elementos de projeto pode levar ao aumento no uso e tamanho de materiais, a limitações relacionadas ao processo criativo e ao aumento de custos relacionados ao armazenamento, dado o volume das compras e a transferência destes produtos ao canteiro (CII, 1987).

A partir da estreita relação estabelecida entre a padronização e os métodos PPMOF (RODRIGUES, 2005), são abordados, a seguir, os métodos produtivos relacionados a este requisito.

2.2.7 Pré-fabricação, pré-montagem e modularização (PPM)

Tatum, Vanegas, e Williams (1987), CII (2002) e Zin (2004) apontam a utilização da modularização, pré-montagem e pré-fabricação como métodos que auxiliam na melhoria da construtibilidade dos projetos, além de, segundo Russel, Gugel e Radtke (1994), reduzirem os custos durante o projeto e construção.

A pré-fabricação, segundo o CII (2002), é um processo de fabricação onde vários materiais são unidos para formar um componente de uma instalação final. Geralmente este processo é realizado em indústrias ou centros especializados, que dispõem dos materiais e equipamentos especiais necessários para a produção. Qualquer componente que é produzido fora do canteiro e não é um sistema completo pode ser considerado um pré-fabricado (HAAS et al., 2000).

Para Lam, Wong e Chan (2006) a pré-fabricação, por utilizar a fabricação em indústria e permitir a adoção de elementos integrados, traz, como benefício, a otimização dos trabalhos de construção realizados em canteiro. Para Barth e Vefago (2008), a pré-fabricação fornece benefícios que podem solucionar alguns dos mais freqüentes problemas relacionados aos métodos tradicionais da construção, tais como perdas de precisão de medidas, dificuldades no controle de qualidade, segurança e confiabilidade dos prazos de entrega.

A pré-montagem é um processo, pelo qual diversos materiais e/ou componentes pré-fabricados, produzidos por diferentes agentes, são unidos em algum local que não o canteiro e depois são instalados na construção (CII, 2002). O processo de pré-montagem pode necessitar de uma adaptação das atividades anteriormente desenvolvidas, transformando-as da forma seqüencial para paralela, além de envolver a montagem de partes de sistemas produzidos geralmente por diferentes indústrias.

A pré-montagem pode ser considerada como uma combinação entre a pré-fabricação e a modularização (HAAS et al., 2000) e a sua utilização aumenta os níveis de produtividade e melhora a construtibilidade sob condições climáticas adversas (NIMA et al., 2001).

Normalmente, a modularização é a maior parte de uma instalação, resultado de uma série de operações de montagem realizadas fora do canteiro e pode incluir partes de vários sistemas (CII, 2002). Segundo Haas et al. (2000), a modularização geralmente refere-se à pré-construção de um sistema completo fora do canteiro, que, quando pronta, é transportada até a construção. Dependendo do tamanho dos módulos, é necessária sua divisão para o adequado transporte e instalação.

O'Connor et al. (1987) e CII (1987) apontam estes métodos (PPM) como uma das principais estratégias de construtibilidade na etapa de projeto, quando são configurados buscando facilitar: a produção, através da adoção de precisão dimensional, definição de seqüências de operações e padronização de projetos; o transporte, identificando dimensões máximas e restrições das vias de circulação, bem como necessidades de içamento e rolamento; e a instalação, através da adoção de conexões padronizadas e acessíveis e minimizando a utilização de andaimes.

Quanto à instalação, Lam, Wong, Chan, (2006) acrescentam a necessidade de que os projetos considerem a conectividade entre os componentes e suas interfaces, permitam a realização de adaptações em canteiro, excluindo a necessidade de retrabalhos, e utilizem tolerâncias que sejam capazes de serem executadas.

Haas et al. (2000) apontam que a correta utilização destes métodos leva a uma melhora considerável da execução da construção, proporcionando ganhos relacionados à gestão do canteiro, cronogramas de construção, utilização de tecnologias e condições de fabricação, além de permitirem o desenvolvimento e construção de projetos que seriam inviáveis através da técnica de construção convencional.

Gibb (1999) denomina os três métodos acima citados como fabricação/produção fora do canteiro e os caracteriza como técnicas inovadoras, disponíveis aos agentes envolvidos ao longo do ciclo de vida do projeto, que buscam melhorar o custo/ benefício na construção.

Já o CII (2002) considera a pré-fabricação, a pré-montagem, a modularização e a produção fora do canteiro (PPMOF) como métodos que, se adequadamente empregados, trazem benefícios relacionados com a menor duração do projeto e aumento de produtividade, bem como com a redução de trabalhos em canteiro e de riscos, já que uma parte dos trabalhos é realizada em plantas industriais.

A fabricação/produção fora da instalação final é a prática da fabricação de componentes com ou sem pré-montagem, seja no canteiro, em plantas industriais ou em outro local, contanto que este local seja diferente de onde será instalado (CII, 2002).

O emprego dos métodos PPMOF, segundo o CII (2002) e O'Connor et al. (1987), normalmente refletem em benefícios em termos de custo, impacto ambiental, gestão de riscos, prazo, qualidade e segurança, que geralmente estão associados respectivamente a:

- redução dos custos pelo aumento de produtividade proporcionada pela produção em unidades industriais e pela padronização dos projetos;
- redução da infra-estrutura e do fluxo de trabalhadores no canteiro, dos desperdícios com materiais e dos impactos causados no local da construção;
- maiores chances de cumprir prazos programados, tendo em vista que o trabalho sofre menor influência das condições climáticas, uma vez que ele é desenvolvido dentro de indústrias;
- redução no prazo de execução do empreendimento;
- melhor controle de qualidade na fabricação de componentes devido às condições controladas de fabricação;
- maior segurança aos trabalhadores, já que a maior parte do trabalho é desenvolvida ao nível do solo.

Rodrigues (2005) aponta a sobreposição existente entre estes métodos, de modo que um pode estar incluso no outro, e identifica a complexa relação de implementação existente entre eles (figura 9).



Figura 9: Esquema demonstrando as relações entre os métodos

Como exemplo de métodos PPMOF tem-se as células carcerárias produzidas pela empresa Siscobrás, com sede em Canoas/ RS. As paredes, piso, teto e mobiliário são pré-fabricações (figura 10), produzidas nas dependências da empresa, com diferentes materiais. Estes componentes são montados em um galpão anexo à planta industrial, resultando na pré-montagem (figura 11).



Figura 10: Exemplo de Pré-fabricação



Figura 11: Exemplo de Pré-montagem

Já a montagem que origina o módulo é realizada na área externa da empresa (figura 12), sendo uma fabricação fora do local da instalação final. Quando o módulo está finalizado é transportado pronto até o canteiro e instalado (figura 13).



Figura 12: Exemplo de fabricação fora do local de construção



Figura 13: Exemplo de Modularização

2.2.8 Simplificação

A simplificação é um dos requisitos mais citados pelos autores, uma vez que busca sanar um dos principais problemas decorrentes da falta de consideração da construtibilidade: a complexidade dos projetos (ALSHAWI; UNDERWOOD,1994) e, conseqüentemente, das construções. O'Connor e Tucker (1986) e O'Connor et al. (1987) ressaltam a necessidade de participação de profissionais com conhecimento e experiência em construção, adequadamente integrados com a equipe de projeto, para auxiliar na identificação de detalhes e de projetos complexos. A simplicidade é um elemento desejável nos projetos que

almejam ser construtíveis, visto que a complexidade nas construções geralmente conduz a produtos insatisfatórios (CII, 1987).

Para O'Connor et al. (1987) e Zin (2004) a construtibilidade é reforçada quando os projetos são simplificados e configurados para garantir uma construção eficiente, utilizando arranjos simplificados e elementos com formas compatíveis, através de diferentes meios e métodos. Para Low (2001) a simplificação nada mais é do que a utilização de sistemas e detalhes construtivos que tem por finalidade facilitar a construção.

O'Connor et al. (1987) propuseram para uma maior eficiência deste conceito, a utilização:

- do número mínimo de componentes, elementos ou partes para montagem. Para isso, pode ser utilizada a integração de elementos proposta no BDAS (LOW, 2001), onde a fusão de diferentes componentes num mesmo elemento forma um produto único, resultando na redução dos trabalhos em canteiro. Rodrigues (2005) aponta, além da incorporação de vários componentes, a inclusão de diferentes funções em elementos únicos, buscando simplificar os produtos e processos, reduzindo assim os passos e partes de um produto;
- de materiais compatíveis com tamanhos e configurações disponíveis no mercado, analisando não só o tipo do material, mas também suas conexões com os demais produtos envolvidos na construção e a consideração de aspectos relacionados à sua manipulação, inspeção e testes;
- de conexões simples e de fácil execução, exigindo o mínimo de mão-de-obra especializada e de controle da produção;
- de projetos que permitam a realização de ajustes dimensionais no canteiro;
- de projetos que busquem minimizar as interdependências - e o conseqüente encadeamento - entre as atividades, aumentando a possibilidade de paralelismo entre elas.

Além destas, Rodriguez (2005) aponta a eliminação de características que não agregam valor para o cliente e de atividades que não agregam valor ao processo de execução, a utilização de coordenação dimensional, de pré-fabricação, de pré-montagem e modularização e o emprego de materiais e componentes que requeiram poucos cuidados em relação a condições de armazenamento e uso, a fim de simplificar os produtos e processos de construção.

A utilização da simplificação também acontece na indústria da manufatura, resultando em melhorias nos produtos e processos. Desta forma, Rodrigues (2005) aponta a utilização do

requisito de minimização dos tempos de percepção, decisão e manipulação das operações de montagem manual, inicialmente utilizado na indústria manufatureira, como um dos principais fatores que devem ser considerados na indústria da construção, já que a maior parte das atividades de canteiro é realizada manualmente.

2.2.8.1 Minimizar tempo das operações de montagem manual

Neste requisito são consideradas algumas regras associadas ao projeto orientado à montagem manual, também conhecido como *design for human assembly*.

A consideração dos fatores humanos assume papel importante nos esforços para facilitar a construção, já que, de fato, a quantidade dos trabalhos realizados manualmente nos canteiros é elevada. Assim, a utilização de “práticas associadas ao projeto voltado à montagem manual é justificada, como forma de aumentar a construtibilidade dos produtos do setor da construção” (RODRIGUES, 2005).

A montagem manual, para Boothroyd e Dewhurst (1991) envolve a manipulação, o transporte e a orientação espacial das partes ou sub-montagens, bem como a inserção ou fixação destas em outras partes ou conjuntos de peças. Scur (2009) aponta a divisão do processo de montagem manual em duas áreas distintas, uma relativa ao manuseio da peça (aquisição, orientação espacial e manipulação das peças) e a outra à inserção e/ ou fixação (encaixe de partes).

Segundo Chedier e Naveiro (1999) os principais parâmetros que interferem no processo de montagem manual são as operações de preparação para o desenvolvimento da atividade, as diferentes possibilidades de manipulação da peça e a necessidade de orientação espacial da mesma para execução da tarefa (diferentes sentidos e direções da montagem).

Buscando minimizar as dificuldades inerentes às atividade de montagem, Boothroyd e Dewhurst (1991) propuseram um conjunto de regras importantes para a montagem manual. A seguir são apresentadas as principais considerações:

- redução do número e tipos de peças - pode ser realizada através da inclusão de múltiplas funções em uma só, trazendo diversos benefícios, tais como a diminuição de custos com material, minimização de tempo e custo relacionados à mão-de-obra, melhoria na qualidade do produto, menor necessidade de inspeção e de retrabalhos;
- garantia de acesso adequado e sem restrições visuais - um acesso inadequado ou restrições visuais podem resultar em prejuízos relacionados ao tempo, segurança e confiabilidade, além de frustrar o operário. Esta regra, quando adequadamente utilizada, minimiza o tempo de percepção, decisão e manipulação;

- projeto de partes auto-alinháveis e auto-alocáveis (figura 14) - o adequado alinhamento e localização da peça traz benefícios relacionados ao tempo de percepção, decisão e manipulação do operário (figura 15).

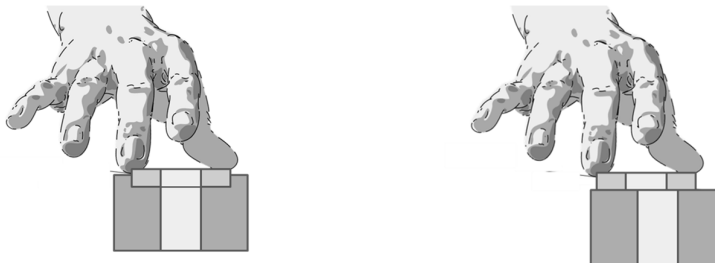


Figura 14: Projetação utilizando peças auto- alocáveis

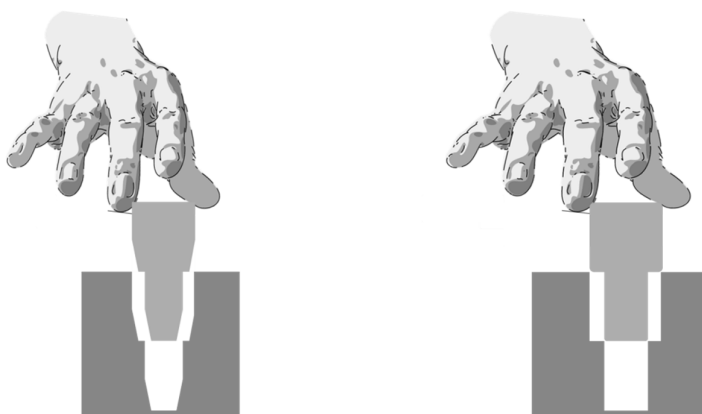


Figura 15: Projetação buscando diminuir a dificuldade de montagem

- projeto de peças para a correta instalação - eliminar situações onde as peças possam ser instaladas e/ou orientadas em locais que não permitam o correto funcionamento do todo. Para isto, os autores sugerem que sejam utilizadas obstruções e/ou formas assimétricas que não permitam a montagem de forma incorreta;
- eliminação de ajustes - os ajustes, ou atividades similares, exigem do operário julgamento e tomada de decisão durante a operação, acarretando em aumento nos custos e redução da confiabilidade;
- minimização da necessidade de reorientações durante a montagem - utilizando a montagem em uma única direção ou de cima para baixo, como também empregar guias de inserção;
- maximização da simetria da peça ou projeto de peças visualmente assimétricas - a assimetria deve ser claramente e facilmente identificada pelo operador, buscando, desta forma, minimizar o tempo de decisão na operação.

A estas, são acrescentadas (BACK et al.,2008):

- identificação de peças formalmente parecidas através de cores ou guias externas;
- redução na utilização de ferramentas especiais, nas distâncias de movimentação e nos movimentos complexos (não habituais ao operário);
- previsão de que as peças possam ser empilhadas com facilidade em uma única posição;
- busca de formas de componentes que dificultem o emaranhamento, encunhamento ou desorientação na montagem;
- facilidade para a manipulação, correto posicionamento e fixação das peças, fornecidos idealmente por superfícies planas e paralelas;
- evitamento de cantos vivos, pontas e arestas cortantes que possam machucar o operário ou danificar outras peças ou o próprio componente;
- evitamento de peças pesadas que possam ferir ou cansar o trabalhador.

2.2.9 Acessibilidade

A construtibilidade é melhorada quando são consideradas as necessidades de acesso de mão-de-obra, materiais e equipamentos (O'CONNOR; TUCKER, 1986; CII, 1987; NIMA et al., 2001). Alguns pesquisadores acrescentam ainda a necessidade de espaços adequados para o desenvolvimento das atividades construtivas (ZIN, 2004; RODRIGUES, 2005).

A dificuldade de acesso relacionada com a mão-de-obra pode acarretar impactos negativos de produtividade e segurança, dado o tempo gasto com o deslocamento por vias não adequadas, a inconformidade dos espaços para a realização das atividades e os acessos e rotas impróprias que geram condições inseguras de trabalho. Da mesma forma, a desconsideração de acessibilidade quanto aos materiais e equipamentos gera impactos negativos nos custos e cronogramas de obra (CII, 1987).

Saffaro, Santos e Heineck (2004) propuseram, em seu trabalho, oito categorias que repercutem na construtibilidade, dividindo a acessibilidade em duas, uma relativa aos trabalhadores, abordando a adequação dos espaços para o apropriado andamento das tarefas, e a outra aos materiais e equipamentos, considerando a facilidade de acesso aos materiais estocados e de transporte ao posto de trabalho.

O'Connor et al. (1987) acrescentam aos espaços e acessos adequados para o desenvolvimento das operações dos trabalhadores, a consideração de áreas apropriadas para o armazenamento de materiais e equipamentos. Dentro desta visão, Zin (2004) utilizou o requisito denominado consideração de armazenamento de materiais no canteiro, onde identifica a necessidade do atendimento aos requisitos de localização e distribuição dos materiais de construção para um desempenho adequado de construtibilidade. Ressalta

ainda que os espaços destinados a andaimes, suportes temporários, equipamentos de transporte e içamento, entre outros, também devem ser considerados, bem como sua localização e distribuição de forma eficiente.

A desconsideração de aspectos relacionados às necessidades de armazenamento podem resultar em obstrução de rotas, localização inadequada de andaimes e escritórios e inviabilização da utilização de equipamentos de grande porte. Em geral, pode-se dizer que a aplicação deste requisito é importante quando se tratam de canteiros com pouco espaço, que exigem uma maior otimização de layout, e onde freqüentemente os materiais são armazenados na própria estrutura da construção (ZIN, 2004).

Os efeitos decorrentes da desconsideração ou mau planejamento de acessibilidade podem ser bastante graves, acarretando, além de atrasos no cronograma e diminuição da produtividade, o aumento de danos em trabalhos já concluídos, gerando a necessidade de retrabalhos (O'CONNOR et al.,1987). Desta forma os autores anteriormente citados propõem algumas recomendações para aumentar a acessibilidade, tais como:

- estabelecimento de diretrizes buscando definir espaços mínimos necessários para elementos do projeto;
- definição e especificação de vias de acesso e rotas de deslocamento;
- definição de espaços para equipamentos e utilização de rotas lineares;
- comunicação clara de informações relacionadas com a acessibilidade aos projetistas e coordenadores, tais como métodos de transporte e montagem, tamanhos de equipamentos de construção, atividades de construção seqüenciais ou paralelas e as relações existentes entre estas informações.

A estas, Zin (2004) acrescenta a busca pela redução da utilização de diferentes materiais e de danos aos materiais causados pelo clima, pela prevenção de danos causados em trabalhos já concluídos, por descuido, ou em materiais, pela manipulação e empilhamento na entrega, no armazenamento e circulação no canteiro.

Desta forma, a acessibilidade é utilizada nesta pesquisa ao se tratarem de acessos e espaços para realização dos trabalhos de construção, bem como no armazenamento, transporte e manipulação de materiais e equipamentos.

2.2.10 Influência das condições climáticas

A minimização das influências climáticas nas atividades de construção traz benefícios relacionados à construtibilidade, uma vez que permite o desenvolvimento dos trabalhos de

construção, mesmo sob condições climáticas adversas (O'CONNOR et al., 1987; CII, 1987; NIMA et al., 2001). Rodrigues (2005) aponta a influência das condições climáticas na produtividade das atividades na indústria da construção civil, visto que a maior parte destas atividades é realizada ao ar livre.

Para Lam, Wong e Chan (2006), a consideração de aspectos climáticos é de suma importância, já que as interferências climáticas são barreiras corriqueiras na indústria da construção civil, principalmente em obras horizontais, pela maior exposição das atividades às intempéries, quando comparadas às verticais. Desta forma, deve-se buscar a minoração destes efeitos para um adequado desenvolvimento da construção (RODRIGUES, 2005).

Projetos desenvolvidos em locais que apresentam condições meteorológicas mais severas representam um desafio maior para projetistas e construtores. Assim, deve-se buscar alternativas e métodos que minimizem os efeitos de temperatura, chuva e conseqüentemente, da lama no canteiro. Além disso, a quantidade de trabalho realizado ao ar livre também deve ser minimizada (O'CONNOR et al., 1987).

A seguir, estão algumas aplicações deste princípio, sugeridas por O'Connor et al.(1987):

- desenvolver projetos que busquem minimizar as atividades realizadas ao ar livre, reduzindo assim a interferência na qualidade da construção;
- adotar, quando possível, grandes espaços fechados que funcionem como indústrias e permitam o armazenamento de equipamentos durante a construção;
- permitir a pavimentação inicial do canteiro, para eliminar problemas relacionados às chuvas e lama;
- utilizar, o máximo possível, os métodos PPMOF, garantindo qualidade e atendimento aos prazos, minimizando os trabalhos em canteiro.

Zin (2004) identifica a estreita ligação entre o requisito de minimização dos efeitos climáticos e o que aborda o rápido fechamento da construção, destacando que ambos são importantes quando as condições climáticas impactam negativamente no andamento da construção, resultando em problemas de construtibilidade. Ainda, aponta a utilização de pré-fabricados como elementos que, quando adequadamente utilizados, fornecem maiores condições para o fechamento nas primeiras etapas de construção, minimizando, desta forma os efeitos climáticos (ZIN, 2004).

2.2.11 Manutenibilidade

Através deste requisito busca-se minimizar os efeitos de suspensão no fornecimento da funcionalidade por parte do edifício. Desta forma, a manutenção normalmente ocorre

quando algum sistema, componente ou material não apresenta um desempenho adequado (MESQUITA, 2006). Sendo que, atualmente, a capacidade de realizar a manutenção de forma eficaz é um atributo cada vez mais importante, já que por mais confiável que seja o produto, as falhas são inevitáveis (BACK et al.,2008).

A facilidade de manutenção e a transparência para os usuários das necessidades, prazos e procedimentos de manutenção são de fundamental importância para qualidade e sustentabilidade dos edifícios ao longo do tempo. A manutenção é particularmente crítica em habitações de interesse social (HIS), onde a disponibilidade de recursos dos moradores para reformas e manutenções é limitada. A fase de maior duração de uma edificação é a fase de uso e operação, quando ocorrem intervenções de adaptação, reforma e, principalmente, manutenção (SANCHES; FABRICIO, 2009).

Entretanto, é importante destacar que nem todas as ações que visam considerar os aspectos de manutenção têm relação com a construtibilidade. Assim, são consideradas as ações que visam facilitar as atividades de substituição e renovação (SAFFARO; SANTOS; HEINECK, 2004; RODRIGUES, 2005). Mesquita (2006) ressalta a importância da consideração das interfaces e da intercambiabilidade dos componentes para o aumento da construtibilidade, sendo neste sentido, o edifício formado pela união harmônica de componentes interdependentes.

A seguir são apresentadas algumas recomendações que buscam facilitar a manutenção da edificação (BACK et al., 2008):

- simplificar as características físicas e funcionais, bem como reduzir o número de componentes e sub-montagens, levando à diminuição do nível de habilidade necessária dos operários;
- prever espaços adequados para acesso visual e de atividades de manipulação, incluindo a montagem e desmontagem necessárias durante a inspeção, reparo e substituição de partes;
- projetar para a fácil montagem e desmontagem;
- utilizar componentes padronizados, que apresentem coordenação e considerem tolerâncias adequadas, principalmente nas peças que mais falham;
- projetar partes modulares que possam ser facilmente testadas e reparadas, independentemente do produto total.

2.2.12 Segurança

A construtibilidade é melhorada quando a segurança é adequadamente considerada durante todas as etapas envolvidas na construção. O projeto deve ser desenvolvido e organizado considerando a segurança dos trabalhos de construção, principalmente nas atividades relacionadas às fundações e escavações (ZIN; HASSAN, 2006; LAM; WONG; WONG, 2007).

Nesta mesma perspectiva, Saurin (2004; 2005) aponta a estreita relação existente entre a construtibilidade e a segurança, citando como exemplos a flexibilidade para futuras modificações, as soluções de interfaces entre subsistemas e a utilização de pré-fabricados, bem como seus impactos positivos quanto à construtibilidade e, conseqüentemente, quanto à segurança.

Projetos que não consideram a segurança, além de atrasos no cronograma, apresentam problemas quanto a acidentes, ocasionando danos econômicos e morais para as empresas (LAM, WONG, CHAN, 2005). Estes pesquisadores propuseram, em seu trabalho, atributos relacionados à segurança que envolvem os trabalhos de preparação do terreno (subsolo e fundações), as seqüências seguras dos pacotes de construção e a utilização de materiais e componentes com tamanhos e pesos seguros para sua manipulação pelos operários.

2.2.13 Otimização de técnicas e processos de construção

Em contraponto à maioria dos requisitos que apresenta um maior potencial para melhoria da construtibilidade durante o desenvolvimento do projeto do produto, a otimização das técnicas e processos de construção, deve ser considerada no projeto do processo, contribuindo desta forma, para a melhoria da construtibilidade no projeto do produto. De modo geral, as práticas relacionadas a esse requisito visam introduzir melhorias nas atividades de conversão (RODRIGUES, 2005).

A melhoria das técnicas de construção é um dos principais tipos de melhorias propostos por O'Connor e Tucker (1986), relacionando-a aos materiais, ferramentas e equipamentos, técnicas e seqüências de execução.

As melhorias no uso de materiais passam pela utilização de materiais reciclados e a análise para substituição dos materiais tradicionais por soluções mais econômicas. Já os avanços quanto ao uso nas ferramentas e equipamentos englobam o desenvolvimento de novos equipamentos e a utilização de tecnologia avançada em equipamentos e ferramentas (O'CONNOR; TUCKER, 1986).

Quanto aos avanços nas técnicas e seqüências de execução, O'Connor e Tucker (1986) propõem a utilização de pré-fabricados, a análise de prós e contras, considerando a construção no canteiro em contraponto á produção industrial de componentes e sistemas e a adoção de técnicas construtivas que forneçam melhores tempos e facilitem as seqüências de execução da construção, almejando a melhoria quanto à construtibilidade.

Quanto às seqüências de execução Zin (2004) propõe que a construção seja desenvolvida de forma prática, buscando evitar danos nas operações subseqüentes, prevenindo perdas, retrabalhos e a utilização de elementos que congestionem o canteiro (NIMA et al., 2001). Para isto, Zin (2004) aponta para a importância dos métodos de construção quanto ao incentivo da seqüência mais eficaz das operações envolvidas. Sendo assim, as operações devem ser concluídas de forma independente e sem interrupção, minimizando a ocorrência de atrasos.

Já para Saffaro, Santos e Heineck (2004), a seqüência induzida deve ser evitada, devendo-se, para isto, utilizar atividades que apresentem interdependência. Esta observação não conflitua com as sugestões de Zin (2004), porque aqueles autores referem-se a seqüências construtivas inevitáveis, enquanto esta última foca em atividades que podem ser realizadas paralelamente. A utilização de componentes e sistemas modulados, pré-montados e/ou pré-fabricados, auxilia no controle da seqüência de construção (CII, 2002).

Para Zin (2004), a aplicação do requisito da busca pela seqüência de construção mais eficaz deve ser considerada quando necessidades de acessibilidade no canteiro e de entrega de equipamentos são críticas. Em outras situações, a necessidade de avaliar o impacto da seqüência de construção é justificada por questões econômicas, anteriormente à escolha dos métodos construtivos.

Além da seqüência mais prática, deve-se planejar para que as operações em andamento não danifiquem as atividades já terminadas. Quando este fator é considerado, a construtibilidade é aumentada. Desta forma o projeto deve permitir que o trabalho em desenvolvimento não apresente riscos à atividade já terminada, e possa ser concluído sem que haja a necessidade de utilização de proteções especiais aos elementos construtivos (ZIN, 2004).

A otimização dos processos de construção, segundo Rodrigues (2008), pode ser alcançada a partir da utilização de materiais e sistemas inovadores ou de novas formas de utilização de materiais e sistemas nas instalações temporárias de canteiro.

Esta otimização pode ser obtida, ainda, através da mudança nas ferramentas existentes ou pela introdução de novas, buscando a redução da intensidade do trabalho ou melhoria da mobilidade, segurança ou acessibilidade e através da inserção de métodos inovadores na utilização de equipamentos existentes ou modificá-los buscando aumentar sua produtividade.

Dentro desta perspectiva, o CII (1987) indica a utilização de métodos construtivos inovadores como forma de aumentar a construtibilidade, definindo-os como aquelas soluções que normalmente não são consideradas comuns na prática e apresentam-se como recursos criativos para desafios encontrados durante a construção, ou seja, no canteiro (CII, 1987; O'CONNOR; DAVIS, 1988; LAM, WONG, CHAN, 2006).

Em seu trabalho, O'Connor e Davis (1988) sugerem que a utilização de métodos de construção inovadores reforçam a construtibilidade nas operações de canteiro. Estes métodos podem envolver inovações relacionadas aos materiais e sistemas, bem como às seqüências de execução, ferramentas, equipamentos e à utilização de pré-fabricação (O'CONNOR; DAVIS, 1988).

Quanto às inovações em materiais e sistemas temporários de construção, os mesmos autores recomendam a utilização de componentes modulares, cujo transporte e levantamento seja de fácil execução, bem como o emprego de sistemas construtivos que reduzam o tempo das tarefas de preparação. Além destes, indicam a utilização de produtos que melhorem o desempenho dos materiais de construção, tais como aditivos em concretos (NIMA et al., 2001) e a utilização de componentes pré-fabricados.

Além de inovações nos materiais e sistemas temporários, o trabalho em questão sugere a utilização de inovação em sistemas e componentes pré-fabricados, por diferentes razões: aumento na produtividade e na segurança, garantia da qualidade pelo ambiente industrial onde são produzidos os sistemas e componentes, e a minimização da influência das condições climáticas (O'CONNOR; DAVIS, 1988).

A construtibilidade também pode ser melhorada se forem realizadas inovações quanto à utilização de ferramentas manuais, de forma que se reduza a intensidade física de trabalho dos operários e se majore a mobilidade, a acessibilidade, a segurança e/ou a durabilidade das ferramentas (NIMA et al., 2001).

Já as inovações relacionadas aos equipamentos construtivos incluem a sua customização, buscando maior adequação às necessidades das atividades e dos operários, que pode ser

atingida através da utilização da automação, resultando em melhores níveis de desempenho e construtibilidade (NIMA et al., 2001).

Outra alternativa está no desenvolvimento de novas soluções relacionadas à seqüência de tarefas de obra, que devem minimizar os congestionamentos e aliviar rotas saturadas, além de utilizar operações repetitivas e contínuas, gerando benefícios relacionados à curva de aprendizagem. De fato, para Leite (2002), nos trabalhos que envolvem atividades repetitivas e contínuas, realizadas por um mesmo grupo de funcionários, surge o efeito aprendizagem, que é representado através da curva de aprendizagem.

As curvas de aprendizagem são mecanismos gráficos que demonstram a diminuição do tempo gasto para a execução do mesmo serviço. Isso acontece, segundo Leite (2002), em decorrência do sucessivo aperfeiçoamento na execução do trabalho e da familiarização da equipe no ambiente de operação, isto é, o efeito aprendizado. Através destas, pode-se analisar o crescimento de eficiência através da experiência adquirida.

Neste sentido, todo o trabalho realizado pela primeira vez será menos eficiente. Contudo, se aquela tarefa for repetida sucessivas vezes, o operário ganha experiência e eficiência realizando o trabalho de forma mais rápida, com mais qualidade, menos desperdício e com custos reduzidos. “Com a experiência adquirida, há um declínio de custos e a eficiência e a qualidade melhoram” (LEITE, 2002).

2.2.14 Compatibilidade de tolerâncias e ferramentas de visualização

A identificação de tolerâncias que não podem ser aplicadas na construção em canteiro, bem como o discernimento entre os diferentes padrões de tolerância dimensional da produção industrial e da construção em canteiro, levam os projetos a melhores níveis de construtibilidade (ZIN, 2004).

Os principais problemas de ajuste acontecem nas interfaces entre os diferentes sistemas e componentes da construção, métodos construtivos, materiais de construção e processos produtivos, desta forma devem ser empregados dispositivos que promovam a adequada integração entre os diferentes produtos (O'CONNOR; TUCKER 1986; ZIN, HASSAN, 2006).

Alshawi e Underwood (1994) apontam a incompatibilidade de tolerâncias como um dos principais problemas de construtibilidade, visto que resultam na necessidade de alterações dos projetos e em dificuldades construtivas, que acarretam custos adicionais e atrasos no cronograma de construção (ZIN, 2004).

Um dos recursos que pode solucionar esta questão são as ferramentas de visualização, visto que permitem a identificação antecipada de possíveis interferências físicas e ou incompatibilidades dimensionais que possam ocorrer no canteiro, possibilitando que estes problemas sejam localizados e solucionados em etapas anteriores à construção (GANAH et al., 2005; ZIN, HASSAN, 2006).

As ferramentas de visualização da construção surgem como resposta aos tradicionais métodos e ferramentas utilizados para a comunicação entre as equipes de projeto e as ligadas à construção, tais como desenhos em duas dimensões, cortes e memoriais descritivos, visto que estes são incapazes de fornecer informações suficientes para que a construção se desenvolva de forma adequada (GANAH et al., 2001). Desta forma, a visualização da construção traz como benefícios a melhoria na comunicação e colaboração entre os profissionais de projeto e de construção, melhorando assim, os problemas de construtibilidade que possam surgir durante a construção, além de reduzir os custos de construção (GANAH et al., 2001).

Na arquitetura e na engenharia civil, a visualização virtual não se limita à fase de projeto e pode acontecer ao longo de todo o ciclo de vida do produto, desde a fase conceitual, onde as idéias são lançadas, passando pela fase de construção e terminando nas simulações de desempenho e manutenção do produto (BOUCHLAGHEM et al., 2005).

Modelos tridimensionais podem ser criados a partir de desenhos feitos à mão nas fases muito iniciais do processo de projeto. Estes modelos podem ser desenvolvidos e refinados e, desta forma, utilizados para comunicar a intenção do projeto para os clientes e usuários e para comparar e avaliar diferentes opções de arranjos (BOUCHLAGHEM et al., 2005).

Durante os estágios mais avançados do projeto, representações tridimensionais podem ser usadas para analisar questões relacionadas à coordenação, acessibilidade e sustentabilidade, bem como para modelar a seqüência de construção, a fim de simular o progresso da mesma (BOUCHLAGHEM et al., 2005).

Segundo Ulrich e Eppinger (2000), estes modelos virtuais também podem receber a denominação de protótipos, já que são aproximações do produto e processo envolvidos na construção, ou de partes destes.

2.2.15 Adequação de materiais, produtos, recursos e mão-de-obra

A adequação, termo utilizado por Saffaro, Santos e Heineck (2004), é a atividade através da qual os materiais são escolhidos, considerando o seu local de aplicação e suas características, tais como, forma, tamanho, coloração e propriedades químicas. A escolha

dos materiais deve considerar ainda a possibilidade de redução da variedade de materiais envolvida no processo construtivo e a sua disponibilidade no mercado.

A construtibilidade é melhorada quando os materiais adequados são utilizados na construção. Desta forma, a seleção de produtos e materiais deve ser cuidadosa, principalmente quando não houverem normas ou avaliações de desempenho que os certifiquem, ou, ainda, quando estes ainda não foram utilizados e/ou aceitos na indústria (ZIN, HASSAN, 2006). Dentro deste contexto, o emprego dos materiais na construção deve considerar também o desempenho correto da edificação e a minimização dos desperdícios (LAM, WONG, CHAN, 2006).

Recomenda-se que sejam empregados apenas os produtos e materiais certificados, bem como que sejam selecionados produtos e materiais que utilizem métodos tradicionais de construção e montagem, com os quais os operários já tenham contato e experiência e cujo emprego seja economicamente viável, devendo-se evitar materiais com difícil disponibilidade. Da mesma forma, devem ser tomados cuidados a fim de assegurar que as recomendações dos fabricantes sobre a manipulação, armazenagem, aplicação, montagem e proteção dos materiais e produtos sejam respeitadas (ZIN, 2004).

Da mesma forma, a seleção adequada da mão-de-obra e recursos, entendidos segundo Lam, Wong e Chan (2006) como instalações, equipamentos, ferramentas e conhecimento disponíveis, passa pela consideração da disponibilidade local destes recursos, bem como pela adequação destes à tecnologia embutida no projeto, resultando em melhores índices de construtibilidade (ZIN; HASSAN, 2006).

Cabe ressaltar que as exigências quanto às competências relacionadas à mão-de-obra variam de um projeto para outro, bem como entre um local e outro. Sendo assim, o desenvolvimento dos projetos deve incluir avaliações sobre o nível de habilidade disponível em determinado local, ou de determinada equipe de construção. Os novos materiais e técnicas construtivas envolvidos no projeto também devem ser comunicados aos responsáveis pela construção, para que estes se adéquem às necessidades construtivas (ZIN, 2004).

Considerando ainda a mão-de-obra, Zin (2004) resalta a importância da minimização do retorno de equipes especializadas, o que está diretamente relacionado ao grau de especialização dos trabalhadores e ao planejamento do cronograma de construção.

Entretanto, visto que a utilização de equipes especializadas durante o processo construtivo é recorrente na indústria da construção e está diretamente relacionada ao grau de industrialização, uma das formas de se melhorar os níveis de construtibilidade é minimizando o retorno de equipes de especialistas em determinado sistema, elemento ou componente construtivo, fazendo com que as atividades a serem desenvolvidas por uma equipe, sejam realizadas de uma só vez (ZIN, 2004).

2.2.16 Projetar para a eficiência da construção

Este requisito é aplicável na fase de projeto e planejamento e pressupõe a utilização de diversos requisitos já descritos, tais como, simplicidade, disponibilidade de mão-de-obra e utilização de tecnologias de visualização antecipada da construção, além da flexibilidade e a minimização da substituição de produtos, buscando através da utilização destas a melhoria da eficiência construtiva (CII, 1987).

A flexibilidade é uma característica que permite que os envolvidos com a construção possam analisar e selecionar abordagens construtivas alternativas ou inovadoras a partir da especificação em projeto do desempenho esperado da construção e edificação, e não da prévia seleção de abordagens para atingir estes resultados (CII, 1987).

Para Lam, Wong e Chan (2006) a flexibilidade fornece subsídios para a aplicação de pré-montagens e a utilização de elementos e sistemas intercambiáveis, buscando desta forma a melhoria da construtibilidade.

Dentro deste contexto a substituição de produtos sem prévia análise impacta negativamente na eficiência construtiva, visto que, além de reduzir ou até mesmo eliminar os esforços para a melhoria de construtibilidade, estes podem ser impropriamente aplicados, acarretando em desempenho inadequado da edificação e aumentos de custos (CII, 1987).

2.3 Considerações finais do capítulo

A partir do apresentado, pôde-se identificar que alguns requisitos foram incluídos e abordados em outros, devido à compatibilidade e relevância que apresentam entre eles, conforme visualizado na figura 16.



Figura 16: Requisitos utilizados na análise de construtibilidade

Desta forma, e, a partir do apresentado, os requisitos foram agrupados conforme segue:

- a modularização, pré-fabricação e pré-montagem estão contidas no requisito de **padronização**;
- a minimização dos tempos das operações de montagem manual faz parte do requisito de **simplificação**;
- a consideração da necessidade de armazenamento dos materiais no canteiro está inclusa no requisito de **acessibilidade**;
- a rapidez de fechamento da construção foi adicionada ao requisito de **minimização das influências climáticas**;

- a praticidade das seqüências de construção, a busca pela minimização de danos nas operações subseqüentes e a utilização de métodos construtivos inovadores estão contidas no requisito de **otimização das técnicas e processos de construção**;
- os requisitos de **visualização antecipada da construção e utilização de ferramentas de visualização da construção** foram acoplados num mesmo requisito;
- o requisito de **adequação de materiais, produtos, recursos e mão-de-obra** engloba a adequação de materiais e produtos, a minimização do retorno de equipes especializadas e a consideração da mão-de-obra e recursos disponíveis.

Assim, além dos sete requisitos acima identificados, foram utilizados aqueles relacionados à **manutenibilidade, segurança** e de **busca pela eficiência construtiva**, resultando em dez requisitos básicos que serviram como base para a análise da construtibilidade. A seguir, estes dez requisitos básicos e suas principais características (quadro 2), foram compilados, a fim de auxiliar nas análises tanto no desenvolvimento do EI, quanto na construção com o EI e comparação com o sistema tradicional de construção.

Quadro 2: Apresentação dos 10 requisitos básicos e principais quesitos identificados

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.			
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.
ACESSIBILIDADE	Não necessita de equipamentos especiais para transporte, manipulação, construção e instalação.
	Não exige 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.
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, minimizando trabalhos em canteiro.
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 total.
SEGURANÇA	Apresenta sequências seguras de construção.
	Utiliza materiais e componentes com tamanhos e pesos seguros para a manipulação, construção, instalação e manutenção.
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.

COMPATIBILIDADE 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.
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.
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.

3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO DE ALVENARIA ESTRUTURAL E DESENVOLVIMENTO DO ELEMENTO DE INTEGRAÇÃO

Nesta seção é apresentado, inicialmente, o desenvolvimento da etapa preparatória, que envolve a coleta de dados em obras de interesse social, construídas em alvenaria estrutural e a modelagem da sequência construtiva definida como tradicional e utilizada como base para comparação nesta pesquisa. Nesta etapa, também foi apresentada a aplicação da metodologia desenvolvida por Azambuja et al. Esta metodologia embasou a escolha do material para a produção do EI e auxiliou na definição de características genéricas da nova solução.

Num segundo momento, foi apresentado o desenvolvimento da etapa executiva, formada por quatro ciclos de construção e avaliação do Elemento de Integração, resultando, assim, no refinamento da proposta inicial. No primeiro ciclo foi apresentada a definição formal, funcional e conceitual do EI, gerando condições para o desenvolvimento de protótipos do Elemento e das atividades envolvidas no primeiro, segundo e terceiro ciclo. Estas atividades incluem a modelagem, produção, análise e sugestões de modificações necessárias para a adequação do EI, considerando os requisitos de construtibilidade identificados em cada um destes ciclos. Com a definição do Elemento no fim do terceiro ciclo, foi modelada a sequência construtiva utilizada para a construção da parede experimental com o EI, e realizada a edificação deste elemento, cuja avaliação fechou o quarto e último ciclo desta etapa.

3.1 Desenvolvimento da etapa preparatória

Esta etapa iniciou com a coleta de dados em obra. Estas informações buscaram identificar a sequência construtiva utilizada atualmente em habitações destinadas à população de baixa renda, bem como os materiais, equipamentos e nível de especialização necessários para executá-la.

A partir deste levantamento, foi caracterizado o sistema de construção e vedação utilizado nesta pesquisa e apresentado um modelo virtual explicativo, que buscou

demonstrar as sequências utilizadas atualmente em construções de alvenaria estrutural com fechamento de esquadrias de alumínio. Em linhas gerais, nesta pesquisa, o sistema construtivo adotado como referência é definido como a alvenaria estrutural como solução estrutural e de vedação, com esquadrias de correr compostas por duas folhas com caixilhos de alumínio, com vidro 4mm como recurso de vedação e habitabilidade das construções (luz, calor, ventilação, som).

3.1.1 Caracterização do sistema construtivo tradicional de referência

Para um melhor desenvolvimento e entendimento da leitura, verificou-se a necessidade de definição detalhada dos sistemas construtivos e de vedação considerados como tradicionais nesta pesquisa. Inicialmente, e por hierarquia, foram descritos aspectos gerais sobre o método construtivo de alvenaria estrutural, seguidos de especificação de componentes construtivos e dos elementos de vedação - esquadrias - comumente utilizadas nas construções de HIS.

3.1.1.1 Alvenaria estrutural cerâmica

A alvenaria estrutural é um método construtivo caracterizado pelo emprego de paredes formadas por blocos unidos por argamassa e por lajes enrijecedoras, que constituem a estrutura principal dos edifícios. Estas paredes têm como principal característica desempenharem conjuntamente as funções de vedação e de estrutura, tendo que suportar cargas além de seu peso próprio.

Os principais parâmetros a serem observados na execução destes elementos são: a exatidão na locação, o alinhamento e prumo (figura 17), o assentamento das unidades, o preenchimento e a regularidade das juntas de argamassa e a amarração dos blocos, conforme pode ser visualizada na figura 18 (SABBATINI,1984⁵ apud MEDEIROS; SABBATINI, 1993).

Neste sistema construtivo é comum o uso de vergas, contravergas e cintas. Estes elementos têm por função distribuir, de maneira uniforme, os esforços para as paredes, travar e amarrar os componentes da alvenaria (JOAQUIM, 1999).

Como o foco desta pesquisa foi o conjunto composto pela parede e esquadria, são descritos a seguir os componentes e elementos que fazem parte deste conjunto.

⁵SABBATINI, F. H. O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária.. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984.

Os blocos são os componentes fundamentais da alvenaria estrutural e os principais responsáveis pelas características resistentes da estrutura. A escolha das dimensões dos blocos representa uma etapa importante no projeto de edificações, uma vez que eles determinam a modulação dos sistemas e componentes dos projetos (JOAQUIM, 1999).



Figura 17: Verificação de prumo.

Fonte: POYASTRO (2008)



Figura 18: Amarração dos blocos.

Fonte: POYASTRO (2008)

Os blocos para alvenaria estrutural podem ser confeccionados em concreto, devendo atender às especificações técnicas da norma NBR 6136 (ABNT, 2006), ou cerâmica, seguindo as particularidades da NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

Os blocos utilizados nesta pesquisa foram cerâmicos e apresentavam as seguintes dimensões (c x l x h): 29cm x 14cm x 19 cm, para bloco inteiro e 14cm x 14cm x 19cm (canaleta), para meio bloco.

A argamassa de assentamento é o elemento que faz a ligação entre os blocos de alvenaria através das juntas, conformando uma estrutura única e possui as funções de solidarizar os componentes, transmitir e uniformizar as tensões entre os blocos, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e vento nas edificações, devendo possuir resistência adequada para o correto desempenho destas funções (JOAQUIM, 1999).

As argamassas podem ser produzidas em canteiro ou ser industrializadas. As fabricadas in loco usualmente são compostas de areia, cimento, cal e água, sendo a mistura efetuada no canteiro. Já as industrializadas chegam em sacos, com os agregados e aglomerantes previamente dosados, necessitando apenas a mistura adequada de água antes de sua aplicação.

Nesta pesquisa foi utilizada argamassa industrializada, dada a crescente utilização deste tipo de material pelas vantagens ligadas à racionalização dos canteiros, garantia da homogeneidade e da qualidade do produto e à minimização de perdas de materiais (REGATTIERI; SILVA, 2010; RIBAS; CARVALHO JUNIOR, 2007).

Os blocos e a argamassa são comuns para os dois sistemas analisados. Em seguida, são apresentadas as especificidades de cada solução.

3.1.1.2 Sistema tradicional de construção

O sistema comumente utilizado nas construções com blocos estruturais é formado por blocos, argamassa e elementos de amarração e travamento. Definido o foco da pesquisa como sendo o sistema de alvenaria e esquadria, apresenta relevância a definição dos elementos denominados vergas e contravergas e seus materiais constituintes.

Conforme Penteado (2003), as vergas e contravergas são elementos estruturais essenciais em uma edificação, pois transferem para as paredes laterais dos vãos as cargas que seriam suportadas pelos blocos que supostamente preencheriam os vãos. A ausência destes componentes, segundo Mamede e Corrêa (2006), gera uma concentração de tensões nos cantos da abertura, ocasionando manifestações patológicas, como, por exemplo, as fissuras em regiões próximas às aberturas, conforme identificado, in loco, por Moch (2008).

A verga, segundo a NBR 10837, é o elemento estrutural colocado sobre vãos de aberturas não maiores que 1,20m e tem por função apoiar os blocos sob o vão e transmitir as cargas verticais para as paredes adjacentes ao vão (ABNT, 1989). Segundo a mesma norma, se o vão for maior do que 1,20m, o elemento superior é considerado uma viga, para efeito de cálculo, definida como sendo um elemento linear não continuamente apoiado, podendo ou não estar contido na parede.

Nesta pesquisa, utilizou-se o termo verga, pelo fácil reconhecimento e assimilação da nomenclatura ao componente, mesmo quando ela apresentava comprimento superior ao determinado pela norma brasileira.

Já as contravergas são elementos estruturais localizados sob o vão das aberturas (NBR 10837, 1989). Esses componentes podem ser moldados in loco ou pré-fabricados (figura 19). Quando moldados in loco, tanto a verga quanto a contra verga são preenchidas por graute que, segundo a NBR 8798 (ABNT, 1985), é um material utilizado para preencher os vazios dos blocos e canaletas (figura 20), tendo como

função unir a armadura a estes componentes, evitando a corrosão e aumentando a seção resistente dos blocos (SABBATINI, 2003).



Figura 19: Verga e contraverga pré-moldadas.

Fonte: <http://www.revistatechne.com.br>



Figura 20: Contraverga grauteada.

Fonte: Thiago Santos (2008)

O graute, assim como a argamassa, pode ser confeccionado no canteiro ou ser industrializado, sendo crescente a utilização de graute industrializado, pelas mesmas vantagens apresentadas pela argamassa, de racionalização, homogeneidade e qualidade. Este material tem o aspecto visual semelhante ao de um concreto fluido, possui elevada plasticidade e trabalhabilidade, características que lhe permitirão preencher uniformemente os vazios dos blocos.

Considera-se que o conjunto bloco, graute e armadura trabalhe de forma monolítica, assemelhando-se ao funcionamento do concreto armado. Para isso, o graute deve envolver completamente as armaduras e solidarizar-se à alvenaria (JOAQUIM, 1999).

3.1.1.3 Sistemas tradicionais de vedação - esquadrias

Esquadria é a nomenclatura genérica dada aos componentes utilizados em edificações, e tem por função principal o fechamento das aberturas de paredes, denominadas vãos (NBR 10820, ABNT, 1989).

Dependendo da tipologia do edifício, as esquadrias podem incidir significativamente no custo da edificação e representam um papel importante no seu desempenho. Estes elementos podem ser fabricados com diferentes materiais, como madeira, cloreto de polivinila (PVC), alumínio, aço e vidro, sendo que o uso de esquadrias de alumínio vem crescendo entre os consumidores de baixa renda (MASSETO et al., 2008).

As esquadrias são classificadas, segundo sua utilização em: janelas, portas, portabalcão, clarabóias ou fachadas-cortina (ABNT, 1989). Como este trabalho avaliou um

componente que desempenha as funções de iluminação e ventilação dos ambientes, são apresentadas definições sobre janelas.

As janelas são definidas como caixilhos, geralmente envidraçados, destinados a preencher um vão em ambientes internos ou externos. Entre outras, sua finalidade é permitir a iluminação e/ou ventilação de um recinto (ABNT, 1989).

Basicamente, as janelas são formadas por componentes fixos e móveis. Como componentes fixos têm-se o contramarco, o marco, as guias dos trilhos, entre outros. Já as partes móveis são constituídas pelos componentes através dos quais se realizam as operações de abertura e fechamento, comumente denominados folhas (figura 21).

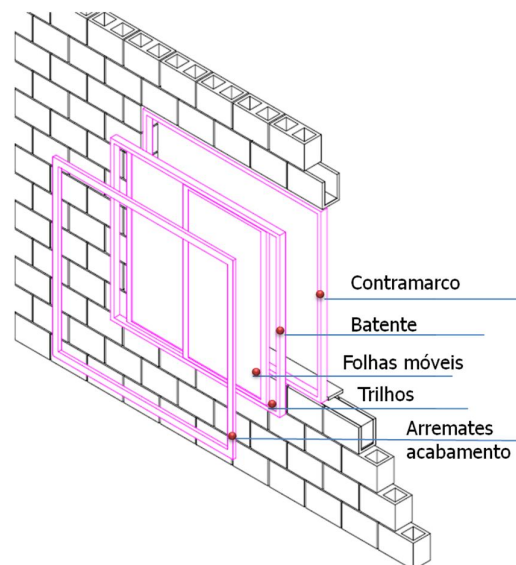


Figura 21: Partes gerais de uma janela de abrir

Segundo a NBR 10821 (ABNT, 2000), as janelas devem atender a condições específicas tais como permeabilidade ao ar, estanqueidade à água, resistência a cargas uniformemente distribuídas, atenuação acústica, entre outras. Elas podem ser classificadas quanto ao tipo de movimento das folhas nas operações de abertura e fechamento, como por exemplo: pivotante, basculante, de correr, guilhotina, projetante, entre outras.

3.1.1.4 Modelagem da sequência construtiva do sistema de referência de construção e vedação

É descrita a seguir uma sequência de atividades relacionadas com a construção de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com a inserção de uma janela

com duas folhas móveis com caixilho de alumínio. Esta sequência reproduz, de forma genérica, as atividades observadas em canteiro de obras.

A parede possui as seguintes dimensões (c x l x h): 13 blocos x 1 bloco x 13 blocos de altura, considerando 1cm de junta de argamassa. O Elemento foi assentado na parte central da parede, considerando seu comprimento, e, sobre a quarta fiada considerando a altura da parede. Esta medida foi utilizada para que o peitoril da janela ficasse adequado considerando a segurança na utilização do Elemento em construções verticais.

As primeiras três fiadas são executadas através do assentamento dos blocos, já especificados, com a argamassa industrializada, previamente preparada. Na quarta fiada o operário necessita de blocos diferenciados, denominados canaleta, para executar a contraverga, no trecho central da fiada, conforme apresentado na figura 22. Da mesma forma, precisa que o ajudante prepare a armadura e o graute para o preenchimento destes blocos (figura 23), para a formação da contraverga.

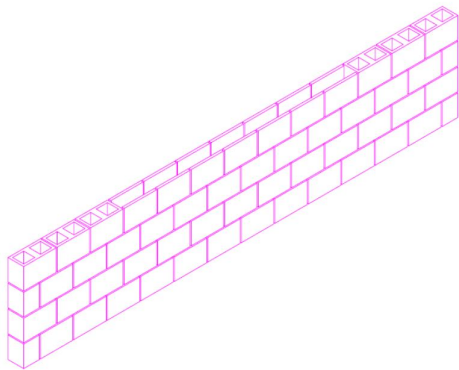


Figura 22: Parede com blocos canaleta

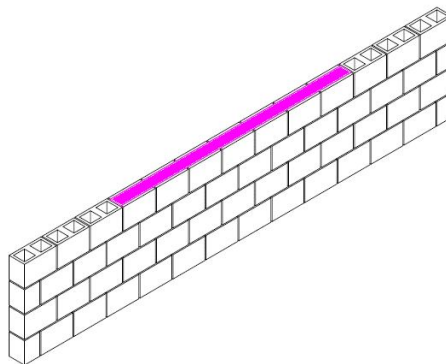


Figura 23: Grauteamento da contraverga

Após a execução do grauteamento, o operário continua o levantamento das laterais do pano de parede, conformando desta forma os limites do vão. Esta atividade de execução do pano de alvenaria é desenvolvida com a constante verificação do prumo e nível. Para finalizar as laterais do vão onde será instalada a esquadria (figura 24), os operários necessitam montar o andaime, para que consigam realizar adequadamente o restante das etapas. Quando terminada esta atividade, inicia-se a execução da fiada superior ao vão (figura 25), onde se localiza a verga.

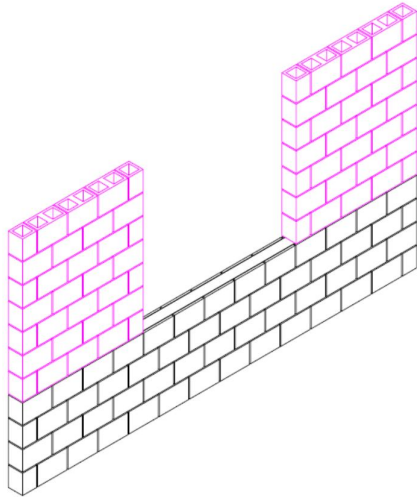


Figura 24: Execução das laterais do vão

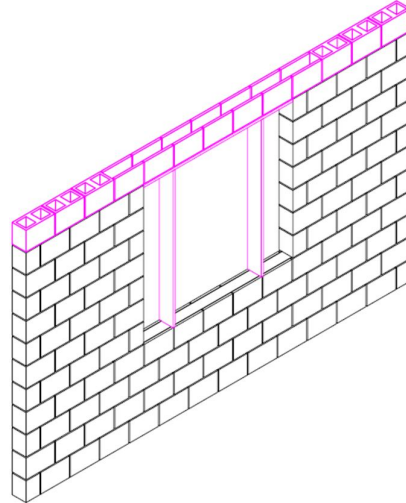


Figura 25: Execução da fiada superior ao vão

Para que os blocos acima do vão fiquem adequadamente locados, são necessários apoios, que são montados utilizando uma tábua de madeira e escoras que suportam esta tábua, o peso dos blocos, do graute e das demais fiadas que serão executadas acima (figura 26).



Figura 26: Execução da verga
Fonte: POYASTRO (2008)

Em seguida, é executado o grauteamento da verga (figura 27) e, novamente, o ajudante precisa dispor de armadura e graute para a realização desta atividade. Em seguida, pode-se executar a última fiada da parede, conforme visualizado na figura 28.

Após a finalização dos trabalhos de execução de alvenaria, iniciam-se os trabalhos relacionados à preparação e instalação da esquadria. A primeira etapa deste processo é o assentamento da pingadeira (figura 29).

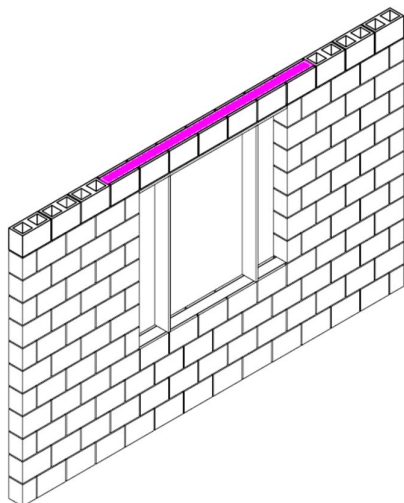


Figura 27: Execução do grauteamento da verga

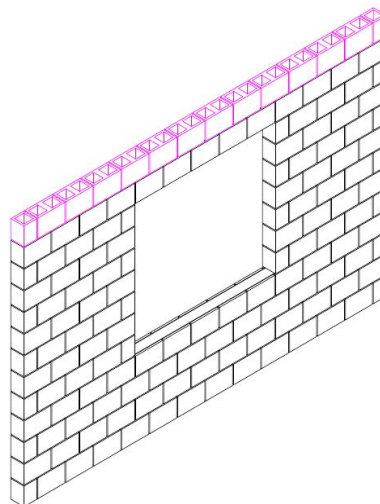


Figura 28: Execução da alvenaria

Nesta modelagem, é empregada uma pingadeira pré-moldada de concreto (figura 30), mas existem diversos outros tipos, tais como pingadeiras moldadas in loco, de pedras naturais ou de peças cerâmicas. Para que esta atividade seja desenvolvida, é necessária a fabricação de argamassa, bem como a verificação do nível e prumo do vão.

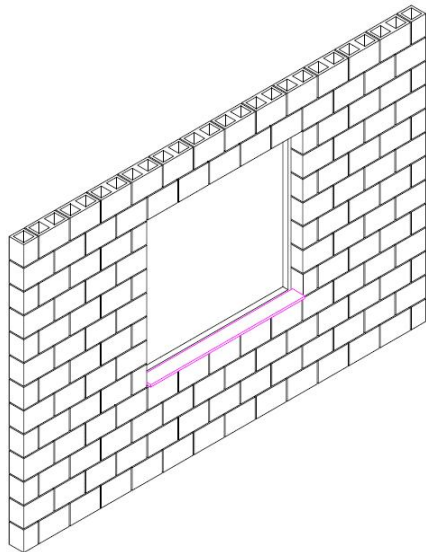


Figura 29: Instalação da pingadeira pré-moldada



Figura 30: Pingadeira pré-moldada.

Fonte: OLIVEIRA, 2008

Após a fixação da pingadeira, e passado o tempo de cura da argamassa utilizada no assentamento deste elemento, iniciam-se os trabalhos de instalação da esquadria a partir da fixação do contramarco (figura 31).

Este componente pode ser definido como uma moldura, que tem por finalidade definir geometricamente o vão para posterior instalação da esquadria, para que esta não seja instalada diretamente sobre os blocos. Além disso, o contramarco permite que o construtor faça os acabamentos no vão sem a preocupação de comprometer a esquadria, já que ela só será instalada no final da obra (KISS, 2008).

O contramarco pode ser produzido em diferentes materiais, tais como madeira e concreto. Entretanto, nesta simulação o material utilizado, tanto no contramarco quanto na esquadria, é o alumínio, conforme visualizado na figura 32. Cabe ressaltar que o contramarco deve ter dimensões em torno de 3 a 4 cm menores que o vão da parede (QUINALIA, 2009; TÉCHNE, 2010).

O contramarco deve ser centralizado no vão de alvenaria através de cunhas, devendo ainda estar com o nível e prumo adequados. Este componente é fixado na alvenaria através de elementos denominados grapas (figura 33). As grapas são colocadas em média a cada 50 cm e fixadas através de parafusos às alvenarias.

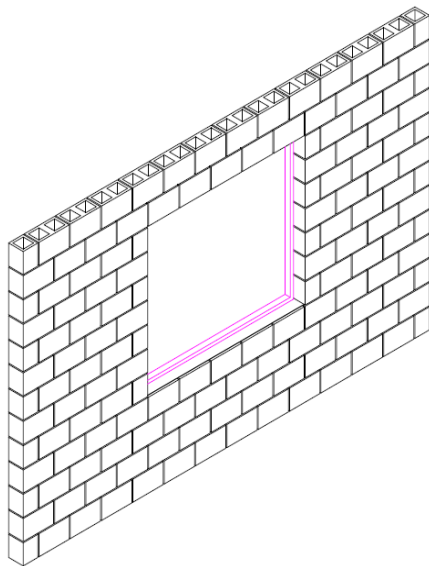


Figura 31: Instalação do contramarco



Figura 32: Fixação do contramarco.

Fonte: TÉCHNE (2010).

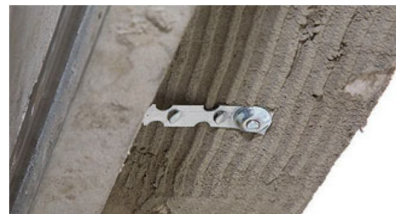


Figura 33: Detalhe da grapa.

Fonte: TÉCHNE (2010)

Em seguida é realizado o chumbamento do contramarco. Esta atividade consiste em preencher com argamassa os espaços vazios que ficaram entre a alvenaria e o contramarco.

Para que esta atividade seja realizada adequadamente, é necessária a fabricação de argamassa. Sendo que para esta aplicação, especialistas indicam a utilização de argamassa feita em obra (QUINALIA, 2009).

A atividade seguinte consiste na instalação da janela propriamente dita. A fixação da janela no contramarco é realizada através de parafusos. Para isto, deve-se aplicar um cordão de silicone antes desta fixação, para a correta vedação entre a esquadria e o contramarco (figura 34).

Por fim, após a execução dos acabamentos finais na parede, tais como reboco, pintura, papel de parede entre outros, são colocados os acabamentos, também conhecidos como arremates ou vistas. Estes componentes realizam o acabamento entre o caixilho da janela e a alvenaria interna, conforme mostra a figura 35 (QUINALIA, 2009). Neste caso não foi considerado nenhum tipo de acabamento, já que na construção experimental também não foram realizadas estas atividades, permitindo uma comparação mais homogênea entre os dois sistemas.

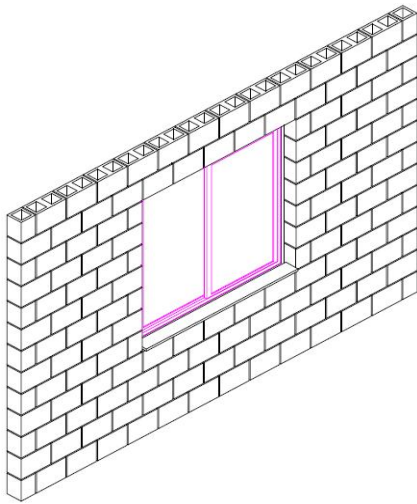


Figura 34: Instalação da esquadria

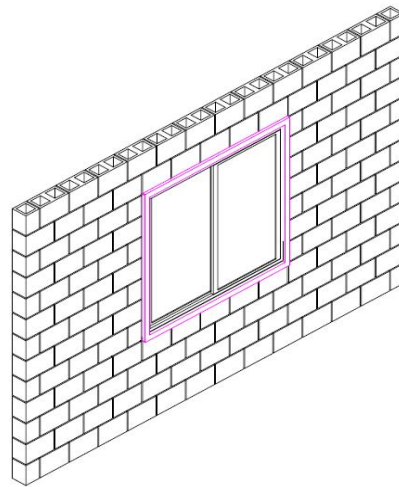


Figura 35: Colocação do acabamento

A sequência de construção acima apresentada, foi esquematizada, buscando um melhor entendimento e comparação entre os dois sistemas construtivos. Nesta ilustração (figura 36), os materiais e equipamentos são identificados pela cor vermelha, as etapas construtivas pelo tom azul, as atividades de inspeção com o símbolo de “x” em amarelo, as atividades auxiliares pela cor verde, e os tempos de cura, através de retângulos brancos com borda preta.

Após a etapa de levantamento em campo, embasada com pesquisa bibliográfica, é apresentada a metodologia desenvolvida e aplicada pelo grupo de pesquisa (AZAMBUJA et. al) para a seleção do material e das características iniciais do Elemento de Integração.

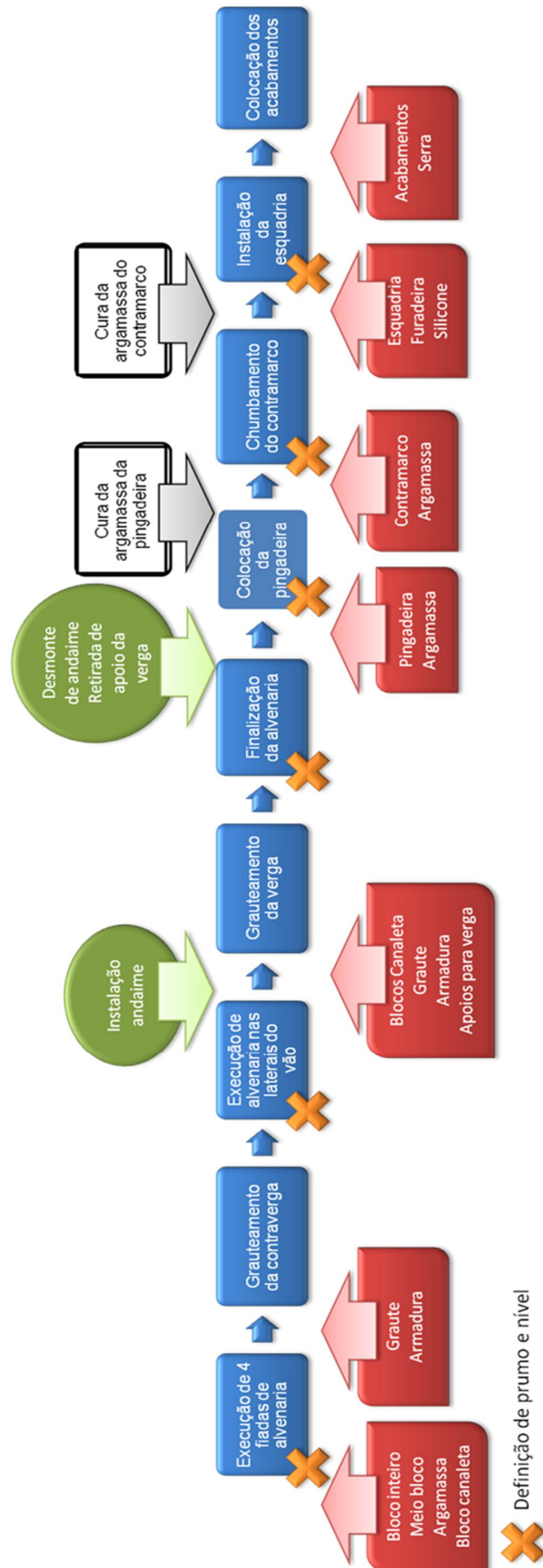


Figura 36: Passos e partes envolvidos na construção via método tradicional.

3.1.2 Aplicação da metodologia para seleção do material e das primeiras características do EI

A metodologia desenvolvida por Azambuja et al. (2008), englobou aspectos do desenvolvimento inicial da nova solução proposta. Nesta seção serão apresentadas as etapas mais relevantes que envolveram a seleção do material e as sugestões de geometrias. O documento que aborda o método utilizado pela equipe de pesquisa do projeto Compohis encontra-se em sua totalidade no anexo I deste trabalho.

Como ponto de partida foi determinado o local de intervenção a ser explorado no projeto COMPOHIS (FINEP/HABITARE): a esquadria e seu entorno, e o problema aparente: as manifestações patológicas no entorno das aberturas dos vãos e a necessidade de melhorar o gargalo construtivo.

Esta definição de problema gerou diversas propostas de soluções que atingiam pontualmente a origem de cada manifestação patológica, ou que resolviam de forma integrada e com um único elemento as diferentes causas de fissuras.

Sendo assim, foi adotada pelo grupo do projeto Compohis, do qual esta pesquisadora fez parte, uma abordagem unificada para a resolução do problema. Esta definição levou ao desenvolvimento de um Elemento que buscou solucionar ao mesmo tempo as manifestações patológicas e os problemas de produtividade identificados no projeto (AZAMBUJA et al., 2008).

A partir desta definição foram identificados pelos pesquisadores do Compohis quais os requisitos de desempenho para o adequado funcionamento do componente. Estes requisitos foram compilados em 5 grandes grupos, a saber: construtibilidade, economicidade, habitabilidade, segurança e sustentabilidade, sendo os três últimos requisitos sugeridos pela norma brasileira de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2008), e os dois primeiros sugeridos pelo grupo.

Cada um dos cinco grupos descritos foi subdividido em requisitos específicos de desempenho, que foram selecionados pelos pesquisadores do Compohis pelo seu grau de importância para a utilização na seleção dos materiais para a produção do EI (seleção azul do quadro 3), resultando desta forma em doze requisitos básicos de desempenho. Também foram selecionadas pelo mesmo grupo doze características desejáveis dos materiais para a produção do Elemento (seleção rosa do quadro 3).

Estas duas informações foram cruzadas, resultando em uma matriz de interações positivas e negativas, gerando informações que serviram de base para a posterior seleção de materiais (quadro 4).

Desta maneira pôde-se identificar que as características que apresentam maior número de interações positivas e negativas são, respectivamente, a moldabilidade e o módulo de elasticidade e, a fragilidade e o coeficiente de dilatação térmica (para um melhor entendimento, estas características foram identificadas pelo símbolo “*”, colocado logo após o respectivo sinal de positivo ou negativo no quadro 3).

Quadro 3: Matriz de interações entre características de materiais e requisitos de desempenho do EI (AZAMBUJA et al., 2008)

REQUISITO	CARACTERÍSTICA											
	Condutibilidade sonora	Estabilidade química	Isotropia	Densidade	Resistência à tração	Moldabilidade	Resistência à compressão	Condutibilidade térmica	Biodegradabilidade	Fragilidade	Módulo de elasticidade	Coef. de dilatação térmica
Ajuste dimensional						+				-	+	-
Gabarito do vão						+					+	-
Fixação da esquadria					+	+	+		-	-	+	-
Barreira às intempéries		+				+			-			
Isolamento térmico				-				-				-
Isolamento acústico	-			-								
Estabilidade do vão			+	+	+	+	+		-	-	+	-
Absorção de dilatação térmica								-		-		-
Absorção de variações dimensionais						+				-	+	-
Acabamento interno						+				-		
Acabamento externo						+				-		
Resolução de fissuras			+		+		+			-		
RESULTADO	-	+	+		+	+*	+	-	-	-*	+*	-*

A partir desta identificação, o grupo de pesquisadores do projeto Compohis selecionou cinco materiais construtivos para a produção do Elemento: concreto, madeira, GRC, aço carbono e alumínio (seleção verde do quadro 4). As propriedades destes materiais foram então avaliadas de acordo com mesmas características genéricas dos materiais (seleção rosa do quadro 4) selecionadas pelo grupo e utilizadas no quadro 3. A análise foi realizada através de pontuação que variava de 0 a 10, sendo estes, respectivamente, o pior e o melhor desempenho (quadro 4).

Quadro 4: Pontuação estabelecida de acordo com cada material selecionado
(AZAMBUJA et al., 2008)

MATERIAL	CARACTERÍSTICA												TOTAL
	Condutibilidade sonora	Estabilidade química	Iso-tropia	Densidade	Resistência à tração	Moldabilidade	Resistência à compressão	Condutibilidade térmica	Biodegradabilidade	Fragilidade	Módulo de elasticidade	Coef. de dilatação térmica	
Concreto	6	7	5	5	3	7	5	5	3	7	5	6	4
Madeira	3	3	2	2	5	7	3	3	8	3	2	4	3
GRC	6	8	8	6	7	9	7	6	2	4	7	6	28
Aço Carbono	8	4	10	8	9	9	9	9	1	2	8	9	26
Alumínio	7	5	10	6	7	8	7	10	1	2	7	10	17
RESULTADO DESEJADO	-	+	+		+	+	+	-	-	-*	+	-*	

Nesta matriz as relações consideradas positivas no quadro 4 foram somadas e as negativas subtraídas, sendo que para que esta avaliação fosse adequada, as duas características com maior número de interações positivas na tabela 3 (módulo de elasticidade e moldabilidade) e maior número de interações negativas (fragilidade e coeficiente de dilatação térmica) tiveram sua pontuação considerada duas vezes.

Através deste método, ficou demonstrado que o material GRC (28 pontos) apresentou o melhor resultado, seguido pelo aço carbono (26 pontos) e alumínio (17 pontos). Assim, a partir da utilização desta metodologia, o GRC foi o material escolhido para a produção do componente.

A metodologia identificou, ainda, as possíveis soluções geométricas do Elemento e de seus componentes, considerando, da mesma forma que na escolha do material, os requisitos de desempenho. Nesta compilação foram incluídas todas as possíveis opções de solução, considerando os diferentes requisitos de desempenho, as características do GRC e as informações necessárias para a determinação das geometrias.

Ao final desta etapa foram definidas algumas características iniciais do EI, tais como: número e tipo de encaixe entre os componentes, tipo de material para a produção dos componentes, modulação dimensional do Elemento e a identificação de fronteiras entre o Elemento e a alvenaria.

3.2 Desenvolvimento da etapa executiva

Nesta etapa foram desenvolvidos os ciclos de construção e avaliação, que resultaram no refinamento do Elemento de Integração. Estes ciclos têm basicamente a mesma estrutura: iniciam com a modelagem de um protótipo virtual, seguida pela sua produção, montagem e, a partir da análise são propostas modificações, adotadas no ciclo seguinte (figura 37).

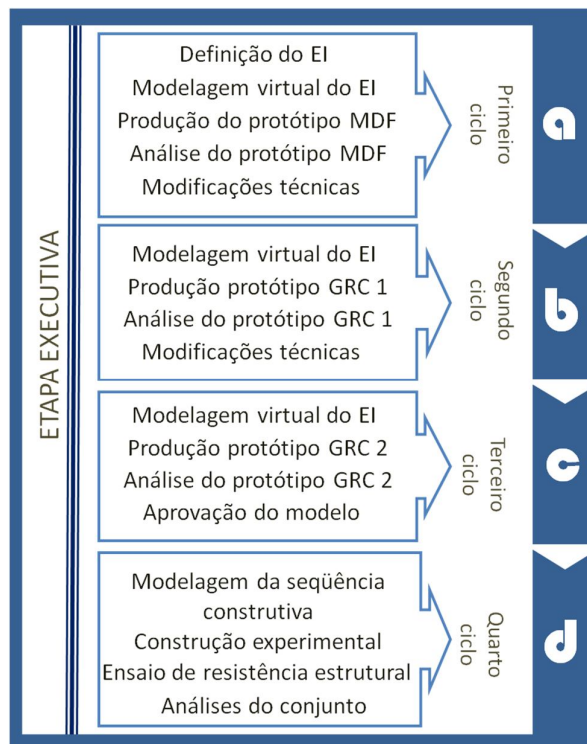


Figura 37: Fases do desenvolvimento etapa executiva

No primeiro ciclo, apresentou-se a definição formal, funcional e conceitual do EI e especificações sobre materiais e métodos produtivos dos componentes e trilhos. Ainda neste ciclo, foi apresentada a produção do primeiro protótipo virtual e, conseqüente produção de um modelo físico em MDF, que foi avaliado e, a partir desta análise, foram propostas modificações.

Estas modificações foram adotadas no segundo modelo virtual, dando início ao segundo ciclo, que incluiu ainda a produção, montagem e análise do EI em GRC, gerando algumas sugestões de alterações.

O terceiro ciclo iniciou com a adoção destas sugestões no modelo virtual produzido e, conseqüente, produção, montagem e análise do EI em GRC. Este modelo foi julgado adequado pelo grupo de pesquisa, finalizando o penúltimo ciclo.

No quarto ciclo o modelo virtual foi utilizado na modelagem da seqüência construtiva e, o protótipo físico na construção experimental da parede. Ambas as etapas foram analisadas considerando os requisitos de construtibilidade selecionados no capítulo 2. Por fim a parede experimental foi ensaiada estruturalmente, e, analisada buscando identificar aspectos de desempenho de construtibilidade do conjunto.

3.2.1 Primeiro ciclo

3.2.1.1 Definição do EI

Esta fase caracteriza-se pela definição e refinamento formal, funcional e conceitual do Elemento, baseada na metodologia proposta por Azambuja et al. (2008), tais como:

- a divisão do Elemento em quatro partes(verga, contraverga e dois montantes), que devem atuar estruturalmente de forma solidária, ligada aos requisitos de acessibilidade, segurança, padronização e simplificação;
- o material GRC para a produção dos componentes, relacionado ao requisito de adequação dos materiais;
- o encaixe do tipo espiga e recesso entre os componentes, atrelado aos requisitos de simplificação, padronização, adequação ao material;
- dimensões compatíveis com a modulação da alvenaria estrutural, ligado à padronização e simplificação;
- inclusão de diferentes funções num mesmo componente pela identificação e utilização de limites naturais entre os componentes fixos e móveis e especialmente a eliminação de fronteiras entre os componentes fixos da

alvenaria e da esquadria (estrutural e funcional), relacionado ao requisito de simplificação;

Sendo assim, definiu-se nesta etapa a utilização de prolongamentos laterais na verga e contraverga, para a adequada distribuição das tensões nos cantos do vão. O emprego destes avanços foi embasado em simulações computacionais via elementos finitos, executadas por membros do grupo de pesquisa.

Da mesma maneira, definiram-se as formas geométricas dos locais de encaixe dos trilhos no Elemento e dos próprios trilhos, através da verificação das dimensões utilizadas pela Alcoa na linha Máster de esquadrias (ALCOA, 2010). Definiu-se também o processo de pultrusão para a fabricação dos trilhos.

Estas definições criaram a necessidade de execução de um protótipo virtual que permitisse a visualização destas informações e características do EI. Assim, produziu-se a primeira maquete virtual, através de programa CAD, visualizada na figura 38. Neste modelo foram melhor visualizadas e definidas as funções, dimensões e formas de encaixe do conjunto e de cada componente.

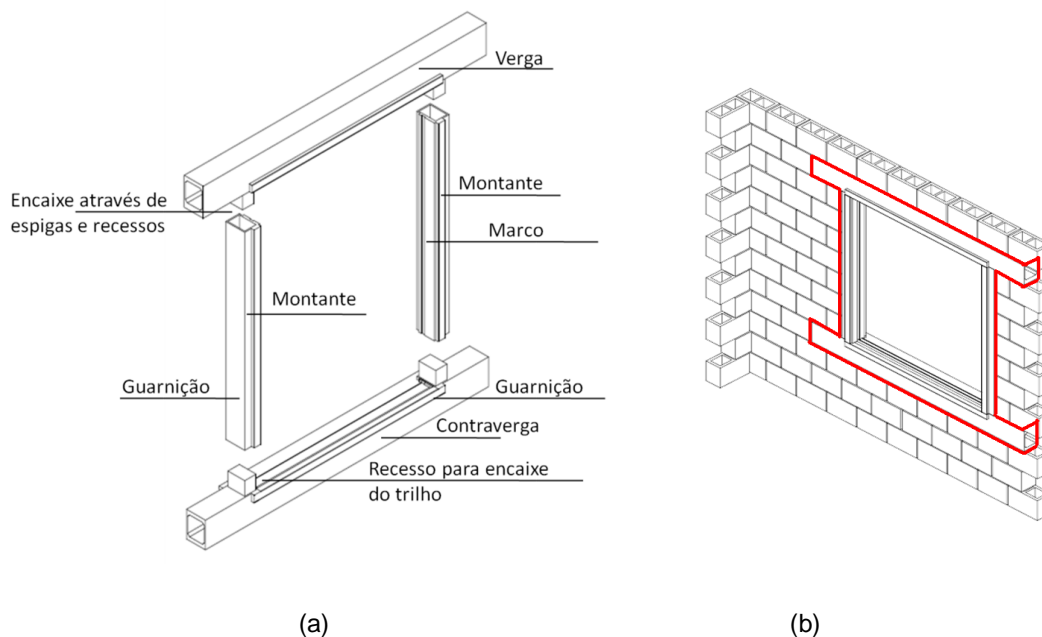


Figura 38: (a) Vista explodida do EI; (b) EI inserido na alvenaria

Na verga e na contraverga encontram-se recessos para a fixação dos trilhos através de material aderente. Os trilhos são perfis de plástico reforçado com fibras, conformados através do processo de pultrusão. As folhas móveis podem ser confeccionadas com materiais convencionais, tais como madeira, alumínio e PVC.

Nesta pesquisa são utilizadas folhas de correr em alumínio, linha Máster da Alcoa (2010), com vidro 4mm, como componentes móveis da janela.

A verga, visualizada na figura 39, é o componente horizontal superior do conjunto. Apresenta seção retangular dimensionalmente compatível com os blocos estruturais e é preenchida com polietileno expandido (EPS). Este componente desempenha funções estruturais de sustentação do vão e funções construtivas, já que incorpora a parte superior do caixilho fixo da esquadria, um lacrimal para o adequado descolamento das águas e o acabamento na face interna. É nele que será fixado o trilho superior, para o adequado funcionamento da esquadria (figura 41).

A contraverga (figura 40) é o componente horizontal inferior do conjunto. Desempenha função estrutural de absorver as tensões de tração na parte inferior do vão e função construtiva de incorporar a parte inferior da esquadria, com a pingadeira na face externa e um componente de acabamento na face interna. Neste componente será fixado o trilho inferior (figura 42).



Figura 39: Seção da verga

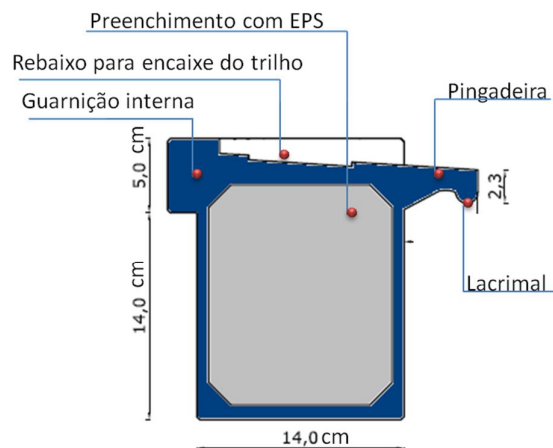


Figura 40: Seção da contraverga

Os montantes são os componentes verticais, com função estrutural de absorver os esforços que ocorrem na alvenaria nas laterais do vão, recebendo as cargas da verga e transmitindo-as para a contraverga. Construtivamente, os montantes absorvem as funções da esquadria no encaixe das folhas móveis e de acabamento, incorporando um detalhe na face interna, conforme mostra a figura 38 (AZAMBUJA et al., 2008).

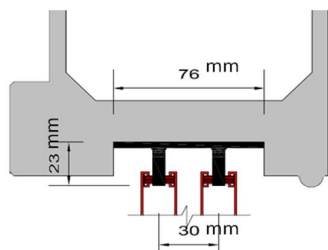


Figura 41: Perfil trilho superior

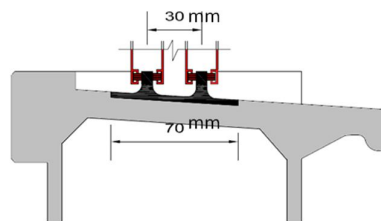


Figura 42: Perfil trilho inferior

A seguir, para um melhor entendimento, são caracterizados os materiais que compõem o EI, mais especificamente o GRC nos componentes e o plástico reforçado de alto desempenho (pultrudado) nos trilhos.

3.2.1.1.1 Componentes em GRC

GRC é a sigla utilizada internacionalmente para denominar o compósito formado por uma matriz cimentícia (pasta de cimento com ou sem agregado miúdo) reforçada com fibras de vidro dispersas. A sigla significa *Glassfiber Reinforced Concrete* (LAMEIRAS, 2007).

Nos materiais compósitos reforçados com fibras, a matriz cimentícia separa as fibras, atuando como meio de transmissão e distribuição de tensões aplicadas nas mesmas, suportando apenas uma pequena proporção da carga aplicada. A matriz também protege as fibras individuais contra danos superficiais, causados por abrasão mecânica (CALLISTER JR, 2002).

Assim, as fibras atuam absorvendo esforços e controlando o crescimento das fissuras da matriz. O processo de ruptura do material compósito inicia com a fissuração da matriz. Estas fissuras se propagam em direção às fibras, causando o descolamento da interface matriz-fibra. Como consequência, tem-se a costura das fissuras promovida pelas fibras, culminando com o deslizamento e ruptura das mesmas (LAMEIRAS, 2007).

Atualmente, estes materiais têm sido utilizados em diversas aplicações, geralmente em componentes com pequenas espessuras, que apresentam necessidade de alto desempenho quanto à tração e absorção de impactos, já que o GRC apresenta características em sua superfície de dureza, baixa permeabilidade, incombustibilidade e alta resistência à abrasão e ao impacto (LAMEIRAS, 2007).

É importante notar que o GRC diferencia-se de um concreto tradicional reforçado com fibras de vidro. Enquanto nos concretos convencionais as fibras geralmente atuam

como um reforço secundário, com a finalidade de aumentar a tenacidade das peças estruturais e como controlador das fissurações, no GRC as fibras atuam como reforço principal das peças. Ainda, o GRC é comumente produzido por métodos que permitem incorporar maiores teores de fibras e, na maioria das vezes, são empregados na confecção de peças de menor espessura (LAMEIRAS, 2007).

Existem diversos métodos de produção e de projeção desenvolvidos para a fabricação do GRC, porém uma característica comum a todos é a capacidade de permitir a incorporação e a dispersão uniforme de um volume de fibras suficientemente grande para que se alcance um reforço adequado. E isto deve ser conseguido através de um método de produção onde a mistura seja aplicada e tome forma em um molde. Aliado a isto, o método ainda deve ser capaz de incorporar os teores elevados de fibra em matrizes cimentícias com reduzidas relações água/cimento (LAMEIRAS, 2007).

A seguir serão descritos os métodos de produção e projeção empregados pela empresa que produziu os componentes.

O método de produção realizado na empresa consiste na mistura dos agregados miúdos e aglomerantes numa argamassadeira. Em seguida, esta matriz cimentícia é colocada num compartimento (figura 43) que está conectado ao equipamento de projeção. A argamassa deve ser suficientemente fluida para que possa ser bombeada através de dutos até a pistola de projeção, onde, juntamente com as fibras cortadas em tamanhos pré-determinados, é projetada sobre os moldes na forma de *spray*, através do uso de ar comprimido.



Figura 43: Matriz cimentícia fluida



Figura 44: Fibras que compõe o GRC

Os componentes são produzidos através de projeção manual, onde o operador do equipamento move a pistola de projeção em movimentos alternados na direção e contínuos até cobrir toda a superfície da fôrma, mantendo, sempre que possível, a saída do GRC perpendicular à superfície do molde, de acordo com a figura 44.

O GRC é projetado em finas camadas de 3 a 4 mm, até que seja atingida a espessura especificada. Cada uma das camadas (figura 45) deve ser compactada através da passagem de um rolo espiralado antes da projeção da próxima camada, conforme visualizado na figura 46, de forma a assegurar que as fibras estejam completamente envolvidas pela matriz (LAMEIRAS, 2007; FERREIRA; BRANCO, 2010; SILVA; JOHN, 1998).

Esta compactação também é importante para que se garanta que o material cubra toda a superfície da fôrma, sem descontinuidades e para aumentar a densidade do material. O controle desta espessura é realizado por um medidor específico que penetra no material e registra sua profundidade, conforme apresentado na figura 47 (SILVA; JOHN, 1998; FERREIRA; BRANCO, 2010).



Figura 45: Configuração do GRC antes da compactação



Figura 46: Compactação com rolo espiralado



Figura 47: Medidor de espessura

3.2.1.1.2 Trilhos pultrudados

Os trilhos utilizados nesta pesquisa foram produzidos em poliéster pultrudado através do sistema de pultrusão. Este processo consiste na produção contínua de perfis de plástico reforçado de alto desempenho, utilizando para isto resinas específicas com reforços de fibras flexíveis.

O processo se desenvolve da seguinte forma: numa extremidade do sistema estão as fibras e as resinas, dosadas conforme a necessidade de cada produto, e na outra está o sistema que puxa as fibras que são impregnadas pela resina através de um molde de aço previamente aquecido.

Após a passagem destes insumos pelo molde ocorre o processo de endurecimento deste material, que tomará a sua forma definitiva, conforme a fôrma utilizada.

Desta maneira, cada perfil tem as suas características e os comprimentos podem variar de acordo com a necessidade de cada cliente (figura 48). A etapa final do processo é o corte do perfil de acordo com os comprimentos pré-definidos.

Os perfis pultrudados têm como principais características a resistência a ataques químicos e a altas temperaturas, apresentando bom desempenho como isolante elétrico, térmico e acústico. Contudo, a sua maior vantagem está na associação de leveza e alta resistência à corrosão, se comparado a outros materiais convencionais, como aço, concreto e madeira.

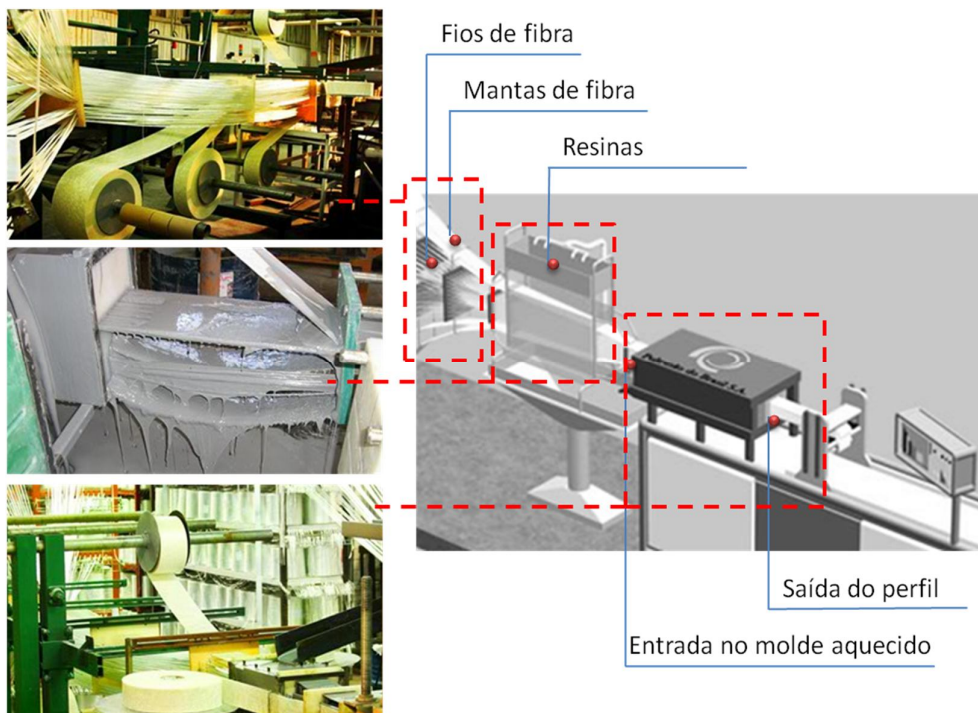


Figura 48: Processo de pultrusão. Fonte: Pultrusão do Brasil.

3.2.1.2 Produção, Análise e modificações propostas (primeiro ciclo)

A partir da definição virtual do EI, pôde-se identificar a contribuição das **ferramentas de visualização**, já que permitiram a identificação antecipada da **compatibilidade dimensional** entre os componentes do EI, destes com as partes móveis e com o sistema de alvenaria estrutural.

Anteriormente à montagem do protótipo do Elemento em MDF, os componentes foram analisados quanto a aspectos dimensionais (**padronização e adequação**), de

transporte (**acessibilidade**), manipulação (**simplificação e adequação**) e encaixe dos trilhos (**padronização**).

Quanto às dimensões, os componentes apresentaram boa adequação, já que permitiram a manipulação e transporte por apenas um operário e seguiram a coordenação modular utilizada nos blocos estruturais.

A geometria dos componentes satisfaz requisitos de manuseabilidade, já que não apresentou formas cortantes ou perfurantes. Os trilhos encaixaram e aderiram de forma apropriada nos recessos localizados na contraverga e na verga.

Em seguida o EI foi posicionado partindo da contraverga, com posterior encaixe dos montantes, e, finalmente, da verga, conforme visualizado na figura 49. Com o conjunto montado, foram encaixadas as folhas móveis da janela com caixilhos de alumínio (figura 50).



(a)

(b)

(c)

Figura 49: Sequência construtiva: a) contraverga, b) montantes e c) verga

Durante o processo de montagem foram observados aspectos relacionados ao encaixe entre os componentes do Elemento (conectividade), e deste com os trilhos e com as duas folhas móveis da janela.



(a)

(b)

(c)

Figura 50: Sequência construtiva: a) EI, b) folhas móveis e c) conjunto finalizado

A partir da repetição do processo de montagem, foram realizadas algumas sugestões de modificações por parte do grupo de especialistas que compõem o grupo de pesquisa. Estas alterações incluem:

- a adoção de inclinação nos encaixes, buscando um melhor desempenho na desforma quando produzido em GRC e facilitando a atividade de encaixe entre os componentes do Elemento para o trabalhador, incluído desta forma no requisito de **simplificação e adequação do material**;
- a utilização de chanfros em algumas arestas, para facilitar a desmoldagem e evitar cantos vivos que possam sofrer danos e causar lesões nos operários. Esta modificação compreende aspectos relacionados ao requisito de **acessibilidade e adequação à mão-de-obra e aos materiais**;
- o rebaixamento da cota do trilho superior, reduzindo a altura do rebaixo para a colocação do trilho e melhorando o acesso visual para o encaixe deste componente, apresenta características relacionadas ao requisito de **manutenibilidade e simplificação**;
- e a redução da espessura das paredes dos componentes em GRC, melhorando aspectos relacionados aos requisitos de **acessibilidade** quanto ao transporte, de **simplificação**, de **segurança** e de **adequação à mão-de-obra** considerando a manipulação e instalação do EI.

Nesta mesma verificação, foram mantidas as seguintes características:

- divisão do Elemento em quatro componentes, relacionada aos requisitos de **adequação à mão-de-obra e acessibilidade**;
- incorporação das funções de esquadria e alvenaria num mesmo componente, incluída no requisito de **simplificação e padronização**;
- encaixe dos componentes do Elemento através de espigas e recessos, arrolada aos requisitos de **padronização e adequação ao material**;
- as dimensões dos encaixes dos componentes, o tipo de encaixe entre as folhas e os montantes e as dimensões dos recessos para o encaixe dos trilhos, ligadas ao requisito de **padronização**.

A seguir (figura 51), é apresentado um esquema do desenvolvimento do primeiro ciclo, envolvendo desde a definição do EI, com posterior produção do modelo, neste caso em MDF e, a montagem através do encaixe dos componentes fixos e móveis do conjunto. Esta atividade gerou informações que foram analisadas, resultando em sugestões de alterações e, adoção dos aspectos que demonstraram-se adequados.

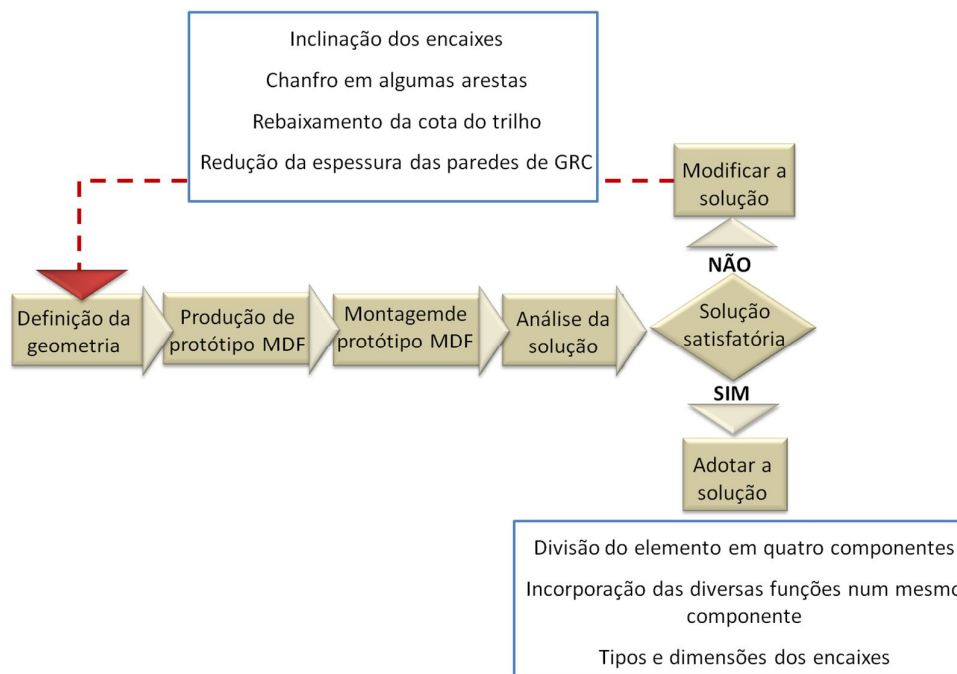


Figura 51: Esquema de desenvolvimento do primeiro ciclo

3.2.2 Segundo ciclo

Estas modificações foram inicialmente aplicadas em um modelo virtual 3D, iniciando desta maneira o segundo ciclo. Nesta atividade foram identificadas a adequação dimensional das modificações e a compatibilidade destas com os demais

componentes, aplicando o requisito de **visualização antecipada da construção e compatibilidade de tolerâncias dimensionais**.

Posteriormente, produziu-se o primeiro protótipo em GRC. Para a execução do EI em GRC, foi necessária inicialmente a confecção de fôrmas de madeira (figura 52). Estas fôrmas anteriormente à moldagem receberam uma camada de desmoldante. Em seguida, partiu-se para a produção dos componentes, processo composto por diferentes etapas descritas a seguir.

A matriz cimentícia foi produzida em uma argamassadeira, posteriormente, foi colocada em um tanque específico do equipamento de projeção e iniciou-se a projeção do GRC.

A cada camada de projeção, foi realizado o adensamento do material através da passagem de rolos espiralados sobre o GRC (figura 53) e a verificação de adequação da espessura dos componentes.



Figura 52: Fôrmas de madeira



Figura 53: Material projetado e início da compactação.

Durante o processo de moldagem, os componentes foram preenchidos com EPS. Após completar as fôrmas com GRC, o material recebeu acabamento com desempenadeira metálica lisa e ficou em cura nas fôrmas por 2 dias. Após o término deste período, as peças foram retiradas das fôrmas, limpas, pesadas (quadro 5), e encaixadas.

Quadro 5: Massa dos componentes que compõem o EI

Componente	Massa (kg)
Verga	46,400
Montante direita	18,870
Montante esquerda	18, 240
Contraverga	43, 600

O processo de montagem seguiu a sequência utilizada na montagem do protótipo em MDF, iniciando pela contraverga e terminando com a verga. Em seguida, foram fixados os trilhos e instaladas as folhas móveis com caixilho em alumínio (figura 54).

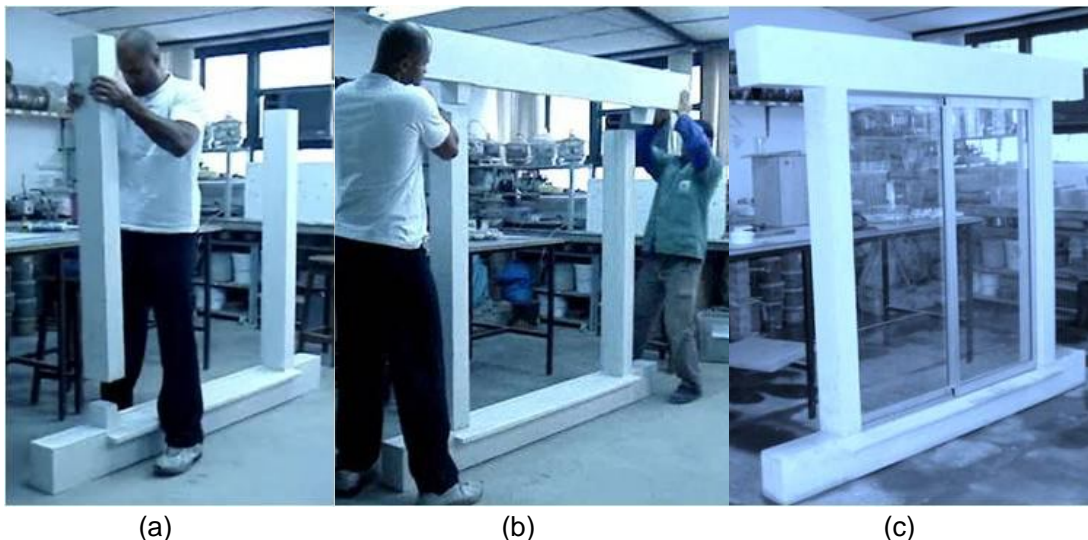


Figura 54: Sequência de montagem do EI: a) montantes; b) verga; c) folhas móveis
A partir da montagem, a equipe de projeto identificou a necessidade de algumas modificações, tais como:

- mudanças nos apoios do montante, tanto na verga quanto na contraverga, e no perfil do montante através da redução de reentrâncias e saliências, visando uma maior simplificação geométrica e produtiva, relacionada ao requisito de **simplificação**;
- utilização de chanfros em todas as arestas, alteração ligada aos requisitos de **acessibilidade, adequação à mão-de-obra e adequação ao material**.
- a alteração das formas dos encaixes para evitar trocas nas posições dos componentes - aspecto relacionado ao requisito de **simplificação**, buscando reduzir o tempo de percepção, decisão e manipulação;

Vários aspectos foram mantidos, tais como a utilização do GRC nos componentes e do plástico pultrudado nos trilhos, identificando a **adequação ao material** e de aspectos relacionados à **manutenibilidade** e, a massa e formas adequadas para manipulação dos componentes pelos operários, aspectos relacionados aos requisitos de **adequação, segurança e simplificação**.

O esquema de desenvolvimento do segundo ciclo pode ser visualizado na figura 55.

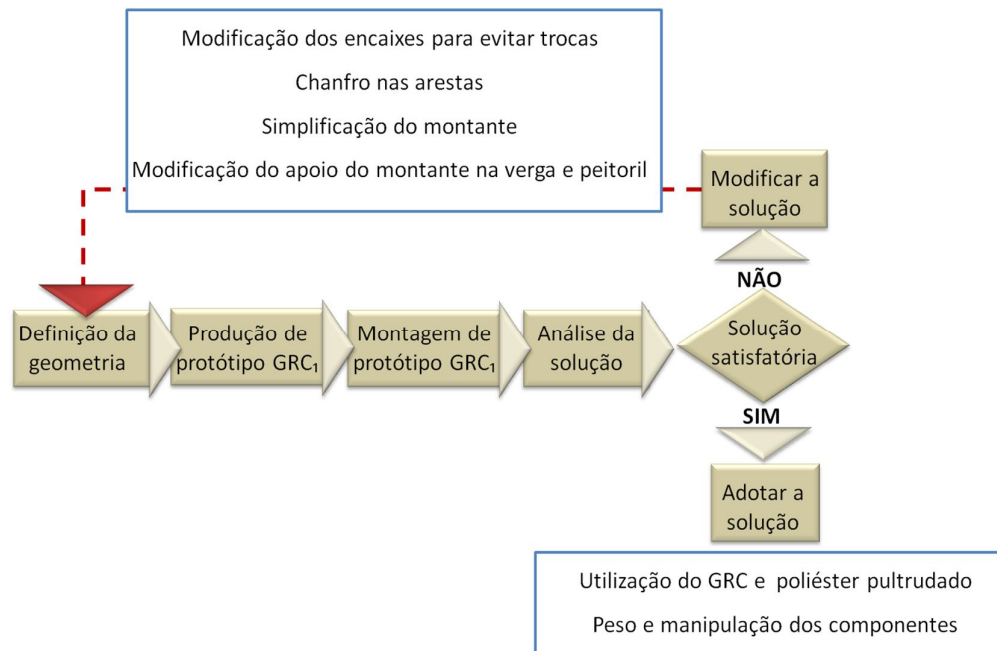


Figura 55: Esquema de desenvolvimento do segundo ciclo

3.2.3 Terceiro ciclo

A partir destas considerações, foram modificados os aspectos assinalados e modelado um novo desenho em 3D, visualizado na figura 56, iniciando assim o terceiro ciclo desta etapa. A utilização de **ferramentas de visualização** permitiu a identificação da **compatibilidade dimensional** das modificações adotadas e de suas tolerâncias, além da adequação formal e funcional dos componentes e de suas conexões.

Estas modificações foram apresentadas à empresa que produziu o Elemento em GRC e novas considerações foram feitas sobre as formas dos encaixes, que outra vez foram modificadas, já que apresentavam geometrias complexas, que poderiam comprometer a desmoldagem devido à fragilidade das arestas das espigas dos componentes, conformando aspectos relacionados aos requisitos de **adequação ao material, de acessibilidade e de simplificação**. Desta forma, os encaixes foram modificados conforme apresentado na figura 57.

A partir da definição geométrica, modelou-se um novo protótipo virtual, utilizado para modelar a sequência construtiva empregada na construção experimental, descrita no próximo ciclo. Produziu-se, ainda, um novo protótipo físico. Para esta produção, foram necessários ajustes nas geometrias dos encaixes dos componentes nos moldes. A produção seguiu as etapas tradicionais deste processo já descritas: aplicação de desmoldante, projeção e adensamento das camadas de GRC, preenchimento com EPS, acabamento no estado fresco, cura, desmoldagem e montagem.

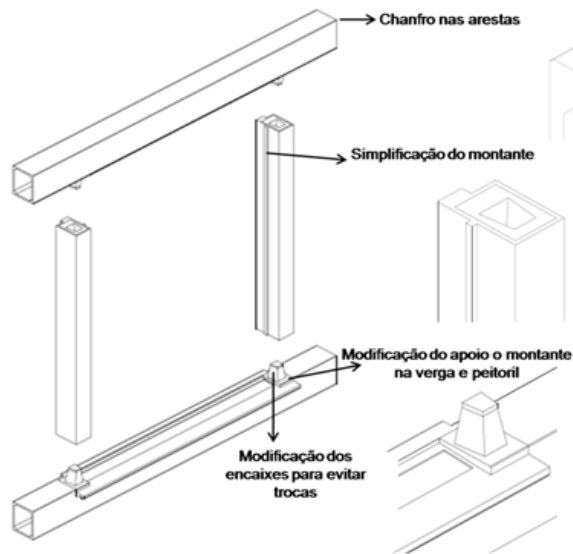


Figura 56: Novas modificações do EI

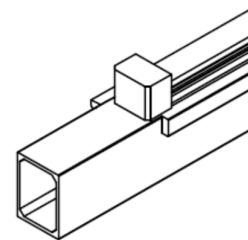


Figura 57: Solução final

Este protótipo foi montado (figura 58), seguindo a sequência utilizada nos modelos anteriores, e analisado pelo grupo de pesquisadores do projeto Compohis. As modificações propostas anteriormente demonstraram-se adequadas e foram adotadas como solução definitiva, desta forma, este Elemento foi utilizado na construção experimental (figura 59).



Figura 58: Modelo utilizado na construção



Figura 59: Construção experimental

Na figura 60 está o esquema de desenvolvimento deste terceiro ciclo e as características adotadas como solução final no EI. O modelo virtual final foi utilizado na modelagem da sequência construtiva, dando início ao quarto e último ciclo desta etapa.

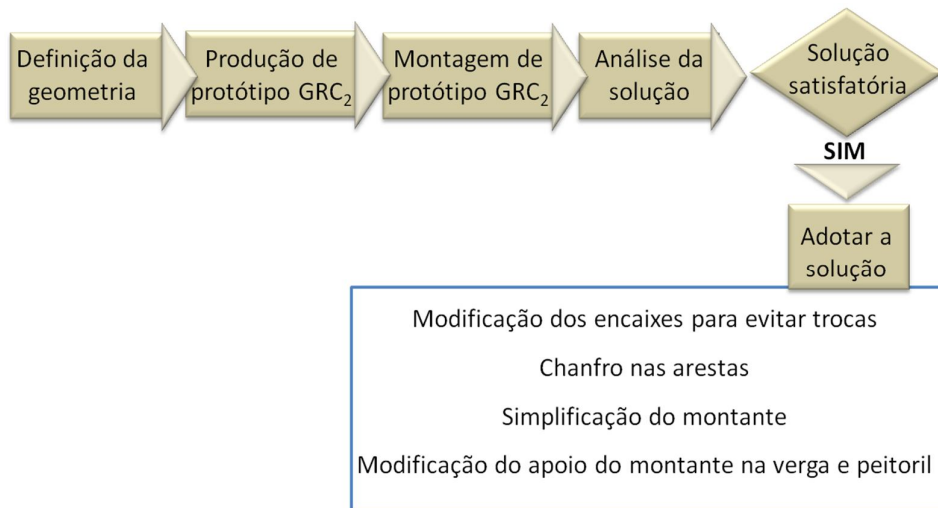


Figura 60: Esquema de desenvolvimento do terceiro ciclo

3.2.4 Quarto ciclo

A modelagem da sequência construtiva caracteriza o início da última fase desta etapa. A simulação construtiva buscou identificar a aplicabilidade e adaptabilidade do EI ao sistema construtivo de alvenaria estrutural, bem como gerar subsídios para a construção experimental.

Em seguida foi realizada a construção da parede experimental com o EI, cuja avaliação fecha este último ciclo.

3.2.4.1 Modelagem da sequência construtiva

A simulação da sequência de execução de construção de uma parede com a nova solução teve início de forma idêntica ao processo tradicional de construção, com o assentamento das três primeiras fiadas (figura 61) utilizando blocos cerâmicos e argamassa.

Nesta modelagem, foram utilizados blocos cerâmicos com as seguintes dimensões (c x l x h): 29 cm x 14 cm x 19 cm para bloco inteiro, e 14 cm x 14 cm x 19 cm para meio bloco.

A argamassa considerada foi a industrializada, dada a crescente utilização deste tipo de material pelas vantagens ligadas à racionalização e garantia da qualidade e para melhor comparação com a modelagem construtiva do sistema tradicional.

A partir da conclusão da terceira fiada, iniciou-se a montagem do Elemento com a fixação da contraverga sobre a argamassa assentada sobre a fiada de blocos, com o

acompanhamento das atividades de inspeção do nível e prumo do componente para o adequado desenvolvimento da montagem (figura 62).

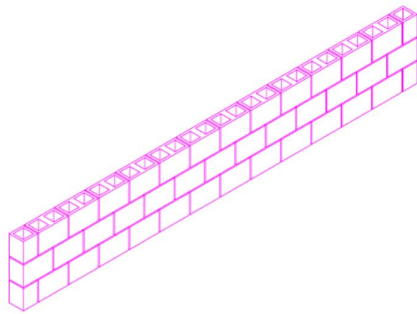


Figura 61: Construção das três primeiras fiadas

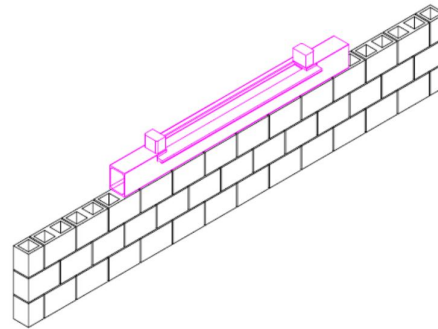


Figura 62: Fixação da contraverga sobre a fiada de blocos

Em seguida, precisam ser encaixados os dois montantes (figura 63), devendo-se utilizar um material aderente nas espigas para o correto encaixe dos componentes e para que trabalhem de forma monolítica. Estes componentes também servem como gabarito para a execução da parede (ligado aos requisitos de simplificação, padronização e otimização das técnicas e processos de construção).

Após a fixação dos montantes, finaliza-se a montagem do Elemento, com o encaixe da verga sobre os recessos dos montantes (figura 64) e, da mesma forma que na parte inferior, deve-se utilizar um material fluido aderente que garanta a união dos componentes. Para que esta atividade seja adequadamente desenvolvida, é necessária a montagem de andaimes para a colocação da verga na parte superior do vão.

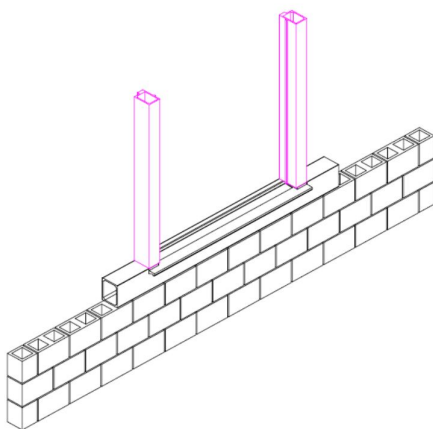


Figura 63: Encaixe dos montantes

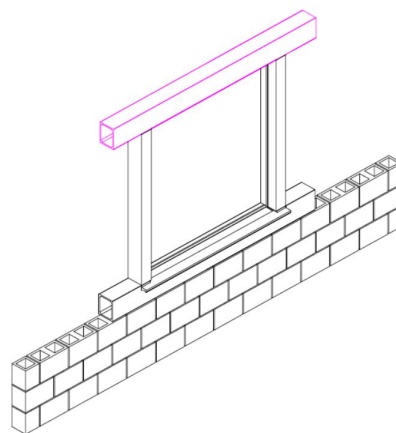


Figura 64: Encaixe da verga

Ao servir como gabarito para o vão, com definição do nível e do prumo da janela, a utilização do EI exclui a necessidade do emprego de um gabarito temporário de aço ou de outro material, para a execução dos panos de parede laterais (relacionado ao requisito de **simplificação, padronização e otimização de técnicas e processos de construção**).

Ele elimina ainda a necessidade de utilização de equipamentos de transporte e içamento, graças à compatibilidade do peso de cada um dos componentes com os padrões ergonômicos (ligado aos requisitos de **acessibilidade, simplificação e adequação à mão de obra**). O EI também evita os retrabalhos e erros de dimensionamento dos vãos e de instalação deficiente da janela, que ocorrem frequentemente na tecnologia tradicional (ligado aos requisitos de **padronização, simplificação e otimização das técnicas e processos de construção**).

Após a montagem completa do EI, dá-se continuidade ao erguimento das fiadas laterais aos montantes e superior à verga (figura 65), sempre com o auxílio de andaimes, finalizando, desta forma, os trabalhos construtivos relacionados ao sistema estrutural.

A partir desta etapa, é possível realizar o fechamento completo do envelope da edificação, o que pode ser feito através de vedações temporárias ou da utilização das próprias folhas móveis das esquadrias, permitindo assim que atividades internas e de acabamento sejam realizadas sem a influência das condições climáticas ou perigos relacionados ao vandalismo. Estes aspectos apresentam relação com o requisito de minimização da **influência das condições climáticas**.

A etapa de colocação dos trilhos e folhas da janela também pode ser realizada o mais tardiamente possível, necessitando apenas a fixação dos trilhos pultrudados nos locais pré-determinados pela geometria da verga e da contraverga, ligados aos requisitos de **padronização, projetar para a eficiência da construção** e de **manutenibilidade** (figura 66).

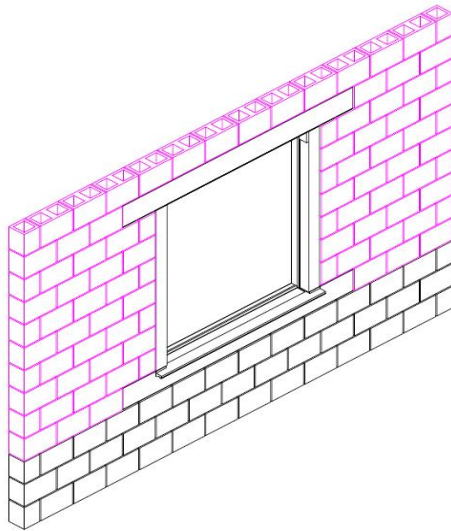


Figura 65: Finalização do pano de parede

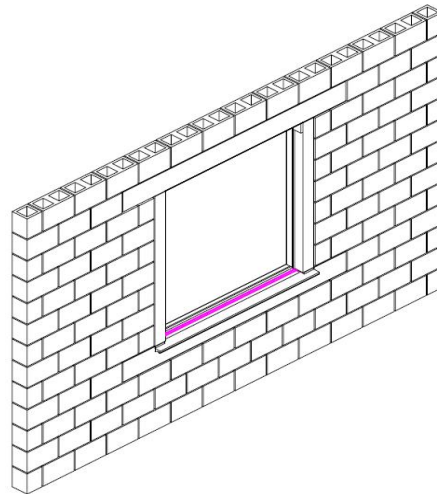


Figura 66: Fixação dos trilhos

Esta fixação deve ser realizada através de material colante, que garanta a perfeita aderência entre a verga, a contraverga e os trilhos. No caso de janelas de correr (as mais utilizadas) as folhas precisam ser apenas encaixadas nos trilhos (figura 67) e, a partir deste encaixe, é feito o travamento na parte superior interna das próprias folhas, para que elas não possam ser retiradas pelo lado externo da edificação, apresenta relação com os requisitos de **manutenibilidade, simplificação e padronização**.

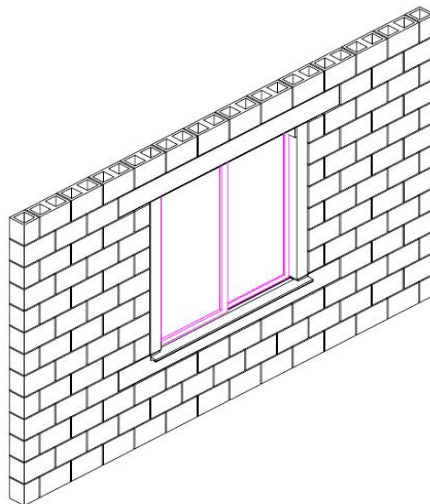


Figura 67: Encaixe e travamento das folhas móveis com caixilho em alumínio

Ainda pôde-se identificar a contribuição do requisito de utilização de **ferramentas de visualização**, quanto à **padronização** dimensional e à **compatibilidade de tolerâncias**.

A partir da sequência apresentada, foi montado um esquema (figura 68) envolvendo os produtos e materiais (vermelho), etapas construtivas (azul), atividades de inspeção (“x” em amarelo) e a necessidade de montagem de andaimes, incluídas no processo de construção com o EI.

3.2.4.2 Construção experimental

Com a conclusão da modelagem da sequência construtiva, iniciou-se a construção da parede experimental, na sede do laboratório de edificações da CIENTEC/ RS. A parede tinha as seguintes dimensões: 3,40 m x 2,60 m, foi edificada sobre um perfil metálico e sob um pórtico de reação, dada a necessidade de execução de ensaios estruturais. Foram empregados blocos cerâmicos assentados com argamassa industrializada, ambos já especificados neste trabalho.

A construção foi realizada por dois operários e dois ajudantes, sem prévio treinamento, sendo que a principal preocupação era com o “aprender a construir” com uma nova solução. Inicialmente foram executadas as três primeiras fiadas (figura 69), e em seguida a contraverga foi assentado sobre a argamassa (figura 70). O nível e o prumo foram verificados e ajustados.

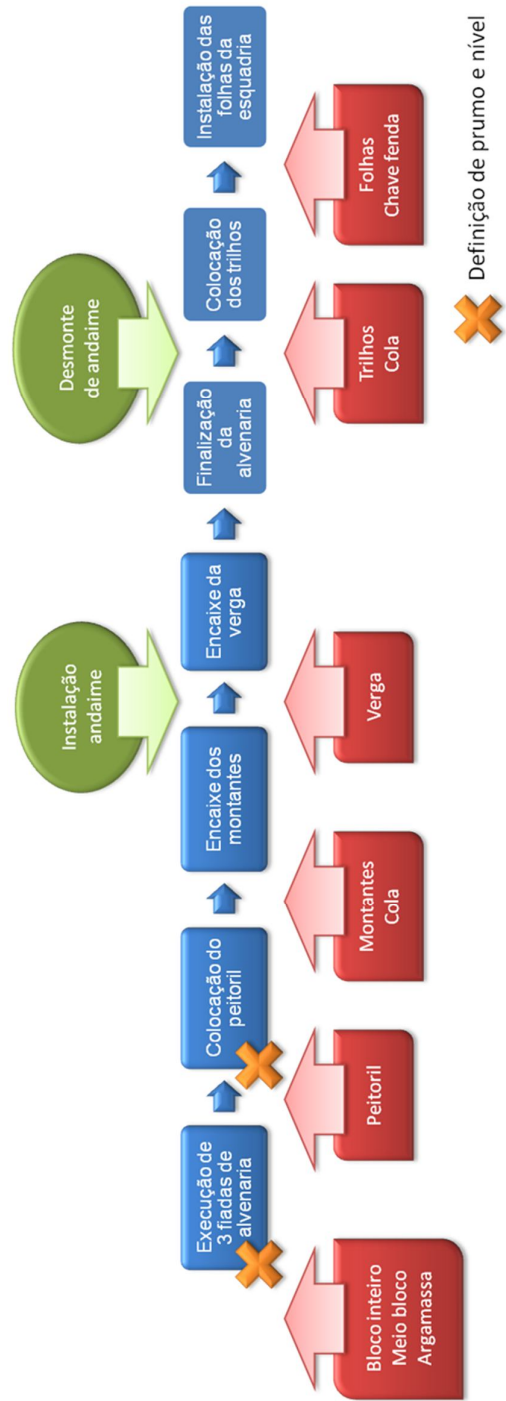


Figura 68: Passos e partes envolvidos no processo construtivo com o EI



Figura 69: Execução das primeiras fiadas



Figura 70: Assentamento da contraverga

A seguir, foram encaixados os montantes, como mostrado nas figuras 71 e 72, utilizando um material colante para que o conjunto trabalhasse estruturalmente de forma monolítica.



Figura 71: Encaixe do montante



Figura 72: Montantes posicionados

Em seguida, foi encaixada a verga (figura 73), onde também foi utilizado o material colante, buscando o mesmo desempenho. Para realizar esta atividade foi necessária a montagem de andaime. A seguir, deu-se prosseguimento à atividade de execução de alvenaria, até o completo preenchimento lateral e superior do vão, conforme visualizado nas figuras 74 e 75.



Figura 73: Encaixe da verga



Figura 74: Execução da alvenaria

Durante a construção foram observadas questões relativas à **padronização**, considerando a modulação e as conexões entre a parede e o Elemento e entre as partes do EI. Quanto à **simplificação**, foram identificados aspectos relacionados à ausência de tempos de parada para cura do material, de minimização dos tempos de montagem manual e de redução do tempo de utilização de andaimes, de facilidade de limpeza do material GRC.



Figura 75: Etapa final da execução da alvenaria

Foram identificados ainda características ligadas à **acessibilidade** (transporte manual, inexistência de danos decorrentes do transporte, armazenamento, manipulação e instalação), à **otimização das técnicas e processos de construção** (devido à praticidade das sequências executivas e à utilização de métodos construtivos inovadores) e à **adequação** (considerando os materiais e mão-de-obra).

A construção permitiu ainda a visualização de fatores relacionados à **influência das condições climáticas** (após a conclusão do pano de alvenaria a construção com o EI fornece condições para o fechamento do vão da janela) e à **segurança** (identificou-se que os pesos e tamanhos dos componentes são adequados, contudo a sequência construtiva não foi totalmente segura, dada a instabilidade do EI logo após o seu assentamento, indicando, desta maneira, a necessidade de maiores estudos).

A partir do apresentado pôde-se verificar a aplicabilidade e adaptabilidade da nova solução ao sistema construtivo, bem como a adequabilidade da solução à mão-de-obra, treinada no sistema tradicional de construção, visto que os operários não apresentaram maiores dificuldades na execução da parede.

Após o término da parede, esta ficou curando por 30 dias, e recebeu uma demão de tinta à base de cal para melhor visualização das fissuras quando na realização do ensaio estrutural.

3.2.4.3 Ensaio estrutural

Anteriormente à execução do ensaio estrutural, as fissuras existentes na parede experimental foram identificadas e registradas, assim como foi assentado um perfil metálico sobre a parede, buscando a distribuição adequada das cargas no conjunto.

Nesta etapa verificou-se a necessidade de maiores estudos quanto à **padronização**, considerando a conexão entre o Elemento e a parede, visto que foram identificadas fissuras ao longo de toda a interface alvenaria/ Elemento de Integração (figura 76), anteriormente à execução do ensaio estrutural.



Figura 76: Fissura na interface alvenaria/
esquadria

O ensaio estrutural foi realizado após aproximadamente 60 dias da confecção da parede e efetuado conforme descrito no anexo III deste trabalho.

Na verificação do comportamento estrutural do conjunto pode-se identificar o desempenho satisfatório tanto do Elemento quanto do conjunto, visto que a parede não apresentava nenhuma nova fissura e não se identificaram descolamentos, movimentação ou deflexão no conjunto. Desta forma o EI atendeu aos requisitos de **padronização**, considerando o desempenho quanto às conexões entre os componentes do Elemento, e de **adequação do material**, visto que o GRC não deformou excessivamente e também não fissurou.

Cabe ressaltar que o ensaio estrutural permitiu avaliar não somente o desempenho do material, mas sim do produto e do conjunto, bem como da geometria proposta para a nova solução.

A partir do apresentado, o Elemento de Integração e o material GRC demonstraram-se adequados para a utilização nas construções, entretanto, fazem-se necessárias implementações em construções em maior número, buscando identificar alterações no comportamento do conjunto ou corroborar com o verificado nesta pesquisa.

Contudo, são necessárias análises mais detalhadas quanto aos requisitos selecionados no capítulo 2 desta pesquisa. Desta forma, são apresentadas a seguir verificações considerando especificadamente o desempenho do EI com relação a cada um dos requisitos, comparando-o, quando necessário, com o sistema tradicional de construção e vedação.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, é realizada uma análise dos resultados obtidos ao longo das etapas desta pesquisa, considerando os requisitos de construtibilidade selecionados na pesquisa bibliográfica e buscando avaliar o desempenho do Elemento de Integração quanto à construtibilidade.

Com relação aos métodos utilizados nesta pesquisa para levantamento de campo, identificações, análises, simulações, aplicações, produção e implementação, pôde-se verificar que eles permitiram um andamento e entendimento satisfatório da pesquisa e a comparação adequada entre as soluções tradicional e do EI.

Por sua vez, os requisitos identificados e selecionados a partir da pesquisa bibliográfica permitiram a realização de uma análise satisfatória da nova solução, tanto ao longo dos três ciclos de desenvolvimento (construção e avaliação) do protótipo, quanto na utilização do EI na parede experimental (quarto ciclo), visto que eles englobaram todos os aspectos relacionados às inovações apresentadas no EI.

Na fase de avaliação do **primeiro ciclo** de desenvolvimento, considerando as características que foram definidas e aplicadas no protótipo em MDF, foram mantidas as soluções relativas aos aspectos associados aos requisitos de **adequação de mão-de-obra** e **materiais, acessibilidade, simplificação** e **padronização**.

Ainda nesta fase, foram propostas mudanças quanto a algumas características relacionadas aos requisitos de **simplificação, acessibilidade, adequação de materiais e mão-de-obra, manutenibilidade** e **segurança**, buscando a melhoria no desempenho do EI.

Durante a avaliação do segundo ciclo, relativo ao primeiro modelo em GRC, foram adotados, do primeiro ciclo, aspectos relacionados aos requisitos de **adequação dos materiais e mão-de-obra, segurança** e **simplificação**, proporcionando melhorias no Elemento advindas da consideração dos requisitos de construtibilidade. Foram propostas, também, modificações quanto a algumas características relacionadas à **simplificação** geométrica e tempo de percepção, decisão e manipulação, à

manutenibilidade, à **acessibilidade** e à **adequação de mão-de-obra e material** (GRC).

No terceiro ciclo, relativo ao segundo modelo produzido em GRC, as modificações propostas no segundo ciclo relacionadas aos requisitos de **simplificação**, **manutenibilidade** e **acessibilidade** demonstraram-se adequadas e foram adotadas, identificando a contribuição da consideração dos requisitos de construtibilidade na melhoria do Elemento . Entretanto uma nova alteração foi proposta, ainda na fase de prototipagem virtual (relacionada ao requisito de **adequação do material e mão-de-obra**) e, desta maneira, foi analisada e julgada pertinente pelo grupo de pesquisa.

A partir desta definição, iniciou-se o quarto ciclo com a modelagem da sequência construtiva com o EI. Nesta etapa, puderam ser verificados aspectos relacionados aos requisitos de **padronização**, **simplificação**, **acessibilidade**, **influência das condições climáticas**, **manutenibilidade**, **otimização das técnicas e processos de construção**, **adequação de mão de obra e projetar para a eficiência da construção**. A identificação destes nove requisitos durante esta fase forneceu indicativos mais claros e apropriados quanto à adequação do EI à construtibilidade considerando, agora, o sistema construtivo utilizado.

Cabe ressaltar a contribuição das **ferramentas de visualização**, ao longo de todos os ciclos, já que permitiram a identificação antecipada da **compatibilidade dimensional** entre os componentes do EI e, destes com as partes fixas e móveis do Elemento e, deste com o sistema de alvenaria estrutural.

A partir da modelagem da sequência construtiva com o EI, a parede experimental foi construída, gerando informações que não puderam ser verificadas nas etapas anteriores, tais como a facilidade de instalação e construção por parte dos operários, as fissuras entre a alvenaria e o Elemento de Integração, a facilidade de limpeza da superfície considerando rejeitos de argamassa e concreto, entre outros.

Desta forma foram identificados fatores relacionados aos requisitos de **padronização**, **simplificação**, **acessibilidade**, **otimização das técnicas e processos de construção**, **adequação de materiais e mão-de-obra**, **influência das condições climáticas** e **segurança**.

Por fim foi realizado o ensaio estrutural do conjunto, que permitiu a identificação de aspectos relacionados aos requisitos de **padronização** e de **adequação do material**.

Desta forma, verificou-se, ao longo do desenvolvimento da pesquisa, que a seleção dos requisitos permitiu a realização de análises adequadas e amplas e, que estas análises auxiliaram quanto à melhoria da construtibilidade do EI ao longo da etapa executiva, gerando modelos mais refinados a cada novo ciclo, resultando num modelo adequado, visto que foram considerados, ao longo do seu desenvolvimento, todos os requisitos selecionados nesta pesquisa. Algumas ressalvas pontuais foram realizadas em alguns requisitos, indicando a maior necessidade de estudos quanto aos fatores identificados.

A seguir (quadro 8) são apresentados os principais resultados considerando a nova solução proposta denominada EI e/ou o conjunto composto pelo Elemento e parede de alvenaria estrutural, em comparação com o sistema tradicional de construção e vedação. Nesta análise as características identificadas com o sinal de correto na cor verde significam a adequação e satisfatoriedade de desempenho, já o sinal de incorreto na cor vermelha indica a necessidade de maiores estudos quanto ao quesito identificado.

Quadro 6: Análise dos 10 requisitos básicos identificados

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.		✓	
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.	✓
ACESSIBILIDADE	Não necessita de equipamentos especiais para transporte, manipulação, construção e instalação.	✓
	Não exige 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 necessita de proteção, particularmente nas arestas, eliminando a preocupação com danos decorrentes de transporte, manipulação, empilhamento, circulação e instalação no canteiro.	✗
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, minimizando trabalhos em canteiro.	✓
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 total.	✓
SEGURANÇA	Apresenta seqüências seguras de construção.	✗
	Utiliza materiais e componentes com tamanhos e pesos seguros para a manipulação, construção, instalação e manutenção.	✓
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 seqüências práticas de construção e operações contínuas que melhoram a produtividade.	✓
	Propicia a utilização de métodos construtivos inovadores.	✓

COMPATIBILIDADE 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.	✓
ADEQUAÇÃO	Utiliza materiais e produtos já empregados e aceitos pela indústria da construção ou novos materiais adequados 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.	✓
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.	✓

A seguir são apresentadas as análises específicas de acordo com cada um dos requisitos utilizados.

4.1 Padronização

Quanto à padronização, foi possível verificar que o componente adequou-se à modulação do sistema construtivo de alvenaria estrutural, visto que não foi observada nenhuma incoerência na construção modular da parede com a montagem do Elemento de Integração, sendo as tolerâncias entre o EI e os blocos preenchidas com argamassa. Cabe ressaltar a precisão dimensional atingida na produção do protótipo, identificada através do correto encaixe do Elemento ao sistema construtivo e entre os componentes do EI.

Verificou-se ainda que a utilização da nova solução contribuiu para a padronização das dimensões das folhas da esquadria e trilhos, o que, frente ao sistema tradicional, aparece como solução às inúmeras dimensões utilizadas, resultando, desta forma, na modulação das folhas e benefícios relacionados à padronização de projetos.

Da mesma maneira como contribuiu para a padronização do produto, o EI colaborou na repetição dos processos e atividades construtivas envolvidas, ou seja, na padronização construtiva, visto que exige um menor número de atividades e processos, bem como de equipamentos e materiais, possibilitando uma maior uniformização e, desta forma, melhores resultados quanto à produtividade e qualidade.

A utilização de um componente pré-fabricado, que também podia ser pré-montado (parcialmente, considerando-se os trilhos), auxiliou quanto ao requisito da padronização. A pré-montagem requereu que a conectividade entre os diversos componentes fosse adequada. De fato, a conexão entre os componentes do Elemento, entre os trilhos e os componentes, entre as folhas móveis e os trilhos e entre as folhas móveis e os componentes mostrou-se adequada.

Por outro lado, identificou-se, a partir da construção experimental, a necessidade de maiores estudos quanto à adequada conexão entre o EI e a parede, visto que algumas fissuras surgiram nesta interface. Algumas sugestões tais como: a incorporação de “cabelos” durante o processo produtivo, a fixação de telas, através de parafusos, ou a criação de superfícies mais ásperas nas faces que mantêm contato com a alvenaria.

As conexões, em todos os níveis, demonstraram-se adequadas à mão-de-obra utilizada, reduzindo a necessidade de especialização dos operários nas etapas construtivas. Da mesma forma, as conexões demonstraram-se acessíveis visualmente e manualmente, sendo de fácil execução, visto que foram realizadas na primeira tentativa e sem a necessidade de materiais, equipamentos e ferramentas tais como silicone e furadeira.

Considerando a conexão entre os componentes, o desempenho do EI demonstrou-se adequado, visto que a montagem pôde ser realizada conforme o simulado na modelagem da sequência construtiva. Os encaixes foram executados de forma acertada já na primeira experiência de construção. Cabe ressaltar que a montagem completa do EI serviu como guia para as atividades construtivas posteriores, já que forneceu o prumo e o nível, excluindo as atividades de inspeção ao longo da construção das paredes laterais aos montantes.

Quanto aos trilhos, identificou-se a adequada conexão com a verga e a contraverga, encaixando e aderindo de forma ajustada aos componentes, assim como com as folhas móveis, permitindo o perfeito funcionamento da esquadria, através dos movimentos de abertura e fechamento das folhas.

A conexão entre as folhas móveis e os componentes aconteceu de forma apropriada, indicando a solução como satisfatória, visto que o fechamento se deu por completo, sem nenhuma interrupção utilizando os componentes padronizados da linha Master (ALCOA, 2010).

A utilização de sequências executivas definidas, interdependentes e compostas por menos intervenções e menor tempo de execução quando comparadas à técnica tradicional, levaram a uma maior padronização construtiva, já que excluiu a necessidade de cura da argamassa utilizada no assentamento da pingadeira e no chumbamento do contramarco, bem como minimizou o tempo de utilização dos andaimes.

A utilização do EI ainda trouxe benefícios relacionados à redução do desperdício de materiais, visto que grande parte dos procedimentos construtivos foi executado em ambiente fabril, onde o controle foi mais rigoroso e as perdas com relação aos materiais foram minimizadas. Desta forma, a nova solução contribuiu para à minimização do desperdício de materiais.

4.2 Simplificação

A utilização de um menor número de componentes e passos na construção com o EI, quando comparada com a técnica tradicional, foi o resultado da simplificação do produto pela fusão de diferentes partes com mesma função utilizadas no sistema tradicional.

Esta integração gerou a redução no número de partes, o que levou à minimização dos passos necessários para a construção com o novo arranjo proposto, além de reduzir a utilização de materiais e equipamentos específicos na instalação das esquadrias.

A simplificação também pôde ser avaliada considerando as conexões entre os diferentes materiais e sistemas, bem como a facilidade de montagem destas conexões. Para que tivessem um comportamento adequado, as conexões eram simples e de fácil execução, exigindo o mínimo de mão-de-obra especializada.

A utilização do EI excluiu a oportunidade de execução de ajustes dimensionais no canteiro, fazendo com que esta solução fosse avaliada nos primeiros estágios projetuais, visto que esta característica inviabilizava interferências artesanais, que poderiam comprometer o andamento da obra.

Contudo, esta característica foi benéfica quando levada em consideração a redução no tempo de instalação, visto que excluiu a necessidade de percepção, decisão e manipulação por parte dos operários, eliminando possíveis erros decorrentes de má- interpretação ou execução das atividades.

A redução das interdependências foi outra característica relacionada à simplificação que foi atendida pela nova solução, quando comparada ao sistema tradicional de construção, já que necessitou de um número menor de etapas dependentes, com tempos construtivos reduzidos.

A simplificação também envolveu aspectos relacionados ao armazenamento e utilização, considerando os cuidados necessários com o produto. Quanto ao armazenamento, embora os componentes em GRC não tenham sido protegidos no transporte e armazenamento, provavelmente se beneficiariam da utilização de embalagens com plástico-bolha, utilizadas nas esquadrias tradicionais. Desta forma, os componentes poderiam ser dispostos em pilhas, ocupando menos espaço no estoque.

As características de alta resistência ao impacto e ao manchamento, além de baixa porosidade do GRC, minimizaram a necessidade de cuidados na manipulação e instalação do EI, representaram um avanço frente aos materiais tradicionais de construção, visto que esquadrias de alumínio anodizado reagem (mancham) em contato com o cimento ou cal presente nas argamassas e concretos, e deformam com maior facilidade se comparado ao GRC, necessitando maior cuidado quanto à manipulação e instalação. A principal limitação do GRC foi relativa à marcas e lascamentos nas arestas devido à fragilidade do material cimentício ali encontrado, deficiência mitigada com o emprego de chanfros nas arestas.

Somado às condições acima apresentadas, a simplificação abrangeu aspectos relacionados à minimização dos tempos de percepção, decisão e manipulação dos operários frente às atividades construtivas. Desta forma, a utilização do EI minimizou o número e tipos de peças necessárias para a construção e instalação.

Além disso, a solução proposta utilizou componentes auto-alinháveis e auto-alocáveis, ou seja, a partir da instalação da contraverga e da inspeção e ajuste do prumo e nível deste componente, as demais peças ficaram automaticamente ajustadas, fornecendo referências espaciais para o correto andamento da construção. Ainda, cada componente possuía seu local inequívoco de instalação, e não encaixavam nas demais peças, excluindo assim a necessidade de reorientação das mesmas.

As conexões utilizadas para o encaixe dos componentes garantiram o acesso visual e manual durante o processo de construção. As superfícies dos componentes apresentaram planicidade e paralelismo, o que facilitou sua produção, manipulação e

instalação em canteiro. Dentro deste mesmo aspecto, as partes não apresentaram cantos vivos ou arestas cortantes que pudessem machucar os operários.

A instalação com o EI eliminou a necessidade de ferramentas especiais e materiais diferenciados, tais como furadeira e silicone, necessários na instalação via método tradicional.

Outro aspecto considerado foi o número de operários necessários para a construção com o EI. Neste caso, a partir da pesagem dos componentes, verificou-se que a montagem do EI pôde ser executada por dois operários, assim como sua aplicação na construção experimental, incluindo as atividades secundárias como preparação da argamassa, montagem do andaime e transportes das unidades e componentes.

Já no sistema tradicional, além das atividades acima descritas, relacionadas à construção em alvenaria, verificou-se a necessidade de assentamento da pingadeira, execução das vergas e contravergas e de outras atividades ligadas a estas, como o corte e dobra da armadura e a preparação dos apoios e do graute, o que normalmente demanda um número maior de trabalhadores para executar, de modo adequado, a totalidade das tarefas.

Considerando este mesmo aspecto de quantidade de trabalhadores, contudo focando nas atividades de instalação, no sistema com o EI a instalação dos trilhos e esquadria pôde ser realizada por apenas um trabalhador, sem prévio treinamento, visto que as atividades consistem no encaixe e colagem dos trilhos em locais pré-determinados da verga e da contraverga e no encaixe e travamento das folhas móveis.

4.3 Acessibilidade

A exclusão de equipamentos especiais de transporte ou içamento fizeram com que a nova solução se equiparasse ao método tradicional de construção no quesito necessidades especiais para acesso de materiais e equipamentos.

Contudo, separando as atividades construtivas da parede das de instalação da esquadria, pôde-se verificar que a esquadria inteira utilizada no sistema tradicional de construção apresentou dimensões maiores do que as folhas e trilhos do EI, necessitando, desta forma, maiores espaços para estocagem, movimentação dentro do canteiro, e instalação, além de todos os cuidados já mencionados devido ao manchamento e fragilidade.

Quanto à estocagem, foi possível identificar a clara redução no tempo de permanência dos andaimes em canteiro (considerando as atividades envolvidas na construção da parede experimental em comparação com a simulação do sistema tradicional), liberando estoques e áreas construtivas mais rapidamente, já que no método tradicional, a execução da verga e a finalização do pano de alvenaria eram atividades sequenciais que demandaram maiores prazos de permanência dos andaimes e, desta forma, maior espaço na área de construção.

A acessibilidade incluiu ainda a prevenção de danos causados por descuido em elementos e trabalhos já concluídos. Neste quesito, a utilização do EI exigiu cuidados. Entretanto, dada a alta resistência e baixa porosidade do GRC e a utilização de arestas chanfradas nos componentes, estes cuidados não foram maiores do que aqueles encontrados na manipulação de esquadrias tradicionais, mesmo com a exposição do Elemento nas etapas construtivas iniciais, com a alta incidência de trabalhos mais pesados e danosos.

4.4 Influência das condições climáticas

A utilização da nova solução, quando comparada ao método convencional de construção, reduziu as atividades construtivas no canteiro, especialmente relacionadas ao grauteamento da verga e contraverga, execução das armaduras, instalação da pingadeira, contramarco e arremates no entorno da esquadria.

Pelas características de pré-fabricação, o EI tornou a atividade construtiva mais eficaz, visto que reduziu os passos do processo e o número de componentes utilizados na construção e instalação, reduzindo o tempo de execução das paredes, permitindo a proteção horizontal antecipada do espaço (laje), minimizando, desta forma, a influência climática nas atividades de construção.

Da mesma maneira, a utilização do EI forneceu condições para o fechamento vertical nas etapas iniciais da construção, por ser construído juntamente com a alvenaria, permitindo a utilização de vedações temporárias do vão da janela. Estes fechamentos reduzem a incidência de vandalismo e das influências climáticas, permitindo que o espaço interno pudesse ser utilizado como local para outras atividades ou ainda como local de estoque de materiais e equipamentos. Ao mesmo tempo, gerou condições para a execução de etapas construtivas que necessitam de maiores cuidados como a colocação de pisos, especialmente os não molhados, e dos acabamentos de modo geral.

4.5 Manutenibilidade

Quanto à manutenibilidade, pôde-se identificar que a simplificação das características físicas e funcionais, atingida através da redução do número de componentes e montagens do EI em comparação com o sistema tradicional, levou à redução do nível de habilidade necessária para a execução de manutenção, apreciando o conjunto formado pelas folhas e trilhos e a minimização de ocorrência de falhas pela redução de partes sujeitas a danos.

Quando considerados os componentes em GRC, em comparação com o sistema tradicional, a necessidade de manutenções preventivas e corretivas tomou menores proporções visto que o EI necessita de manutenções esporádicas pela suas características de resistência mecânica, baixa porosidade e alta durabilidade. Contudo, se houverem danos aos componentes do EI e estes demonstrarem-se inaptos para desempenhar sua função, indicando a necessidade de troca destes componentes, eles devem ser subtraídos da parede, acarretando em interferência nas alvenarias.

Quanto à adequação dos espaços para acesso visual e de atividades de manipulação, incluindo a montagem e desmontagem necessária durante a inspeção, reparo e substituição de partes, considerando os trilhos e folhas, a solução proposta pareceu satisfatória, visto que os componentes foram padronizados e apresentaram coordenação e tolerâncias adequadas. Estas características relacionadas à modulação das partes forneceram benefícios relacionados à facilidade de teste, reparos e trocas, independentemente do produto total.

4.6 Segurança

A segurança englobou aspectos relacionados às sequências construtivas e aos tamanhos e pesos seguros dos componentes empregados na edificação. Sendo assim, a partir da construção experimental pôde-se identificar o atendimento às questões de segurança, considerando os aspectos relacionados ao tamanho e peso tanto dos componentes em GRC, quanto das folhas e trilhos, pois não apresentaram riscos aos trabalhadores, com as devidas ressalvas de utilização de EPI e de métodos adequados de manipulação e construção por parte dos trabalhadores.

Contudo, considerando a utilização do Elemento em construções de mais de um pavimento, e a sua instabilidade logo após seu assentamento, identificou-se a

presença de riscos aos envolvidos com a construção, pela facilidade de tombamento do EI. Desta forma, verificou-se a necessidade de maiores estudos que abordem este aspecto, impedindo a movimentação frontal ou para trás do EI logo após seu assentamento sob a fiada de blocos, aumentando, desta maneira, a estabilidade do EI durante a construção e minimizando os riscos de acidentes.

4.7 Otimização de técnicas e processos de construção

A utilização de um novo material para a finalidade proposta considerando o GRC nos componentes e o pultrudado nos trilhos, juntamente com a união de diferentes funções (estrutural e vedação) num mesmo Elemento buscaram a melhoria nos processos construtivos, quando comparado com o sistema tradicional.

A substituição dos materiais e das técnicas tradicionais de construção pelo Elemento pré-fabricado reduz a quantidade de trabalho desenvolvido no canteiro (exclusão das atividades de preparação da armadura, graute e fôrmas, dos tempos de cura dos materiais cimentícios, do assentamento da pingadeira, do chumbamento do contramarco e da instalação dos acabamentos), facilitando as sequências construtivas.

O uso da nova solução, assim como no sistema tradicional, não necessita de equipamentos diferenciados para transporte ou instalação, ou mesmo o desenvolvimento de novos equipamentos ou utilização de tecnologia avançada.

Identificou-se que a sequência construtiva na construção experimental foi desenvolvida de forma adequada e prática, aparentemente não representando perigo de danos para as operações seguintes e também para as já concluídas (com ressalvas quanto à criação de dispositivos de fixação que reduzam a instabilidade do EI), uma vez que esta atividade é realizada em uma etapa inicial, onde não existem muitos elementos que possam ser danificados. Ainda pôde-se verificar a ausência de perdas de material ou tempo produtivo (decorrente de espera para a cura dos materiais).

Outro aspecto identificado foi a capacidade que a construção com o EI apresenta de evitar retrabalhos, já que o Elemento é assentado juntamente com a alvenaria e necessita da inspeção do prumo e nível na etapa de assentamento da contraverga, e partir daí, fornece condições para que o restante da montagem e construção seja executado de forma adequada.

Já no método tradicional, as inspeções de prumo e nível devem ser realizadas a cada nova fiada, até a completa finalização da alvenaria. E na etapa de chumbamento do contramarco estas inspeções demandam maior atenção visto que a execução inadequada desta atividade pode acarretar na instalação deficiente da janela, comprometendo a habitabilidade da edificação ou até mesmo a necessidade de retirada e instalação de um novo contramarco.

Durante a construção puderam ser identificadas ainda a independência e minimização de possíveis interrupções das atividades construtivas, necessitando apenas dos trabalhadores, blocos, argamassa, componentes, cola, trilhos e folhas, minimizando assim a ocorrência de atrasos na construção. O que frente ao método tradicional representa um avanço dada a necessidade de interrupção da sequência construtiva para formatação das vergas e contra vergas e posterior chumbamento e cura do contramarco.

Estas características ligadas às sequências construtivas geram benefícios relacionados à utilização de operações contínuas e repetitivas levando a ganhos relacionados à curva de aprendizagem, e conseqüentemente, à melhoria da produtividade.

Desta forma, a nova solução proposta pôde ser determinada como um método construtivo inovador, já que ainda não é considerada como uma prática comum na indústria da construção e se apresenta como uma solução criativa para problemas construtivos identificados em pesquisas, e coletados em canteiros.

4.8 Compatibilidade de tolerâncias e ferramentas de visualização

A utilização de ferramentas de visualização demonstrou-se adequada nesta pesquisa, visto que pôde auxiliar na identificação antecipada de possíveis problemas de interferências físicas e de compatibilidade dimensional entre os componentes e sistemas.

Da mesma forma, pôde-se visualizar a compatibilidade na interface entre os componentes e a alvenaria, entre os trilhos e componentes, entre as folhas e trilhos e entre os componentes e as folhas. A simulação do movimento e encaixe das folhas também pôde ser analisada através de programas computacionais.

A utilização das ferramentas de visualização contribui consideravelmente para a adequação do EI ao sistema construtivo, visto que permitiu a identificação e solução

de relações espaciais não compatíveis, seja nas interfaces ou nos próprios componentes, bem como nos detalhes e especificidades de cada parte do EI, excluindo desta forma a necessidade de construção de diversos protótipos físicos.

Contudo, a utilização de ferramentas virtuais não excluiu a necessidade de execução de protótipos físicos e da construção experimental, visto que os modelos reais puderam fornecer outras informações tais como as relacionadas a aspectos sensoriais e de incompatibilidade entre diferentes materiais, entre outras.

4.9 Adequação de materiais, produtos, recursos e mão-de-obra

Os produtos e materiais utilizados na construção tradicional são amplamente utilizados e aceitos pela indústria da construção, apresentam disponibilidade no mercado e são, em sua maioria, certificados segundo as normas específicas disponíveis para cada um deles, bem como os métodos construtivos relacionados a este.

O GRC utilizado no EI demonstrou-se adequado, inicialmente, pela seleção técnica e criteriosa que foi submetido e através da qual foi escolhido, e segundo pela realização do ensaio estrutural que demonstrou sua aplicabilidade e desempenho satisfatório. Entretanto, cabe ressaltar a necessidade de estudos mais aprofundados, com maior número de repetições que busquem avaliar individualmente os componentes, o EI e a construção da parede com o EI.

Os trilhos pultrudados também se mostraram apropriados, visto que puderam ser colados e descolados dos diferentes protótipos, sem quebra ou deformação.

Quanto à adequação da mão-de-obra e recursos, a solução parece adequada visto que considerou a disponibilidade local destes elementos, e a adequação destes com a tecnologia utilizada na nova solução, apropriada às necessidades construtivas. Desta forma o EI apresenta desempenho satisfatório, visto que utiliza materiais, equipamentos e métodos produtivos e construtivos disponíveis localmente.

Aparentemente, a utilização de um novo material aliado ao novo arranjo funcional, tornaria necessária uma maior participação de operários especializados, contudo, a construção demonstrou que o nível de habilidade e conhecimento dos operários tradicionais foram adequados para a construção com o EI. Entretanto na etapa de instalação, o EI reduziu a necessidade de especialistas, já que necessitou de atividades de colagem dos trilhos e encaixe das folhas da esquadria, enquanto no

método tradicional, esta etapa necessitou de aplicação cuidadosa de silicone e instalação da esquadria com furadeira e parafusos.

Desta forma, além de utilizar as capacidades disponíveis quanto à mão-de-obra, a construção com a nova solução minimiza a necessidade de mão-de-obra especializada tanto no processo construtivo, quanto na instalação dos trilhos e folhas.

4.10 Projetar para a eficiência da construção

Dentro do requisito de busca pela eficiência da construção, encontra-se, entre outras já apresentadas, a característica de flexibilidade, que garante que os envolvidos com a construção possam avaliar e escolher abordagens adaptáveis às suas necessidades. Sobre este aspecto a utilização do EI permite mudanças e adaptações, seja nas cores através da utilização de corantes compatíveis com o material GRC, ou em suas formas, através da moldagem de elementos decorativos nas faces internas e externas ao ambiente, tais como floreiras ou adornos, e funcionais, como, por exemplo, persianas e brises.

Outra característica relacionada à flexibilidade do EI relaciona-se à escolha dos materiais constituintes das folhas da esquadria, que pode ser realizada conforme a necessidade, cultura ou preferência dos envolvidos com a construção.

Ainda, o emprego do EI permite a adoção de fechamentos temporários ou permanentes em etapas anteriores, conforme a necessidade de cada obra.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar a construtibilidade da nova solução denominada Elemento de Integração (EI). Para que esta análise fosse realizada foram estudados, a partir de revisão bibliográfica, vinte e sete requisitos, selecionados vinte e dois que foram agrupados em dez requisitos principais de construtibilidade, a saber: Padronização; Simplificação; Acessibilidade; Influência das condições climáticas; Manutenibilidade; Segurança; Otimização das técnicas e processos de construção; Compatibilidade de tolerâncias e ferramentas de visualização; Adequação de materiais, produtos, recursos e mão-de-obra; e Projetar para a eficiência da construção.

As análises foram realizadas com base nas informações apresentadas ao longo das etapas preparatória e executiva, a partir de protótipos virtuais e físicos (construídos com diferentes materiais). Mais especificamente foram utilizados quatro protótipos virtuais do EI, três protótipos físicos, sendo um em MDF e dois em GRC e duas modelagens de sequências construtivas, sendo uma com o EI e a outra com o método tradicional de construção e vedação.

O último protótipo em GRC foi utilizado para a construção de uma parede experimental real, submetida ao ensaio estrutural. As visitas em canteiro, incluídas na etapa preparatória incluíram a visualização de procedimentos executivos de assentamento de alvenaria, execução de vergas e contravergas e instalação de esquadrias.

Desta forma, são apresentadas as principais conclusões desta pesquisa, ressaltando que não devem ser consideradas de forma absoluta, uma vez que se referem a exemplos de produção única e utilizados em caráter experimental. A representatividade destas informações deve ser firmada pela realização de novas aplicações, considerando o ambiente construtivo real, buscando confirmar e/ou complementar os dados obtidos nesta pesquisa.

Assim, os requisitos de construtibilidade e métodos utilizados nesta pesquisa demonstraram-se adequados, visto que permitiram uma análise que abrangeu

satisfatoriamente os aspectos relacionados ao EI, englobando quase a totalidade das novas soluções utilizadas nele.

Sendo assim, conclui-se que:

- o desempenho relativo à **padronização** foi satisfatório quanto aos aspectos dimensionais e geométricos, dada a compatibilização entre a modulação do EI e do sistema construtivo, fornecendo condições para a padronização das dimensões das folhas das esquadria e trilhos, e conseqüentemente do projeto dos elementos de vedação. Ainda contribuiu para a padronização construtiva, através da necessidade de maior repetição dos processos e atividades construtivas envolvidas, com menor grau de interrupções nas atividades, minimizando também o desperdício de material dado o caráter da produção industrial do Elemento, se comparado ao sistema tradicional. As conexões entre os componentes e as partes móveis e fixas do conjunto atuaram de maneira adequada, com ressalvas para a conexão entre o Elemento e a alvenaria, visto que foram identificadas fissuras ao longo da interface, necessitando intervenções que busquem uma conexão mais sólida entre as partes;
- quanto à **simplificação** a nova solução proposta demonstrou-se adequada visto que necessitou de menos partes e passos para o processo construtivo, conseqüentemente de menos trabalhadores para executar as atividades construtivas, além disso, reduziu o uso de materiais, equipamentos e mão-de-obra específicos na instalação das esquadrias, frente ao sistema tradicional de construção. A simplificação dos encaixes e montagem, assim como a exclusão da necessidade de ajustes em canteiro também apresentou desempenho satisfatório, além de exigir menores tempos relacionados à percepção, decisão e manipulação dos trabalhadores nas operações construtivas, de montagem e instalação, pelas características formais do EI. Da mesma maneira necessitou de menores cuidados quanto ao armazenamento e utilização, dadas as características relacionadas ao material GRC. Outro aspecto relacionado à simplificação que foi atendido é minimização das interdependências, visto que a construção com o EI utilizou menos passos e partes no processo construtivo, quando comparado ao sistema tradicional. A realização de ajustes em canteiro é um dos aspectos que a utilização do EI exclui, entre outras, pela sua característica de pré-fabricação.
- considerando a **acessibilidade**, o desempenho do EI demonstrou a adequação e aplicabilidade da nova solução, visto que não necessitou de equipamentos especiais para transporte e/ou içamento, exigiu menores espaços de armazenamento considerando o conjunto formado pelas folhas e trilhos, e reduziu o tempo de

- permanência dos componentes estruturais das janelas no estoque, visto que foram assentados juntamente com a alvenaria, e de utilização dos andaimes, já que as atividades que exigiram este equipamento foram realizadas de forma única. Quanto à proteção das arestas, o EI necessita de cuidados, entretanto estes não foram maiores do que aqueles utilizados com a janela tradicional.
- o desempenho quanto à minimização da **influência das condições climáticas** foi satisfatório já que a utilização do EI, por ser um pré-fabricado, minimizou a realização das atividades construtivas no canteiro e, além disso, forneceu condições para o fechamento horizontal e vertical da construção em menores períodos de tempo, quando comparado com a técnica tradicional, reduzindo desta forma a influência climática nas atividades construtivas;
 - o requisito de **manutenibilidade** permitiu a identificação de benefícios tais como a redução do nível de habilidade necessária para execução de manutenção, considerando-se o conjunto formado pelas folhas e trilhos. Ainda a modulação, as tolerâncias e os encaixes simples destas partes forneceram condições adequadas para as atividades de inspeção, reparo e substituição ligadas à manutenção. Contudo identificou-se dificuldades de execução de manutenção nos componentes em GRC, principalmente relacionadas às atividades de substituição, já que necessitam da desconstrução da alvenaria para retirada e troca do Elemento;
 - quanto ao requisito **segurança**, identificou-se que o EI apresenta dimensões e pesos compatíveis para ser manipulado e instalado de forma segura por dois trabalhadores. Ainda pôde-se identificar a adequação aos aspectos de segurança na seqüência construtiva utilizada para a construção com a nova solução. Contudo a instabilidade do EI logo que assentado demonstrou-se como um aspecto que necessita maiores estudos, dado o risco que representa aos operários e demais envolvidos com a construção.
 - considerando a **otimização das técnicas e processos de construção** o desempenho do EI demonstrou-se adequado dadas as características formais, funcionais e conceituais utilizadas no desenvolvimento da proposta, que geram como benefícios a redução da quantidade de trabalho desenvolvido no canteiro e de retrabalhos, com menores perdas de material e de tempo produtivo. A seqüência construtiva utilizada não forneceu condições para ocorrência de danos nas operações seguintes e também para as já concluídas. Apresentando um maior nível de independência e ininterruptão das atividades construtivas, quando comparada com a técnica tradicional de construção e vedação, gerando benefícios ligados à

- repetição de operações, conseqüentemente ganhos quanto à aprendizagem, resultando em melhores índices de produtividade;
- a utilização de **ferramentas computacionais para visualização** da nova solução e suas relações com as partes e para modelagem das sequências construtivas contribuiu para a **identificação das tolerâncias** necessárias entre os diferentes componentes do sistema, antecipando possíveis problemas de interferências físicas e de compatibilidade dimensional entre os componentes e partes. O emprego de ferramentas de visualização contribui consideravelmente para a adequação da solução ao sistema construtivo, visto que permitiu a identificação e solução de relações espaciais não compatíveis, seja nas interfaces ou nos próprios componentes, bem como nos detalhes e especificidades de cada parte do EI, excluindo desta forma a necessidade de construção de diversos protótipos físicos;
 - quanto ao **requisito de adequação, levando em consideração os materiais, produtos, recursos e a mão-de-obra**, verificou-se que estes, utilizados para a construção da alvenaria com a nova solução, assim como as folhas de alumínio, são amplamente utilizados e aceitos pela indústria da construção; apresentam disponibilidade no mercado e são em sua maioria certificados, segundo as normas específicas disponíveis para cada um deles, bem como os métodos construtivos relacionados à este. Contudo a escolha e utilização do GRC necessitou maiores estudos, e sua adequação foi verificada através da seleção técnica realizada com a aplicação da metodologia (AZAMBUJA et al., 2008) e, do ensaio estrutural. Considerando os recursos e a mão-de-obra pôde-se verificar a adequação da nova solução, visto que estes estão disponíveis localmente e demonstram-se apropriados ao nível de habilidade dos operários. Ainda sob este aspecto, o emprego do EI minimizou a utilização de operários especializados, conseqüentemente, reduziu a necessidade de retorno destas, quando comparado ao método tradicional de construção;
 - dentro do requisito de **projeto para a eficiência construtiva** destaca-se a flexibilidade compreendida no Elemento de Integração, já que permite modificações e adaptações em seus moldes, para posterior produção. As mudanças incluíram a utilização de cores diferenciadas, ou a alteração nas faces internas e externas ao ambiente, realizada através da moldagem de elementos decorativos e/ ou adição de elementos funcionais. Outra característica relacionada à flexibilidade do EI relacionou-se à escolha dos materiais constituintes das folhas da esquadria, que pôde ser realizada conforme a necessidade, cultura ou preferência dos envolvidos

com a construção e com a adaptabilidade com relação à utilização de fechamentos temporários ou permanentes nas etapas iniciais de construção.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Com base no que foi coletado, desenvolvido e aplicado neste trabalho, verifica-se a necessidade de que pesquisas futuras sejam realizadas a fim de:

- analisar a construtibilidade a partir da aplicação do EI em construções reais considerando o ambiente autêntico de desenvolvimento das atividades construtivas; real
- propor soluções de conexão que solidarizem o Elemento de Integração à alvenaria estrutural;
- realizar um maior número de ensaios de resistência estrutural em paredes com o elemento de integração, e em cada componente do EI, buscando validar o desempenho da nova proposta de solução;
- avaliar o Elemento considerando os demais requisitos de desempenho considerados no projeto de pesquisa COMPOHIS (FINEP/ HABITARE), tais como: isolamento térmico e acústico, economicidade, estanqueidade, entre outros.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOA. **Linha Master.** Disponível em:
http://www.alcoa.com/brazil/pt/product_info_page_cat.asp?info_page_id=597&cat_id=1470.
Acesso em: 08/10/2010

ALEXANDRE, I. F. **Fissuras em empreendimentos habitacionais de baixa renda executados em alvenaria estrutural: uma análise da relação causa e efeito.** 2008. 171f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

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

ALY, V. L. C.; SABBATINI, F. H. Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto, submetido a esforço de compressão. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.** São Paulo 1994.

AMANCIO, R. C. A. **Identificação de fatores de construtibilidade que influenciam as fases do processo de projeto em pequenos escritórios de arquitetura - estudo de casos em Curitiba (PR).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ANDERSON, S. D.; FISCHER, D. J.; RAHMAN, S. P. Integrating constructability into project development: a process approach. **Journal of Construction Engineering and Management,** v.126, n.2, Março/ Abril 2000. Disponível em:
<http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?120664>. Acesso em: 15/09/2010.

ARDITI, D., ELHASSAN, A., TOKLU, Y.C. Constructability analysis in the design firm. **Journal of Construction Engineering and Management,** v. 128, n. 2, p.117-26, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 6136** - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados concreto. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 10820**: Caixilho para edificação - Janela. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 10821**: Caixilhos para edificações - Janelas. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 10837: NBR 10837** - Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 15270-2** - Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

AZAMBUJA, J. A.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; BONIN, L. C.; MASUERO, J. R.; MORSCH, I. Metodologia para desenvolvimento de produtos em construção civil. (documento interno). 2008. 40f. **In**: Relatório do projeto de pesquisa COMPOHIS. Porto Alegre, 2008.

BACK, N., OGLIARI, A., DIAS, A., SILVA, J. C. da. **Projeto integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BARTH, F.; VEFAGO, L. H. M. Fachadas pré-fabricadas de GRC. **Revista Vitruvius**, arqtexto 092, 2008.

BEITZ, W. Design science--the need for a scientific basis for engineering design methodology. **Journal of Engineering Design**, v. 5 (2), 1994.

BJÖRNFOT, A., STEHN, L. Industrialization of Construction - a lean modular approach. **In**: Annual Conference in the Internacional group of lean construction, XXII, Copenhagen, Dinamarca, 2004. Disponível em: http://www.iglc2004.dk/_root/media/13097_098-bjorenfot-stehn-final.pdf. Acesso em: 18/09/2010.

BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. **Product desing for assembly**. Boothroyd Dewhurst Inc. Wakefield, mar. 1991.

BOUCLAGHEM, D., SHANG, H., WHYTE, J., GANAH, A. Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). **Journal Automation in construction**, v. 14 , n. , p. 287- 295, 2005.

BRITO, J. **Retroalimentação do processo de desenvolvimento de empreendimentos de habitação de interesse social a partir de reclamações de usuários: estudo no programa de arrendamento residencial.** 2009. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais : uma introdução.** Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CAMPOS, M. H. A. C.; TEIXEIRA, J. M. C. Análise de um modelo para a gestão da construtibilidade em projetos de edifícios para escolas do ensino superior em Portugal. **In:** CONGRESSO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 3., 2007, Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra, 2007.

CERVO, A.L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica.** 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CÉSAR, C. G. Desenvolvimento de um processo construtivo racionalizado: painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. **In:** ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. (Org.). Inovação tecnológica na Construção Habitacional. 1 ed. Porto Alegre: Luis Carlos Bonin e Sergio Roberto Leusin de Amorim, 2006, v. 6.

CHEDIER, P. M., NAVEIRO, R.M. A contribuição do projeto orientado à montagem para a melhoria da eficiência produtiva. **In:** ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XIX, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 1999.

CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT (CIB). **Working With the Performance Approach in Building.** Rotterdam: CIB, 1982.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Constructability: A Primer.** Universidade do Texas em Austin, Austin, jul. 2., 1986.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Constructability Concepts File.** Universidade do Texas em Austin, Austin, ago. 2., 1987.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII). **Preview of Constructability Implementation.** Austin, Texas, 1993.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII). **Prefabrication, preassembly, modularization, an offsite fabrication in industrial construction: A framework for decision-making.** Austin, Texas, 2002.

CROWLEY, A. Construction as a manufacturing process: Lessons from the automotive industry. **In: Computers and Structures**, Vol. 67,p. 389-400, 1998

CROWTHER, P. Design for Buildability and the Deconstruction Consequences. **In: CIB Task Group 39 - Deconstruction**, Annual Meeting, Karlsruhe, Germany, abr. 2002.

EASTERBY-SMITH, M.; THORPE, R.; LOWE, A. **Management Research: An Introduction**. London, Sage, 1991.

FERREIRA, J.; BRANCO, F. Construção de elementos estruturais em GRC. **Disponível em:**http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/Mestr_Estr/NovosMateriais/apontamentos/teorica/GRC%20-%20Construcao%20de%20elementos%20estruturais%20em%20GRC.pdf. Acesso em 21/09/2010

FISCHER, D. J.; ANDERSON, S. D.; RAHMAN, S. P. Integrating constructability tools into constructability review process. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.126, n.2, Março/ Abril 2000. ASCE (2000b). Disponível em: <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?120665>. Acesso em: 18/09/2010.

FRANCO, L. S. RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA, INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E PESQUISAS. **In: Curso de Formação em Mutirão**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Déficit habitacional no Brasil 2008. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. - Brasília, 2008. 98p. **Disponível em** <<http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/secretaria-de-habitacao/biblioteca/publicacoes-e-artigos/Deficit%20-%202006%2006-05-2008.pdf>> Acessado em 23/01/2009

GANAH A., BOUCLAGHEM N. M., ANUMBA C. J. VISCON: Computer Visualisation Support for Constructability. **Information Technology in Construction (ITCon)**, vol. 10, , 2005, pp 69-83. Disponível em: http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2005_7. Acesso em: 17/09/2010

GANAH, A., ANUMBA, C.J., BOUCLAGHEM, N. M. A survey on the use of visualization tools to communicate buildability information. **In: Annual Conference of construction, building and real state research (COBRA)**, 2001. Disponível em: http://www.rics.org/site/download_feed.aspx?fileID=1842&fileExtension=PDF. Acesso em: 17/09/2010.

GIBB, A. G. F. **Off-site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation.** 288 pag., out. 1999.

GLAVINICH, T.E. Improving constructability during design phase. **Journal of Architectural Engineering**, v. 1, n.2, p.73-6, jun. 1995.

GONÇALVES, O.M.; JOHN, V.M.; PICCHI, F.A.; SATO, N.M.N; (2003) Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações. **In: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. (Org.). Normalização e certificação na construção ambiental.** 1 ed. Porto Alegre: Humberto Roman e Luis Carlos Bonin, 2003, v. 3, p. 42-53.

GRIFFITH, A., SIDWELL, A.C. Development of constructability concepts, principles and practices. **Journal of Engineering, Construction and Architectural Management**, vol 4, n. 4, p. 295-310, 1997.

GROSS, J. G. Developments in the application of the performance concept in building. **In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL CIB- ASTM- RILEM, 3., 1996, Tel Aviv, Israel. Anais...** Haifa: National Building Research Institute, 1996. v.1, p.1-11.

HAAS, C.T., O'CONNOR, J.T., TUCKER, R.L., EICKMANN, J.A FAGERLUND.W. R. **Prefabrication and Preassembly Trends and Effects on the Construction Workforce.** Center for Construction Industry Studies, Report No. 10, University of Texas at Austin, 2000

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. **Design Science in Information Systems Research.** MIS Quarterly, v.28, n.1, p.75- 105, mar., 2004

HILEY, A., KHAIDZIR, K.A. "The future role of architects", RICS online, 1999. **Disponível em:** www.rics.org/NR/rdonlyres/701D1F69-1081-48CD-A758-A370F9FFCA2/0/thefurtureroleofarchitects_19990101.pdf.

HINO, M. K.; MELHADO, S. B.; Melhoria da qualidade do projeto de empreendimentos habitacionais de interesse social utilizando o conceito de desempenho. **In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS - SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO, 1., 1998, São Paulo. Anais...** São Paulo: EPUSP, 1998. p. 485-491.

HOLANDA JR., O. G. **Influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural.** 2002. 224f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

JERGEAS, G.; VAN DER PUT, J. Benefits of constructability on construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 127, n. 4, p. 281-289, 2001.

JOAQUIM, M. M. **Flexão e flexo-compressão em elementos de alvenaria estrutural**. 1999. 194f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

KASANEN, E; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The constructive approach in management accounting. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, p. 243-264, 1993.

KEKALE, T. Construction and triangulation: weapon for attempts to create and test theory. **Management Decision**, v.39 (7), p. 556-563, 2001.

KISS, P. Contramarcos de janelas. **Revista equipe de obra**, v. 19, set./out. 2008.

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, pp. 457 - 479, jul. 2006.

LAM, P. T. I.; WONG, F. K. W.; WONG, F. W. H. Building features and site-specific factors affecting buildability in Hong Kong. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 5, n.2, pp. 129 - 147, 2007.

LAMEIRAS, R.M. **Contribuição ao Estudo das Propriedades dos Materiais Cimentícios Reforçados com Fibras de Vidro (Glass Fibre Reinforced Cement - GRC)**. 2007. 255f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

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

LOW, S.P. Quantifying the relationships between buildability, structural quality and productivity in construction. **Structural Survey**, vol 19, n.2, pp. 106-112, 2001.

LUKKA, K. The constructive research approach. In: Ojala, L. & Hilmola, O-P. (eds.) Case study research in logistics. Turku School of Economics and Business Administration, Series B1: 2003, p.83-101.

MAGALHÃES, E. F. de. **Fissuras em alvenarias: configurações típicas e levantamento de incidências no Estado do Rio Grande do Sul**. 2004. 180f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MAMEDE, F.C.; CORRÊA, M.R.S. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural**. Cadernos de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. 3 ed. São Paulo: Atlas, , 2000.

MASSETTO, L. T.; HAITO, R. O.; BERNARDES, M.; SABBATINI, F. H.; BARROS, M. B. Análise do mercado de esquadrias no Brasil baseada em aspectos de desempenho. **In: ENCONTRO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC)**, 12., 2008, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ANTAC, 2008. 1CD ROM.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: Produção de componentes e parâmetros de projeto. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. São Paulo 1993.

MESQUITA, M. J. de M. **Subsídios para o planejamento da qualidade em edifícios do segmento hoteleiro**. Tese (Doutorado em Engenharia de construção civil e urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006)

MITIDIARI FILHO, C. V; HELENE, P. R. L. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações**. Proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. São Paulo: EPUSP, 1998.

MOCH, T. **Estudo da interface janela/ alvenaria: proposta de componente de conectividade**. 2009. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

NASCIMENTO, L.A; SANTOS, E.T. A indústria da construção na era da informação. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), v. 3, n. 1, p. 69-81, 2003.

NIELSEN, J.; HANSEN, E. J. P.; AAGAARD, N. J. Buildability as tool for optimisation of building defects. 2009. **In: CIB JOINT INTERNATIONAL SYMPOSIUM**, Dubrovnik, Croácia. Disponível em: http://vbn.aau.dk/files/18418353/Buildability_as_a_tool.pdf. Acesso em: 17/09/2010

NIMA, M. A.; ABDUL-KADIR, M. R.; JAAFAR, M. S. Evaluation of the role of the contractor's personnel in enhancing the project constructability. **Structural Survey**, v.19, n.4. 2001.

Disponível em:
[Http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=844759&show=abstract](http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=844759&show=abstract). Acesso em:
 17/09/2010

NIMA, M.A.; ABDUL-KADIR, M. R.; JAAFAR, M. S. Evaluation of the engineer's personnel's role in enhancing the project constructability. **Facilities** , v. 17, n. 11, p. 423-430, 1999. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=844235&show=html>. Acesso: 24/09/2010.

O'CONNOR, J. T.; DAVIS, V. S. Constructability improvement during field operations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.114, n.4, p.548-64, Dec., 1988

O'CONNOR, J. T; MILLER, S. J. Barriers to Constructability Implementation. **Performance of Constructed Facilities**, Vol. 8, No. 2, May 1994, p. 110-128.

O'CONNOR, J. T., RUSCH, S. E., SCHULZ, M. J. Constructability Concepts for engineering and procurement. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.113, n.2, p.235-48, Jun., 1987.

O'CONNOR, J. T., TUCKER, R. L. Industrial project constructability improvement. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 1, p.69-81, Mar., 1986.

OLIVEIRA, T. Beirada Seca. **Revista Técnica**. Ed. 137, ago. 2008. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/137/beirada-seca-pingadeira-e-opcao-mais-eficiente-para-afastar-98815-1.asp>. Acesso em: 18/09/2010.

PAIVA, L.H.G. **Desenvolvimento de pacote instrucional na área de influencia do projeto no processo construtivo: conceito de construtividade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

PANUWATWANICH, K.; STEWART, R. A.; MOHAMED S. Critical pathways to enhanced innovation diffusion and business performance in Australian design firms. **Automation in Construction**, v.18, março, 2009, p. 790-797.

PENTEADO, A.F. **Gestão da produção do sistema construtivo em alvenaria estrutural**. 2003. 212f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PHENG, L. S.; ABEYEGOONASEKERA, B. Integrating buildability in ISO 9000 quality management systems: case study of a condominium project. **Building and Environment**, vol.36, p. 299 -312, 2001.

POYASTRO, P. C. **Comparação entre blocos cerâmicos e em concreto, quanto a custo e produtividade, quando utilizados em alvenaria estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PULASKI, M.; HEWITT, C.; HORMAN, M.; GUY, B. Design for deconstruction. **Modern Steel Construction**. Jun., 2004.

PULTRUSÃO DO BRASIL: Disponível em:
<http://www.pultrusao.com.br/senso/index.php/site/>. Acesso em: 08/10/2010

QUINALIA, E. Instalação de caixilhos de alumínio. **Revista Equipe de obra**, ed. 26, nov./dez. 2009.

REGATTIERI, C. E; SILVA, L. L. R. **Ganhos potenciais na utilização da argamassa industrializada**. Associação Brasileira de Argamassas Industrializadas. Disponível em:
<http://www.abai.org.br/images/ganhos%20potenciais.pdf>. Acesso em 20/09/2010.

RIBAS, L. C.; CARVALHO JUNIOR, A. N. Ganhos no potencial produtivo através da substituição de argamassa de revestimento rodada em obra por industrializada em sacos. **In: XXVII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Foz do Iguaçu, 2007.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade**. 2007. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007

ROCKENBACH. Tecnologias em pré-fabricados. Disponível em:
http://www.rockenbach.ind.br/page_1127315769890.html. Acesso em: 18/09/2010.

RODRIGUES, M. B. **Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RODRIGUEZ, M. A. A.; HEINECK, L. F. M. A construtibilidade no processo de projeto de edificações. **In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia na Construção**, III, 2003, São

Carlos. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/sap/projetar/files/A020.pdf>. Acesso em: 18/09/2010.

ROMME, A. G. L. Making a difference: Organization as design. **Organization Science**, v. 14, n. 5, set/ out. 2003, pp. 558-573

RUSSELL, J. S.; GUGEL, J. G.; RADTKE, M. W. Comparative Analysis of Three Constructability Approaches. **Construction Engineering and Management**, Vol. 120, No. 1, March 1994, pp. 180-195.

SABBATINI, F. H. **O Processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984.

SABBATINI, F. H. **Alvenaria estrutural: materiais, execução da estrutura e controle tecnológico: requisitos e critérios mínimos a serem adotados para solicitação de financiamento de edifícios em alvenaria estrutural junto à Caixa Econômica Federal**. Caixa Econômica Federal, março, 2003.

SAFFARO, F. A., SANTOS, D. G., HEINECK, L. F. Uma proposta para a classificação de decisões voltadas a melhoria da construtibilidade. **In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXIV, 2004, Florianópolis**. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0502_0176.pdf. Acesso em: 16/09/2010.

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, João Pessoa. Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2009**.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. Understanding research philosophies and approaches. **In: SAUNDERS, M. Research Methods for Business Students. 4 ed. Prentice Hall, 2006**.

SAURIN, T. A. Diretrizes para integração da segurança no trabalho ao processo de desenvolvimento de produto na construção civil. **In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXIV, 2004, Florianópolis, nov. 2004**

SAURIN, T. A. Segurança no trabalho e desenvolvimento de produto: diretrizes para integração na construção civil. **Revista Produção**, v. 15, n. 1, p. 127-141, jan. a abr. 2005.

SCUR, A. R. **Aplicação do design for assembly (DFA) no desenvolvimento do projeto conceitual de um dispositivo funcional.** Dissertação (Mestrado em Design) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, V. G.; JOHN, V. M. Painéis em cimento reforçado com Fibras de Vidro. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.** Departamento de Engenharia de Construção Civil. 1998. 24p.

TATUM, C. B. Improving Constructability During Conceptual Planning. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 113, n. 2, p. 191-207, jun. 1987.

TATUM, C. B., VANEGAS, J. A.; WILLIAMS, J. M. **Constructability Improvement Using Prefabrication, Preassembly, and Modularization.** Construction Industry Institute, The University of Texas at Austin, 1987.

TÉCHNE. Reportagem Melhores Práticas, Instalação de caixilhos de alumínio. **Revista Técnica**, ed. 155, fev.2010.

TINDIWENSI, D. Integration of Buildability Issues in Construction Projects in Developing Economies. **In: Conferência Internacional da construção de países em desenvolvimento**, II, nov., 2000. Disponível em: http://buildnet.csir.co.za/cdcproc/docs/2nd/tindiwensi_d.pdf. Acesso em 19/09/2010.

TRIGUNARSYAH, B. Constructability Practices among Construction Contractors in Indonesia. **Construction Engineering and Management**, Vol. 130, No. 5, September/October 2004, pp. 656-669

ULRICH, K.T., EPPINGER, S.D. **Product design and development.** 2nd ed. London: McGraw-Hill, 2000.

ZECHMEISTER, D. **Estudo para a padronização das dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil através do uso da coordenação modular.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ZIN, R. M. **Design phase constructability assessment model.** Tese (Doutorado 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 em:

[http://eprints.utm.my/782/1/CT_13\[1\]._Design_Phase_Constructability._Rosli.pdf](http://eprints.utm.my/782/1/CT_13[1]._Design_Phase_Constructability._Rosli.pdf). Acesso em: 16/09/2010.

WONG, F.W.H., LAM, P.T.I., CHAN, E.H.W., SHEN, L.Y.(a) A study of measures to improve constructability. **International Journal of Quality and Reliability Management**. v.24, n.6, pp.586- 601, Fev., 2006.

WONG, W.H., LAM, T.I., CHAN, H.W.; WONG, K.W. (b) Factors Affecting Buildability of Building Designs. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 33, p. 795-806, 2006.

YIN, R.K. **Case study research: design and methods**. Londres, Sage, 1994. Applied Social Research Methods Series, v.5.

ANEXO I

Metodologia para o desenvolvimento de produtos em construção civil

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS)
NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO (NORIE)**

APÊNDICE 2

RELATÓRIO DE PESQUISA

PROJETO DE PESQUISA – COMPOHIS

META D – Metodologia para o desenvolvimento de produtos em construção civil

Chamada pública: MCT / FINEP / FNDCT / CAIXA - HABITARE - 01/2006.

Porto Alegre
Setembro de 2008

1 INTRODUÇÃO

1.1 Inserção do presente trabalho

O presente trabalho é parte integrante do estudo sobre o desenvolvimento de componente para a racionalização da alvenaria modular que está sendo desenvolvido no NORIE. Mais especificamente, ele busca contemplar parcialmente os tópicos definidos na meta 4 daquele estudo.

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia que possibilite o desenvolvimento de soluções para questões envolvendo problemas de alvenaria modular. A apresentação da metodologia será complementada e exemplificada com o desenvolvimento de uma solução para os problemas envolvendo a alvenaria estrutural, solução esta que deve ser considerada como sujeita a aprimoramentos e modificações. Além disto, tal solução é entendida exclusivamente no âmbito de tecnologias construtivas (sem a participação de aspectos gerenciais), com o desenvolvimento de elementos que auxiliem na execução da alvenaria, bem como na sua interface com outros elementos do subsistema “fachadas e paredes internas” e com outros subsistemas.

1.3 Componentes do trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos, além desta introdução: Descrição do Problema, Sistema do Elemento Construtivo, Sistema Projeto do Elemento Construtivo, Seleção de Materiais, Seleção de Geometrias e Avaliação da Solução.

2 DEFINIÇÕES

2.1 Forma de trabalho

A metodologia desenvolvida permite que sua aplicação seja feita por uma pessoa ou por um grupo de pessoas. Entretanto, algumas etapas são claramente beneficiadas por um trabalho coletivo, enquanto outras poderão ser levadas a contento por um trabalho individual. A distinção qualitativa entre estes dois tipos de atividade decorre da necessidade de gerar consenso sobre alguns pontos cruciais do processo. Nestes pontos, tais como a criação de critérios de avaliação ou a definição de funções a serem desempenhadas pela solução desenvolvida, ganham enormemente com o trabalho coletivo, mormente se forem utilizadas algumas técnicas tais como o painel de especialistas ou algum outro método de busca de consenso, como o método Delphi. A elaboração destas etapas através destes métodos traz uma grande dose de consistência ao trabalho. Em outras etapas, o processo adquire um caráter mais mecânico, de aplicação das definições estabelecidas nas etapas cruciais. Nestes casos, o trabalho individual não traz prejuízo ao resultado.

Para facilidade de entendimento, serão identificadas as etapas que se beneficiam com o trabalho coletivo, à medida que a metodologia for sendo descrita. Quando nada for mencionado, ficará subentendido que a atividade em foco poderá ser conduzida individualmente, o que o leitor facilmente também poderá identificar.

2.2 Adequação às normas

Esta metodologia segue, sempre que não houver prejuízo de entendimento de conceitos, a nomenclatura das normas brasileiras. Isto implica que a classificação das exigências dos usuários, conforme apresentadas na norma CE 02.136.01, será adotada. Tais exigências têm, na literatura específica de design, uma conotação distinta, focada no artefato que está sendo desenvolvido. Por isso, muitas vezes é utilizado o conceito de função do artefato ao invés de exigência do usuário. Além disto, na literatura específica de engenharia, o termo carga ou demanda é utilizado, novamente referindo-se a uma condição à qual o artefato é submetido. Esta diferença de foco – no usuário ou no artefato – não deverá causar embaraço no entendimento das questões. Entretanto, em alguns momentos, para fluidez da idéia apresentada, algum destes termos poderá ser utilizado. Quando este for o caso, o leitor não deverá entender o uso destes termos alternativos como uma perda de rigor do trabalho, mas como um esforço de torná-lo mais inteligível.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

3.1 Abordagem do problema

Sob o ponto de vista metodológico, todo o processo de desenvolvimento de soluções deve iniciar pela correta definição do problema a ser solucionado. Esta definição requer que sejam compreendidas não somente as necessidades iniciais, chamadas de problema aparente, que levaram à busca de uma solução, mas também as relações de causa e efeito dos eventos envolvidos. Este mapeamento permitirá que seja selecionado e definido como problema o evento ou grupo de eventos cuja abordagem é a mais vantajosa do ponto de vista de quem elabora a solução. Frequentemente ocorre que a necessidade inicial que motivou a busca de soluções não coincide com o evento selecionado. A partir deste ponto, são encaminhadas as possibilidades de solução e definida uma destas possibilidades. O esquema geral pode ser visto na figura 1.

3.2 Problema aparente

O problema aparente é o iniciador, o desencadeador de uma busca por soluções. É a situação visível, aquela que gera insatisfação. No caso presente, o problema aparente refere-se às fissuras que comumente ocorrem em paredes de alvenaria estrutural no entorno das aberturas. Estas fissuras surgem por diversas causas e conjuntos de causas (ALEXANDRE, I., 2008), cuja descrição detalhada não é necessária neste momento. Este problema aparente gera também diversas conseqüências, dentre elas o comprometimento estético da edificação, a fragilidade estrutural da alvenaria e a perda de estanqueidade em relação às intempéries. Desde um ponto de vista lógico, é vantajoso buscar uma causa que seja necessária, embora não obrigatoriamente suficiente, para os diversos tipos de fissuras. Se tal causa for encontrada, torna-se uma candidata natural para ser considerada o problema real a ser analisado.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

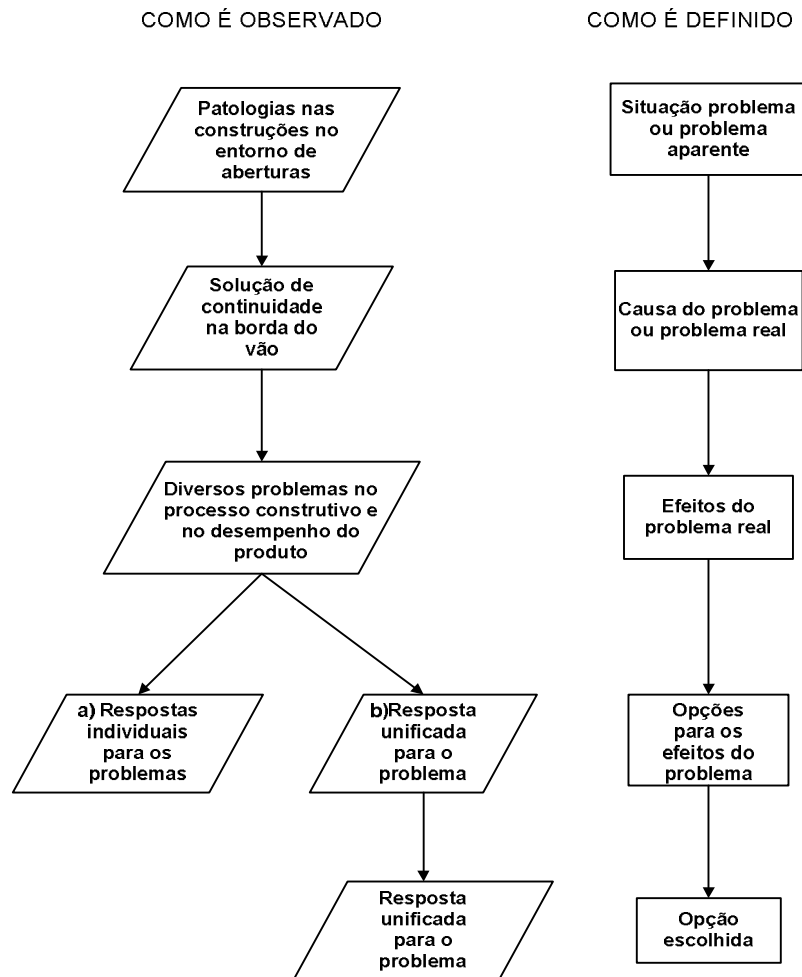


Figura 1 – Descrição do problema

3.3 Problema real

Metodologicamente é importante definir o problema real como sendo aquele que trará a melhor relação entre o esforço de resolução e a amplitude de efeitos desejados. Ou seja, busca-se minimizar o esforço e maximizar os efeitos desejados. Para que isto seja obtido, é necessário analisar a árvore de causas (relações de causa e efeito), também chamado de diagrama de causas, e buscar este evento. Caracteristicamente, ele aparece como uma causa necessária, mas não suficiente de um número relativamente grande de eventos.

Neste caso específico, um bom candidato a problema real é o evento comum a todos os conjuntos de causas de fissuras: a solução de continuidade da alvenaria na fronteira com a esquadria, isto, na borda do vão. De fato, os problemas têm em comum o fato de que a alvenaria, ao sofrer descontinuidade para a inserção da esquadria, desencadeia diversas situações específicas que não ocorrem no meio da alvenaria, ou seja, em um ponto em que

a alvenaria é contínua. Além disto, eleger este evento como problema real traz a vantagem de permitir que todas as questões envolvidas no processo de inserção de esquadrias possam ser abordadas de forma integrada.

3.4 Conseqüências do problema real

Uma vez definido o problema real, é necessário relacionar todos seus desdobramentos, que são suas conseqüências. Ou seja, é necessário construir novamente a árvore de causas, tendo agora como ponto de partida não o problema aparente, mas o problema real. Tendo sido escolhida a solução de continuidade da alvenaria na borda do vão como sendo este problema, suas conseqüências abrangem, de uma forma ampla, todas as funções desempenhadas pela alvenaria e pela esquadria. Referem-se, portanto, a todos os requisitos de desempenho do subsistema definido pela norma brasileira como “fachadas e paredes internas” (ABNT, 2008). Evidentemente, é necessário que seja feita uma seleção dos requisitos pertinentes ao caso em foco. Esta visão ampla de como pode ser estruturado o problema real desemboca em duas alternativas de abordagem de solução.

3.5 Alternativas de abordagem de solução

As duas alternativas de abordagem para a solução do problema real são: a) respostas individuais e isoladas para os problemas decorrentes da solução de continuidade e b) resposta integrada para os mesmos problemas. A opção a) é a que está sendo utilizada atualmente, ou seja, os problemas de desempenho decorrentes do problema real definido são tratados de forma isolada e fragmentada. A opção b) é inovadora, pois busca criar uma única solução que consiga lidar com todos estes problemas.

3.6 Alternativa adotada

Dois motivos tornam a opção integrada interessante: primeiro, a opção a) vem sendo utilizada por tempo considerável, sem que tenha havido a adoção de um grupo de soluções individuais de forma definitiva; segundo, a opção integrada, por incorporar um número maior de funções, tem alto valor agregado, permitindo que possa ser oferecida uma solução com maior qualidade de materiais e fabricação. Pelo exposto acima, a solução integrada será escolhida para ser desenvolvida de acordo com a metodologia apresentada neste trabalho.

4 SISTEMA ELEMENTO DE CONEXÃO (EC)

A metodologia desenvolvida requer, em uma segunda etapa, que, uma vez definido o problema e a maneira de abordá-lo, o foco do trabalho passe a ser a solução a ser desenvolvida. Primeiramente, é necessário definir as questões mais abrangentes, quais sejam, os aspectos envolvidos e a compreensão sistêmica da solução e seu entorno. A solução integrada será chamada de Elemento de Conexão – ou simplesmente EC. Como foi mencionado anteriormente, este elemento deverá reunir o maior número possível de funções, atendendo diversos aspectos envolvidos que estão interligados. Após a análise destes aspectos, será formatado o Sistema EC, que definirá quais aspectos estão dentro do sistema e, portanto, são variáveis de trabalho; e quais aspectos estão fora do sistema, sendo então considerados como condições do meio.

4.1 Aspectos envolvidos

Esta etapa será conduzida com maior proveito se for executada por um grupo de pessoas, preferencialmente especialistas. Os aspectos principais envolvidos no desenvolvimento do EC que foram detectados pelo grupo do NORIE são: As funções a serem desempenhadas, a qualidade do projeto da solução (considerada aqui de forma genérica, sem especificação de dimensões), a qualidade da execução dos elementos, a qualidade dos materiais empregados, a eficiência da produção (ou visto de forma reversa, seus gargalos e ineficiências), o custo inicial do EC, o custo de manutenção do EC e, finalmente, o desempenho da solução adotada. Evidentemente, esta lista poderá ser expandida e modificada. A forma adotada pela metodologia para compreender a relação entre os aspectos descritos é a criação de um Diagrama de Influências, que traz elementos da Análise Dinâmica (as vinculações entre os aspectos, com efeitos positivos e negativos) e dos Diagramas de Influência (o conceito de influências acíclicas, em um sistema de circuito aberto). A elaboração deste diagrama de influências é importante porque auxilia no entendimento das relações entre os aspectos envolvidos e servirá de um auxiliar de análise e decisão ao longo do processo de desenvolvimento do EC. O Diagrama de Influências desenvolvido é apresentado na figura 2. Neste diagrama é importante identificar quais os aspectos que são geradores de influência e quais são os receptores de influência. Eles são identificados pelo tipo de relação que estabelecem com outros aspectos: os geradores são o ponto de partida das setas de relação e os receptores são a chegada destas setas. Em alguns casos, o aspecto pode ser tanto gerador quanto receptor. Tais casos, quando ocorrem, devem ser considerados receptores. No diagrama, é possível identificar quatro aspectos geradores: número de funções, qualidade do projeto, qualidade da execução e qualidade dos materiais. Isto significa que estes aspectos deverão ser incorporados ao sistema EC, pois são aqueles aspectos de devem ser utilizados para conformar o projeto. Os outros quatro aspectos – ineficiências de produção, custo inicial, custo de manutenção e desempenho – são aspectos receptores, ou seja, não são diretamente incorporados ao projeto para serem trabalhados. Eles servirão como verificadores da eficácia da solução desenvolvida. Esta verificação será realizada através da definição dos critérios vinculados aos aspectos receptores, como será visto mais à frente.

4.2 Descrição do Sistema

Após a construção do diagrama de influências, a metodologia desenvolvida propõe a formulação do Sistema EC. Este sistema será estruturado tendo como base os aspectos do diagrama de influências, de acordo com suas funções já identificadas. Mais precisamente, os aspectos geradores terão caráter de atividades do sistema (representadas por retângulos) e os aspectos receptores terão caráter de portais de decisão (representados por losangos). A figura 3 mostra o sistema estruturado. Evidentemente, não existe uma correspondência perfeita entre o diagrama de influências e a representação do sistema, porque algumas informações podem ser adicionadas ao sistema para aprimorá-lo. Por exemplo, abaixo da atividade de desenvolvimento da função foi inserida uma decisão para verificar se a solução desenvolvida contempla as funções definidas anteriormente. Não há sentido em colocar tal informação no diagrama de influências, mas ela é importante no sistema.

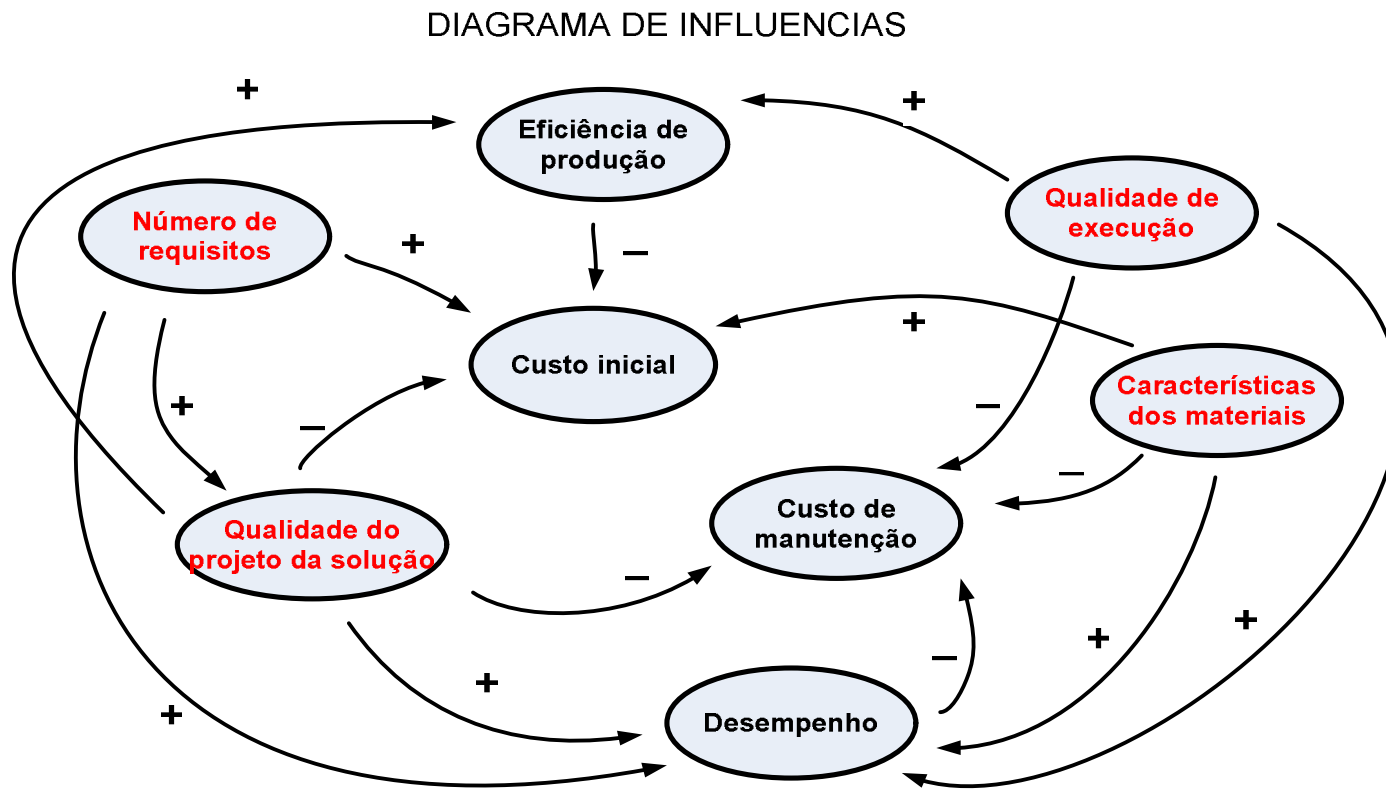


Figura 2 – Diagrama de influências

SISTEMA ELEMENTO DE CONEXÃO

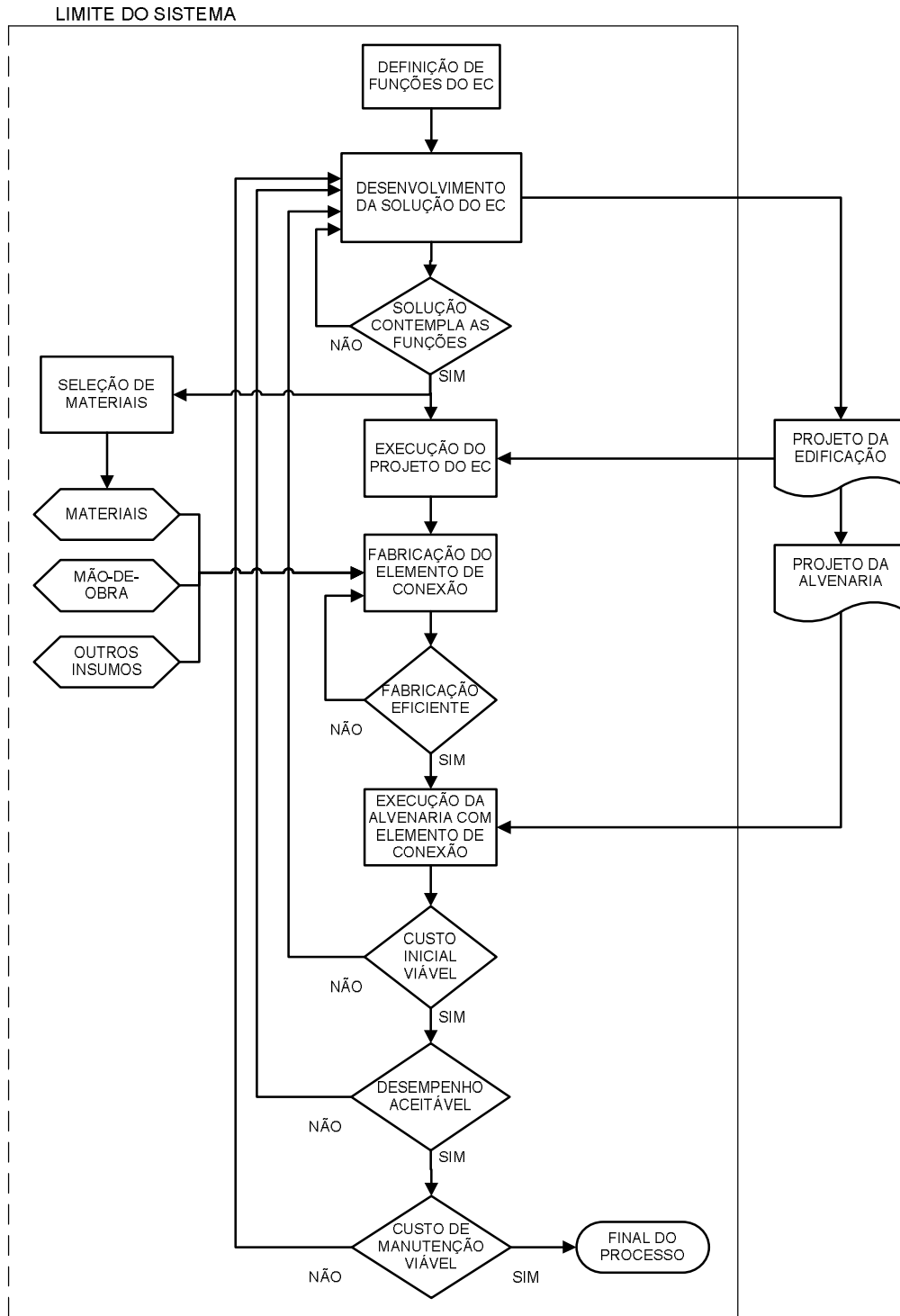


Figura 3 – Sistema Elemento de Conexão (EC)

5 DEFINIÇÃO DE REQUISITOS DOS USUÁRIOS

A construtibilidade como requisito de avaliação de componentes para a edificação: o caso do Elemento de Integração alvenaria/ esquadria

Uma vez definido com clareza o sistema do Elemento de Conexão, é necessário focar em cada uma de suas atividades de modo mais detalhado. As duas primeiras são: definição de requisitos dos usuários e desenvolvimento da solução. De acordo com Ashby, o projeto de um artefato é função de três variáveis: carga (ou demanda), material⁶ (ou substância) e forma (ASHBY, 2004). Entretanto, a carga normalmente não é uma variável à disposição do projetista, mas um dado do projeto, que deve ser definido aprioristicamente. Portanto, ele não pode alterá-la. Isto é, uma vez definido o requisito ou requisitos dos usuários que devem ser atendidos pelo artefato, as cargas são decorrentes destes requisitos, de acordo com definições de desempenho fornecidas pelas normas. Deste modo, as únicas duas variáveis à disposição do projetista são material e forma.

A norma CIB sugere diversos métodos para a definição das necessidades do projeto. Entre eles, dois são particularmente importantes para esta metodologia. O primeiro utiliza o conceito de funcionalidade e baseia-se na definição de uma função ou funções do artefato. O segundo utiliza o conceito de requerimentos dos usuários. O conceito de requerimento utilizado pelo CIB é substancialmente diferente daquele fornecido pela norma brasileira NBR 15575-1. No primeiro, usuário é todo aquele que, de alguma maneira, interage com a edificação. Na norma brasileira, usuário é apenas o usuário final da edificação. Também é importante estabelecer diferenças semânticas entre os termos “função” e “requerimentos dos usuários”. Uma função refere-se a qualquer responsabilidade que possa ser identificada com o artefato, quer seja ele um componente, elemento ou subsistema em qualquer momento do ciclo de vida da edificação. Isto significa, por exemplo, que uma determinada função pode ser exercida durante sua construção, enquanto outra função pode ser exercida somente após a demolição. Além disto, como a função refere-se ao artefato, não é relevante se o beneficiário é o construtor, o usuário final ou uma terceira parte. Já uma exigência do usuário, por definição, refere-se àquele que utiliza a edificação. E tal exigência pode ser atendida durante qualquer momento em todo o ciclo de vida da edificação. Considerando que o termo “requerimento do usuário” é um termo consolidado e que um grande número de funções pode ser identificada com requerimentos com critérios claramente definidos em norma, este estudo retém o conceito de requerimento. Entretanto, este conceito terá o uso ampliado fornecido pelo CIB (CIB, 1982), através de duas definições: a) serão considerados usuários todos aqueles que, de alguma maneira, interagirem com o artefato a ser desenvolvido; b) algumas funções serão específicas e não encontrarão critérios equivalentes em normas de requerimentos. Nestes casos, tais critérios deverão ser desenvolvidos e aprovados por um painel de especialistas.

Na presente metodologia, o processo de desenvolvimento de uma solução inicia-se com a definição de funções ou atribuições do artefato EC, passando-se então ao projeto propriamente dito.

5.1 Exigências do usuário

A utilização do termo “exigências do usuário” decorre do seu emprego na norma, conforme explicado anteriormente. A definição de quais exigências deverão ser contempladas na elaboração deste projeto foi elaborada por um grupo de especialistas. Deste modo, a seleção terá maior qualidade. Tais exigências poderão constar em norma e, neste caso, os critérios de atendimento da exigência também serão adotados.

⁶ O termo material é normalmente utilizado para designar a matéria sem uma forma específica. Esta matéria pode ser uma substância ou uma mistura de substâncias, com um mínimo de homogeneidade que garanta a presença de algumas características. O termo é empregado em diversas áreas e é o termo de referência para projetistas. Na norma brasileira, o termo material significa “produto natural ou transformado que não tem nem função nem uso pré-determinado na construção (aglomerantes, agregados, madeira serrada, etc.)” (ABNT, 2008).

De acordo com a norma brasileira, as exigências dos usuários são classificadas em três grandes grupos: segurança, habitabilidade e sustentabilidade (ABNT, 2008). Cada item destes grupos é dividido em requisitos específicos. Para fins deste trabalho, serão consideradas como exigências pertinentes todas as que estão listadas na norma brasileira, exceto a de conforto lumínico. A tabela 1 apresenta as exigências segundo a norma NBR 15575-1, acrescidas dos grupos de construtibilidade e economicidade.

As exigências e os requisitos apresentados na Tabela Geral de Requisitos (tabela 1) formam uma lista inclusiva, mas alguns requisitos necessitam de um nível maior de especificidade. Esta especificidade será fornecida através de funções, descritas na Tabela de Requisitos Específicos (tabela 2). Estas funções são importantes para que o projeto do EC ganhe em qualidade e especificidade.

5.1.1 Requisitos adotados neste trabalho

Para a presente apresentação da metodologia, será feita uma simplificação dos requisitos apresentados, de forma a reduzir o volume de dados a serem trabalhados. A escolha de requisitos seguiu um critério de representatividade. Assim, foram selecionados requisitos de diversos grupos e dos três níveis de especificação. Os que foram selecionados e que serão utilizados até o final deste trabalho são: Estabilidade do vão, Resolução de fissuras, Barreira às intempéries, Isolamento térmico, Isolamento Acústico, Absorção de dilatação térmica, Absorção de variações dimensionais, Acabamento interno, Acabamento externo, Gabarito do vão, Fixação da esquadria e Ajuste dimensional. Como é possível perceber pela nomenclatura adotada, tais requisitos tomam o caráter de funções, aplicáveis ao artefato.

Tabela 1 – Tabela geral de requisitos

GRUPO	EXIGÊNCIA	REQUISITO*
Segurança	Segurança estrutural	<ul style="list-style-type: none"> Estabilidade e resistência estrutural Rigidez e integridade física (fissuras) Resistência ao impacto de corpo duro e corpo mole
	Segurança contra o fogo	<ul style="list-style-type: none"> Inflamabilidade Emissão de gases de combustão
	Segurança no uso e na operação	<ul style="list-style-type: none"> Segurança em uso e operação do EC
Habitabilidade	Estanqueidade	<ul style="list-style-type: none"> Infiltração de água Umidade
	Desempenho térmico	<ul style="list-style-type: none"> Transmitância térmica
	Desempenho acústico	<ul style="list-style-type: none"> Isolação acústica
	Saúde, higiene e qualidade do ar	<ul style="list-style-type: none"> Higienização Indisponibilidade a organismos patogênicos
	Funcionalidade e acessibilidade	<ul style="list-style-type: none"> Funcionalidade em uso Absorção de dilatação térmica
	Conforto tátil e antropodinâmico	<ul style="list-style-type: none"> Condicionamento superficial Conforto e segurança tátil Conforto termo-tátil
Sustentabilidade	Durabilidade	<ul style="list-style-type: none"> Durabilidade em uso normal

	Manutenibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Acessibilidade • Intercambiabilidade
	Impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Biodegradabilidade em ambiente hostil • Incorporação de energia • Reciclabilidade
Construtibilidade	Trabalhabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Moldabilidade • Esculturabilidade • Montabilidade
	Conectividade	<ul style="list-style-type: none"> • Padronização • Coordenação modular
	Transportabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Ergonomia • Transportabilidade
Economicidade	Viabilidade econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Valor presente • Externalidades

*Requisitos adaptados ao caso específico do EC

REQUISITO	REQUISITO ESPECÍFICO
Moldabilidade	Acabamento interno e externo
Montabilidade	Fixação da janela
Padronização	Gabarito do vão
Coordenação modular	Absorção de imprecisões dimensionais

Tabela 2 – Requisitos específicos

6 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO DO EC

6.1 Variáveis do projeto

Uma vez definidos os requisitos, é necessário que seja iniciado o projeto propriamente dito. No projeto, tem-se um primeiro nível de decisão, onde se encontram as duas Variáveis de Projeto disponíveis: material e geometria (ver figura 4). Existe uma interação entre estas variáveis, porque a definição do material cria algumas possibilidades e limitações à geometria. Por outro lado, a definição de uma geometria limita o uso a determinados materiais, ou pelo menos torna mais atraente o uso de alguns materiais em detrimento de outros. O trabalho com estas Variáveis de Projeto leva a um segundo nível, onde encontram-se as Características Derivadas das definições do primeiro nível. Estas características são peso, uso, transporte e montagem, tecnologia de produção, etc. Finalmente, em um terceiro nível surgem os Atributos do artefato, manifestados pelo seu desempenho em relação aos diversos requisitos definidos anteriormente. Na metodologia proposta, o processo de projeto é desenvolvido de tal maneira que os três níveis são integrados através de um processo iterativo.

COMPONENTES DO PROJETO DO ELEMENTO DE CONEXÃO

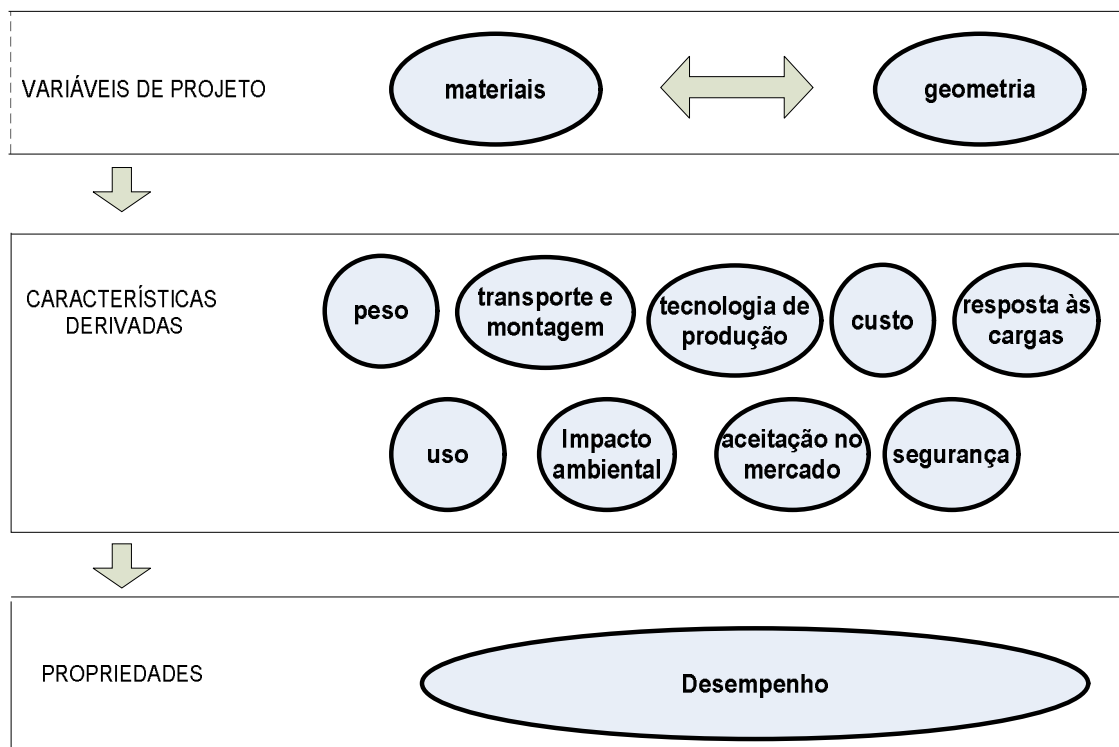


Figura 4 – Componentes do projeto do elemento de conexão

6.2 Descrição do sistema projeto do EC

O Sistema Projeto do EC incorpora a abordagem apresentada acima, partindo dos requisitos do usuário e desenvolvendo um processo sistemático para a definição de material e outro processo para a definição de geometria. Após estes processos, são colocados para verificação da qualidade técnica e da viabilidade econômica da solução encontrada. Sugere-se ao leitor que analise atentamente o fluxograma do processo do projeto, para compreender a sua dinâmica, apresentado na figura 5.

FLUXOGRAMA DE PROCESSO – PROJETO DO EC

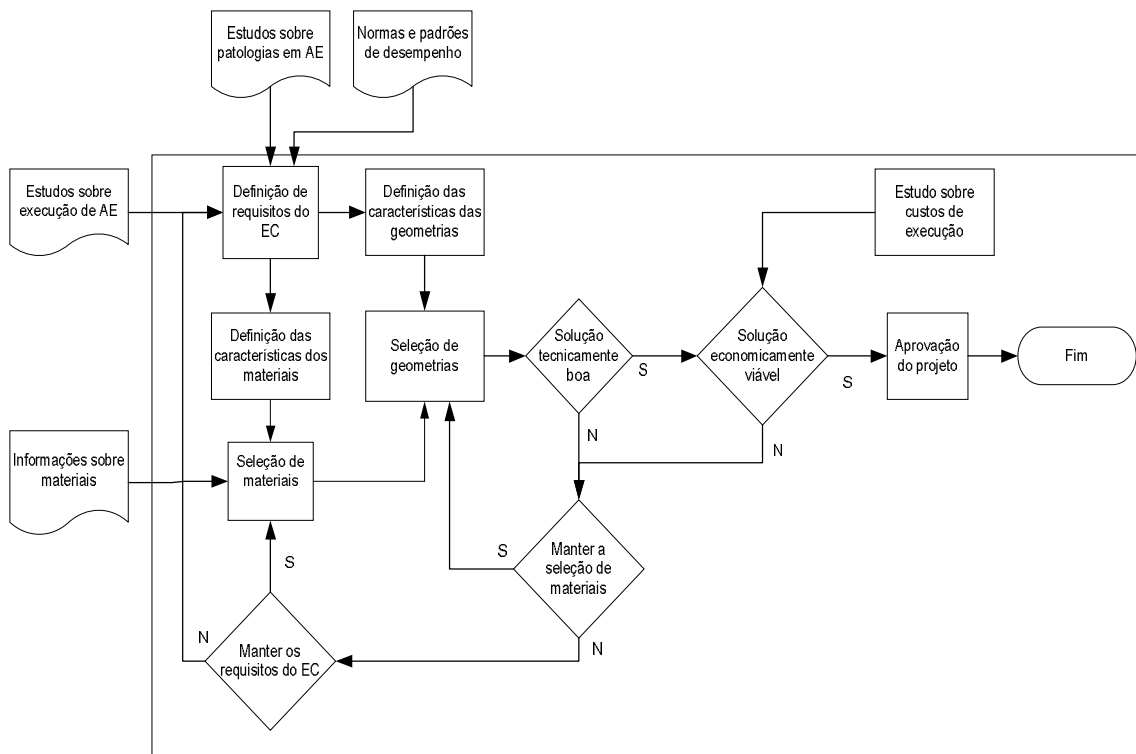


Figura 5 – Sistema do Projeto do Elemento de Conexão (EC)

6.3 Propriedades

A metodologia requer que seja elaborada uma tabela de propriedades do artefato para auxiliar nos processos de definição de material e geometria. Nesta tabela, para cada requisito, são descritas propriedades do artefato, resultantes da combinação de material e geometria. Na coluna de requisitos, deverão constar todos os requisitos identificados no item 5.1 (Exigências do usuário). Para a apresentação da metodologia, será adotada a simplificação destes requisitos. Na tabela 3, ao lado de cada requisito, estão listadas as propriedades. Note-se que, quanto maior o número de propriedades associadas ao requisito, maior a capacidade de definição das etapas posteriores do processo.

Tabela 3 – Propriedades desejáveis do EC

FUNÇÃO	PROPRIEDADES DESEJÁVEIS
Ajuste dimensional	Elemento rígido e com dimensões constantes. Resistente a impactos.
Gabarito do vão	Elemento rígido e com dimensões constantes. Capacidade de ligar componentes com conexões dimensionalmente estáveis e estruturalmente seguras.
Fixação da esquadria	Capacidade de adicionar componentes de fixação no corpo do elemento.

	Rigidez estrutural. Resistência à tração, compressão e torção. Estabilidade dimensional. Resistente a impactos.
Barreira às intempéries	Estabilidade química. Reduzida absorção de água. Boa moldabilidade para a conformação de detalhes de vedação. Resistente a impactos.
Isolamento térmico	Baixa condutibilidade térmica.
Isolamento acústico	Elemento rígido e massivo. Material com alta densidade. Resistente a impactos.
Estabilidade do vão	Elemento rígido. Resistência à tração, compressão e torção. Estabilidade dimensional.
Absorção de dilatação térmica	Estabilidade dimensional. Boa moldabilidade. Rigidez. Baixo coeficiente de dilatação.
Absorção de variações dimensionais	Estabilidade dimensional. Boa moldabilidade. Rigidez. Baixo coeficiente de dilatação.
Acabamento interno	Boa moldabilidade. Baixa fragilidade. Baixa condutibilidade térmica
Acabamento externo	Boa moldabilidade. Baixa fragilidade. Baixa biodegradabilidade
Resolução de fissuras	Boa moldabilidade. Rigidez estrutural.

7 SELEÇÃO DE MATERIAIS

7.1 Características dos materiais

A partir da lista de requisitos adotados e das propriedades desejáveis do artefato, é elaborada uma lista de Características dos Materiais. A definição do termo é importante. Característica significa uma propriedade dos materiais, preferencialmente mensurável através de testes normalizados. As características serão normalmente propriedades físicas ou químicas (mais raramente biológicas), que independem da geometria do artefato. A lista de características deve ser elaborada por um especialista em materiais ou por um grupo de especialistas, porque sua elaboração exige que se conheça quais características estão relacionadas com quais propriedades desejáveis do artefato, conforme a tabela anteriormente descrita. Eventualmente, uma característica não será mensurável. Nestes casos, existem duas possibilidades: a mudança de variável, escolhendo-se uma característica associada à primeira, mas que seja mensurável; ou a utilização de uma escala de avaliação qualitativa que o especialista elabore e que fique acessível, podendo ser utilizada por outrem. Evidentemente, a lista deve ser o mais completa possível, pois a metodologia não estabelece um limite e existe um claro ganho de qualidade de decisão nas etapas posteriores do processo.

7.2 Matriz requisitos x características

A partir dos requisitos selecionados e da lista de características, é possível construir uma matriz de requisitos x características. Esta matriz, essencialmente qualitativa, tem a função apenas de detectar se existe uma relação entre um determinado requisito e uma determinada característica e, caso exista essa relação, se é interessante que ela seja positiva ou negativa. Uma relação positiva significa que, para aquele requisito específico, é interessante que aquela característica seja a maior possível, ou a mais intensa possível. Por exemplo, em termos de estabilidade do vão, é interessante que o material apresente resistência à tração, portanto, existe uma relação. Além disto, é interessante que esta característica do material seja a maior possível, ou seja, quanto maior a resistência à tração do material, melhor será o desempenho do artefato para aquele requisito específico, mantendo todas as outras variáveis constantes. Uma relação que se deseja positiva será assinalada com um sinal positivo no quadro correspondente à interseção entre aquele requisito e aquela característica. Uma característica que se deseja a menor possível receberá um sinal negativo. É o caso, por exemplo, da relação entre o requisito isolamento térmico e densidade. Sabe-se que quanto menor a densidade, menor a condutibilidade do material.

A matriz pode ser elaborada por um especialista ou (idealmente) por um grupo de especialistas. A matriz apresentada abaixo utiliza os requisitos da lista simplificada e uma lista de características elaboradas de modo tentativo, sem a preocupação de ser exaustiva. A função desta matriz é essencialmente demonstrar a metodologia.

A matriz apresentada na tabela 4 define claramente as relações entre requisitos e características. É possível observar três situações nas colunas: ou ela tem somente sinais positivos, ou somente sinais negativos, ou os dois. No caso de haver somente sinais positivos, isto significa que todos os requisitos se beneficiam quando a característica tem um valor alto e que, quanto mais alto este valor, melhor para o desempenho geral do artefato. No exemplo abaixo, este é o caso das características estabilidade química, isotropia, resistência à tração, resistência à compressão, moldabilidade e módulo de estabilidade. Por outro lado, quando todos os sinais são negativos, todos os requisitos se beneficiam quando a característica apresenta um baixo valor e, portanto, quanto menor o valor da característica, melhor. Este é o caso das características condutibilidade sonora, condutibilidade térmica, biodegradabilidade, fragilidade e coeficiente de dilatação térmica. Quando os dois sinais aparecem na coluna daquela características, alguns requisitos se beneficiam quando ela é alta, enquanto outros se beneficiam quando ela é baixa. Nestes casos, a característica não poderá auxiliar na definição do material. É o caso da característica densidade.

Por outro lado, quando todos os sinais são negativos, todos os requisitos se beneficiam quando a característica apresenta um baixo valor e, portanto, quanto menor o valor da característica, melhor. Este é o caso das características condutibilidade sonora, condutibilidade térmica, biodegradabilidade, fragilidade e coeficiente de dilatação térmica. Quando os dois sinais aparecem na coluna daquela características, alguns requisitos se beneficiam quando ela é alta, enquanto outros se beneficiam quando ela é baixa. Nestes casos, a característica não poderá auxiliar na definição do material. É o caso da característica densidade.

Tabela 4 – Matriz de características dos materiais x requisitos dos usuários

REQUISITO	CARACTERÍSTICA											
	Condutibilidade sonora	Estabilidade química	Isotropia	Densidade	Resistência à tração	Moldabilidade	Resistência à compressão	Condutibilidade térmica	Biodegradabilidade	Fragilidade	Módulo de elasticidade	Coef. de dilatação térmica
Ajuste dimensional						+				-	+	-
Gabarito do vão						+					+	-
Fixação da esquadria					+	+	+		-	-	+	-
Barreira às intempéries		+				+			-			
Isolamento térmico				-				-				-
Isolamento acústico	-			-								
Estabilidade do vão			+	+	+	+	+		-	-	+	-
Absorção de dilatação térmica								-		-		-
Absorção de variações dimensionais						+				-	+	-
Acabamento interno						+				-		
Acabamento externo						+				-		
Resolução de fissuras			+		+		+			-		
RESULTADO	-	+	+		+	+	+	-	-	-	+	-



7.3 Avaliação de materiais

O passo seguinte é a elaboração de uma outra matriz, que correlaciona as características definidas anteriormente com os materiais que apresentem possibilidade de uso para a produção do artefato (ver tabela 5). Esta matriz apresenta, nas linhas, os diferentes materiais com possibilidades de utilização no artefato, enquanto a última linha reproduz a última linha da matriz anterior, apresentada na tabela 4 (requisitos x características). As características permanecem nas colunas. Esta nova matriz trabalha com dados numéricos gerados a partir de critérios de avaliação.

7.3.1 Critérios de avaliação

Um critério de avaliação na matriz de características x materiais é definido como um modo de atribuição de valor em uma escala pré-estabelecida, correspondente a uma característica avaliada por aquele critério.

Os critérios de avaliação deverão ser definidos por um especialista, fazendo uso de diversas regras para sua utilização. As regras são:

- a) um critério compreende uma definição da característica, uma unidade de medição da característica, a forma de aplicação do critério, uma escala contendo um mínimo e um máximo para aplicação do critério;
- b) sempre será estabelecida uma relação direta entre o valor da característica e a escala de aplicação do critério. Por exemplo, se a característica for resistência à tração, o critério dirá que quanto maior a resistência, maior será o valor numérico correspondente na avaliação do material;
- c) a escala de aplicação do critério variará entre os números 1 a 10;
- d) quando a variação entre os valores possíveis da característica ultrapassarem duas ordens de grandeza, o critério deverá estabelecer a relação através de uma escala logarítmica neperiana (de base e) ou decimal (de base 10);
- e) quando a característica do material não apresentar uma unidade numérica, deverá ser substituída por outra unidade que a apresente e com a qual tenha correlação direta, ou deverá ser criada uma escala para a característica, clara e suficiente para que um especialista possa aplicá-la.

7.3.2 Escolha inicial dos materiais

O critério para escolha inicial dos materiais não é definido pela metodologia. Entretanto, algumas sugestões são oferecidas. A primeira é utilizar o conhecimento de um especialista da área de materiais ou da área de aplicação do artefato. Este especialista tem condições de avaliar quais materiais são comumente utilizados para o fim específico ou para fins similares. A segunda é listar um grande número de materiais e utilizar poucas características que são fundamentais para o desempenho do artefato, de forma a fazer uma primeira rodada de seleção. Os materiais com melhor pontuação são então pré-selecionados para a etapa seguinte, onde um número bem maior de características será incorporado à matriz. Finalmente, a terceira possibilidade é utilizar materiais com características totalmente díspares. Estes materiais revelarão, ao longo do processo, quais de suas qualidades são mais interessantes. Desta forma, uma segunda escolha de materiais, agora orientada pelos resultados da primeira, pode ser muito mais seletiva.

No exemplo presente de aplicação da metodologia, será utilizada a terceira alternativa. Assim, os materiais escolhidos são: concreto, madeira, GRC, aço carbono e alumínio.

7.3.3 Preenchimento da matriz

O preenchimento da matriz segue conforme a metodologia descrita no item 6.3.1. Em cada retângulo o material da linha é avaliado segundo o critério adotado para a característica da coluna correspondente. O valor encontrado, variando de 1 a 10, é introduzido na coluna. Ao final do preenchimento, a matriz conterá um conjunto de números que correspondem às avaliações. Seu aspecto deverá ser semelhante ao da matriz da tabela 5.

7.3.4 Utilização da tabela de avaliação

A tabela de avaliação fornece uma série de informações sobre a relação entre materiais e características. Dentre estas informações, é possível definir a partir da tabela: quais os materiais com os maiores valores das características positivas. Quais os materiais com os menores valores das características negativas, em que características os materiais são semelhantes e em quais são diferentes, etc. Estas e outras informações pertinentes a cada projeto específico podem ser extraídas da matriz.

7.4 Seleção de um material

A matriz de materiais x características é utilizada para gerar outra matriz, que permitirá a seleção de materiais. Nesta matriz, mostrada na tabela 6, cada linha é dedicada a um dos materiais que foram previamente avaliados. Uma das colunas é designada para o somatório das características positivas, o qual é desejável que seja o maior possível, outra para o somatório das características negativas, o qual é desejável que seja o menor possível, e uma terceira apresenta os resultados, que consistem do somatório das características positivas menos o resultado das características negativas. É desejável que este resultado seja o maior possível. Portanto, será selecionado o material que apresentar o maior resultado.

Para valorizar aquelas características que são mais importantes (por aparecerem com maior frequência), é possível definir pesos diferentes para estas características.

Tabela 5 – Matriz de Características x materiais

MATERIAL	CARACTERÍSTICA											
	Condutibilidade sonora	Estabilidade química	Isotropia	Densidade	Resistência à tração	Moldabilidade	Resistência à compressão	Condutibilidade térmica	Biodegradabilidade	Fragilidade	Módulo de elasticidade	Coefficiente de dilatação térmica
Concreto	6	7	5	5	3	7	5	5	3	7	5	6
Madeira	3	3	2	2	5	7	3	3	8	3	2	4
GRC	6	8	8	6	7	9	7	6	2	4	7	6
Aço carbono	8	4	10	8	9	9	9	9	1	2	8	9
Alumínio	7	5	10	6	7	8	7	10	1	2	7	10
RESULTADO DESEJADO	-	+	+		+	+	+	-	-	-	+	-



O critério específico a ser utilizado pode ser definido em cada caso. No exemplo apresentado neste trabalho, as quatro características mais freqüentes receberam peso 2, ou seja, o valor destas características foi multiplicado por 2 na somatória, tanto das características positivas quanto negativas.

Neste exemplo, o material GRC apresentou o melhor resultado, sendo, portanto, selecionado. Em uma situação real, é importante explorar as causas desta seleção, comparando os resultados dos diversos materiais. Observa-se, por exemplo, que o aço carbono obteve praticamente o mesmo resultado, inclusive com um maior valor para as características positivas. Entretanto, o somatório de suas características negativas foi muito alto, bastante superior ao somatório do GRC. Neste exemplo, caberia questionar se haveria a possibilidade de obter um material que incorporasse as características positivas do aço carbono e as negativas do GRC, ou se seria possível segmentar o artefato, utilizando aço carbono em algumas partes e GRC em outras. Existem diversas possibilidades de investigação que devem ser exploradas em cada situação. Finalmente, é importante salientar que todo o processo de seleção foi estritamente racional, sem a adoção de decisões baseadas em valores subjetivos. O resultado final foi gerado por uma sucessão de etapas perfeitamente justificáveis e reproduzíveis. Este fato fornece à metodologia um grande grau de consistência e confiabilidade.

Tabela 6 – Matriz de seleção de materiais

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS POSITIVAS	CARACTERÍSTICAS NEGATIVAS	RESULTADO
Concreto	44	- 40	4
Madeira	31	- 28	3
GRC	62	- 34	28
Aço carbono	66	- 40	26
Aluminio	59	- 42	17



*Os resultados das quatro características principais foram multiplicados pelo fator 2.

8 SELEÇÃO DE GEOMETRIAS

8.1 Definição das características da geometria

De acordo com o fluxograma do projeto do EC, após a seleção dos materiais, é necessário proceder à definição das características da geometria do artefato e à seleção da geometria mais adequada. Entretanto, a seleção de geometrias adequadas ao artefato não segue o mesmo procedimento metódico e racionalizado da seleção de materiais. Esta diferença deve-se ao fato de que não existe uma coleção de geometrias que podem ser utilizadas e que podem ser comparadas entre si da mesma maneira que os materiais o são. Neste sentido, o desenvolvimento de soluções de geometria é mais intuitivo. Entretanto, é possível agregar um certo grau de racionalidade através da definição de uma série de etapas metodológicas que auxiliam na definição das melhores geometrias para o artefato.

8.2 Opções de solução

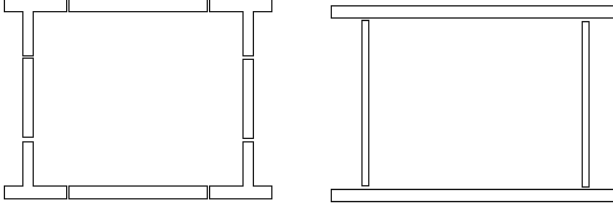
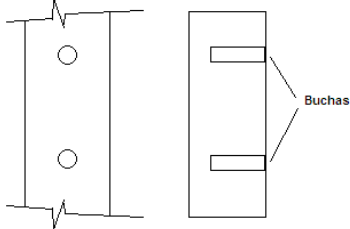
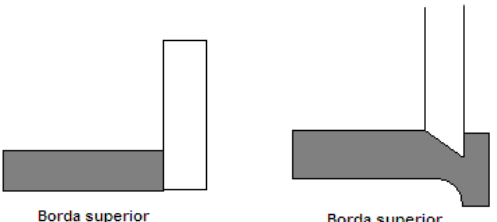
A primeira etapa do processo de definição da geometria do artefato é uma descrição inclusiva de opções de solução. Estas opções de solução levam em consideração os requerimentos dos usuários, o material selecionado e as propriedades do artefato. No exemplo presente, é apresentada uma tabela com as opções de solução e com as informações necessárias para decidir qual das soluções é a mais indicada (tabela 7). Estas opções devem se transformar em soluções de geometria para questões específicas. Deve ser gerada uma coleção de soluções de geometria, exemplificada na tabela 8. A análise das combinações destas soluções permite definir sua compatibilidade e a viabilidade das soluções conjuntas. Uma vez que a geometria básica tenha sido definida, inicia-se a etapa de otimização, que consiste em utilizar o ferramental de análise de estruturas para refinar o projeto. É possível que sejam geradas várias soluções conjuntas de geometria. Neste caso, é importante passar ao próximo passo, de comparação entre elas.

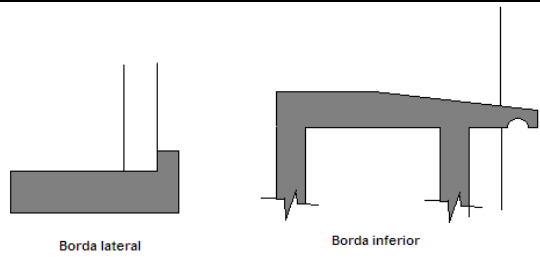
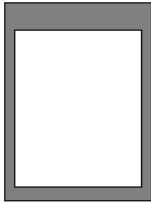
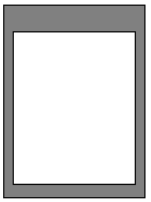
Tabela 7 – Opções de solução do EC

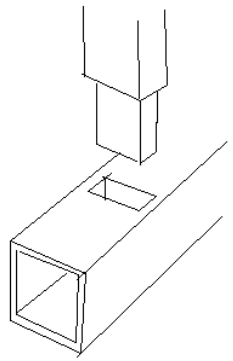
FUNÇÃO	OPÇÕES	INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS
Ajuste dimensional	<ol style="list-style-type: none"> 1) ajuste modular 2) ajuste não modular 	<ul style="list-style-type: none"> - quais as medidas modulares utilizadas nas alvenarias - qual a variação dimensional das esquadrias oferecidas no mercado.
Gabarito do vão	<ol style="list-style-type: none"> 1) nível e prumo fornecidos pelo EC 2) dimensões do vão fornecidas pelo EC 	<ul style="list-style-type: none"> - seqüência ideal de execução (EC monolítico e partido) - peso do EC monolítico e necessidade de partição - possibilidades do GRC para geometrias complexas - possibilidade de ligação estrutural entre partes
Fixação da esquadria	<ol style="list-style-type: none"> 1) com elementos para fixação – posição pré-definida 2) com dobradiças 3) sem pré-definição de posição 	<ul style="list-style-type: none"> - possibilidade de inserção de elemento de fixação no EC - possibilidade de inserção de dobradiças
Barreira às intempéries	<ol style="list-style-type: none"> 1) borda superior : 1.1 recuada; 1.2 com elemento de vedação; 1.3 com elemento de proteção 2) bordas laterais: 2.1 recuada; 2.2 com elemento de vedação; 2.3 com elemento de proteção 3) borda inferior: 3.1 com elemento de vedação; 3.2 com elemento de proteção; com ressalto (pingadeira) 	<ul style="list-style-type: none"> - opções de elementos de vedação - possibilidades tecnológicas do GRC para geometrias complexas
Isolamento térmico	<ol style="list-style-type: none"> 1) elemento oco 2) material isolante em sanduiche 3) material de baixa densidade (e baixa resistência) 	<ul style="list-style-type: none"> - possibilidades do GRC para geometrias complexas - possibilidade de fixação de material isolante (EPS, por exemplo) - possibilidade de produzir um material com

		baixa densidade
Isolamento acústico	<ol style="list-style-type: none"> 1) elemento oco 2) elemento de vedação 3) geometria proporcionando estanqueidade 	<ul style="list-style-type: none"> - possibilidades do GRC para geometrias complexas - opções de elemento de vedação (borracha, esponja, mastique, massa de calafetar.
Estabilidade do vão	<ol style="list-style-type: none"> 1) geometria: 1) forma mais resistente (seção oca); 2) maior espessura em pontos de maior tensão 2) fabricação: 1) elemento monolítico; ligação estrutural entre partes (cola, etc.) 3) composição: reforço com estrutura 	<ul style="list-style-type: none"> - possibilidades do GRC para geometrias complexas - possibilidade de ligação estrutural entre partes - resistência do GRC às tensões de tração e compressão
Absorção de dilatação térmica	<ol style="list-style-type: none"> 1) com elemento de fixação elástico 2) com elemento de fixação deslizante (1 grau de liberdade) 3) com geometria de encaixe (1 grau de liberdade) 	- coeficiente de dilatação dos materiais da esquadria, do GRC e da AE
Absorção de variações dimensionais	<p>Somente no caso de abandonar a função de gabarito do vão.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) junta variável 2) elemento de recobrimento da junta (guarnição) 	<ul style="list-style-type: none"> - tolerância das AE (norma) e variação dimensional efetiva - tolerância das esquadrias (norma) e variação dimensional efetiva - tolerância do GRC (norma) e variação dimensional efetiva
Acabamento interno	<ol style="list-style-type: none"> 1) GRC sem revestimento 2) GRC com revestimento (pintura ou outra solução) 	<ul style="list-style-type: none"> - qualidade da superfície do GRC com a tecnologia atual - comportamento do GRC como substrato para aplicação de revestimentos
Acabamento externo	<ol style="list-style-type: none"> 1) GRC sem revestimento 2) GRC com revestimento (pintura ou outra solução) 	<ul style="list-style-type: none"> - qualidade da superfície do GRC com a tecnologia atual - comportamento do GRC como substrato para aplicação de revestimentos
Resolução de fissuras	<ol style="list-style-type: none"> 1) Eliminação ou redução de tensões 2) Aumento da resistência mecânica dos componentes 3) Criação de “fusíveis” estruturais e: 3.1 sua posterior eliminação; 3.2 sua cobertura; 3.3 seu disfarce 	- conhecimento das patologias (fissuras), suas causas e sua importância.

Tabela 8 – Opções de geometria do EC

FUNÇÃO	OPÇÕES	
Ajuste dimensional	3) ajuste modular - 4) ajuste não modular	
Gabarito do vão	3) nível e prumo fornecidos pelo EC 4) dimensões do vão fornecidas pelo EC	
Fixação da esquadria	4) com elementos para fixação – posição pré-definida 5) com dobradiças 6) sem pré-definição de posição	
Barreira às intempéries	4) borda superior : 1.1 recuada; 1.2 com elemento de vedação; 1.3 com elemento de proteção 5) bordas laterais: 2.1 recuada; 2.2 com elemento de vedação; 2.3 com elemento de proteção 6) borda inferior: 3.1 com elemento de vedação; 3.2 com elemento de proteção; com ressalto (pingadeira)	

		
Isolamento térmico	<ul style="list-style-type: none"> 4) elemento oco 5) material isolante em sanduiche 6) material de baixa densidade (e baixa resistência) 	
Isolamento acústico	<ul style="list-style-type: none"> 4) elemento oco 5) elemento de vedação 6) geometria proporcionando estanqueidade 	
Estabilidade do vão	<ul style="list-style-type: none"> 4) geometria: 1) forma mais resistente (seção oca); 2) maior espessura em pontos de maior tensão 5) fabricação: 1) elemento monolítico; ligação estrutural entre partes (cola, etc.) 6) composição: reforço com estrutura 	
Absorção de dilatação térmica	<ul style="list-style-type: none"> 4) com elemento de fixação elástico 5) com elemento de fixação deslizante (1 grau de liberdade) 6) com geometria de encaixe (1 grau de liberdade) 	

Absorção de variações dimensionais	Somente no caso de abandonar a função de gabarito do vão. 3) junta variável 4) elemento de recobrimento da junta (guarnição)	
Acabamento interno	3) GRC sem revestimento 4) GRC com revestimento (pintura ou outra solução)	
Acabamento externo	3) GRC sem revestimento 4) GRC com revestimento (pintura ou outra solução)	
Resolução de fissuras	4) Eliminação ou redução de tensões 5) Aumento da resistência mecânica dos componentes 6) Criação de "fusíveis" estruturais e: 3.1 sua posterior eliminação; 3.2 sua cobertura; 3.3 seu disfarce	

9 AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES

O processo de avaliação de soluções consiste em comparar as respostas de desempenho das soluções em relação aos requisitos previamente definidos. Existem, como foi exposto na descrição do sistema Projeto de EC, dois portais de verificação. Primeiramente, é necessário saber se cada uma das alternativas é tecnicamente correta. Depois, se é economicamente viável. Os processos de avaliação são conduzidos através de matrizes de avaliação.

9.1 Matriz de avaliação

No presente trabalho, é apresentada uma matriz demonstrativa de avaliação que permite comparar alternativas de solução (tabela 9). O uso deste processo de avaliação permite que todos os aspectos envolvidos sejam sumarizados em um único valor resultante, que é a soma de todas as avaliações individuais.

Na matriz de avaliação de desempenho, que avalia a qualidade técnica da solução, algumas definições são importantes: relevância, efetividade e resultados. Estas definições são apresentadas a seguir.

RELEVÂNCIA – A relevância demonstra a importância da função na solução. Uma relevância alta significa que a solução deve contemplar a função. Uma relevância baixa significa que a função poderá não estar presente, ou estar de forma deficiente.

EFETIVIDADE – A efetividade indica a capacidade da solução em desempenhar a função. Quanto mais plenamente a função é atendida, mais alta é a efetividade.

RESULTADO – O resultado será a multiplicação da relevância pela efetividade. A soma dos resultados de todas as funções indicará o resultado final daquela solução. Uma solução que obtenha alta efetividade em funções mais relevantes terá um resultado melhor que outra com maior efetividade em funções menos relevantes. Assim, pode-se comparar duas ou mais soluções apenas através do resultado final.

Na tabela 9 é apresentada uma matriz de avaliação de desempenho, que inclui os doze requisitos definidos anteriormente.

Tabela 9 Matriz de avaliação de desempenho do EC

REQUISITO	RELEVÂNCIA	EFETIVIDADE	RESULTADO
Ajuste dimensional	7		
Gabarito do vão	7		
Fixação da esquadria	10		
Barreira às intempéries	8		
Isolamento térmico	3		
Isolamento acústico	3		

Estabilidade do vão	9		
Absorção de dilatação térmica	5		
Absorção de variações dimensionais	6		
Acabamento interno	4		
Acabamento externo	4		
Resolução de fissuras	7		
Resultado final da solução			

10 CONCLUSÃO

A metodologia apresentada neste trabalho demonstrou que é possível estruturar o desenvolvimento de soluções para a edificação de uma maneira sistemática. Além disto, a utilização de requisitos de desempenho como referência de projeto integrada ao processo de criação e não somente na etapa de verificação é um avanço em relação aos procedimentos normalmente adotados em projetos.

Evidentemente, esta metodologia deverá sofrer modificações e melhorias à medida que sua aplicação gerar informações sobre o uso das diversas ferramentas apresentadas.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho. Parte 1. Rio de Janeiro, 2008.

ALEXANDRE, I. F. **Fissuras em empreendimentos habitacionais de baixa renda executados em alvenaria estrutural: uma análise da relação causa e efeito**. 2008. 171f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ASHBY, M. F.; BRECHET, J. M.; CEBON, D.; SALVO, L. **Selection strategies for materials and processes**. Materials and Design n. 25 51–67, New York: Elsevier, 2004.

CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT (CIB). Working Commission W60. **Publication 64: Working with the performance approach in building**. Rotterdam: CIB, 1982.

ANEXO II

Desenvolvimento do Ensaio Estrutural

As cargas foram aplicadas na parede experimental através de três macacos independentes, sendo dois laterais e um centralizado que aplicava 1/3 da carga dos laterais. A carga era lida por três células de carga (cada uma acoplada em um dos macacos) e visualizada através de *displays* ligados a estas células. O esquema de cargas foi distribuído desta forma buscando semelhança com a simulação computacional do comportamento da parede desenvolvido nas etapas iniciais do projeto, visualizado no anexo III desta pesquisa.

A leitura das deformações foi realizada por três relógios comparadores, sendo dois posicionados na parte inferior da verga e um na parte superior da parede e por cinco extensômetros elétricos ligados via cabo a um datalogger e computador, fixados tanto no Elemento quanto na parede (figura 1 e 2).

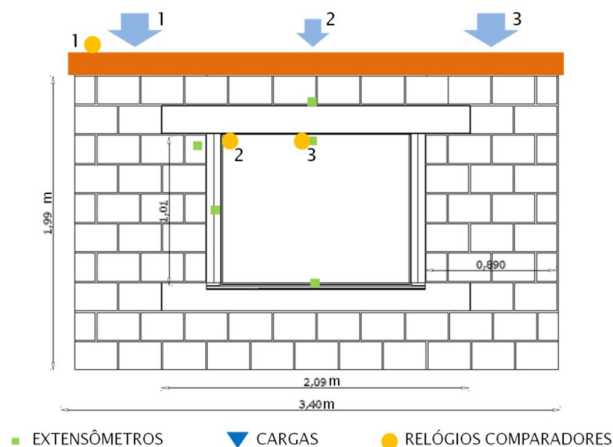


Figura 1: Esquema utilizado no ensaio estrutural

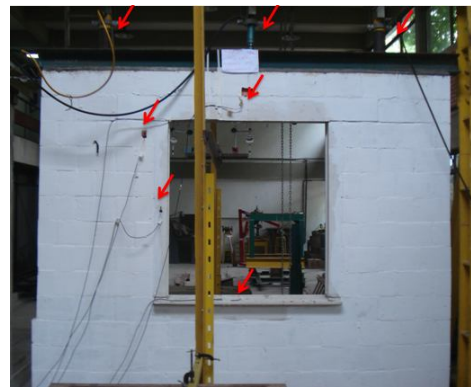


Figura 2: Localização dos macacos e extensômetros

O esquema de cargas inicial pode ser visualizado no quadro 1, bem como o desenvolvimento de parte do ensaio, realizado da seguinte maneira: os macacos laterais eram calibrados conforme a carga inicial estipulada, em seguida o macaco central aplicava o carregamento determinado e eram realizadas as leituras de deformação nos relógios comparadores. Desta mesma forma os incrementos de carga foram sendo aplicados.

As deformações foram lidas até a carga total de 82,96 kN, visto que a carga máxima calculada pelos especialistas do grupo de pesquisa Compohis foi de 156,91kN, antes do comprometimento estrutural do sistema. Nesta carga a deformação máxima foi de

2,6mm, conforme o quadro 1, o que não impede o movimento e o funcionamento dos caixilhos da esquadria.

Ainda, vale ressaltar que a os trilhos pultrudados e as folhas móveis com caixilhos em alumínio não foram instaladas dada a fragilidade dos extensômetros elétricos utilizados, sendo que dois deles encontravam-se nos locais de fixação dos trilhos superior e inferior. Neste momento do ensaio a parede não apresentou nenhuma nova fissura aparente e o sistema estava estável.

Quadro 1: Desenvolvimento da parte inicial do ensaio estrutural

ENSAIO DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL					
CARGA (kN)			DEFORMAÇÃO (mm)		
DISPOSITIVO 1	DISPOSITIVO 2	DISPOSITIVO 3	RELÓGIO 1	RELÓGIO 2	RELÓGIO 3
3,04	1,03	3,09	0,020	0,151	0,118
5,88	1,96	5,88	0,111	0,400	0,378
8,73	2,94	8,83	0,121	0,632	0,604
11,62	3,92	12,06	0,158	0,912	0,880
14,51	4,95	14,61	0,211	1,199	1,177
17,46	5,83	17,75	0,276	1,440	1,453
20,2	6,91	20,74	0,348	1,685	1,743
23,34	7,85	23,58	0,414	1,912	2,013
26,92	8,88	27,02	0,505	2,155	2,307
29,62	9,86	29,32	0,622	2,451	2,594
35,3	11,77	35,89	0,699	2,658	2,833

A partir desta última leitura de deformação, os relógios comparadores foram retirados, evitando danos ao equipamento e o ensaio prosseguiu de acordo com o programado, sendo que as cargas continuaram sofrendo incrementos até o limite de carga total de 241,05 kN (quadro 2).

Quadro 2: Desenvolvimento da parte final do ensaio estrutural

ENSAIO DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL		
CARGA (kN)		
DISPOSITIVO 1	DISPOSITIVO 2	DISPOSITIVO 3
38,49	12,55	38,29
41,48	13,73	41,34

50,31	16,48	50,16
53,15	17,8	52,66
58,55	19,52	57,47
61,98	20,79	60,26
64,43	21,53	64,48
67,47	22,56	67,37
70,26	23,34	70,17
73,30	24,32	74,38
76,69	25,6	76,54
79,24	26,28	79,53
81,89	27,85	83,36
84,83	28,34	84,44
88,16	29,13	89,09
91,69	29,57	92,57
93,60	31,28	94,49
96,20	32,41	96,89
102,14	34,57	101,11
102,97	36,14	101,94

Neste momento do ensaio a equipe do projeto Compohis, por motivos de segurança, decidiu abortar o experimento visto que o prosseguimento poderia comprometer a segurança do grupo.

ANEXO III

Simulação de carga desenvolvida pelos professores João Ricardo Masuero e Inácio Benvegnu Morsch

A seguir são apresentadas as simulações realizadas pelos especialistas em estruturas que integram o grupo de pesquisa do Compohis. As simulações buscaram identificar os pontos com maior incidência de cargas na alvenaria, considerando para isto, o terceiro andar de um total de sete pavimentos.

Inicialmente foi modelada uma parede com aberturas, representando a alvenaria e as aberturas onde se localizam as janelas. Nesta parede foram consideradas as vergas e contravergas com prolongamentos laterais que adentram a alvenaria, conforme pode ser visualizado na figura 1.

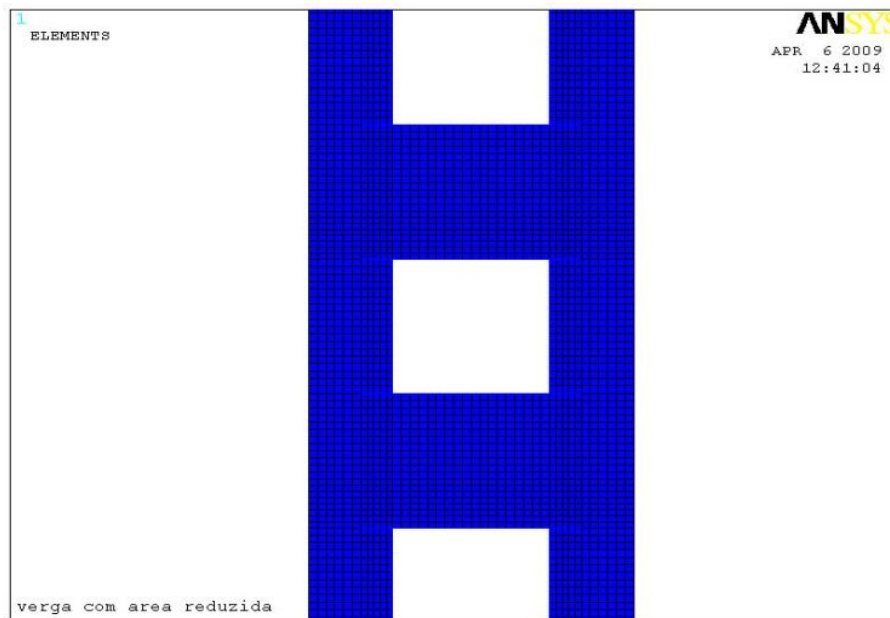


Figura 1: Modelagem da parede em alvenaria com aberturas e prolongamentos na verga e contraverga

Em seguida, esta parede foi submetida às seguintes cargas de trabalho:

Na figura 2 pode-se identificar o comportamento do modelo considerando o eixo X, com maior concentração de tensões nos cantos das aberturas e no centro da verga. Já na contraverga verificam-se tensões menos acentuadas e com comportamento diferenciado, quando comparadas àquelas verificadas na verga.

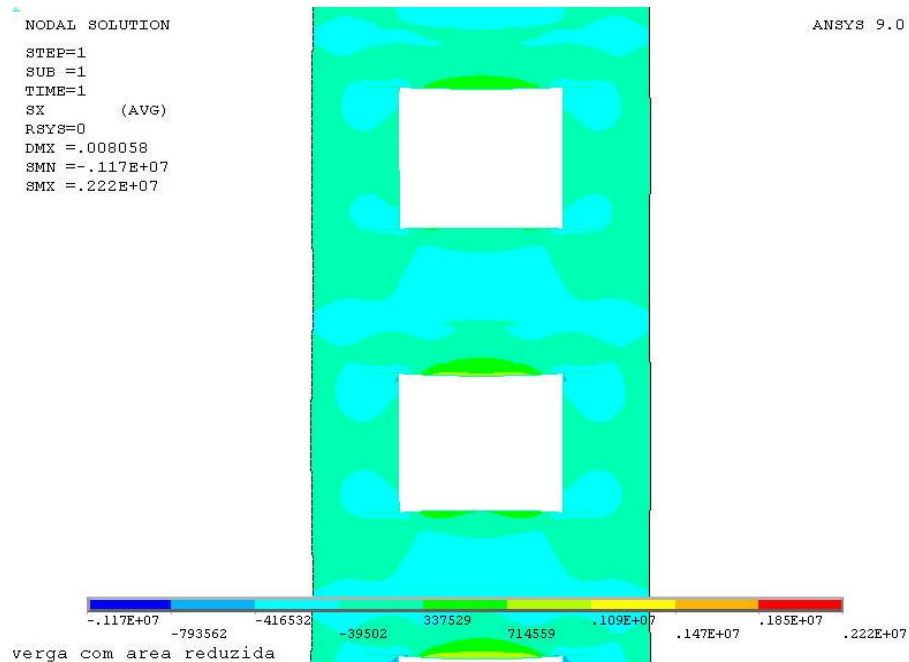


Figura 2: Comportamento considerando o Eixo X

Em seguida simulou-se o comportamento do modelo considerando o eixo Y, visualizado na figura 3, nesta etapa foram identificadas tensões mais acentuadas nas laterais da abertura e no centro tanto da verga quanto da contraverga. Nesta simulação pode-se visualizar ainda a forma de distribuição das cargas ao longo dos pavimentos.

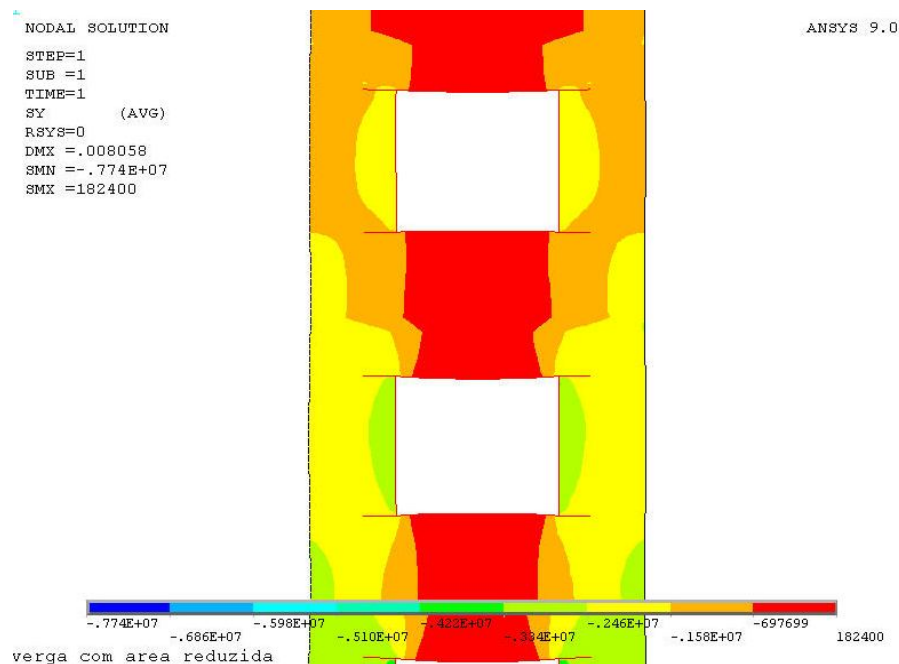


Figura 3: Comportamento do modelo considerando o Eixo Y

Por fim foram cruzadas as informações observadas nos eixos X e Y (figura 4), gerando um modelo de comportamento mais próximo do real. Nesta simulação verificou-se a clara concentração de tensões nos cantos das aberturas, justificando assim a utilização de prolongamentos nas vergas e contra vergas. Estas extensões de verga e contra verga buscam distribuir de forma mais uniforme as forças atuantes nos vértices das aberturas, reduzindo o acúmulo de tensões e evitando o surgimento de patologias nas edificações.

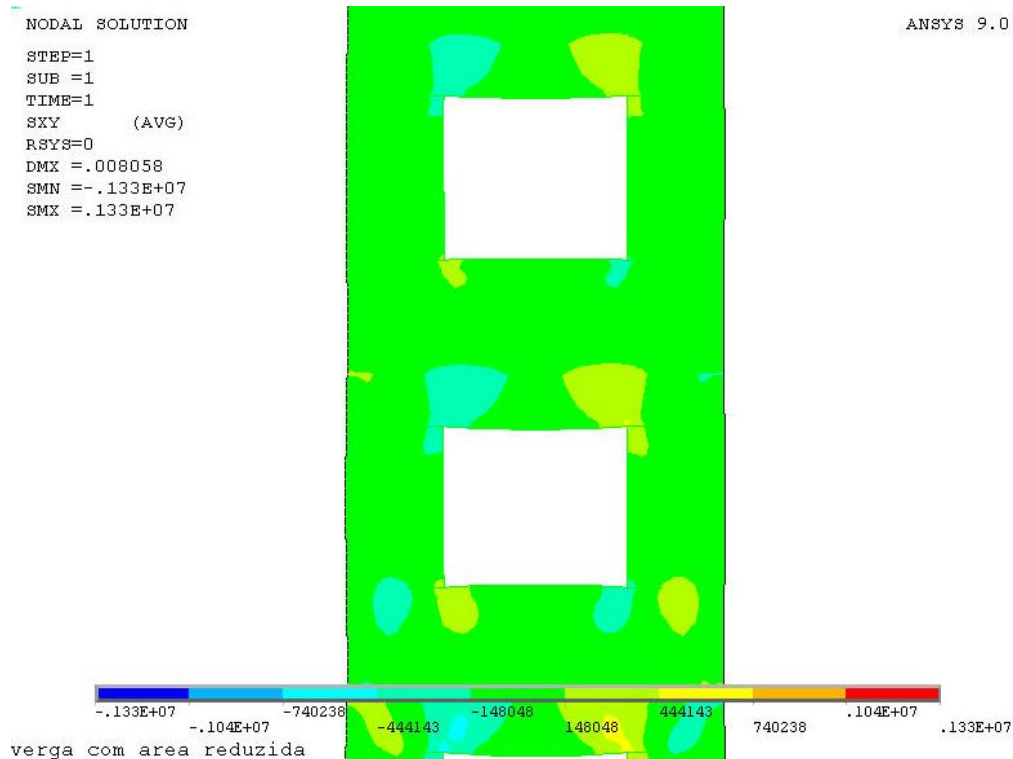


Figura 4: Comportamento considerando o Eixo X e Y