

EDUARDO HERNANDES DOMINGUES

Artesanato digital na produção pré-fabricada de edificações de
alta eficiência energética

Dissertação apresentada a Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de Mestre
em Arquitetura e Urbanismo, Área de
Concentração: Tecnologia da Arquitetura

Orientadora: Profa. Dra. Claudia Terezinha de
Andrade Oliveira

Exemplar revisado e alterado em relação à
versão original, sob responsabilidade do autor
e anuência do orientador.

O original se encontra disponível na sede do
programa

São Paulo, 14 de julho de 2014

SÃO PAULO

2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL DO AUTOR: edudom@terra.com.br

Domingues, Eduardo Hernandes

D671a Artesanato digital na produção pré-fabricada de edificações de alta eficiência energética / Eduardo Hernandes Domingues. -- São Paulo, 2014.
100 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP.

Orientadora: Claudia Terezinha de Andrade Oliveira

1.Artesanato 2.Softwares (Uso) 3.Processos pré-fabricados
4.Casas (Portáteis) 5.Interoperabilidade 6.Artesanato digital
I.Título

CDU 69.057.1

RESUMO

DOMINGUES, E. H. **Artesanato digital na produção pré-fabricada de edificações de alta eficiência energética**. 2014. 117f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

A produção industrial de edificações pré-fabricadas requer que sejam executados, durante a fase de pesquisa e desenvolvimento, *mockups* e protótipos para que os responsáveis possam avaliar o desempenho dos componentes, durante a montagem. São tarefas típicas de artesanato, elaboradas à margem das linhas de produção industrial. A indústria de edificações, seja por processos muito ou pouco industrializados, não mostra preferência pelo uso de *softwares* de manufatura para elaboração de seus projetos. Muitas empresas preferem os *softwares* de desenho bidimensional ou os *softwares* com tecnologia BIM. Neste contexto o objetivo desta dissertação é demonstrar como o uso de *software* de manufatura contribui para a eficiência da prototipagem digital na produção de casas pré-fabricadas. São analisados quatro sistemas: estrutura; revestimentos verticais portáteis; forro magnético; e guarda corpo transparente para uma edificação de alta eficiência energética pré-fabricada, portátil, cujos projetos foram desenvolvidos com auxílio de *software* de manufatura onde a interoperabilidade entre o projeto e os meios de produção digital foram determinantes para alcançar o resultado obtido. Com auxílio do *software* de manufatura, os testes de avaliação de montagem foram executados utilizando componentes digitais, modelados com as informações sobre a forma e as características físicas dos materiais utilizados. O método utilizado, onde as avaliações de desempenho se realizaram partir de componentes digitais, com baixo custo e boa velocidade de produção, assegurou a qualidade da produção dos componentes físicos. Como resultado, uma equipe de 20 alunos, sem especialização na produção de edificações, montou uma edificação de alta eficiência energética, com área interna de 45 m², em 150 horas, durante uma competição internacional entre universidades realizada em setembro de 2012 em Madri. Valorizou-se o ato de projetar. O projeto, utilizado como a principal ferramenta para tomada de decisões relacionadas com a produção, viabilizou a aplicação do método. A correta utilização dos recursos de projeto por meios digitais permite projetar cenários virtuais confiáveis antes de produzi-los com segurança.

Palavras chave: artesanato digital; interoperabilidade; portabilidade; pré-fabricação; prototipagem.

ABSTRACT

DOMINGUES, E. H. **Digital craft in production of the energy-efficient prefab buildings.**2014. 117f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Abstract

Physical models (mock-ups and prototypes) are usually employed during design and development phases of prefab homes in order to assess the performance of the components during assembly phase. These are typical examples of craft developed on the margins of industrial processes. The building industry, regardless of level of industrialization, actually does not have shown preference in using manufacturing software for design development; many companies prefer two-dimensional CAD software or BIM system-based software. In this context, the aim of this dissertation is to demonstrate how the use of manufacturing software contributes to the efficiency of digital prototyping in the production of prefab homes. Four systems of an energy-efficient prefab home were analyzed: structure, portable vertical coatings, roof panels with magnetic attachment devices and transparent guardrails. The design of these systems were developed using manufacturing software whose interoperability with CNC machines was crucial to the achievement of the project's goals. The assessment of the assembly process of the systems was made by means of manufacturing software using digital components modeled as from the shape of the designed components and of the physical characteristics of materials. Assembly simulations were made by using digital prototyping, avoiding expensive and time-consuming processes of producing and assessment physical models. As a result a team of 20 students, not specialized in the production of buildings, have assembled an energy efficient house, with floor area of 45 m², in 150 hours, during an international competition among universities held in Madrid, September 2012. Application of the method was possible due to the valuation of the team work during the design phase, when the main decisions concerning production were taken. The correct use of digital prototyping resources enables users to try reliable scenarios and ensure safety conditions during production.

Keywords: digitalcraft; interoperability; portability; prefabrication; prototyping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do projeto de arquitetura da Ekó House. Maquete eletrônica de Rovi Ferreira.	12
Figura 2 – Foto da Ekó House durante o SDE 2012.	14
Figura 3 - Ligação com componente de aço e fixação por parafusos.	33
Figura 4 - Encaixe tipo meia madeira com fixação por pregos.	33
Figura 5 - Fixação do revestimento na estrutura, a premissa que propunha que o revestimento trabalharia como contraventamento do painel orientou a ligação com redundância.	34
Figura6 - Encaixe com ligação removível.	35
Figura7 - Ligação fêmea.	35
Figura8 - Ligação macho.	36
Figura9 - Ilustração do pino do componente macho sendo direcionado para a sua correta posição de ligação.	36
Figura 10 - Estaleiro formado por chassi e guias de aço carbono.	38
Figura 11 - Estaleiro pronto para o seu posicionamento no contêiner; os painéis estruturais ficam ligados temporariamente às guias do estaleiro.	38
Figura 12 - Instalação da suspensão. O elemento que permitiu o içamento do estaleiro e sua fixação, temporária feita por parafusos e porcas.	39
Figura 13 - O estaleiro preparado para içamento, a ligação temporária entre o chassi do estaleiro e a suspensão é feita por parafusos e porcas. A padronização da posição dos dez pontos de fixação dos três chassis permitiu que a mesma suspensão fosse utilizada em todos os içamentos.	39
Figura 14 - Espera de aço carbono, ligação com fixação permanente nas paredes estruturais. A espera permite a interface de ligação entre materiais diferentes.	41
Figura 15 - Quadros de revestimento vertical, o material de acabamento, chapa cimentícia, está ligado com fixação permanente ao componente de interface, a moldura, de aço carbono.	41
Figura 16 - Montagem do revestimento vertical, a ligação removível, por encaixe simples permite a remoção do revestimento a qualquer tempo para acesso às instalações.	42
Figura 17 - Concordâncias entre o revestimento vertical e as aberturas. Fixação removível por meio de fechos reposicionáveis.	43
Figura 18 - Quadro de forro de um ambiente.	43
Figura 19 - Componente de ligação entre o forro e a laje.	44
Figura 20 - Forro instalado com os três recursos de ligação, imã de neodímio, parafuso e porca de trava e suspensão por cabo de aço.	45
Figura 21 - Forro em posição para manutenção, suspenso por cabos de aço.	45
Figura 22 - Modelo de Interface entre os pilares da estrutura do deque e as chapas de vidro do guarda corpo todos os componentes que recebem esforço são de aço carbono com tratamento de superfície por eletrodeposição de zinco.	46
Figura 23 - Seção da solução adotada na ligação do guarda corpo.	47

Figura 24 - Fixações mecânicas com dois componentes rosqueados. A cabeça sextavada e a cabeça chata ou cônica permitem a utilização de acessórios para ferramentas elétricas portáteis.....	52
Figura 25 - Rebite de repuxo com rosca interna, antes e depois de aplicado.	52
Figura 26 - Parafuso auto atarraxante, detalhe do perfil e do passo da rosca.	53
Figura 27 - Parafuso para madeiras macias ou processadas, detalhe do perfil e do passo da rosca.	54
Figura 28 - Parafuso auto cortante com ponta auto perfurante e resaltos para usinagem do rebaixo para alojar a cabeça. Detalhe do perfil e do passo da rosca.....	55
Figura 29 - Ilustração das hastes com a extremidade em forma de cogumelo. A fita selecionada continha cerca de 62 hastes por cm ²	56
Figura 30 - Foto do sistema de fecho reposicionável Dual Lock Reclosable Fastener.	57
Figura 31 - Detalhe do alojamento da pastilha de ímã de neodímio.....	59
Figura 32 - Proposta inicial: os painéis verticais <i>unidos aos horizontais por uma chapa pregada e sobreposta</i> às duas peças de madeira serrada.	62
Figura 33 - Proposta final: os painéis verticais unidos aos horizontais por uma chapa com cantos arredondados, fixada por parafusos com rosca auto cortante e ponta auto perfurante.	62
Figura 34 - Vista externa parcial do painel de piso (esquerda); vista interna parcial do painel de piso com todos os componentes (direita).....	63
Figura 35 - A base da sapata - com a chapa de distribuição de esforços e o cálice - posicionado para receber o pino de apoio (esquerda); o conjunto do pino com junta universal montado, pronto para ser apoiado sobre um terreno (centro); detalhes da junta universal.....	63
Figura 36 - Reprodução de parte da representação gráfica de um componente (peça de madeira de bordo de um painel horizontal)	65
Figura 37 - Lista de componentes de um painel vertical.	66
Figura 38 - Sistema de identificação por balloons da lista de componentes da Figura 37.	66
Figura 39 - Os painéis horizontais são suscetíveis de articulação nas ligações, essa deformação compromete a sequencia de montagem. Cada 1,0 mm de diferença de planeza no piso corresponde a uma abertura de 1,8mm no ponto de apoio do painel de cobertura.	68
Figura 40 - Ilustração mostrando a versatilidade das sapatas da fundação, o pino permite regulagem de altura e a sapata articulada se auto ajusta ao solo. O recurso permite perfeito nivelamento e planeza do piso da edificação, requisito para a montagem das paredes e da cobertura.....	69
Figura 41 - Exemplos de paredes sem e com abertura.	75
Figura 42 - Exemplos de paredes com quadros de revestimento vertical instalados e os quadros de revestimento contornando abertura onde viria a ser instalada uma esquadria.	76
Figura 43 - Revestimento da junta entre dois painéis.	77
Figura 44 - Identificação das soluções aplicadas aos quadros conforme a Tabela 8.	78
Figura 45 - Ilustração da seção da parede estrutural.....	82
Figura 46 - Da direita para a esquerda a sequencia de montagem de um quadro de revestimento externo típico: (a) a moldura é formada com quatro perfis de chapa dobrada de aço carbono cortados a 45° soldados nos cantos e depois a tela é soldada na face interna da aba posterior, (b) o isolamento já cortado é encaixado no quadro, (c) a vedação é colada na aba da frente e (d) vista posterior do quadro pronto.....	82

Figura 47 - Os três modelos de cartolas utilizados.. A). cartola com 80 milímetros de profundidade para uso externo nos revestimentos da fachada Sul; B). cartola de uso geral nos revestimentos externos; e C). cartola para uso nos revestimentos internos, na face da frente do perfil os rasgos para alojar os acessórios que permitem fixar móveis, equipamentos ou objetos de decoração em qualquer parede a qualquer momento. Todos contém o encaixe que proporciona auto posicionamento dos quadros de revestimento,	85
Figura 48 - Componentes para suportar equipamentos e objetos instalados nas paredes, os dois modelos ilustrados tinham peças para instalação à esquerda e à direita.	86
Figura 49 - Cartola com os componentes para suportar equipamentos ligados por encaixe removível.....	86
Figura 50 - Ilustração da portabilidade dos quadros de revestimento. No detalhe à direita as redes fixadas na laje, as interfaces intermediárias e os conectores.....	87
Figura 51- Exemplo do chassi do quadro do forro dimensionado a partir de duas informações: a modulação dos Mainieri de forro do acervo; e as dimensões de cada ambiente.	93
Figura 52 - Elemento de manuseio do forro, quadro formado pelo chassi e os painéis de forro.	94
Figura 53 - O forro pode ser manuseado com conforto por quatro pessoas.	95
Figura 54 - Imagem de divulgação da Ekó House onde se pode ver a rampa de acesso e a varanda lateral esquerda sem proteção.	102
Figura 55 - Guarda corpo virtual instalado na estrutura modelada do deque que forma as varandas. Nesta imagem não são apresentados os acessos por escada e por rampa.	108
Figura 56 - Parts list identificação e quantificação dos componentes para montagem do guarda corpo nas varandas	108
Figura 57 - Ilustração da primeira peça projetada a partir da definição do conceito de fixação do guarda corpo utilizando o pilar da estrutura do deque.	109
Figura 58- Ilustração das informações gráficas disponibilizadas para o beneficiador	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os <i>therbligs</i> e suas representações gráficas e coloridas.	20
Tabela 2- Relação dos materiais e processos de tratamento de superfície selecionados para a produção dos sistemas construtivos analisados.	25
Tabela 3 - Configuração das ligações projetadas especificamente para os sistemas analisados.	32
Tabela 4 - Fixações, tipos e aplicações.	49
Tabela 5 - Exemplos de variáveis para especificações dos parafusos.	51
Tabela 6 - Requisitos e soluções para adequar o sistema estrutural à portabilidade expressa no programa da Ekó House	61
Tabela 7- Requisitos e soluções do sistema de revestimento vertical.	72
Tabela 8 - Relação de itens e suas variações para definir cada quadro de revestimento vertical, ver Figura 4.	74
Tabela 9 - Diversidade de dimensões das áreas das paredes estruturais a serem revestidas. ..	75
Tabela 10 - Requisitos e soluções para o sistema de forro.	91
Tabela 11 - Composição do sistema de forro magnético removível.	97
Tabela 12 - Operações de montagem do sistema.	99
Tabela 13 - Requisitos e soluções para o sistema de guarda corpo.	104
Tabela 14 - Composição do sistema de guarda corpo transparente.	111

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMD - *Avions Marcel Dassault*

BIM – *Building Information Modeling*

CAD – *Computer Aided Design*

CADAM – *Computer Aided Design And Manufacturing*

CAM – *Computer Aided Manufacturing*

CATIA – *Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*

CNC – *Computer Numeric Control*

CRFS – Cimento Reforçado com Fio Sintético

FAU – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

NBR – Norma Brasileira

OSB – *Oriented Strand Board*

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PVB – *Poli Vinil Butiral*

REZ - Residência de Energia Zero

SDE – *Solar Decathlon Europe*

TIG – *Tungsten Inert Gas*

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

USP – Universidade de São Paulo

ZEB - *Zero Energy Building*

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	13
1.1.2	Objetivo	13
1.2	Método	14
1.2.1	Investigação	15
1.2.2	Produção	16
1.2.3	Transporte, montagem e desmontagem	16
1.3	Estrutura dos capítulos	17
2.	PRODUÇÃO DIGITAL	18
2.1	Artesanato digital	18
2.2	Tempos e movimentos	19
2.3	Montadora	21
3.	MATERIAIS, LIGAÇÕES E FIXAÇÕES	24
3.1	Materiais	24
3.1.1	Aço ao carbono	26
3.1.2	Aço inoxidável:	27
3.1.3	Chapa cimentícia:	27
3.1.4	Madeira:	28
3.1.5	Vidro:	28
3.2	Ligações	30
3.2.1	Componente de ligação:	30
3.2.2	Componente de fixação:	31
3.2.3	Estrutura	32
3.2.4	Revestimento Vertical	40
3.2.5	Forro	43
3.2.6	Guarda corpo	45
3.3	Fixações	49

3.3.1	Fixações mecânicas com rosca	50
3.3.2	Fixações mecânicas por encaixe.....	55
3.3.3	Fixações químicas.....	57
3.3.4	Fixação magnética.....	58
4.	ESTRUTURA	59
4.1	História	59
4.2	Acervo	60
4.3	Proposta para situação atual.....	61
4.3.1	Projeto de fabricação e montagem.....	61
4.3.2	Documentação	64
4.3.3	Produção	66
4.3.4	Montagem.....	68
5.	REVESTIMENTOS VERTICAIS.....	70
5.1	História	70
5.2	Acervo	70
5.3	Proposta	71
5.4	Personalização.....	73
5.4.1	Geometria	74
5.4.2	Materiais	78
5.4.3	Uso.....	81
5.4.4	Manuseio.....	83
5.5	Manutenção e Atualização.....	87
6.	SISTEMA DE FORRO	88
6.1	História	88
6.2	Acervo	90
6.3	Proposta para a situação atual.....	91
6.3.1	Requisitos	92
6.3.2	Soluções	92
6.4	Produção	96
6.4.1	Projeto.....	96
6.4.2	Fabricação	96
6.5	Montagem do sistema	99
7.	SISTEMA DE GUARDA CORPO	102
7.1	História	102

7.2 Acervo	103
7.3 Proposta	104
7.3.1 Requisitos	104
7.3.2 Soluções	105
7.4 Produção	107
7.4.1 Ligações	109
7.4.2 Vidros	110
7.4.3 Fabricação	110
7.4.4 Montagem do sistema	113
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115

1.0 INTRODUÇÃO

Produzir um protótipo, ainda sem a reprodutibilidade dos componentes industrializados, configura um cenário semelhante ao do trabalho artesanal, onde os componentes são produzidos um a um e depois aplicados aos sistemas que compõem o protótipo. Se nesse cenário for incluído o uso de recursos de projeto, auxiliados por computador, trabalhando em ambiente exclusivamente virtual, o protótipo se configura como o resultado de produção por artesanato digital.

É no campo da fabricação digital que esta pesquisa de mestrado está inserida, valendo-se do uso de *software* parametrizado para projetar e produzir os sistemas pré-fabricados de uma Residência de Energia Zero (REZ).

Para efeito desta pesquisa, a Residência de Energia Zero é conceituada de acordo com uma das definições adotadas por Torcellini, Deru e Crowley (2006): *net zero site energy building – site ZEB*. Trata-se de uma edificação que produz, por meio de fontes locais, a energia que consome, considerando um balanço anual. A REZ pode ser conectada à rede pública e integrar um sistema de geração distribuída de eletricidade. Preferencialmente, a energia provém de fontes renováveis e é produzida, por exemplo, por meio de painéis fotovoltaicos integrados à edificação, aquecedores de água por irradiação solar, instalações de pequena escala para produção de energia eólica, entre outros.

O projeto de uma REZ requer a integração funcional de sistemas complexos, além de um nível de precisão compatível aos componentes industrializados usados nessas edificações. Os recursos dos *softwares* de modelagem de informações da construção (BIM *Building Information Modeling*), ou a interoperabilidade desses com *softwares* de manufatura, por vezes, não possuem atributos suficientes para o desenvolvimento do projeto da REZ.

Foram identificados os principais atributos do *software* de manufatura que o tornam adequado ao uso proposto:

- (a) modelagem 3D parametrizada de componentes virtuais idênticos aos que serão produzidos;
- (b) controle dimensional dos componentes possibilitando a verificação precisa de interferências geométricas entre os sistemas;
- (c) geração de arquivos amigáveis com equipamentos operados por comando numérico computadorizado;
- (d) prototipagem digital para análise da consistência funcional da estrutura e resolução de problemas na fase de projeto.

Muda-se o paradigma - da construção para fabricação e montagem – onde o se valoriza o projeto que define procedimentos, representa e controla, efetivamente, todas as etapas desde a produção até a montagem final incluindo os procedimentos relacionados com logística.

Este trabalho está inserido em um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de maior abrangência batizado de Ekó House¹ (Figura 1). O objetivo geral do projeto P&D é iniciar o desenvolvimento de uma competência nacional em projeto e construção para implantação de uma indústria nacional de REZ, com tecnologia própria e adequada às condições climáticas brasileiras.



Figura 1 - Ilustração do projeto de arquitetura da Ekó House. Maquete eletrônica de Rovi Ferreira.²

A criação de bases para uma indústria nacional de REZ implica pesquisa tecnológica conciliada à realidade do segmento da construção civil brasileira. Por isso, optou-se pela estratégia de inovar no desenvolvimento do processo de projeto, visando novas formas de uso de produtos do mercado. O uso não convencional de materiais e componentes construtivos já conhecidos viabiliza a transferência das inovações ao meio produtivo e, adicionalmente, assegura as demandas de manutenção com a garantia de reposição de produtos e serviços ao longo da vida útil da edificação.

A opção pela pré-fabricação da edificação tem como objetivo atender a um requisito do processo de produção, ou seja, a possibilidade de montagem/desmontagem e transporte da edificação com a garantia da reutilização de componentes sem perda da funcionalidade das ligações. As demais vantagens da pré-fabricação – aumento da produtividade e racionalização

¹ Projeto P&D amparado pelo convênio ECV308/09 estabelecido entre Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.), Universidade de São Paulo (USP) e Fundação da Universidade de São Paulo (FUSP), considerando as diretrizes e o plano de ação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). Além dos pesquisadores da Universidade de São Paulo, também participam desse convênio pesquisadores das Universidades Federais de Santa Catarina (UFSC), do Rio Grande do Sul (UFRGS), do Rio de Janeiro (UFRJ), do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

² Pesquisador da UFSC

no canteiro; redução do desperdício de materiais – estão em conformidade com o requisito precípua do projeto - a eficiência energética, não apenas no uso, mas também na produção e montagem do protótipo físico da Ekó House.

1.1 Justificativa

A proposta de criar bases de desenvolvimento de competência nacional para uma indústria de projeto e montagem de REZ pré-fabricadas é seguir a tendência do que está ocorrendo em países desenvolvidos. A produção industrial de casas nos Estados Unidos cresce em torno de 7% ao ano e há espaço para crescimento estimado nesse mercado em 90% para a próxima década ou na opinião dos menos otimistas para os próximos 20 anos. O crescimento de 12% no ano de 2001 fez do segmento de construção de casas modulares o de maior crescimento no mercado residencial (NASEREDDIN; MULLENS; COPE, 2006). Na Alemanha as casas de madeira representam 14% das construções novas e dessas 84% são pré-fabricadas. Uma fábrica cujos processos de produção estão muito automatizados, na Alemanha, produz mil casas por ano trabalhando com um terço da capacidade (MITCHEL; HURST 2010) o que pode sinalizar que os fabricantes estão se preparando para atender a um significativo aumento na demanda.

Fabricantes de países desenvolvidos optam por cada vez mais produzirem edificações pré-fabricadas utilizando processos automáticos e fabricação digital, com vantagens potenciais se comparadas à construção convencional, tais como: a produção num galpão está protegida contra intempéries; o galpão também oferece conforto aos profissionais, melhor controle da qualidade e construção simultânea de componentes diferentes; num galpão se podem utilizar equipamentos especializados; os processos permitem um controle eficiente de materiais; e a velocidade garante um retorno mais rápido do capital investido. Os processos ajudam a contornar as dificuldades causadas pela crescente e irreversível escassez de mão de obra especializada.

Produção modular pré-fabricada é também uma solução estratégica na busca de processos que reduzem ou eliminam o que é excessivo ou supérfluo; são processos que facilitam a eliminação de resíduos, melhoram a qualidade da construção, mantêm o foco no consumidor e na cultura local. Idealmente a produção pré-fabricada deve produzir e entregar aos clientes edificações de alta qualidade, num prazo menor e a um custo menor (NASEREDDIN; MULLENS; COPE, 2006). Atingindo o objetivo dessas melhorias e ideais a, industrialização de edificações utilizando técnicas de fabricação digital também se apresenta como boa estratégia para a busca de produção sustentável.

1.1.2 Objetivo

Analisar a viabilidade do uso de *software* parametrizado com recursos dedicados a manufatura e prototipagem digital para projetar e produzir sistemas pré-fabricados de uma Residência de Energia Zero (REZ)

1.2 Método

A pesquisa é desenvolvida por meio do estudo de caso do projeto e da produção do protótipo físico da Ekó House. O protótipo físico é compacto e tem área habitável de 45 m². A edificação foi projetada para um programa de uso mínimo, que integra o dormitório, área de estar, cozinha e área de serviço. O banheiro é o único espaço compartimentado. O gabinete técnico que abriga equipamentos dos sistemas de condicionamento do ar interno, produção de energia, aquecimento de água, instalações elétricas, hidráulicas e automação predial é um ambiente separado da edificação com acesso externo e independente para garantir a segurança durante o uso e possibilitar a manutenção dos sistemas.

A Ekó House foi produzida com um segundo objetivo: participar com representante do Brasil no certame internacional Solar Decathlon Europe 2012 (SDE 2012) realizado em Madri, na Espanha, em setembro de 2012 (Figura 2). Essa participação impôs outros requisitos para atender o regulamento da competição: (a) logística de montagem e transporte compatível com uma operação em outro continente; (b) tempo de montagem em 15 dias; e (c) tempo para desmontagem 5 dias. O foco do desenvolvimento do projeto e da produção da Ekó House considerou que, além de pré-fabricada, a residência era também portátil



Figura 2 – Foto da Ekó House durante o SDE 2012.³

³ Foto disponível em <http://ekobrasil.org/site/wp-content/uploads/2012/09/10.jpg>
Acesso em 03/03/2014.

Foram selecionados para análise os quatro sistemas da edificação que melhor representam a síntese dos requisitos determinantes do projeto de uma Residência de Energia Zero.

Em cada sistema analisado há especificidades relacionadas ao histórico do processo de projeto, disponibilidade de recursos materiais, humanos, financeiros e de tempo. A introdução do *software* de manufatura no desenvolvimento do projeto de cada sistema se deu em etapas distintas do processo, permitindo a identificação do impacto positivo e do potencial de melhoria trazidos pelo uso do *software* de manufatura.

Os sistemas analisados foram:

- (a) Estrutura de madeira - análise da aplicabilidade do *software* de manufatura para incluir ajustes e alterações no projeto inicial;
- (b) Revestimento vertical portátil, - análise do artesanato digital na produção de muitos elementos semelhantes e pouca repetição;
- (c) Forro removível magnético – uso do *software* como auxiliar para análises e tomada de decisões de projeto;
- (d) Guarda corpo transparente – valorização do projeto, por meio da produção confiável de um sistema analisado apenas no ambiente digital.

O desenvolvimento da pesquisa passou por três etapas com limites bem definidos. A primeira onde as ações são de caráter investigativo para conhecer os antecedentes da pesquisa P&D da qual ela faz parte. A segunda etapa, de caráter produtivo, com a utilização dos recursos do *software* de manufatura na análise do conteúdo existente e na proposta de novas soluções ou de modificações; nesta etapa foram produzidos os componentes físicos e foi realizada a primeira montagem do protótipo no canteiro experimental em São Paulo. A terceira etapa, operacional, incluiu a desmontagem do protótipo em São Paulo a embalagem dos componentes e transporte a Madrid, seguida da montagem e uso do protótipo durante a competição em Madrid; esta etapa permitiu a verificação da viabilidade da utilização do *software* para o projeto e produção dos sistemas analisados.

A seguir são apresentadas as etapas da pesquisa para cada sistema analisado, descritas na sequencia encadeada de atividades.

1.2.1 Investigação

A pesquisa teve início com uma investigação das atividades desenvolvidas no período que antecedeu a participação deste autor. O objetivo desta primeira atividade foi tomar conhecimento da sua história e a sua evolução e com isso facilitar a conciliação de novas propostas com o conteúdo material e imaterial existente.

Seguiu-se a coleta de dados de projetos técnicos, dimensionamentos e cálculos, bem como a realização de um inventário de insumos adquiridos e serviços contratados destinados à produção da casa. O objetivo foi conhecer as premissas e os resultados dos projetos já desenvolvidos (arquitetônico, estrutural, de instalações).

O inventário do acervo existente e a pesquisa de fornecedores tiveram como objetivo obter um panorama dos recursos e limitações de mercado para produção de componentes por prototipagem digital.

A elaboração de uma base de dados com a consolidação das informações obtidas nas ações de investigação teve como objetivo criar referências consistentes para suporte das ações de caráter produtivo.

1.2.2 Produção

A etapa teve início com as simulações preliminares. Antes de iniciar a produção de projetos foram feitas simulações com modelos simplificados que permitiram uma visão de como se transcorreria todo o processo, desde a produção dos modelos digitais até a logística de transporte, montagem e desmontagem da edificação. Requisitos específicos exigidos para o funcionamento de uma residência energia zero também foram considerados para as alterações de projeto e proposição de novas soluções de montagem. Os resultados das simulações fundamentaram decisões sobre alterações de projeto, produção e logística.

Seguiu-se a atividade de modelagem. A partir das informações contidas na base de dados físicos, o passo seguinte foi dedicado às tarefas de produção da base imaterial da modelagem e prototipagem virtual que conduziu as ações desse ponto em diante.

Na sequência foi iniciado o processo de fabricação e a primeira atividade foi desenvolver a documentação para a produção digital de componentes sem escala industrial.

Com os projetos dos componentes e procedimentos de fabricação e montagem, teve início a produção dos elementos do protótipo físico usando os equipamentos computadorizados de comando numérico e, em determinados casos, usando máquinas convencionais. A documentação gerada contém o conhecimento de todos os processos que envolvem a produção de componentes para que essa produção possa ser executada com segurança por diversos fornecedores terceirizados que, preferencialmente, tenham equipamentos operados por comando numérico.

A montagem do protótipo iniciou no ambiente de um fornecedor terceirizado, os elementos ali produzidos foram transportados para o canteiro montado na área do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo - IEE USP - onde a montagem foi concluída.

1.2.3 Transporte, montagem e desmontagem.

Com a finalização da primeira montagem do protótipo, feita em sucessivas fases de ajustes, a fase operacional teve início com a desmontagem do protótipo, embalagem e estufagem dos elementos da casa, passando pelo transporte rodoviário entre São Paulo e Madrid. A partir do embarque o protótipo passa a se comportar como produto.

A fase operacional foi concluída com a montagem do protótipo e uso em Madrid.

A desmontagem do protótipo após o período da competição deu início a um novo ciclo operacional.

1.3 Estrutura dos capítulos

O capítulo 2 apresenta uma perspectiva geral sobre o trabalho do artesão digital e a essência da forma de pensar o projeto e a produção sob o olhar da eficiência.

O capítulo 3 apresenta a análise das propriedades e adequação dos materiais selecionados para produzir os sistemas analisados. Adicionalmente é feita a apresentação dos conceitos e princípios usados para o desenvolvimento de soluções de montagem desses sistemas, utilizando ligações e fixações convencionais e inovadoras.

Os capítulos de 4 a 7 apresentam, respectivamente, os sistemas analisados: estrutura de madeira, quadros portáteis de revestimento, forro magnético e guarda-corpo.

O capítulo 8 apresenta as considerações finais e as conclusões da pesquisa.

As referências bibliográficas são apresentadas no capítulo 9.

2. PRODUÇÃO DIGITAL

Neste capítulo é analisada a condição contemporânea de projeto e produção de componentes, elementos e montagem de edificações pré-fabricadas. A pesquisa foi desenvolvida sobre informações colhidas durante a produção do projeto Ekó House, que resultou numa edificação pré-fabricada, de alta eficiência energética e portátil.

*We made our tools and our tools made us.
Marshall Mc Luhan*

2.1 Artesanato digital

Na prática contemporânea, Orcioli⁴ define os profissionais que utilizam meios digitais para projetar e produzir edificações como *artesãos digitais*.

O artesão digital dedica-se à produção de componentes em séries pequenas que permitem muita personalização, participando como protagonista ativo do dilema de mercado que contrapõe *Mass Customization x Mass Production*. Thien (2011) lembra que bens de produção e serviços nas áreas relacionadas com produção e personalização, respectivamente, estão entre as cinco maiores economias internas dos países e analisa esse dilema prevendo uma transformação:

...that recent technological advances — including flexible manufacturing, cloud computing, nanotechnology and smart sensing — can better enable the transformation from mass production to mass customization⁵.

Entre os exemplos bem sucedidos de produção por artesanato digital Orcioli (2012) citou a empresa do ramo de vestuário, Desigual⁶, que explora o mercado de peças únicas, em uma tentativa de fomentar a produção local e evitar o efeito da dependência europeia da produção chinesa.

Para atuar como artesão digital o profissional precisa ter formação abrangente e amplo conhecimento técnico sobre diversas disciplinas. O artesão digital trabalha com domínio sobre todas as técnicas e processos utilizados para produção das peças. O artesão digital deve estar

⁴ Informação pessoal obtida em palestra apresentada pelo professor Affonso Orcioli em 18/10/2012 aos alunos da disciplina AUT-5834 Informática aplicada a arquitetura ministrada pelo professor Arthur Hunold Lara.

⁵...os recentes avanços tecnológicos - incluindo manufatura flexível, a computação em nuvem, a nanotecnologia e a detecção inteligente - podem viabilizar a transformação de produção em massa para a customização em massa. Tradução livre do autor.

⁶ Empresa espanhola baseada em Barcelona fundada em 1984 pelo suíço Thomas Meyer quando tinha 20 anos de idade. Disponível em: http://www.desigual.com/en_US/sobre-nosotros
Acesso em 28/02/2014

preparado para atender a crescente demanda por personalização, notadamente no segmento de edificações.

As ferramentas contemporâneas utilizadas na criação e no desenvolvimento dos produtos virtuais são os recursos disponíveis nos *softwares* especializados em *design* e manufatura. O poder das ferramentas desses *softwares* é consequência da versatilidade proporcionada pela parametrização.

A parametrização viabiliza a integração e documentação das várias fases do processo, proporciona alto nível de confiabilidade e precisão do projeto, e permite foco na funcionalidade e integração dos sistemas, vai muito além dos aspectos geométricos.

Para um artesão digital produzindo edificações, os *softwares* de modelagem de informações da construção seriam a opção natural. Não obstante o relato das inúmeras aplicações bem sucedidas dos *softwares* BIM, especialistas sugerem que estes *softwares* ainda necessitam de avanços para análise de cenários para a aplicação integral no projeto de REZ (NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL, 2008). Plume e Mitchell (2007) ainda sugerem a aplicabilidade dos *softwares* BIM, preferencialmente, para registro e documentação das decisões de projeto, enquanto estas, propriamente ditas, são tomadas a partir de simulações e cálculos feitos por *softwares* específicos. A interoperabilidade desses *softwares*, por vezes, não é suficiente para garantir a compatibilização dos diversos sistemas no BIM, com o nível de precisão requerido para o projeto da REZ. (DOMINGUES; OLIVEIRA, 2011).

2.2 Tempos e movimentos

Edificar uma parede, mesmo que essa edificação seja resumida a montagem de um elemento projetado e produzido como uma parede, é um trabalho que demanda muitas tarefas. No final do século XIX, quando a forma de edificar paredes era construí-las assentando tijolo por tijolo, a velocidade da edificação era consequência da eficiência dos profissionais que executavam as inúmeras tarefas envolvidas no processo.

Nessa época o pesquisador Frank Bunker Gilbreth (1868-1924), trabalhava como pedreiro e ainda jovem se tornou empreiteiro e mais tarde consultor de empresas de engenharia. Motivado em buscar meios de tornar o serviço de um pedreiro mais fácil e rápido, Gilbreth analisou cuidadosamente o trabalho de um pedreiro e reduziu de 18 para 5 o número de movimentos para assentar um tijolo, como consequência diminuiu a fadiga e aumentou a produtividade (GILBRETH, 1921)

As pesquisas de Gilbreth o levaram a concluir que são 16 os tipos de movimentos possíveis realizados durante a execução de qualquer tarefa. Nas suas análises Gilbreth tratava os movimentos como unidades e as batizou de *therbligs*, um anagrama do seu nome. Para facilitar a montagem e interpretação das planilhas analíticas cada *therblig* era representada por um símbolo e por uma cor (Tabela 1). (GILBRETH JR; CAREY, 1948)

Tabela 1 - Os *therbligs* e suas representações gráficas e coloridas.

	THERBLIG	SÍMBOLO		THERBLIG	SÍMBOLO
1	Procurar		10	Desmontar	
2	Encontrar		11	Utilizar	
3	Escolher		12	Soltar	
4	Pegar		13	Inspecionar	
5	Transportar vazio		14	Segurar	
6	Transportar cheio		15	Esperar inevitável	
7	Posicionar		16	Esperar evitável	
8	Preposicionar		17	Descansar	
9	Montar		18	Planejar	

Os recursos contemporâneos para projetar de forma consistente os componentes e as montagens de uma edificação permitem que sejam reduzidos os movimentos necessários para edificar.

A redução de movimentos obtida pela interoperabilidade entre *softwares* parametrizados utilizados em *design* e manufatura e os equipamentos de produção controlados por controle numérico computadorizado (CNC *computer numeric control*) é uma das qualidades dos recursos contemporâneos que viabilizam o processo de artesanato digital.

Ao investir tempo em análises e soluções no ambiente virtual que resulte no projeto e na produção de um componente de ligação por encaixe de uso removível, uma peça muito elaborada com recursos que compatibilizem as propriedades físicas diferentes dos materiais ligados, que sua geometria conduza naturalmente os elementos ligados às suas posições finais, mesmo que seja uma peça sem produção em série, o artesão digital está trabalhando com mesmo pensamento e obtendo os mesmos resultados do pesquisador Gilbreth. A eficiência da montagem com a utilização desse componente acaba por revelar esse pensamento.

Frank Gilbreth foi um dos precursores, no início do século XX, do estudo sobre tempos e movimentos. Gilbreth (1909), no prefácio de um dos livros que escreveu sobre o assunto cita a finalidade do estudo:

The phase “Motion Study” explains itself.

The aim of motion study is to find and perpetuate the scheme of perfection.

There are three stages in this study:

(a) Discovering and classifying the best practice

(b) Deducing the laws

(c) Applying the laws to standardize practice, either for the purpose of increasing output or decreasing hours of labor, or both.⁷

Foi nessa época que surgiu o fascínio por eficiência, notadamente nas indústrias. Desde então tempo e movimento são utilizados para avaliar o resultado das propostas e teorias lançadas diariamente com o objetivo de melhorar a eficiência na produção, um exemplo são as montadoras de automóveis.

2.3 Montadora

O uso de *softwares* paramétricos na produção industrial é uma história recente. Datam da década de 1970 as aplicações pioneiras de CADAM⁸ realizadas pela indústria aeronáutica. Nessa época ainda uma ferramenta que operava em 2D. Pressionada pelas exigências da complexidade de seus projetos a Avions Marcel Dassault (AMD), uma empresa da área de aeronáutica, formou uma equipe para desenvolvimento de *software* interativo entre projeto e produção trabalhando em ambiente tridimensional. Assim nasciam as bases para o que viria a ser o CATIA⁹ que foi desenvolvido na década seguinte pela Dassaud Systèmes e comercializado pela IBM. O Catia foi o *software* utilizado no *mock-up* digital para o projeto do Boeing 777 (DASSAUD SYSTÈMES, 2012), conhecido como o primeiro avião a jato com produção 100% digital.

Os artigos relatando a produção digital aplicada à industrialização de edificações são mais recentes. Por volta da metade da década de 2000 a Alemanha produzia casas modulares pré-fabricadas utilizando em suas operações equipamentos industriais operados por comando numérico nas linhas de montagem. A indústria alemã aplicava esses recursos de forma mais intensa do que a indústria norte americana (MITCHEL; HURTS, 2009). No Brasil não se tem notícia desse tipo de aplicação em indústrias especializadas em produção de casas pré-fabricadas.

⁷ A frase "Estudo de movimento", explica-se por si só. O objetivo do estudo de movimento é encontrar e perpetuar o esquema de perfeição. Existem três fases do estudo: (a) Descobrir e classificar a melhor prática; (b) Deduzir as leis (ou métodos); (c) Aplicar as leis (ou métodos) para padronizar a prática, quer para efeitos de aumento da produção ou diminuição de horas de trabalho, ou de ambos. (tradução do autor).

⁸ Computer Aided Design And Manufacturing

⁹ Computer Aided Three-dimensional Interactive Application ou Aplicações interativas tridimensionais auxiliadas por computador.

O projeto assistido por computador (*CAD computer aided design*) foi a primeira evolução, mas não uma evolução na forma de projetar e sim uma evolução da ferramenta, de manual para digital. A forma de pensar o projeto e o resultado era idêntica ao que se obtinha com desenho manual. Na prática trocou-se a prancheta física por uma prancheta digital.

A partir dos módulos de desenho tridimensional dos *softwares* de CAD e do surgimento dos *softwares* de modelagem paramétrica com propriedades de interoperabilidade com equipamentos de produção é que ocorreu inovação, os chamados *softwares* de manufatura. Uma vez modelados os componentes o *software* gera, se necessário, as representações gráficas destinadas à interpretação dos humanos. Os *softwares* de manufatura proporcionam a produção de componentes com absoluta precisão de formas e dimensões sem que haja interferência humana.

Um recurso para análise entre os componentes de uma montagem virtual por meio de ligações mecânicas permite verificar a consistência da montagem e se existem interferências de natureza geométrica ou se está correto o alinhamento entre furos dos componentes ligados e os componentes utilizados na fixação.

Um banco de dados interno ao *software*, permite atribuir aos componentes modelados o material com qual a peça será produzida incluindo informações sobre as propriedades físicas. Antes de o componente entrar em produção é possível saber o seu volume, a sua superfície e a sua massa. Com o recurso de simulação e análise de tensão e deformação dos componentes pode ser avaliado o comportamento do componente em uso.

Produzir habitação foi uma das primeiras tarefas do homem, faz-se isso desde os tempos em que habitavam cavernas. Até hoje essa produção é muito pulverizada e o resultado é consequência de muitos fatores que incluem situação geográfica, economia, cultura etc. Não há padronização de pensamento sobre a forma ideal de produzir, falta *design*.

Alonso¹⁰ define *designer* (artesão digital) com um profissional que conhece tanto as formas geométricas com as quais trabalha como os métodos utilizados para produzi-la. O *design* feito sob esses critérios resulta num produto consistente. Para o artesão digital, por exemplo, não é suficiente saber que um parafuso, liga e fixa dois componentes. Para selecionar e especificar corretamente um parafuso é necessário verificar cerca de 15 das suas características, algumas relacionadas diretamente com as propriedades físicas dos materiais que serão ligados.

A indústria automobilística com pouco mais de cem anos é muito nova se comparada à indústria da construção, e teve uma evolução muito rápida. Na indústria automobilística tudo que se produz é produto de *design*, é contemporâneo, é produzido a partir de *softwares* parametrizados¹¹.

Orcioli (2012) compara o valor por metro quadrado de uma edificação com o mesmo índice aplicado a um automóvel e conclui que os valores são semelhantes, mas, lembra que não se

¹⁰ Informação pessoal obtida em disciplina ministrada pelo Professor Carlos Egídio Alonso, AUP 5825 Síntaxe e redesenho em sistemas simples e complexos de objetos, da FAUUSP.

¹¹ Informação pessoal obtida em disciplina ministrada pelo Professor Arthur Hunold Lara, AUT 5834 Novas tecnologias de simulação e modelagem da arquitetura, da FAUUSP.

podem comparar as funções contidas na porta de um automóvel com as funções contidas numa porta de edificação.

Kieran e Timberlake (2004)¹² comparam processos construtivos convencionais com processos produtivos industriais. São comparados valores absolutos e relativos em situações semelhantes de construir no local - um ambiente onde o domínio do saber se confunde com o domínio do fazer - com montar numa fábrica - um ambiente onde o responsável pelo produto tem o domínio do saber e transfere para terceiros qualificados o domínio do fazer.

Kieran e Timberlake (2004) sinalizam que a indústria da construção em breve poderá atualizar seus métodos de produção utilizando mais processos com pensamento semelhante ao da indústria automobilística.

Ao final do livro é narrada uma parábola da transformação das instalações de uma fábrica de aviões de grande porte numa fábrica de edificações:

*THE NEW PARADIGM. Boeing Constructs method of fabrication and assembly has revolutionized architecture, or rather evolutionized architecture. Construction is simpler, more faster, more precise, and less expensive. What Le Corbusier did not realize and Boeing Constructs did was that to create a machine to live in you need to build it as you would a machine.*¹³

¹³O NOVO PARADIGMA .O método de fabricação e montagem da Boeing Constructs revolucionou a arquitetura ou melhor,evolucioouarquitetura.Sua construção émais simples, mais rápida, mais precisae menos dispendiosa.O que LeCourbusiernão percebeue a Boeing Constructs fez foique, para criaruma máquinapara viveré precisoconstruí-lacomose fosseuma máquina. Tadução livre do autor.

3. MATERIAIS, LIGAÇÕES E FIXAÇÕES

Neste capítulo inicialmente são apresentados os materiais utilizados na produção dos sistemas analisados. Na sequência são analisadas as soluções desenvolvidas para produção de componentes de ligação utilizados entre componentes e entre elementos de manuseio durante os processos de montagem e desmontagem da edificação. Ao final são analisados os critérios de seleção das fixações utilizadas em conjunto com as ligações.

Neste trabalho foi adotado o uso das seguintes expressões:

- (a) Elemento de manuseio: a menor peça de um sistema durante os procedimentos de logística de transporte e montagem, por exemplo, uma parede estrutural ou um quadro de forro;
- (b) Painel: a maior parte dos elementos de manuseio utilizados na montagem tem a configuração de painel, o termo só foi utilizado para: os componentes da estrutura de madeira e para os componentes do revestimento do forro previamente adquirido no mercado;
- (c) Quadro: os elementos de manuseio utilizados nos revestimentos verticais e no forro em substituição ao termo painel;
- (d) Ligação: as peças que permitem a união entre dois ou mais componentes;
- (e) Fixação: os componentes que fixam as ligações aos componentes unidos.

3.1 Materiais

A elaboração do projeto de fabricação da Ekó House, desenvolvido como artesanato digital, por meio de *software* paramétrico de manufatura, foi elaborado com o objetivo de ser fabricado por processos de interoperabilidade com recursos de fabricação digital. Essa decisão criou uma das direções para a seleção dos materiais, do tratamento de superfícies, das ligações e das fixações.

A primeira diretriz para definir a seleção dos materiais foi atender exigências de projeto de arquitetura e especificações estabelecidas para atendimento dos requisitos de processo e desempenho.

Para produzir os quatro sistemas analisados nesta dissertação foram selecionados cinco materiais básicos (Tabela 2).

Cada material pode ser compatível com mais de uma alternativa de tratamento de superfície o que permite selecionar o tratamento adequado que melhor condicione o material para o uso a que se destina. A Tabela 2 relaciona os materiais aos tratamentos selecionados.

Interferiu nessa seleção a frequência de montagens e desmontagens, além do transporte rodoviário intercontinental que a programação da Ekó House previa para as suas primeiras experiências como edificação de alta eficiência energética. Na prática, os tratamentos selecionados também são aplicáveis a projetos para sistemas construtivos de edificações pré-fabricadas e portáteis implantadas em áreas de maior agressividade ambiental como, por exemplo, regiões litorâneas.

Por ser uma edificação pré-fabricada a casa apresentava demandas não usuais se comparada a edificações construídas por métodos convencionais. Por ser uma edificação portátil, tais demandas vão além daquelas de uma casa pré-fabricada. A necessidade de montagens e desmontagens frequentes dá outras diretrizes específicas para seleção de tratamento de superfície:

- (a) Sistemas que durante os processos de transporte, montagem e desmontagem exigem manuseio frequente ou que necessitem de equipamento auxiliar para movimentação deveriam ter um tratamento de superfície resistente à abrasão.
- (b) Sistemas expostos ao tempo ou outras condições ambientais adversas deveriam ter tratamento anticorrosivo resistente ao intemperismo.
- (c) Sistemas com pouco manuseio ou não expostos a condições climáticas adversas poderiam receber tratamento de superfície com função cosmética.

Tabela 2- Relação dos materiais e processos de tratamento de superfície selecionados para a produção dos sistemas construtivos analisados.

MATERIAL	PRODUTO	SISTEMA	TRATAMENTO
Aço ao carbono	Chapa cortada	Estrutura	Galvanoplastia
	Perfil Laminado	Estrutura	
		Revestimento vertical	
	Perfil Conformado	Guarda corpo	
		Revestimento vertical	Pintura Eletrostática
Forro			
Aço Inoxidável	Perfil Conformado	Revestimento vertical nas áreas úmidas	Escovação
Chapa Cimentícia	Placas	Revestimento Vertical interno	Pintura PVA
		Revestimento Vertical externo	Impermeabilização
Madeira	Processada	Estrutura	Nenhum
	Serrada		
Vidro	Laminado e Temperado Incolor	Guarda Corpo	

	Incolor Pintado	Revestimento vertical das áreas úmidas	
	Espelho	Revestimento no Banheiro	

3.1.1 Aço ao carbono

São ligas metálicas constituídas basicamente de Ferro, Carbono, Silício e Manganês, apresentando também outros elementos inerentes ao processo de fabricação, em percentuais controlados¹⁴.

A liga especificada, em função de disponibilidade de mercado é conhecida como ABNT 1020¹⁵ ou apenas aço 1020, é considerado uma liga de aço baixo carbono e baixo manganês¹⁶. É uma liga excelente em forjabilidade e soldabilidade, porém não é recomendado para processos de usinagem. Muito utilizada na fabricação de parafusos, eixos, componentes forjados sem uso estrutural e tubos soldados¹⁷.

Na produção da estrutura os componentes de ligação entre as peças de madeira são de aço carbono. Excetuando-se os parafusos e outros componentes padronizados e disponíveis no mercado, todos os demais foram fabricados a partir de chapas laminadas a quente e perfilados laminados.

Chapas laminadas a quente são chapas de aço plano que não passam por outro processo industrial de transformação após o processo de laminação na espessura em que será comercializada. A superfície das chapas laminadas a quente é rugosa e por isso é pouco utilizada em peças que requerem bom acabamento. As chapas finas estão disponíveis com espessuras a partir de 1,2 mm e a espessura das chapas grossas a partir de 6,35 mm.

Os perfilados laminados são perfis padronizados obtidos por processo de laminação a quente resultando em um material não plano com as mesmas características das chapas laminadas pelo mesmo processo. Produzidos em muitos formatos e dimensões os exemplos mais utilizados no projeto foram: perfil cantoneira ou perfil L; e perfil T.

Na produção dos componentes metálicos do revestimento, do forro e do guarda corpo foram utilizados perfis especificamente conformados de chapa de aço plano laminado a frio.

Chapas laminadas a frio são chapas que após a laminação de uma chapa mais espessa, passam por uma sequencia de processos de laminação em temperatura ambiente reduzindo a sua espessura até aquela em que será comercializada. Sua superfície é lisa e, portanto muito utilizada em componentes que requerem bom acabamento. Esse processo é exclusivo para chapas finas e não é aplicado para chapas com espessura final acima de 3,0 mm ou 1/8".

¹⁴ Fonte: http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/acos_especiais_aocarbono.asp, acesso em 20/10/2013

¹⁵ Norma ABNT NM 87:2000 Aço carbono e ligados para construção mecânica, designação e composição química.

¹⁶ Segundo a norma ABNT NM 87:2000 a composição química em porcentagem do aço ABNT 1020 é: Carbono entre 0,18% a 0,23%; Manganês entre 0,30% a 0,60%; Fósforo 0,040%; e Enxofre 0,050%.

¹⁷ Fonte: http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/acos_especiais_aocarbono.asp, acesso em 20.10.2013

Para produção de componentes perfilados personalizados produzidos com geometria e dimensões específicas para uso nos sistemas de revestimento vertical, forro e guarda corpo foi especificada a chapa fina de aço plano ao carbono laminada a frio conformada por equipamentos de corte e dobra operados por controle numérico.

3.1.2 Aço inoxidável:

É uma liga de vários elementos químicos, sendo os principais o ferro e o carbono contendo pelo menos 10,5% de cromo. Sua composição química é balanceada para ter resistência à corrosão. Os aços comuns reagem com o oxigênio do ar formando uma camada superficial de óxido de ferro. Essa camada é porosa e permite a contínua oxidação em presença de umidade do aço produzindo a corrosão. No aço inoxidável a combinação do oxigênio do ar com o cromo da liga forma na superfície do aço uma camada fina, contínua, estável e muito resistente que o protege contra a corrosão do meio ambiente¹⁸.

A liga especificada para utilização no projeto é conhecida como aço inoxidável austenítico ABNT 304¹⁹. São exemplos de sua utilização a fabricação de utensílios domésticos, produtos para fins estruturais e equipamentos industriais.

No revestimento das paredes das áreas úmidas foram utilizados perfilados conformados a partir de chapas finas de aço plano inoxidável. Esses componentes foram desenhados para alojar as interfaces das instalações desses ambientes e sua produção se desenvolveu com a utilização de equipamento de corte a laser e equipamento de dobra, ambos operados por comando numérico.

3.1.3 Chapa cimentícia:

Produzida com tecnologia CRFS (cimento reforçado com fio sintético) composta de cimento Portland, fibras poliméricas e fibras celulósicas. É um material adequado a vedação, podendo ser utilizado em ambientes internos e externos²⁰.

Sua produção é normatizada pela ABNT²¹ que estabelece requisitos e métodos de ensaio.

Para minimizar a absorção de água e a consequente variação dimensional após o corte as chapas receberam tratamento de superfície com aplicação de selante impermeabilizante monocomponente a base de elastômeros²²

¹⁸ Fonte: <http://www.abinox.org.br/aco-inox-abc-do-aco-inox.php> acesso em 20/10/2013.

¹⁹ Segundo a norma ABNT NBR 5601:2011 Aços inoxidáveis- Classificação por composição química, a composição química em porcentagem do aço inox austenítico ABNT 304 é: Carbono 0,08%; Manganês 2,0%; Silício 1,0%; Fósforo 0,045%; Enxofre 0,030%; Cromo entre 18,0% e 20%; e Níquel entre 8,0% e 10,50%.

²⁰ Fonte: <http://www.brasilit.com.br/produtos/paineis/placa-cimenticia.php> acesso em 20/10/2013

²¹ ABNT NBR 15498:2007 Placa plana cimentícia sem amianto – requisitos e métodos de ensaio.

²² Selante Impermeabilizante para Placa Cimentícia, produzido pela empresa Adespec Adesivos Especiais.

Para a produção dos quadros do sistema de revestimentos internos e externos foi selecionada a chapa com 10 mm de espessura e que, segundo o fabricante²³, é indicada para áreas secas e úmidas, internas e externas. A chapa cimentícia foi cortada utilizando equipamento convencional de marcenaria e as aberturas foram feitas com equipamentos eletro portáteis.

3.1.4 Madeira:

Para o sistema estrutural foram utilizados componentes de (a) madeira serrada (vigas, pilares, travessas e montantes) a madeira selecionada foi cumaru com classe de resistência C60²⁴, conforme NBR7190 (ABNT, 1997); (b) madeira transformada (painéis de contraventamento de OSB – *Oriented Strand Board*) e ligações metálicas em aço carbono. Com esses componentes foram produzidos os diversos elementos estruturais da edificação: os painéis verticais (paredes) e horizontais (laje de piso e de cobertura).

Além da função original de garantir a resistência mecânica e estabilidade do protótipo, a estrutura de madeira têm mais duas funções: (a) atua como vedação vertical interna e externa e (b) faz parte da envoltória externa e do sistema de isolamento térmico do protótipo (DOMINGUES; OLIVEIRA, 2011).

3.1.5 Vidro:

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão²⁵. Acredita-se que a descoberta do vidro tenha ocorrido por volta de 4000 anos antes de Cristo e que a exemplo de outras descobertas ocorreu de forma casual.

Todos os vãos das paredes da casa, portas e janelas, foram fechados com esquadrias de alto desempenho em isolamento acústico e duas folhas de vidro laminados.

Além do fechamento dos vãos, o material vidro foi selecionado para dois sistemas da casa: (a) revestimentos verticais internos; e (b) sistema de guarda corpo.

(a) Revestimentos verticais:

Seguindo orientação do fabricante para as áreas úmidas internas da casa, foi especificado um vidro de alta transparência com uma das faces pintada na cor extra branco²⁶ com espessura de 6,0 mm. A seleção desse vidro se deu pelas suas qualidades de acabamento e facilidade de higienização.

Na parede do banheiro onde foi instalado o lavatório, além do vidro pintado foi utilizado espelho com 6,0 mm de espessura, adequado a aplicação em áreas úmidas em conformidade

²³ Brasilit - Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Ltda. Uma das empresas parceiras do projeto Ekó House. O grupo Saint-Gobain foi um dos patrocinadores do evento Solar Decathlon Europe 2012.

²⁴ Madeira com $f_{c0k} = 60\text{MPa}$ (tensão característica à compressão paralela às fibras)

²⁵ A composição química do vidro em porcentagem é: Sílica 72%, Sódio 14%, Cálcio 9%, Magnésio 4%, Alumina 0,7% e Potássio 0,3%.

²⁶ Produto fabricado pela Cebrace Cristal Plano Ltda, empresa do grupo Saint-Gobain comercializado com a marca Coverglass.

com a NBR 15198. O processo produtivo desse espelho inclui a proteção da camada de prata com duas camadas de tinta²⁷

(b) Sistema de guarda corpo:

Para ser utilizado em sistemas de segurança na habitação, como é o caso de uso em guarda corpo, o vidro precisa ser produzido com características adequadas e que o qualifiquem para tanto.

Apenas vidros laminados compostos por pelo menos duas folhas podem ser utilizados em sistemas de segurança. Mesmo com a quebra de uma das folhas a folha não danificada assegura a integridade do conjunto e, na eventualidade da quebra das duas folhas, o PVB²⁸, componente de ligação entre as folhas, permite a integridade do conjunto.

Numa instalação com vidro laminado e ligação por meio de componentes de fixação que dependam de orifícios, as folhas de vidro devem ser previamente temperadas.

A composição dos vidros utilizados no sistema de guarda corpo foi: duas folhas de vidro temperado com 6,0 mm de espessura cada uma laminadas com PVB incolor. A precisão dimensional da produção desses componentes foi assegurada pelos recursos de equipamentos de usinagem de vidro operados por CNC.

²⁷ Espelho Cebrace, marca da Cebrace Cristal Plano Ltda, empresa do grupo Saint-Gobain.

²⁸ PVB, (poli)vinil butiral, película adesiva com a função de ligas duas folhas de vidro.

3.2 Ligações

Durante a montagem/desmontagem/manutenção de uma edificação pré-fabricada e portátil o recurso que pode contribuir para melhorar a eficiência dessas tarefas que necessitem de remoção e recolocação de elementos de manuseio são as ligações.

Mesmo que os elementos que compõem a montagem tenham sido bem solucionados individualmente em algum momento eles serão ligados a outro elemento. Essa tarefa só será eficiente se o elemento de ligação for desenvolvido de forma a se ajustar com precisão às características físicas dos elementos ligados e os procedimentos de ligação e fixação sejam executados com o menor número de tarefas (2.2).

Durante o processo de projeto, com o olhar sempre voltado para a edificação montada e não construída, foram criadas soluções para os componentes de ligação, por vezes inovadoras, que além de cumprir a função básica de ligar também foram configurados como componentes que propiciassem instalação rápida e fácil.

Os processos de montagem de sistemas de edificação utilizam componentes que tem a função específica de unir elementos ou outros componentes dos sistemas entre si. As ligações desses componentes são de três de tipos: (a) ligação com fixação permanente, onde os componentes são utilizados uma única vez para formar elementos de manuseio; (b) ligação com fixação temporária, onde os componentes são utilizados para montagens auxiliares durante a produção dos elementos ou durante o transporte; e (c) ligação com fixação removível, utilizada entre elementos de manuseio na mesma frequência das montagens e desmontagens pelas quais a edificação é submetida. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** indica para cada sistema analisado os materiais e os tipos de ligação usados.

3.2.1 Componente de ligação:

É projetado para se adaptar às características físicas dos elementos a serem unidos. Para projetar um componente de ligação é necessário analisar as características necessárias ao uso a que se destina. Como exemplo são citadas: a dimensão dos componentes a serem unidos; a massa de cada componente; a forma como a ligação é montada na estrutura; o acesso e a facilidade operacional para montagens e desmontagens frequentes; as características de contato entre materiais com dureza diferente; comportamento diferente quando submetido a esforços; diferença de potencial eletrostático entre outras.

No projeto Ekó House os componentes de ligação foram produzidos a partir de projetos desenvolvidos especificamente para cada situação de cada sistema. O mercado nacional de ferragens para uso em moveis ou construção civil não disponibilizava componentes que pudessem cumprir as mesmas funções ou que tivessem desempenho compatível com as exigências do projeto.

Os componentes de ligação de uso mais frequente foram os que realizavam ligações mecânicas, utilizados em processos permanentes, temporários ou removíveis. Muitos

processos de ligação mecânica utilizados prescindiam de componentes de fixação para serem montados.

3.2.2 Componente de fixação:

Em processos de montagens convencionais normalmente são utilizados componentes de fixação divididos em dois grupos: (a) fixações mecânicas como, por exemplo, as fixações com rosca dos parafusos e porcas; e (b) fixação química que contém o universo dos adesivos.

No projeto Ekó House soluções inovadoras permitiram o uso de outras formas de fixação como (a) magnetismo por meio de ímãs com alta intensidade de campo magnético, conhecidos como super ímãs²⁹ de neodímio³⁰; ou (b) fixação por encaixe utilizando fechos reposicionáveis³¹ de alto desempenho.

Os componentes de fixação mecânica são produzidos atendendo a padrões estabelecidos por normas internacionais numa grande diversidade de alternativas disponibilizadas no mercado nacional especializado em fixações³². Essa padronização permite que um componente possa ser substituído a qualquer momento em qualquer lugar onde houver comércio dessa natureza.

Diferente das ligações mecânicas, ao invés de projetar cada componente especifica-se a fixação por meio das informações contidas em tabelas fornecidas pelos fabricantes. Essas tabelas contêm todas as informações necessárias para sua correta seleção.

O projeto de uma ligação deve informar a especificação das fixações a serem utilizadas de forma a compatibilizar os recursos de todos os componentes participantes de cada ligação.

Em determinadas situações as ligações e as fixações se confundem, configuradas como um só componente cumprindo as duas funções, ligar e fixar. Ocorre frequentemente em ligações com fixação química.

²⁹ Os super ímãs, são produzidos com metais do grupo terras raras, no caso o neodímio; uma pastilha formada pelo componente prensado com proteção, mecânica e anti-corrosiva, por meio de uma camada de níquel por processo eletrolítico é posteriormente magnetizada. Fonte www.magnetosgerias.com.br

³⁰ Neodímio, metal do grupo das terras raras. São considerados permanentes pelo fato de não terem suas propriedades alteradas com o tempo e em temperaturas abaixo de 200^oC (FARIA;LIMA, 2005)

³¹ Conhecidos no mercado como Velcro, marca registrada da Velcro Industries

³² O principal fornecedor de fixações que atendeu ao projeto Ekó, a D'Allanese Fixações e Ferramentas, uma empresa especializada nesse segmento, possui em seu estoque cerca de 40.000 itens de fixação mecânica.

Tabela 3 - Configuração das ligações projetadas especificamente para os sistemas analisados.

SISTEMA	PRODUTO/ ETAPA	MATERIAIS LIGADOS	MATERIAL/ COMPONENTE DE LIGAÇÃO	TIPO DE LIGAÇÃO
Estrutura	Estrutura dos painéis	2 componentes de madeira serrada	Aço Carbono	Permanente
	Revestimento dos painéis	Madeira Serrada e OSB	Aço carbono e polímero (adesivo)	Permanente
	Montagem das lajes entre si	2 componentes de aço carbono	Aço Carbono	Removível
	Montagem das paredes, entre si e nas lajes	2 componentes de madeira serrada	Aço Carbono	Removível
	Transporte dos painéis	Aço Carbono e madeira serrada	Aço Carbono	Temporária
Revestimento Vertical	Quadros externos	Chapa cimentícia e aço carbono	Adesivo	Permanente
	Quadros externos	2 componentes de aço carbono	Aço carbono	Removível
	Quadros internos	Vidro e aço carbono	Adesivo	Permanente
	Quadros internos	2 componentes de aço carbono	Aço carbono	Removível
	Molduras de acabamento	Aço carbono e madeira serrada	Polímero (Fecho reposicionável)	Removível
Forro	Quadro removível	Aço carbono e aço carbono	Terras raras (imã)	Removível
Guarda corpo	Fechamento vertical	Vidro e perfis de alumínio	Aço carbono	Removível

3.2.3 Estrutura.

A produção da estrutura foi executada em duas etapas bem definidas.

Na primeira etapa foram formados os painéis estruturais, horizontais e verticais, ou, as lajes e as paredes. Nessa etapa foram utilizados dois tipos de ligações: (a) permanentes; e (b) removíveis.

A segunda etapa atendeu as exigências de logística de transporte e montagem e foi utilizado um terceiro tipo de ligações: (c) temporárias.

(a) Ligações com fixação permanente:

As ligações mecânicas entre os componentes da retícula de perfis de madeira serrada foram projetados e produzidos com componentes de aço carbono com tratamento de superfície por eletrodeposição de zinco e fixação por parafusos específicos para a madeira conhecida como madeira de lei³³ (Figura 3). A madeira cumaru é densa, dura e se torna quebradiça na região próxima das bordas. Com essas características a montagem dos quadros dos painéis, se feita por processos convencionais de marcenaria, como por exemplo, a técnica conhecida como meia madeira (Figura 4), não resultaria num elemento com a precisão dimensional exigida para uma edificação montada.

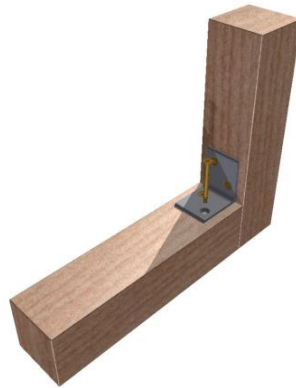


Figura 3 - Ligações com componente de aço e fixação por parafusos.



Figura 4 - Encaixe tipo meia madeira com fixação por pregos.

Da mesma forma, as ligações entre os quadros de retícula de madeira serrada e o revestimento feito com chapas de madeira processada, OSB foram executadas com parafusos e adesivo (Figura5).

³³ Mittolaw, marca da Industrias Micheletto. Um parafuso com ponta auto perfurante e perfil de rosca adequado a fixação em madeira de classe 60 (3.1.4).

Nas premissas estabelecidas no projeto estrutural a chapa de OSB contraventa os painéis, daí a decisão de fixação com redundância. Mecânica com ligações metálicas e parafusos e química com adesivo. O adesivo evita que os componentes fixados se movimentem durante as operações de logística de transporte e montagem. As vibrações causadas pelo movimento dos componentes podem causar o risco das fixações mecânicas de soltarem.



Figura5 - Fixação do revestimento na estrutura, a premissa que propunha que o revestimento trabalharia como contraventamento do painel orientou a ligação com redundância.

Essa aplicação de ligações, utilizando fixação mecânica e química, é um exemplo de caso onde ligação e fixação se confundem, uma vez, que não foi utilizado um terceiro componente com a função específica de compatibilizar as características físicas dos dois componentes unidos.

(b) Ligações com fixação removível:

(b.1) Ligando painéis verticais

A montagem dos painéis verticais da estrutura, ligando um painel ao outro ou ligando cada painel vertical à laje da edificação, foi feita por encaixe simples utilizando um componente de aço carbono alojado em cavidades usinadas nos dois componentes de madeira serrada dos dois elementos de manuseio (Figura6). Após o encaixe os componentes de ligação foram fixados com parafusos. Para realizar essas tarefas a cada montagem e desmontagem da estrutura foi necessário remover a fixação. Com o desgaste provocado pelo uso, alguns parafusos precisaram ser substituídos. A reposição dos parafusos é tarefa simples uma vez que são componentes com padronização internacional.



Figura6 - Encaixe com ligação removível.

(b.2) Ligando painéis horizontais

A montagem entre dois painéis horizontais, as lajes lado a lado, tanto de piso como decobertura foi um dos momentos que mereciam mais atenção, as demais tarefas eram paralisadas e todos os montadores se envolviam com a tarefa. Essas lajes eram os elementos de manuseio com maior massa, cerca de 2 t por peça.

A solução adotada para a ligação entre os painéis horizontais permitiu que a tarefa, mesmo complexa, se desenvolvesse de forma rápida e segura.

Cada elemento das lajes era composto por quatro segmentos na direção longitudinal, formando uma retícula de madeira com os componentes ligados por meio de elementos de aço carbono (Figura7eFigura8).

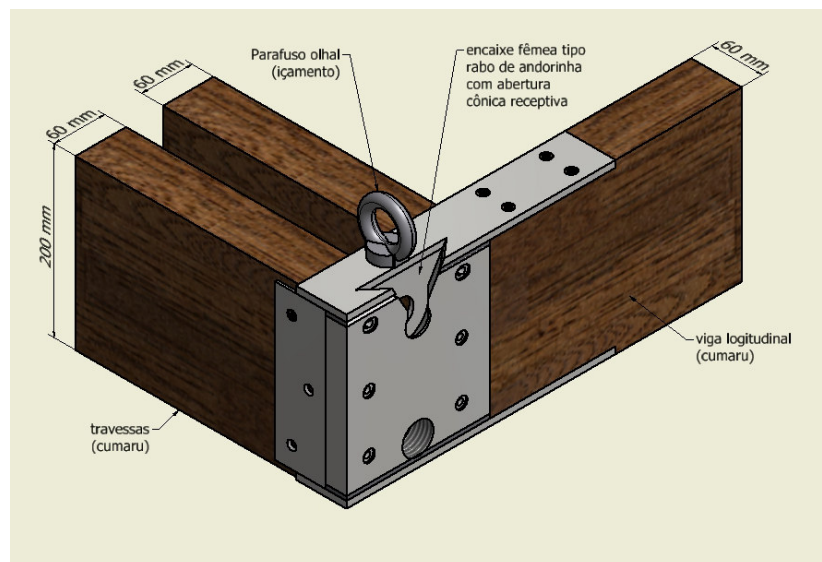


Figura7 - Ligação fêmea.

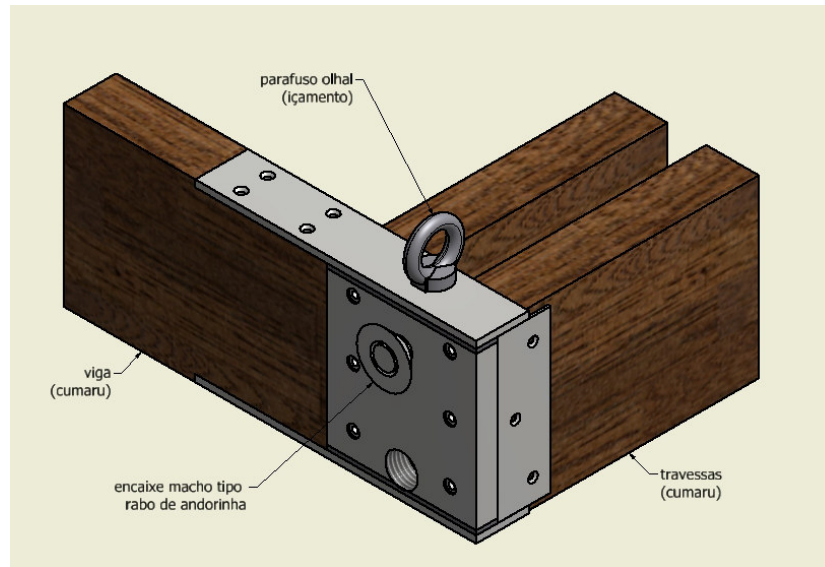


Figura8 - Ligação macho.

O elemento de ligação instalado nos 10 vértices de cada quadro eram elementos complexos, cada elemento atendia a quatro funções utilizadas em momentos diferentes: *(a)* durante a montagem dos painéis esses elementos faziam as ligações permanentes entre as vigas e as travessas da estrutura; *(b)* durante a movimentação dos painéis com auxílio de um guindaste, era instalado em cada ligação um parafuso olhal para alojar, numa ligação temporária, os ganchos dos acessórios de movimentação de carga; e *(c)* um sistema de encaixe macho e fêmea tipo rabo de andorinha com abertura cônica receptiva no componente fêmea, esse recurso permite uma ligação removível entre os painéis horizontais.

Durante a montagem, a abertura cônica receptiva do componente fêmea permite que o pino do componente macho mesmo estando posicionado na posição aproximada do ponto de ligação seja direcionado naturalmente para o seu local definitivo (Figura9), uma operação que, mesmo complexa tinha reduzido número de movimentos.

Essa ligação foi feita com precisão simultaneamente pelos cinco elementos de ligação de cada painel. A operação foi repetida com a mesma eficiência duas vezes no piso e duas vezes na cobertura.

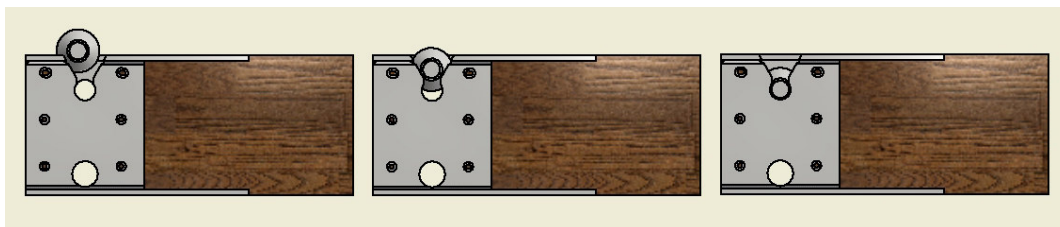


Figura9 - Ilustração do pino do componente macho sendo direcionado para a sua correta posição de ligação.

(c) Ligações com fixação temporária:

A ligação temporária é utilizada para ligar um elemento que fará parte da edificação com outro elemento que não fará parte da edificação. Essa ligação será utilizada numa tarefa auxiliar de um processo por tempo determinado e depois poderá ser descartada ou reutilizada. Um exemplo dessa solução foram os dispositivos utilizados nas tarefas de logística de transporte dos elementos da estrutura da edificação.

(c.1) Ligação temporária com fixação por encaixe:

O transporte rodoviário dos painéis estruturais de piso e parede é realizado em contêineres onde as paredes estruturais são alojadas com os elementos de revestimento já instalados.

A técnica de transporte de elementos finalizados reduz o número de movimentos e o tempo de montagem uma vez que ao término da montagem da estrutura a edificação já estará com os acabamentos externos e internos instalados, faltando apenas a colocação das concordâncias para concluir essa etapa.

Os painéis estruturais têm características limitantes para realização das tarefas de logística de transporte, tais como: *(a)* a massa dos painéis varia de 180 kg a 2.500 kg; *(b)* o volume varia de 0,4 m³ a 5,4 m³; *(c)* a espessura das paredes é de 0,22 m e a espessura do piso é 0,36 m; *(d)* a menor dimensão de uma parede é 0,70 m e a maior dimensão das lajes 6,80 m; *(e)* todos os elementos precisam ser manuseados com auxílio de equipamentos de movimentação de carga especializados; e *(f)* a superfície das faces das paredes revestidas é frágil, assim como as lajes excetuando-se as faces externas do piso e da cobertura.

A fragilidade das superfícies e a variação das dimensões não permitem o simples empilhamento de painéis dentro do contêiner. Embalar ou encaixotar painéis desse porte é uma tarefa inviável e sem garantia de proteção adequada.

Para assegurar a integridade física dos painéis durante o transporte foi desenvolvido um estaleiro composto de dois elementos: *(a)* chassi montado com perfis de aço carbono laminados a quente; e *(b)* guias verticais montadas com perfis de chapa de aço ABNT 1020 dobrada (Figura 10). O arranjo das guias no chassi permitiu uma distribuição equilibrada de massa transportada.

A função das guias de chapa dobrada foi proporcionar ligação com fixação temporária por encaixe entre os painéis e o estaleiro. Os painéis, com auxílio de equipamento de movimentação de carga, foram alojados na posição vertical e se mantiveram fixos durante as operações de movimentação do estaleiro (Figura 11). Concluída a primeira viagem, os estaleiros foram guardados para a viagem de retorno. Essa solução, adequada à produção industrial, permite que esses estaleiros retornem à fábrica para apoiar outra operação de logística de transporte.

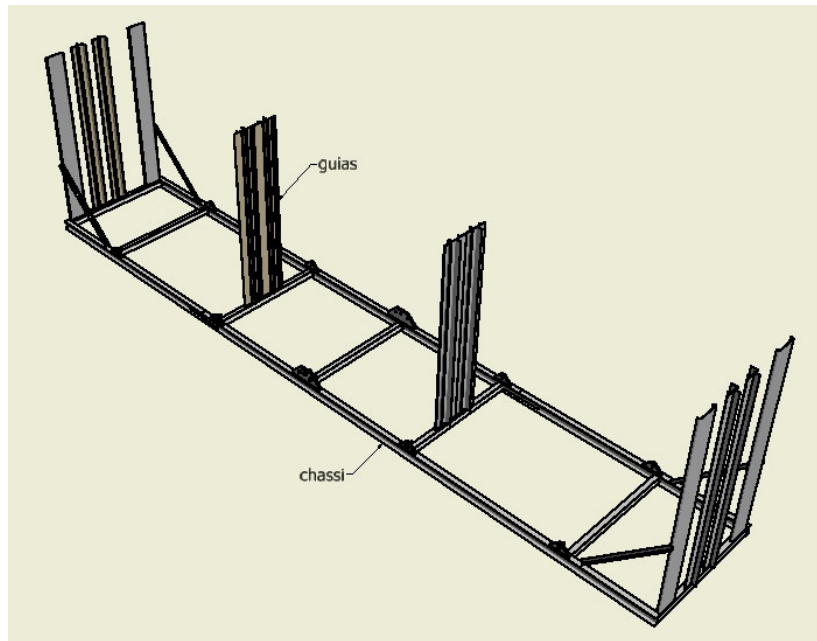


Figura10 - Estaleiro formado por chassi e guias de aço carbono.

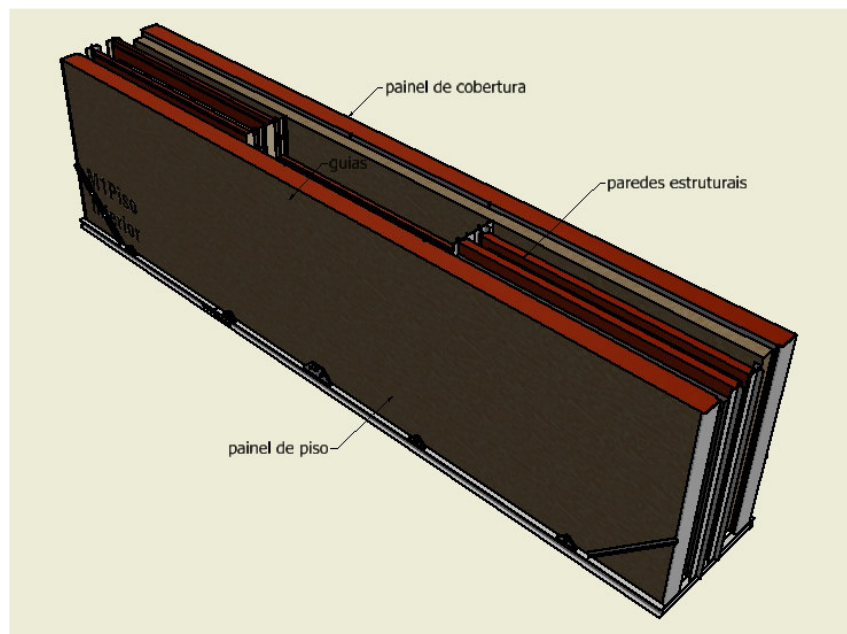


Figura 11 - Estaleiro pronto para o seu posicionamento no contêiner; os painéis estruturais ficam ligados temporariamente às guias do estaleiro.

(c.2) Ligação temporária com fixação mecânica:

Em complemento a esse recurso de logística de transporte o processo utilizou outro recurso de suspensão para o estaleiro com ligações temporárias por meio de componentes ligados com fixação mecânica. Uma vez que o estaleiro estava com os elementos da estrutura alojados, o conjunto formado pelo estaleiro com os painéis passou a ser o elemento de manuseio com massa estimada em 10.000 kg.

Para movimentar o conjunto foi instalada uma estrutura de tubos e perfis de aço laminados a quente ligada em dez pontos distribuídos ao longo das duas laterais maiores do chassi do estaleiro. A fixação da ligação temporária unindo a suspensão ao chassi foi feita com parafusos e porcas (Figura 12).

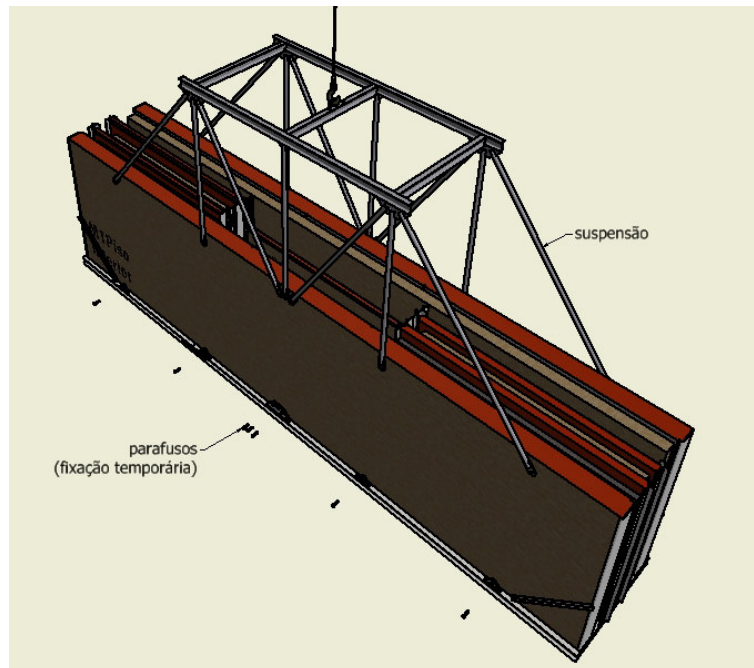


Figura 12 - Instalação da suspensão. O elemento que permitiu o içamento do estaleiro e sua fixação, temporária feita por parafusos e porcas.

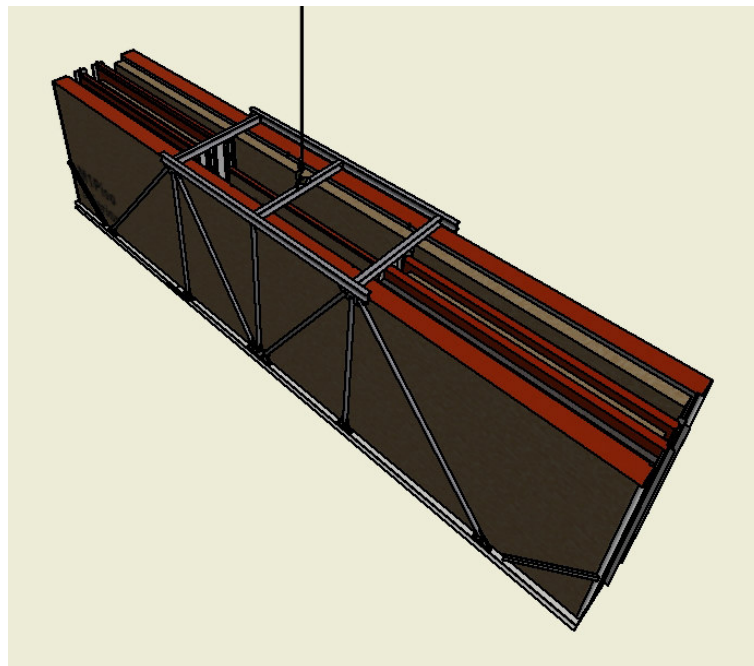


Figura 13 - O estaleiro preparado para içamento, a ligação temporária entre o chassi do estaleiro e a suspensão é feita por parafusos e porcas. A padronização da posição dos dez pontos de fixação dos três chassis permitiu que a mesma suspensão fosse utilizada em todos os içamentos.

Da forma como foi solucionada a suspensão, além de possibilitar o içamento por um único ponto de aplicação também contribuiu para a definição estrutural do estaleiro. Durante o içamento a carga é transferida igualmente por dez pontos no chassi, o que permitiu a seleção de perfis mais leves para produção do chassi sem comprometer a rigidez do conjunto (Figura 13).

Os painéis estruturais foram instalados em três estaleiros, para movimentá-los foi utilizada a mesma suspensão uma vez que a posição das ligações no chassi era padronizada.

3.2.4 Revestimento Vertical

Dentre os sistemas analisados, o revestimento vertical foi o que utilizou mais ligações entre materiais com características físicas diferentes como, por exemplo, vidro ligado de forma permanente com aço e aço ligado de forma permanente com placa de OSB.

Na face externa das paredes estruturais o revestimento vertical cumpria as funções de acabamento e vedação solucionados com chapa cimentícia e complemento do isolamento térmico com manta de sílica.

Na face interna não havia a contribuição para o isolamento, mas haviam duas funções. A primeira era facilitar a higienização nas áreas úmidas, solucionada com vidro e a segunda disponibilizar espaço para alojamento das instalações de qualquer natureza, tais como elétrica, automação, hidrossanitária.

A função de acabamento por meio do revestimento vertical tinha como objetivo ocultar e proteger as chapas de OSB das paredes estruturais mas a solução não poderia ser a simples aplicação de vidro ou chapas cimentícias ligadas diretamente às paredes. Para atingir esse objetivo foi criado um conjunto de componentes de ligação produzidos em chapa de aço carbono que além de proporcionar a interface entre os dois materiais, OSB e chapa cimentícia ou OSB e vidro, criou os espaços necessários para atender outras funções do revestimento vertical (Figura 14 e Figura 15).

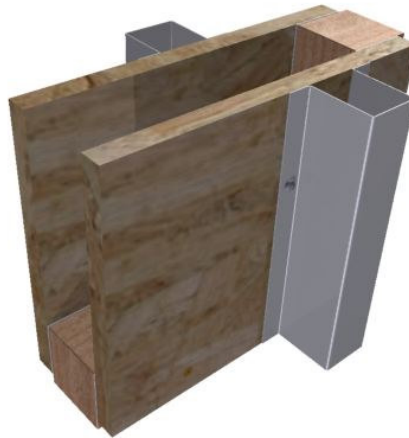


Figura 14 - Espera de aço carbono, ligação com fixação permanente nas paredes estruturais. A espera permite a interface de ligação entre materiais diferentes.



Figura 15 - Quadros de revestimento vertical, o material de acabamento, chapa cimentícia, está ligado com fixação permanente ao componente de interface, a moldura, de aço carbono.

Apesar de utilizar técnicas diferentes - nas paredes por meio de parafusos adequados³⁴ - e no revestimento utilizando fixação química com adesivo de alto desempenho a base de polieter siloxano³⁵ - as duas ligações foram executadas com fixações permanentes.

³⁴ Mittofix, marca da Indústrias Micheletto

³⁵ Produto da empresa Adespec Adesivos Especiais comercializado com a marca Pesilox



Figura 16 - Montagem do revestimento vertical, a ligação removível, por encaixe simples permite a remoção do revestimento a qualquer tempo para acesso às instalações.

A tarefa final de instalação do revestimento se fez com a ligação entre as esperas e as molduras dos quadros utilizando um recurso de ligação por encaixe com fixação removível (Figura 16). Entre o revestimento vertical e as aberturas foi necessário produzir componentes de concordância com as funções de dar acabamento e de alojar instalações. Os componentes de concordância foram produzidos com perfis de chapa de aço carbono, dobrados, com acabamento em pintura eletrostática, instalados com ligação por fixação removível devido à necessidade de acesso às instalações.

Essa ligação contém inovação por utilizar um recurso de uso corrente na indústria, notadamente na indústria têxtil, porém, pouco utilizado em edificações. Inventado em 1948 por um engenheiro suíço, o Velcro³⁶ é um fecho reposicionável composto de dois componentes, um com ganchos outro com argolas. O seu funcionamento é simples: sob pouca pressão os ganchos encaixam nas argolas mantendo o fecho estável, com pressão no sentido inverso os ganchos se desencaixam e os componentes se separam. Isso permite fácil montagem e desmontagem de componentes.

Na montagem da Ekó House foi utilizado um fecho reposicionável com fixação de alto desempenho desenvolvido para uso industrial (Figura 17).

³⁶ Velcro é marca registrada da Velcro industries

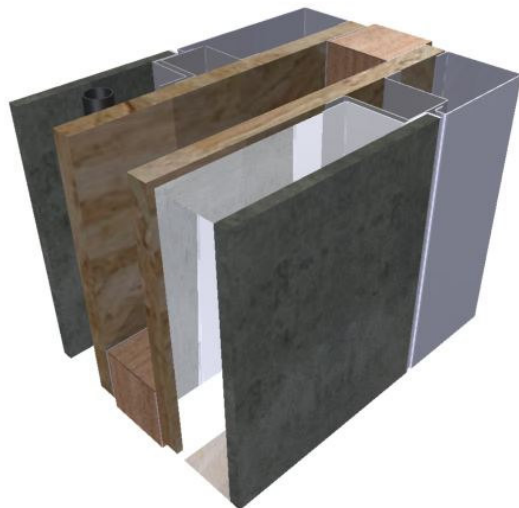


Figura 17 - Concordâncias entre o revestimento vertical e as aberturas. Fixação removível por meio de fechos reposicionáveis.

3.2.5 Forro

Os quadros de forro (Figura 18) foram produzidos de acordo com as dimensões dos ambientes de tal forma que para dar acabamento no teto de um ambiente era necessário instalar apenas uma peça. A solução para sua rápida instalação também contém inovação de uso.

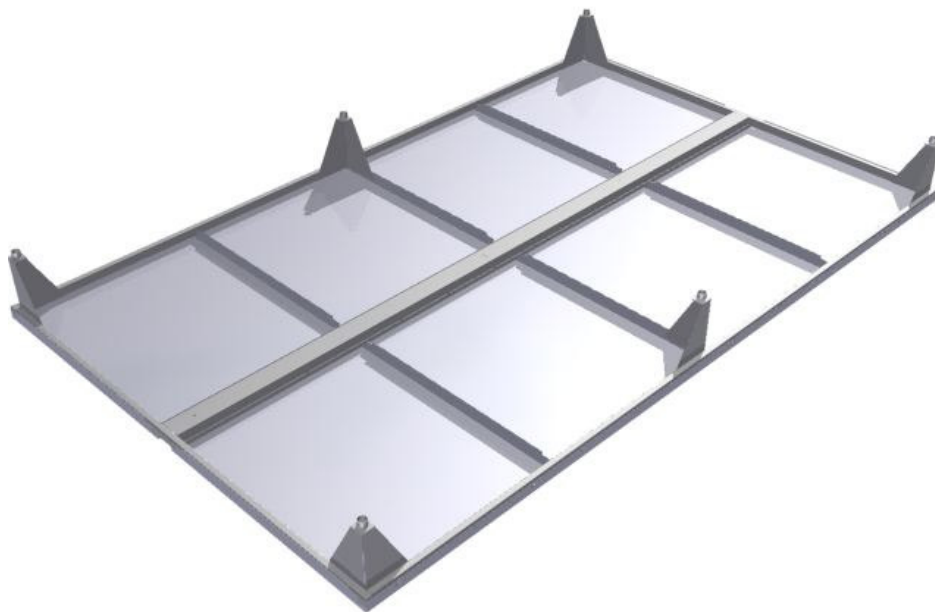


Figura 18 - Quadro de forro de um ambiente.

Apesar das dimensões, cada peça de forro era manuseada com conforto por quatro pessoas, porém, a atividade de instalar uma peça acima da cabeça é muito desconfortável e provoca fadiga em pouco tempo. O ideal é que o seja mínimo o tempo necessário para ligar um elemento com essas características à estrutura da edificação.

Por meio de componentes de ligação providos de pastilhas de super ímãs de neodímio o sistema era fixado de forma instantânea com uma ligação facilmente removível. A fixação magnética tem bom desempenho quando submetido a esforços de tração, mas, não tem o mesmo comportamento se submetido a esforços de cisalhamento, assim o conjunto pode ser facilmente desligado deslocando o conjunto até que as pastilhas percam contato com o suporte fixado no forro.

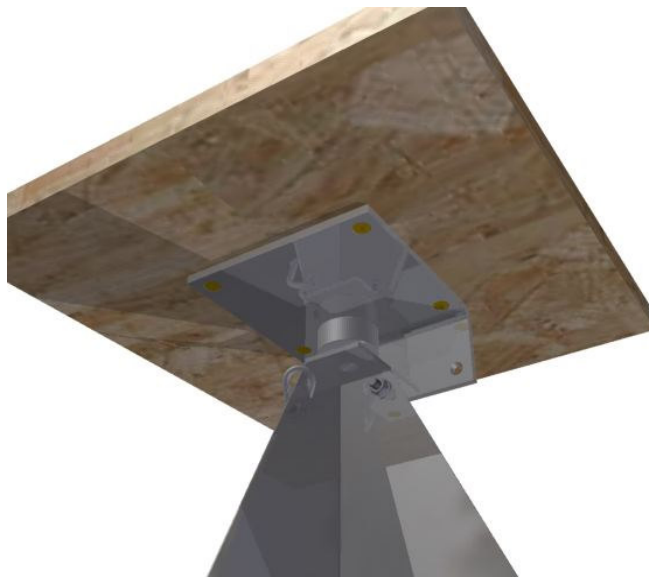


Figura 19 - Componente de ligação entre o forro e a laje.

Após o forro estar ligado à laje por fixação magnética a ligação do sistema era complementada com outras duas ligações:

- 1- Um parafuso com porca alojado em furos previamente usinados permitiu uma ligação mecânica entre o forro e o suporte instalado na laje do teto. Esse recurso funcionou como fixação removível redundante para garantir a segurança do sistema. A tarefa de instalar esse conjunto de parafuso e porca era realizada após do forro estar ligado à laje por fixação magnética. Essa técnica, portanto, não exigia esforço dos montadores que podiam se dedicar com segurança à tarefa fina de alojar as fixações.
- 2- Cabos de aço instalados e ligados por mosquetões fixados por encaixe aos componentes de ligação do forro e ao suporte correspondente na laje. Esse recurso permitiu a manutenção nas instalações fixadas na laje sem a necessidade de remoção total do forro (Figura 20).

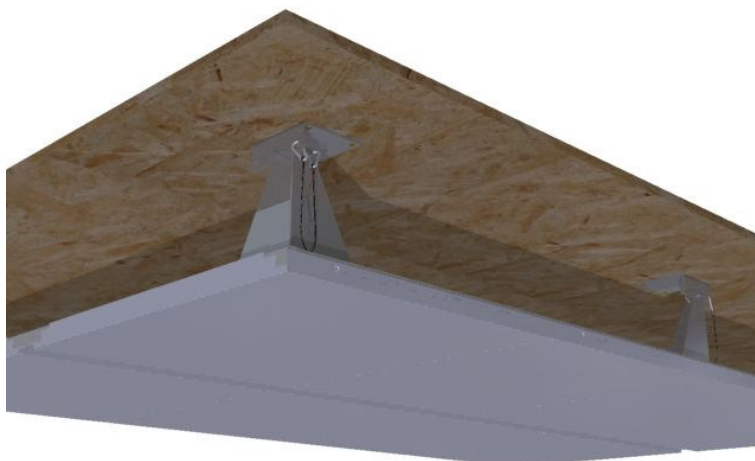


Figura 20 - Forro instalado com os três recursos de ligação, imã de neodímio, parafuso e porca de trava e suspensão por cabo de aço.

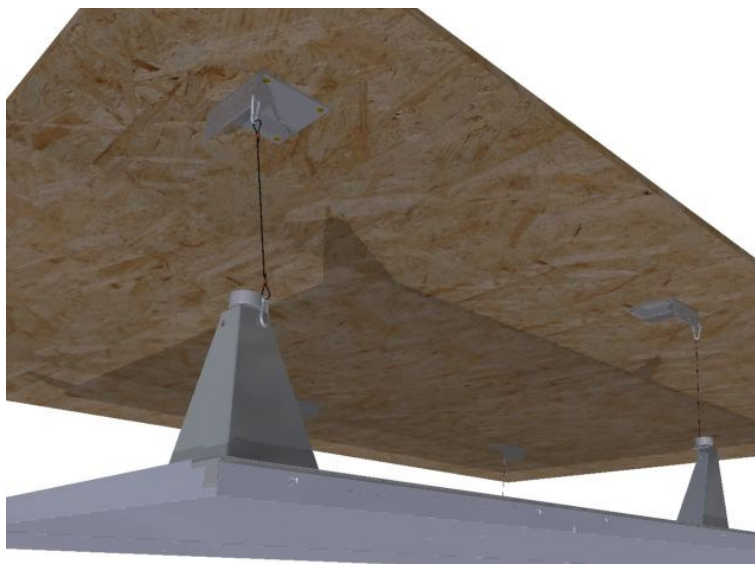


Figura 21 - Forro em posição para manutenção, suspenso por cabos de aço.

Além do uso como auxiliar de manutenção os cabos de aço também trabalharam como agentes de segurança. Em caso de descuido durante aos procedimentos de montagem e desmontagem os cabos de aço sustentam o forro a uma altura acima da cabeça dos usuários do ambiente (Figura 21).

3.2.6 Guarda corpo

Quando foi tomada a decisão pela utilização de guarda corpo de vidro, o sistema de deque que contorna a edificação, a base onde o guarda corpo seria instalado já tinha sido definida, adquirida e estava disponível parcialmente montada no canteiro.

Após analisar algumas propostas para fixar sistemas de mercado de guarda corpo no piso do deque, essas propostas foram descartadas porque as soluções de ligação entre os componentes do guarda corpo e o piso não ofereciam a segurança necessária.

Os componentes da estrutura do deque que ofereceram segurança para suportar os esforços do guarda corpo foram os pilares de elevação do piso do deque que, assim como toda a estrutura, são produzidos com perfis de alumínio.

O objetivo a ser alcançado na instalação do guarda corpo era ligar chapas planas de vidro aos pilares da estrutura do deque. Não é possível fazer essa ligação diretamente. Foi necessário desenvolver um componente de interface entre os dois sistemas.

O material que se mostrou mais adequado para produção dos componentes de interface foi chapa de aço baixo carbono ABNT 1020 com espessura de 3,0 mm. Os recursos para corte e conformação de chapas metálicas utilizando equipamentos controlados por CNC permitiram elaborar peças com as variáveis adequadas de forma e dimensões. Com esse conjunto de componentes foi possível atender a todas as demandas de geometria e esforços para instalar o guarda corpo.

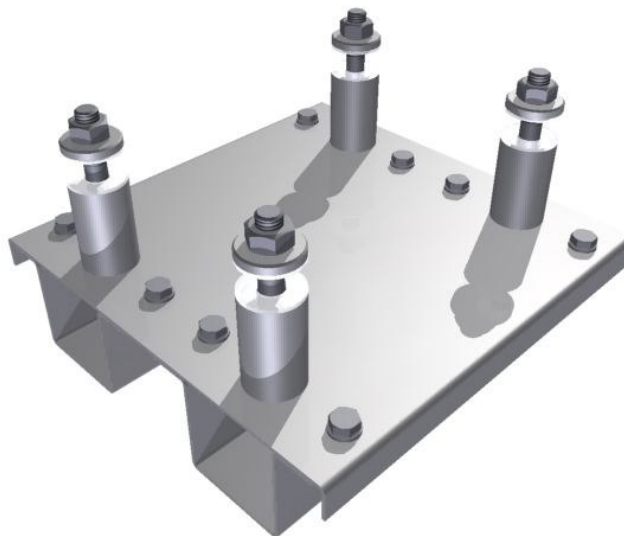


Figura 22 - Modelo de Interface entre os pilares da estrutura do deque e as chapas de vidro do guarda corpo todos os componentes que recebem esforço são de aço carbono com tratamento de superfície por eletrodeposição de zinco.

Solucionada a questão da geometria havia as questões das características físicas dos materiais ligados.

O vidro, um material reconhecidamente de ruptura frágil, tem bom desempenho quando submetido a esforços de compressão, o que facilita os processos de fixação por meio de componentes mecânicos. O vidro, em contato e sob pressão com um material mais duro trinca

com facilidade ou caso tenha sido temperado se fragmenta em milhares de pequenos pedaços. Para proteger a ligação entre o vidro e a interface de aço baixo carbono foi instalado uma junta em forma de arruela produzida a partir de manta PVC incolor³⁷ com 2,0 mm de espessura.

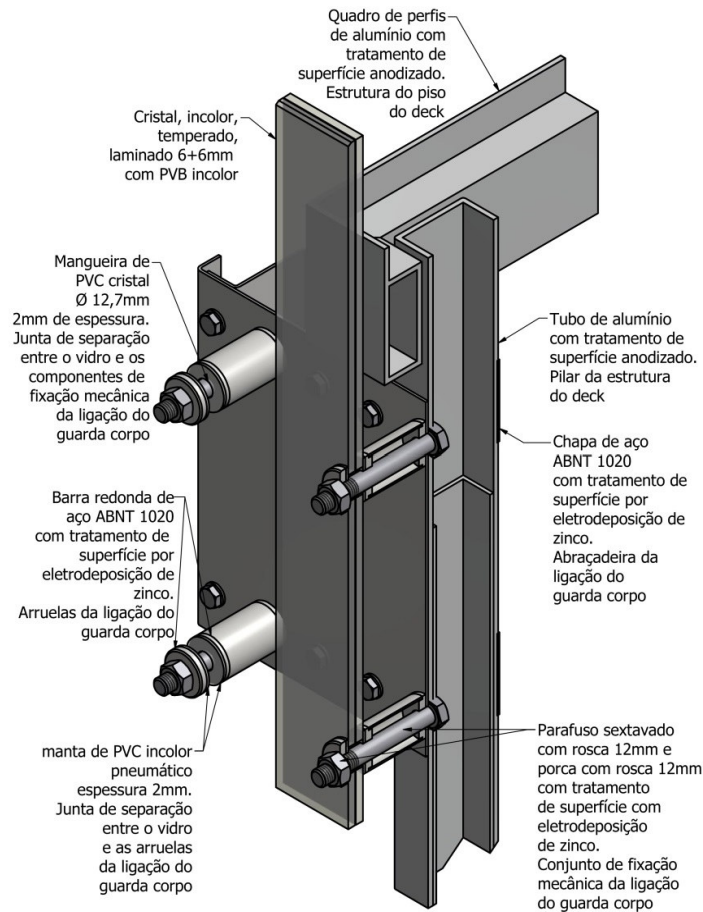


Figura 23 - Seção da solução adotada na ligação entre o guarda corpo e os pilares do deque.

A separação entre o parafuso, o componente básico da fixação mecânica, e o vidro foi feita com mangueira cristal de PCV, um material com as mesmas características de desempenho da manta de PVC (Figura 23).

O aço carbono causa corrosão galvânica no alumínio devido à diferença de potencial eletrostático entre os dois materiais, os íons migram do material de potencial eletrostático mais baixo para o material de potencial eletrostático mais alto. A forma de minimizar esse efeito foi o tratamento de superfície das peças de aço carbono com eletrodeposição de zinco.

³⁷ Trata-se de uma manta de PVC - policloreto de vinila, conhecida no mercado como PVC pneumático, utilizada em portas de câmaras frigoríficas. Essa manta tem desempenho adequado e comprovado para uso externo.

Zhang (1996 e 1999) *apud* Instituto de Metais Não Ferrosos (2013) mostra que é correta a ligação entre componentes de alumínio e zinco³⁸.

Com exceção do alumínio e do magnésio, a corrosão do zinco aumenta ao ser eletricamente ligado a outros metais comuns. Dependendo do metal ao qual está ligado e do tipo de atmosfera, a corrosão galvânica pode ser até 5 vezes maior do que o índice normal de corrosão do zinco em áreas rurais e até 3 vezes maior do que em ambientes marinhos. O índice de corrosão do zinco diminui quando ele se liga ao alumínio em atmosferas urbanas e marinhas e ao magnésio em todas as atmosferas³⁹. O zinco e o alumínio são materiais compatíveis galvanicamente em ambientes atmosféricos. Isto é, quando estes dois metais estão em contato direto, haverá muito pouca corrosão galvânica resultante deste par, em qualquer um dos metais em união⁴⁰.

³⁸ http://www.icz.org.br/upfiles/arquivos/GalvInfoNotes/GalvInfoNote_3_6.pdf, acesso em 10/02/2014

³⁹ ZHANG, X. G.. **Corrosion and Electrochemistry of Zinc**. Plenum Press, New York, 1996, p. 209

⁴⁰ ZHANG, X. G. Galvanic Compatibility of Galvanized Steel and Aluminum, **CSSBI Technical Bulletin**, Volume 2, Number 2, March 1999

3.3 Fixações

A velocidade das montagens dos sistemas de uma edificação é consequência da quantidade de movimentos que são necessários para os montadores ligarem os elementos que estão sendo montados. Ligações que utilizam componentes que atuam por encaixe (3.3.2 b2) são exemplos que demandam poucos movimentos e podem prescindir de componentes de fixação para manter a ligação estável. O projeto desses componentes de ligação foi desenvolvido com foco na eliminação dos movimentos que seriam necessários para instalar fixações durante a montagem.

A primeira análise para assegurar que as ligações estão adequadas aos esforços a que serão submetidas é verificar como os componentes de ligação estão fixados aos elementos de manuseio. As fixações entram em contato físico com os materiais, para especificá-las é preciso analisar como isso ocorre.

A Tabela 4 mostra os materiais dos elementos ligados nos quatro casos analisados (Estrutura; Revestimentos verticais; Sistemas de forro e Sistemas de guarda corpo) e os componentes de fixação selecionados para cada situação.

Tabela 4 - Fixações, tipos e aplicações.

LIGAÇÕES		FIXAÇÕES	
MATERIAL BASE	MATERIAL LIGADO	TIPO	COMPONENTE
Cumarú	Perfil de aço carbono	Mecânica por rosca	Parafuso de uso específico para madeira de classe 60
		Mecânica por encaixe	Fecho reposicionável
	Chapa de OSB	Mecânica por rosca	Parafuso de uso específico para madeira de classe 60
OSB	Chapa de aço carbono	Mecânica por rosca	Parafuso de uso específico para madeira macia ou processada
Chapa de aço carbono	Chapa de aço carbono	Mecânica por rosca	Parafuso auto atarraxante
		Mecânica por rosca	Parafuso e rebite de repuxo com rosca interna
		Mecânica por encaixe	Fecho reposicionável
		Química	Adesivo
	Magnética	Imã	
	Vidro	Mecânica por rosca	Parafuso e porca

		Química	Adesivo
	Chapa cimentícia	Química	Adesivo

3.3.1 Fixações mecânicas com rosca

Fixações mecânicas são realizadas com um ou dois componentes de fixação aplicados transversalmente aos componentes a ser unidos. Os exemplos utilizados foram componentes de fixação mecânica rosqueados, uma seleção de parafusos com características adequadas a cada aplicação.

Arquitas de Tarento, filósofo e matemático grego que viveu entre 428 e 350 aC é considerado o inventor do parafuso. Os parafusos transformam o movimento angular em movimento linear, transmitem potencia e desenvolvem grande força. Na época essa força era utilizada nas prensas de produção de azeite, mais tarde vieram as aplicações de Arquimedes com sistemas de elevação de água para irrigação e a prensa de Guttemberg.

Os primeiros parafusos com porcas para aplicações semelhantes às que são utilizadas hoje eram produzidos a mão sem auxílio de máquinas operatrizes e não tinham critério de padronização da rosca, por esse motivo quando um parafuso tinha bom ajuste com uma porca eram mantidos em par. Para cada parafuso havia uma porca cuja rosca era compatível, não havia intercambiabilidade. Ao longo do tempo foram desenvolvidos máquinas e equipamentos para produção de parafusos.

Em meados do século XIX, por iniciativa da indústria de armamento, para atender a necessidade de reposição de peças, foram aplicados os primeiros critérios de padronização de fixações que permitiam intercambiabilidade.

Apesar da rigorosa normatização de abrangência internacional, em função de se manter ativos os diversos sistemas de medidas e padrões de roscas desenvolvidos nos últimos séculos, as especificações dos parafusos contém uma quantidade muito grande de variáveis. A Tabela 5 mostra as características necessárias para a especificação de parafusos padronizados e exemplos das variáveis de cada característica. Além das características que estão incluídas na tabela existem outras variáveis aplicadas na produção de componentes de uso muito específico.

Tabela 5 - Exemplos de variáveis para especificações dos parafusos.

ESPECIFICAÇÕES DE PARAFUSOS E PORCAS	
CARACTERÍSTICA	EXEMPLOS
Material	Aço baixo carbono, aço para uso estrutural, aço inox, latão
Acabamento	Polido, cromado, galvanizado, bicromatizado
Cabeça	Sextavada, cilíndrica, panela, chata, oval, redonda, borboleta
Sistema de medidas	Métrico, Imperial
Sistema de roscas	Withworth, métrico, Edson
Dimensões do parafuso	d x c (diâmetro x comprimento) seleção dentre as combinações disponíveis
Forma da Porca	Sextavada, quadrada, borboleta
Encaixe para ferramenta de aperto	Fenda, fenda cruzada (Phillips), sextavado interno (Allen), hexalobular (Torx), quadrada (Robinson)
Rosca com um componente	Auto atarraxante, para madeiras macias e madeiras processadas, para madeiras de lei, para plásticos
Rosca com dois componentes	Parafuso e porca, parafuso e rebite de rosca interna
Geometria do perfil do filete	Triangular simétrico, triangular assimétrico, quadrada, redonda
Passo da rosca	Grossa, normal, fina,
Sentido do aperto	À direita (horário), à esquerda (anti-horário)
Ponta	Com guia, auto perfurante (ponta broca)

(a) Fixação mecânica com dois componentes rosqueados.

A primeira decisão para utilização das fixações mecânicas com dois componentes foi adotar o sistema métrico, o Sistema Internacional do qual o Brasil é signatário (MELCONIAN, 2004). O comércio de fixações do Brasil, muito influenciado pelos produtos e ferramentas importados dos Estados Unidos há décadas é muito abastecido por componentes produzidos pelas especificações do sistema imperial. A aquisição de componentes de fixação produzidos com especificações no sistema métrico tem duas dificuldades, é mais difícil de encontrar e o preço é mais alto do que o do componente do sistema imperial com dimensões equivalentes.

Na seleção dos parafusos utilizados com porca, ou seja, um componente tem rosca externa, o parafuso e o outro com rosca interna, a porca, foram especificados dois modelos: (a) com cabeça sextavada para situações em que a cabeça ficava sobreposta aos materiais ligados; e (b) cabeça chata ou cônica com fenda sextavada interna nas situações onde a cabeça do parafuso não deveria formar um ressalto na superfície do material ligado. Essa escolha permitiu a utilização de acessórios para ferramentas elétricas portáteis que proporcionou velocidade às tarefas de montagem (Figura 24).

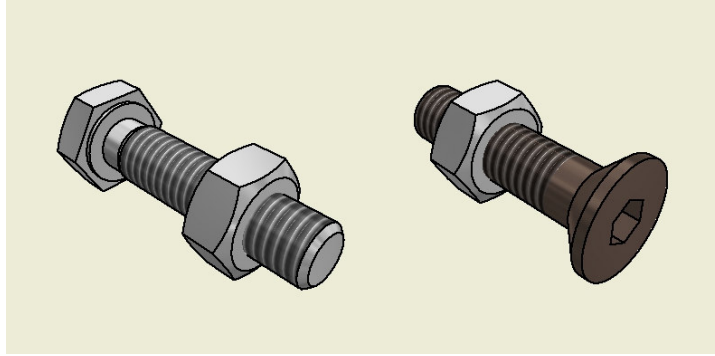


Figura 24 - Fixações mecânicas com dois componentes rosqueados. A cabeça sextavada e a cabeça chata ou cônica permitem a utilização de acessórios para ferramentas elétricas portáteis.

Nas ligações entre dois componentes de chapa metálicos: - aço, aço inoxidável ou alumínio - e na condição em que a geometria ou localização da fixação não permitia acesso simultâneo ao parafuso e à porca, foi utilizado o recurso de rebite de repuxo com rosca interna (Figura 25).

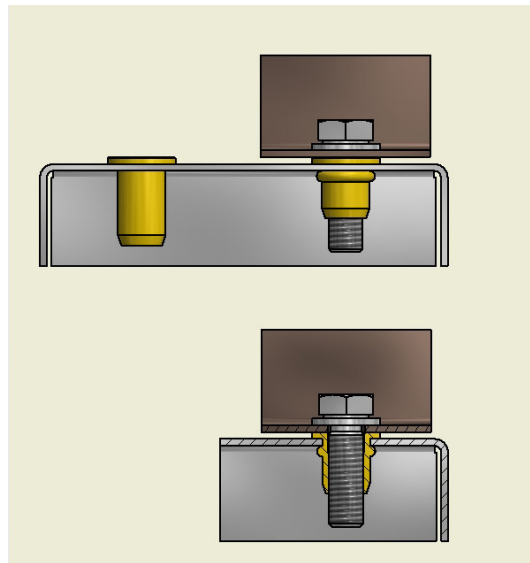


Figura 25 - Rebite de repuxo com rosca interna, antes e depois de aplicado.

O rebite de repuxo⁴¹ com rosca interna é formado a partir de um cilindro de aço baixo carbono com tratamento térmico, possui rosca interna e cabeça com forma e dimensões que limitam a penetração no furo onde será instalado. A parte do cilindro após a cabeça tem parede fina e não é rosqueada, isso permite que o rebite se fixe por repuxo utilizando uma ferramenta de uso específico, além disso, a parte não rosqueada serve de guia o que facilita a colocação do parafuso.

Em todas as fixações mecânicas permanentes utilizando dois componentes foi utilizado um travamento químico⁴² conhecido no mercado como trava rosca. Trata-se de um adesivo de

⁴¹ Também conhecido como porca rebite ou rebite Rivkle, marca comercial da Böllhof Service Center Ltda.

⁴² Loctite 290, marca comercial da Henkel Ltda.

uso específico em roscas que assegura a fixação entre os dois componentes durante as tarefas de logística de montagem e transporte.

(b) Fixação mecânica com um componente rosqueado.

São parafusos cuja rosca tem a propriedade de cortar ou usinar o material onde será instalado a partir do efeito combinado de rotação e pressão (penetração por progressão retilínea) em um orifício destinado exclusivamente para recebê-lo. São parafusos produzidos com aço baixo carbono e tratamento térmico, o acabamento é por eletrodeposição de zinco, natural ou bicromatizado.

Foram utilizados três tipos de parafusos com essas características, porém, cada uma com uma finalidade específica.

b1. Parafuso com rosca auto atarraxante.

Utilizado para unir um material a uma chapa metálica.

O parafuso com rosca auto atarraxante tem o perfil de rosca em triângulo isóceles, com os lados iguais formando um ângulo de 40 graus, o eixo do triângulo é normal ao eixo do parafuso. O passo de rosca é de aproximadamente um terço do diâmetro nominal. Essa geometria resulta num perfil resistente e permite ao parafuso usinar uma rosca no material ao mesmo tempo em que é fixado com aperto compatível com o uso. O modelo utilizado, independente de cabeça do tipo panela ou chata, tinha o encaixe para ferramenta de aperto em fenda cruzada (Figura 26).

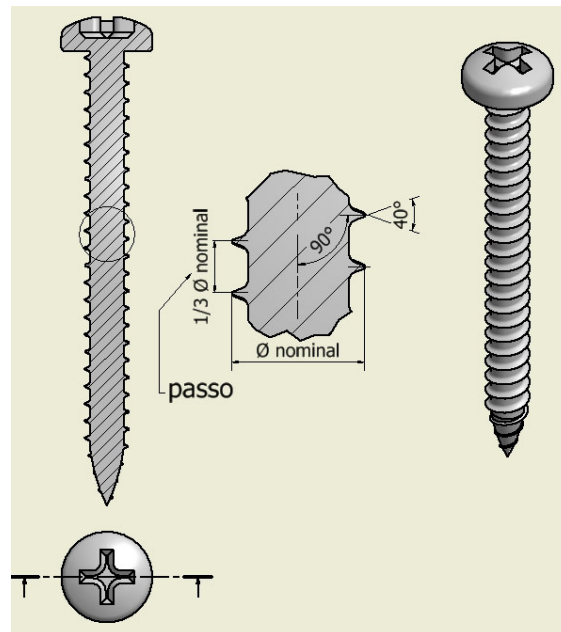


Figura 26 - Parafuso auto atarraxante, detalhe do perfil e do passo da rosca.

b2. Parafuso com rosca para madeiras macias ou processadas.

Esse parafuso tem o perfil de rosca igual ao do auto atarraxante e o passo de rosca mais aberto com aproximadamente metade do diâmetro nominal. Essa geometria resulta num perfil também resistente, porém, o passo da rosca permite um aperto menor ao mesmo tempo em que dá espaço para alojar mais volume de material entre os fios. Aqui não há usinagem e sim deformação do material onde o parafuso é instalado. A combinação de maior volume de um material macio ou fragmentado resulta numa fixação estável. O modelo utilizado, independente de cabeça do tipo panela ou chata tinha o encaixe para ferramenta de aperto em fenda cruzada (Figura 27).

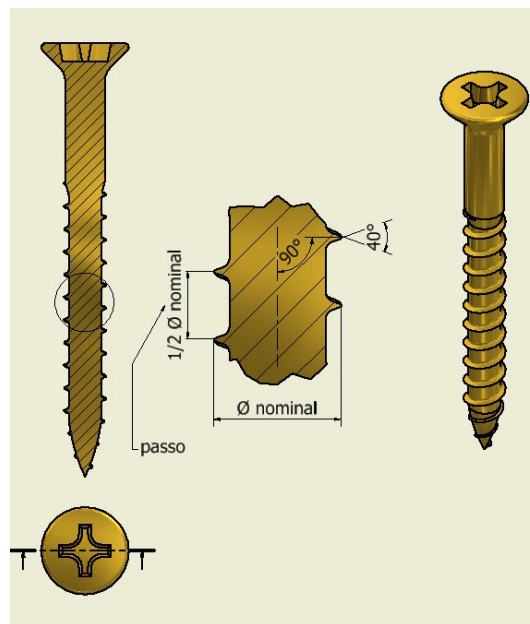


Figura 27 - Parafuso para madeiras macias ou processadas, detalhe do perfil e do passo da rosca.

b3. Parafuso com rosca auto cortante.

O perfil de rosca desse parafuso é em forma de triângulo escaleno, formando um ângulo de 30 graus entre as arestas de corte sendo a aresta mais próxima da cabeça normal ao eixo do parafuso. Da mesma forma que o parafuso para madeiras macias ou processadas o passo de rosca também é de aproximadamente metade do diâmetro nominal.

Segundo o mestre couteleiro Flavio Duprat, para afiar um instrumento de corte de uso diário, como uma faca, o ângulo recomendado para um bom fio de corte da lâmina é 30 graus. O parafuso com rosca auto cortante, desenvolvido para cortar as fibras densas e resistentes das madeiras de classe C60 (3.1.4), utilizam o mesmo critério. Uma das arestas do fio é normal ao eixo do parafuso e proporciona melhor condição de aperto do que o perfil de rosca em triângulo isósceles.

O parafuso auto cortante tem a ponta em forma de broca, e a cabeça chata com ressaltos na face cônica, esse conjunto de recursos proporciona muita agilidade nas tarefas de montagem porque num único procedimento o parafuso usina o próprio furo onde será inserido, corta a rosca nas paredes do furo e usina o rebaixo cônico para alojar a cabeça do parafuso (Figura 28).

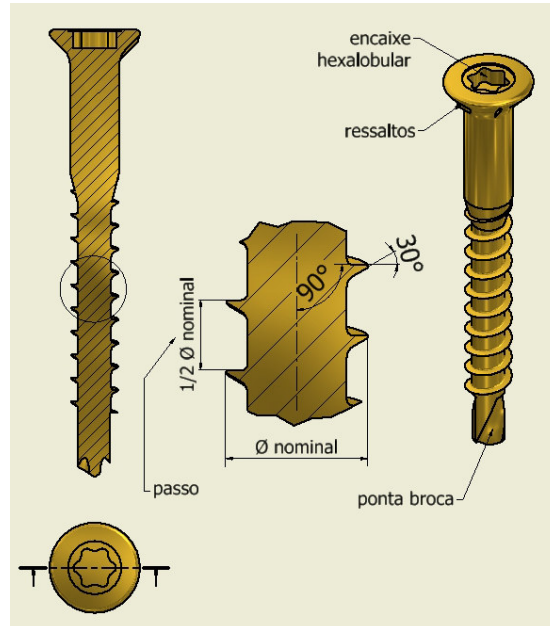


Figura 28 - Parafuso auto cortante com ponta auto perforante e ressaltos para usinagem do rebaixo para alojar a cabeça. Detalhe do perfil e do passo da rosca.

Para suportar os esforços de usinagem simultânea à instalação desse modelo de parafuso o encaixe para ferramenta de aperto é hexalobular, ou Torx. Esse tipo de encaixe transfere a força da parafusadeira, um equipamento eletro portátil adequado à instalação de fixações por rosca, com mais conforto e segurança para o operador.

3.3.2 Fixações mecânicas por encaixe

(a) Fecho reposicionável

Partindo do conceito do fecho reposicionável inventado na década de 1940 outros fabricantes desenvolveram produtos similares adequados a uso industrial⁴³ e com outras características de desempenho. Substituindo os ganchos e argolas por duas fitas iguais compostas de hastes semelhantes a minúsculos cogumelos (Figura 29).

⁴³ Dual Lock Reclosable Fastener, SJ3541, 19 mm, marca comercial da 3M

O Dual Lock tem aplicação simples, dispensando o uso de ferramentas, uma vez que a fixação dos componentes nas peças a serem montadas é feita por adesivo acrílico de alto desempenho e sua aplicação se faz com os mesmos procedimentos das fitas adesivas de alto desempenho.

Para um bom resultado na aplicação de fitas adesivas de alto desempenho é necessário que a superfície onde a fita será aplicada seja o mais plana e polida possível. Quando a superfície não proporcionar as condições ideais será necessário fazer, além da limpeza com álcool isopropílico, a aplicação de um *primer* que prepare a superfície dos componentes que irão receber a fita.

Segundo o fabricante, o fecho reposicionável utilizado é formado por 400 hastes por polegada quadrada, ou, aproximadamente 62 hastes por cm^2 e a pressão necessária para encaixar as fitas é de $4,22 \text{ kgf/cm}^2$.



Figura 29 - Ilustração das hastes com a extremidade em forma de cogumelo. A fita selecionada continha cerca de 62 hastes por cm^2 .⁴⁴

Ainda segundo o fabricante a pressão necessária para desencaixar as fitas é de $7,83 \text{ kgf/cm}^2$. O procedimento de remoção deve ser feito partindo de uma das extremidades da fita a exemplo do que mostra a Figura 30.

⁴⁴ Imagem disponível em

http://products3.3m.com/catalog/au/en005/utilities_telecom/telecom_mro/node_GS5VNGDC92gs/root_D58K9TX3VWgv/vroot_RCR2RLBZPMge/bgel_H2VCTZKB5Zbl/gvel_K14105RH9Jgl/theme_au_utilitelec_ommro_3_0/command_ImageOutlinkHandler/output_html/imageid_135605. Acesso em ????



Figura 30 - Foto do sistema de fecho reposicionável Dual Lock Reclosable Fastener.⁴⁵

3.3.3 Fixações químicas

Para unir dois componentes com características físicas muito diferentes pode-se utilizar um terceiro componente de ligação que se adapte às características dos dois componentes a serem unidos. Uma alternativa é resumir a ligação à simples fixação por meio de um adesivo que tenha comportamento adequado às características dos dois componentes.

No projeto Ekó House foi utilizado um polímero à base de polieter siloxano⁴⁶. Esse adesivo permanece elástico mesmo após a cura o que permite a união de componentes com características diversas. Além da elasticidade, segundo o fabricante, o adesivo suporta esforços de tração da ordem de 25 kgf/cm².

As ligações com fixação química são aparentemente as mais fáceis de serem executadas. Em resumo, aplica-se o adesivo em um dos componentes, juntam-se os componentes, espera-se o tempo de cura e o conjunto está formado.

Para que esse procedimento produza o resultado esperado é necessário que os operadores estejam treinados e sejam rigorosos e disciplinados quanto ao preparo das superfícies a serem fixadas.

Os principais cuidados se referem à limpeza porque as superfícies devem estar isentas de pó e de gordura. Um procedimento de limpeza correto prevê a lavagem da peça com água e detergente para remoção do pó e da gordura seguida de enxague para remoção do detergente. Não é necessário limpeza com álcool isopropílico. Após o enxague o adesivo pode

⁴⁵ Disponível em <http://www.3m.com/product/information/Dual-Lock-Reclosable-Fastener.html>, em 9 de fevereiro de 2014.

⁴⁶ Fabricante Adespec Adesivos especiais comercializado com a marca Pesilox.

ser aplicado com a peça ainda úmida, a cura do adesivo é mais eficiente se as superfícies estiverem umedecidas.

O último cuidado se refere à precisão geométrica do processo. É necessário preparar dispositivos de posicionamento para manter os componentes na posição desejada durante a cura. Uma peça corretamente fixada com adesivo de alto desempenho não fornece condições de desmontagem.

3.3.4 Fixação magnética

É comum a utilização de ligação magnética em pequenos objetos do dia a dia das pessoas por exemplo os fechos de bolsas, lentes coloridas sobrepostas a armações de óculos, fechos de embalagens. O uso em edificações é inovador.

Após uma pesquisa sobre a possibilidade de utilização foram adotados alguns critérios para assegurar o resultado esperado.

As terras raras⁴⁷, utilizadas na produção dos chamados super ímãs, não são encontradas na natureza com propriedades magnéticas. Os ímãs são produzidos em forma de pastilhas pelo processo de sinterização de terras raras e metais de transição⁴⁸. As pastilhas, depois de formadas, são submetidas ao processo que as transformará em ímãs permanentes.

Esse processo de produção das pastilhas por sinterização não resulta num componente resistente. Se submetida a impactos a pastilha pode se fragmentar. Para proteger a pastilha foi produzida uma cápsula cilíndrica de aço baixo carbono de forma que o fluxo magnético pudesse ser conduzido pela parede cilíndrica da cápsula. Na usinagem da cápsula foi feito um rebaixo cilíndrico com profundidade de 10,2 mm, ou 0,2 mm maior que a espessura da pastilha. Quando a ligação é feita, a borda da cápsula se fixa na base de forma que a pastilha não sofra impactos diretos durante o procedimento (Figura 31).

⁴⁷ Exemplo: samário (Sm) e neodímio (Nd).

⁴⁸ Neodímio-ferro-boro ($Nd_{15}Fe_{77}B_8$).

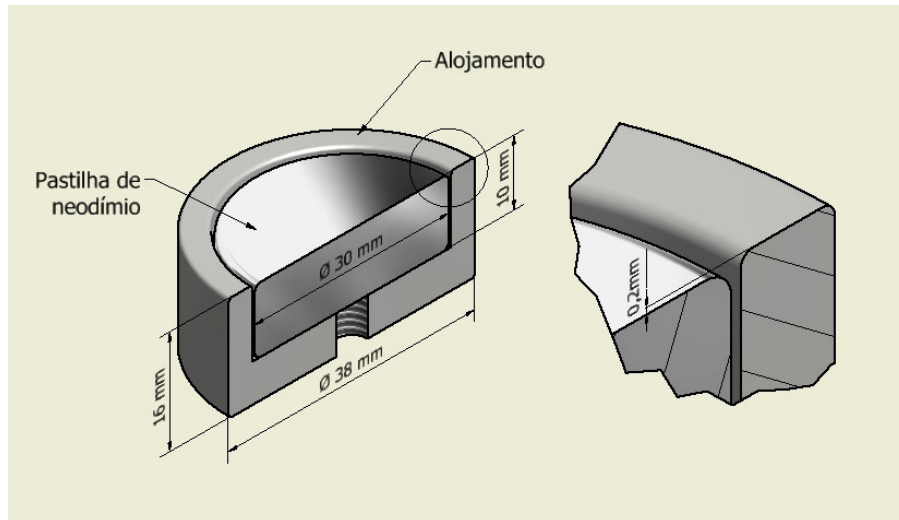


Figura 31 - Detalhe do alojamento da pastilha de ímã de neodímio

Diferente das fixações químicas e mecânicas que suportam grandes esforços de cisalhamento, a fixação magnética tem bom desempenho apenas para suportar esforços de tração. Essa característica se torna útil para desmontagens. O desenho dos componentes utilizados nas ligações permitiu deslizar as peças até se desligarem da base metálica.

Os fabricantes não fornecem dados de uso prático para seleção de pastilhas. As unidades pelas quais os ímãs são qualificados não são de fácil interpretação ou conhecimento geral. Para dimensionar a pastilha ideal prevaleceu a experiência do fornecedor⁴⁹.

4. ESTRUTURA

Este capítulo analisa recursos disponíveis no software que auxiliaram o processo de análise reversa a partir de um protótipo digital. Com base nessas análises foram feitas alterações que contribuíram para a eficiência da montagem do sistema de estrutura, que já estava projetado, com insumos adquiridos e a maior parte dos componentes beneficiada.

4.1 História

A estrutura da Ekó House foi calculada de acordo com a NBR7190 (ABNT, 1997) e está detalhada em Consorcio Brasil (2010)⁵⁰. A estrutura foi produzida com madeira de classe de

⁴⁹ Magnetos Gerais empresa especializada no comércio de produtos magnéticos.

resistência C60, a espécie selecionada foi cumaru. Mainieri e Chimelo (1989) assim descrevem algumas das suas características e aplicações:

Madeira muito pesada⁵¹, dura ao corte [...] textura fina a média, grã reversa [...] aspecto fibroso atenuado [...] por ser muito pesada e de propriedades físico mecânicas altas a médias, pode ser usada em construção civil, como vigas, caibros, ripas, marcos de portas, tacos e tabuas para assoalho, lambris, forro, estacas [...] carrocerias [...] construção naval, móveis etc.

No projeto inicial, bem como no projeto edificado, cada elemento da estrutura era montado com uma retícula formada por peças serradas de cumaru, os vãos da retícula preenchidos com material de isolamento térmico e revestimento, nas duas faces, com placas de madeira processada OSB que também atuavam como contraventamento. Além da função original de garantir a resistência mecânica e estabilidade da edificação, a estrutura de madeira tem mais duas funções: (a) atuar como vedação vertical interna e externa e (b) fazer parte da envoltória externa e do sistema de isolamento térmico da edificação.

Dentre as primeiras atividades de produção da edificação, o sistema estrutural foi o que mais tinha evoluído. O projeto do sistema estrutural estava desenvolvido e concluído em nível de fabricação. Os insumos necessários para produção do sistema já haviam sido adquiridos. E, por fim, os componentes de ligação produzidos em aço carbono, utilizando as especificações do projeto, já estavam fabricados.

4.2 Acervo

No acervo já estavam disponíveis todas as peças de madeira serrada fornecidas nas bitolas especificadas pelo cálculo estrutural, todas as placas de OSB, todas as ligações e todas as fixações.

A atividade do grupo sobre o acervo se concentrou em três tarefas (a) fazer o inventário de todo o material disponível; (b) criar um cadastro digital incluindo todos os componentes relacionados no inventário utilizando os recursos de modelagem e seleção de material do *software* de manufatura; (c) avaliação da adequação do tratamento de superfície adotado nos componentes de aço carbono; e (d) avaliação sobre as especificações dos componentes de fixação.

⁵⁰ A concepção e dimensionamento da estrutura foram feitos por uma equipe integrante do projeto P&D, sob a orientação e coordenação do Prof. Dr. Pedro Afonso de Oliveira Almeida utilizando como ferramenta de projeto o mesmo *software* de manufatura utilizado para a produção da edificação.

⁵¹ Massa específica aparente 1,09 g/cm³

Simultaneamente à etapa de inventário e cadastro, uma parte do grupo se dedicou a fazer a revisão e atualização do acervo de arquivos disponíveis elaborados para o projeto do cálculo estrutural.

4.3 Propostas para situação atual

A Ekó House, precisava cumprir um extenso programa: uma montagem inicial durante a fabricação em São Paulo; duas montagens, a primeira em Madri para competição e outra, definitiva, em São Paulo; duas desmontagens; e duas viagens rodo marítimas.

Na prática a Ekó House além de ser uma casa pré-fabricada é também portátil.

Para produzir o sistema estrutural, adequado à portabilidade da edificação foi necessário passar por uma segunda etapa de projeto, com foco nos processos de fabricação e montagem.

Adotando um processo de análise reversa, ou seja, tendo em mãos um protótipo digital completo, foi possível propor pequenas alterações, na sua maioria de natureza geométrica, que facilitassem as tarefas de logística de transporte e montagem.

A Tabela 6 mostra os requisitos e as soluções adotadas para propiciar mais eficiência durante as montagens.

Tabela 6 - Requisitos e soluções para adequar o sistema estrutural à portabilidade expressa no programa da Ekó House

REQUISITOS	SOLUÇÕES
Sistema de ligação entre paredes verticais e entre estas e as lajes de piso e cobertura	Encaixe fêmea com abertura receptiva
Sistema de fixação das ligações entre paredes verticais e entre estas e as lajes de piso e cobertura	Parafusos específicos para madeira classe C60
Sistema de fundações pré-instalado, com articulação da sapata.	Usinar uma estrição na extremidade do pino da fundação.

4.3.1 Projeto de fabricação e montagem

As alterações foram propostas a partir da análise do protótipo digital; na ausência deste, a análise seria possível apenas em um protótipo físico, dado o número de componentes que o projeto gerencia. Foram analisadas: a consistência da forma de fixação entre os componentes; a interferência precisa entre os componentes e a verificação das limitações de movimento de componentes móveis como, por exemplo, mancais e eixos. Essas ações foram necessárias para a simulação da montagem da estrutura, tendo possibilitado a solução antecipada de problemas.

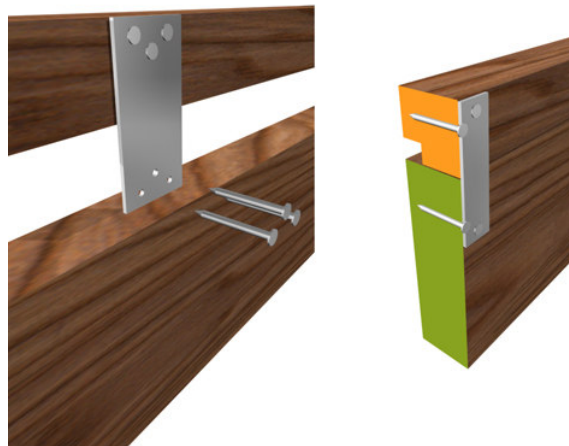


Figura 32 - Proposta inicial: os painéis verticais unidos aos horizontais por uma chapa pregada e sobreposta às duas peças de madeira serrada.

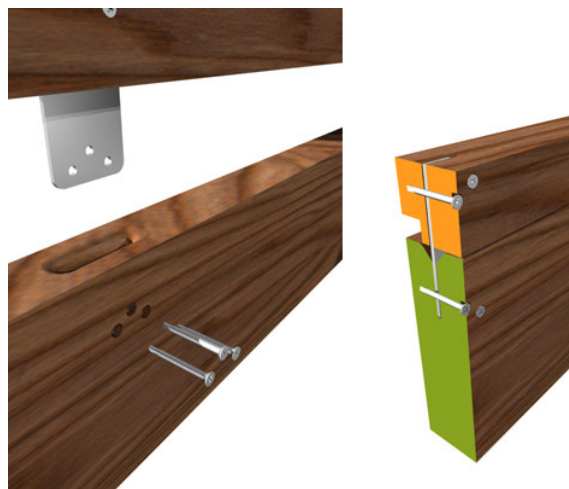


Figura 33 - Proposta final: os painéis verticais unidos aos horizontais por uma chapa com cantos arredondados, fixada por parafusos com rosca auto cortante e ponta auto perfurante.

Como ilustrado na Figura 32 e na Figura 33 a simulação da montagem facilitou a criação de uma nova solução para unir os painéis onde a chapa será encaixada num rasgo com abertura receptiva de forma cônica. A geometria desse rasgo guia a chapa para o seu posicionamento correto.

Para garantir portabilidade à fixação dos componentes de ligação das paredes estruturais, que seria por meio de pregos, foram utilizados os parafusos de uso específico para madeira de classe C60 (3.1.4)

Pequenas interferências entre componentes de ligação puderam ser evidenciadas e corrigidas, preservando-se a hierarquia e a flexibilidade de posição dos componentes em conflito (Figura 34).

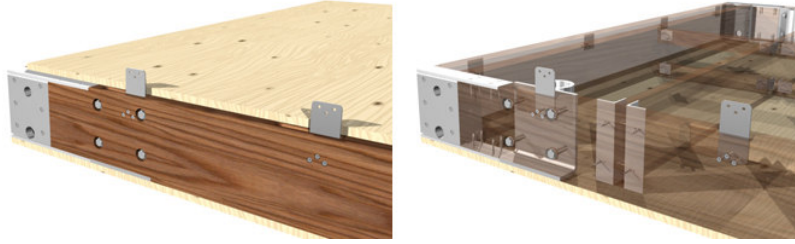


Figura 34 - Vista externa parcial do painel de piso (esquerda); vista interna parcial do painel de piso com todos os componentes (direita)

Aplicando-se transparência a alguns materiais – neste caso, a madeira serrada e ao revestimento de OSB - foi possível visualizar as situações onde podem ocorrer interferências. Face à precisão do posicionamento e dimensionamento dos componentes, obtida por meio de um recurso do *software*, foram feitas análise e correção de interferências em regiões onde se encontram muitos componentes de ligação.

Outra solução mais segura e rápida foi adotada para facilitar uma das operações mais delicadas da montagem da estrutura no canteiro de obras: a operação de apoio do painel de piso no terreno. Segundo a opção original, para cada módulo da estrutura, a primeira operação consiste em posicionar as bases da sapata no terreno. Na sequência, o painel de piso do módulo, onde estão fixados 10 pinos das sapatas (de diâmetro 75 mm), é posicionado nos cálices das bases das sapatas. Os pinos devem ser encaixados simultaneamente nesses cálices. Apesar da semiesfera da extremidade de cada pino permitir ajustes durante a montagem, a dificuldade consiste, nesse caso, em posicionar simultaneamente, com precisão milimétrica, os 10 pontos de apoio do painel de piso, elemento mais pesado do protótipo (12,80 kN).

Na revisão do projeto, alterou-se o perfil da extremidade do pino: foi usinada uma estricção resultando uma superfície de setor esférico, onde antes havia uma semiesfera; na chapa das sapatas foram colocadas travas removíveis, formando uma junta universal. Com essa solução, o painel de piso foi apoiado sobre o terreno já com os conjuntos de apoio montados (base e pino), não havendo, dessa maneira, necessidade de ajustes de posicionamento. Com o auxílio de um nível a *laser*, as alturas desses conjuntos foram previamente reguladas (Figura 35).



Figura 35 - A base da sapata - com a chapa de distribuição de esforços e o cálice - posicionado para receber o pino de apoio (esquerda); o conjunto do pino com junta universal montado, pronto para ser apoiado sobre um terreno (centro); detalhes da junta universal

Até esta etapa, todo o processo pode ser feito em ambiente virtual, não tendo sido necessária a impressão em papel.

Os recursos do *software* mostraram-se decisivos para a simulação das soluções de montagem e verificação de sua viabilidade. Isto permitiu que o grupo responsável pela criação e gerenciamento do projeto tivesse domínio do processo. Desta forma, ainda que os componentes e elementos tivessem sido produzidos por vários fornecedores, houve confiabilidade e garantia da precisão na montagem de componentes e elementos provenientes de origens diversas.

4.3.2 Documentação

Para comunicar as informações do projeto aos fornecedores, é necessário utilizar o código de representação no plano cartesiano com suas representações obtidas por projeções ortogonais. Essa é a principal razão de se emitir desenhos impressos; não para produzir as peças, mas para facilitar a comunicação entre conhecedores de um mesmo código.

O *software* gera, a partir do protótipo digital, as representações nos planos cartesianos com absoluta correção. Fica a critério de o projetista incluir no desenho as informações que julgue necessárias para uma melhor compreensão da representação, tais como projeções, seções, detalhes, dimensões, acabamento de superfície, exemplificadas na Figura 36.

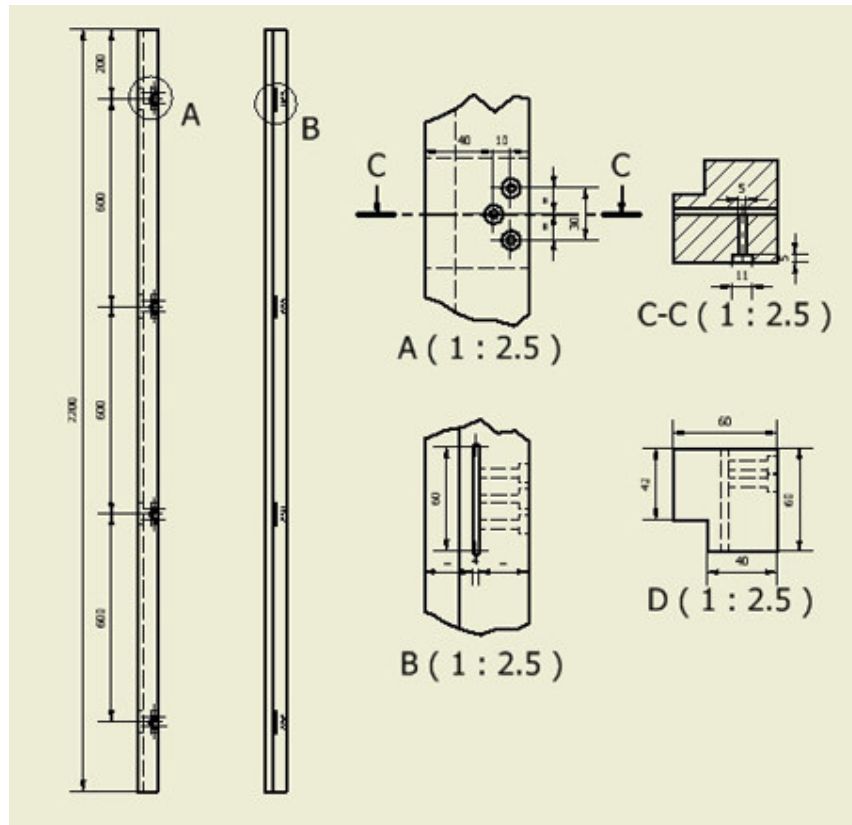


Figura 36 - Reprodução de parte da representação gráfica de um componente (componente de madeira de bordo de um painel horizontal)

Além da representação gráfica, as folhas de desenho podem conter outras informações úteis à logística de fabricação e montagem da estrutura: (a) uma tabela denominada *Parts List* (lista de peças)- gerada automaticamente pelo *software* - que contém a relação nominal e quantitativa de todos os componentes que compõem um *assembly* (elemento de manuseio); (b) um número identificador de cada componente listado na *Parts List* pode ser adicionado ao desenho; usa-se um *balloon* para indicar na representação gráfica qual é o componente correspondente na *Parts List* (Figura 37); (c) um componente com extensa quantidade de furos pode ter como informação complementar uma tabela denominada *Hole Table* com a relação de todos os furos, suas dimensões e as coordenadas de posicionamento de cada furo.

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
2	1	vert_60x60x2750	
4	2	vert_30x60x2750	
10	4	hor_30x60x95	
11	4	hor_30x60x90	
12	1	osb 18x1075x1220	
13	1	osb 18x995x1220	
14	1	osb 18x1075x1577	
19	1	osb 18x995x1577	
20	1	vert_60x120x2750	
21	1	vert_60x90x2750	
23	1	osb 18x220x354	
24	8	chapa_60,0 x 120,0 x 3,0	Aço 1020
27	1	osb 18x220x1220 pé	
29	2	hor_60x60x200_recorde	
33	26	canhone ra_2" x 1/8"	Aço 1020
34	104	mitolaw - 4,5 x 30	Parafuso auto perfurante
36	1	osb 18x220x1220_cabeça	
37	48	mitolaw 6,0 x 50	Parafuso auto perfurante

Figura 37 - Lista de componentes de um painel vertical.

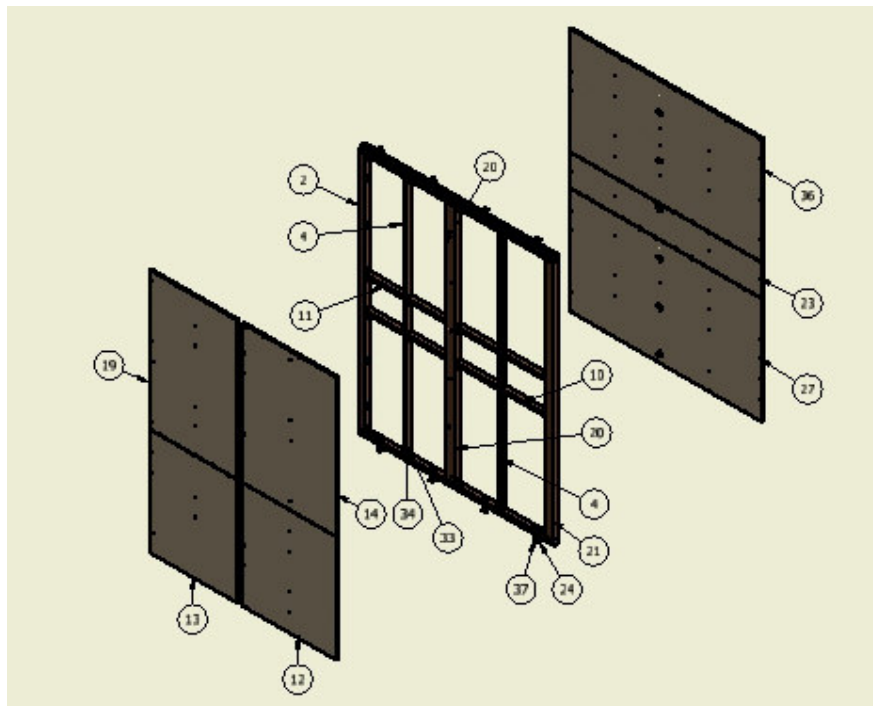


Figura 38 - Sistema de identificação por balloons da lista de componentes da Figura 37.

Esse conjunto de informações foi representado em 25 cadernos formato A4, sendo um caderno para cada componente horizontal (lajes de piso e de cobertura) e um caderno para cada componente vertical (paredes).

4.3.3 Produção

O desempenho da montagem da edificação no campo depende diretamente dos critérios de precisão dimensional adotados na produção desses elementos. Para assegurar a precisão dos aspectos geométricos das paredes estruturais foi desenvolvido um dispositivo instalado sobre uma bancada que permitiu:

- (a) Verificação dimensional dos componentes, as peças de cumaru foram fornecidas nas bitolas especificadas pelo projeto estrutural, o corte na dimensão longitudinal das peças foi executado com equipamento e procedimentos convencionas de marcenaria sob controle e supervisão permanente do grupo;
- (b) Assegurar que os quadros, paralelogramos, fossem, para efeito prático, retângulos perfeitos. Os quadros eram montados com os componentes travados nos batentes do dispositivo que após terem sido calibrados asseguravam esquadramento perfeito entre os bordos.
- (c) Facilidade na execução das ligações entre as peças de cumaru por meio de componentes de aço carbono produzidos especificamente para esse fim. As ligações eram fixadas com os componentes travados no dispositivo, o operador não precisava dividir a sua atenção entre segurar e instalar componentes de fixação.

Utilizando o recurso de interoperabilidade entre o projeto e a produção de componentes previamente modelados no *software* de manufatura, os montadores puderam contar com precisão, em nível de centésimos de milímetro, para os painéis de contraventamento produzidos em OSB que foram recortados por equipamento controlado por comando numérico. Esse procedimento permitiu: (a) produção de peças retangulares precisamente esquadradas; e (b) mapeamento preciso por meio de furos nos pontos de fixação do OSB na retícula de madeira. Esse mapeamento fazia parte dos requisitos do projeto de cálculo estrutural.

As paredes estruturais passariam por muitos eventos de transporte rodoviário e marítimo, de movimentação de carga por guincho, montagem e desmontagem, desde a etapa de produção até a montagem final. Como forma de assegurar a sua integridade física, a fixação das chapas de OSB à retícula era executada com um critério de redundância, utilizando parafusos e adesivo. O uso do adesivo assegura uma fixação resistente mesmo quando as paredes estavam sujeitas às vibrações dos veículos de transporte de carga.

A produção dos painéis estruturais horizontais para piso e cobertura foi executada no canteiro. Na produção do piso, o controle dimensional foi assegurado pela supervisão e verificação do corte no sentido longitudinal dos componentes de madeira serrada e da usinagem dessas peças por meio de equipamento operado por controle numérico, uma *router*. Pelo mesmo processo, foram mapeados e usinados os pontos onde seriam instaladas as ligações e fixações.

A produção dos painéis horizontais da cobertura utilizou uma técnica de uso frequente em marcenaria. Uma vez que para cada painel de piso havia um painel de cobertura equivalente com dimensões gerais e pontos de ligação iguais, a cada painel de piso pronto era produzido sobre ele o respectivo painel de cobertura, garantindo assim a precisão dimensional entre ambos.

4.3.4 Montagem

A massa dos painéis horizontais depois de formados, incluindo a retícula de madeira serrada, o revestimento em placa de OSB e o isolamento térmico, é de cerca de 20 kN. Essa massa é distribuída por quatro segmentos iguais ligados por componentes de aço carbono. Essa configuração não confere rigidez ao conjunto. Os painéis de piso são suscetíveis de deformação porque as ligações entre os segmentos permitem que os segmentos se articulem, o que ocorre de forma acentuada nas operações de logística de transporte e montagem (Figura 39).

As paredes estruturais que são instaladas por apoio sobre os painéis de piso, por isso repetem e ampliam as características geométricas do piso. Em um piso perfeitamente plano e nivelado as paredes irão formar um apoio nivelado para a instalação do painel de cobertura. A instalação do painel de cobertura depende exclusivamente das qualidades geométricas dos painéis de piso.

Uma deformação de planeza, da ordem, de 1,0 mm, provocará no ponto de apoio do painel de cobertura uma abertura de 1,8 mm entre dois painéis. A edificação tem fechamentos verticais montados com até oito painéis consecutivos, onde uma falta de planeza de 1,0 mm pode provocar um erro de precisão no apoio da cobertura de até 14 mm, o que inviabiliza a montagem.

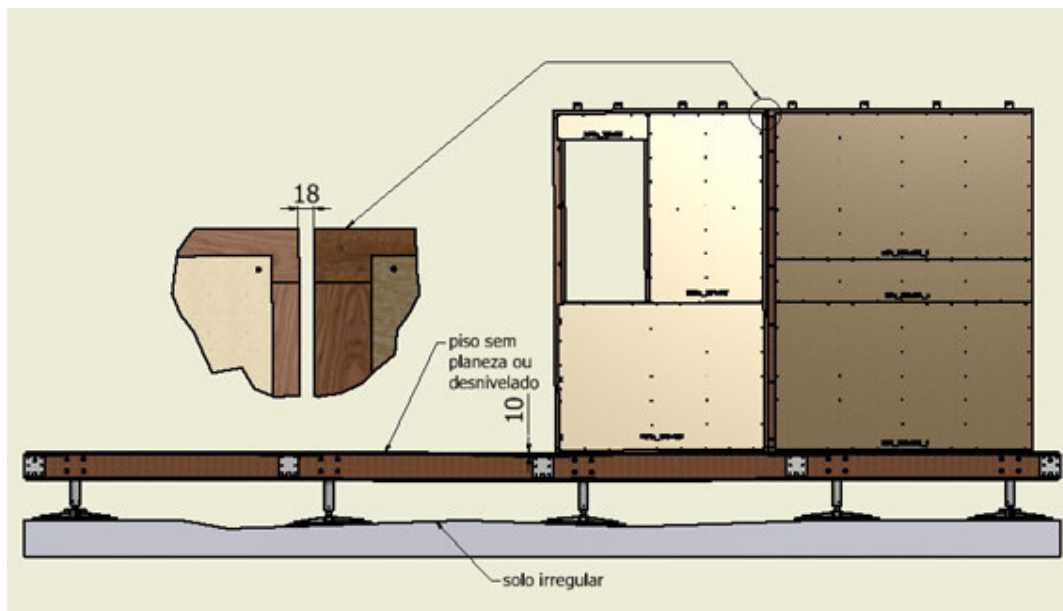


Figura 39 - Os painéis horizontais são suscetíveis de articulação nas ligações, essa deformação compromete a sequência de montagem. Cada 1,0 mm de diferença de planeza no piso corresponde a uma abertura de 1,8 mm no ponto de apoio do painel de cobertura.

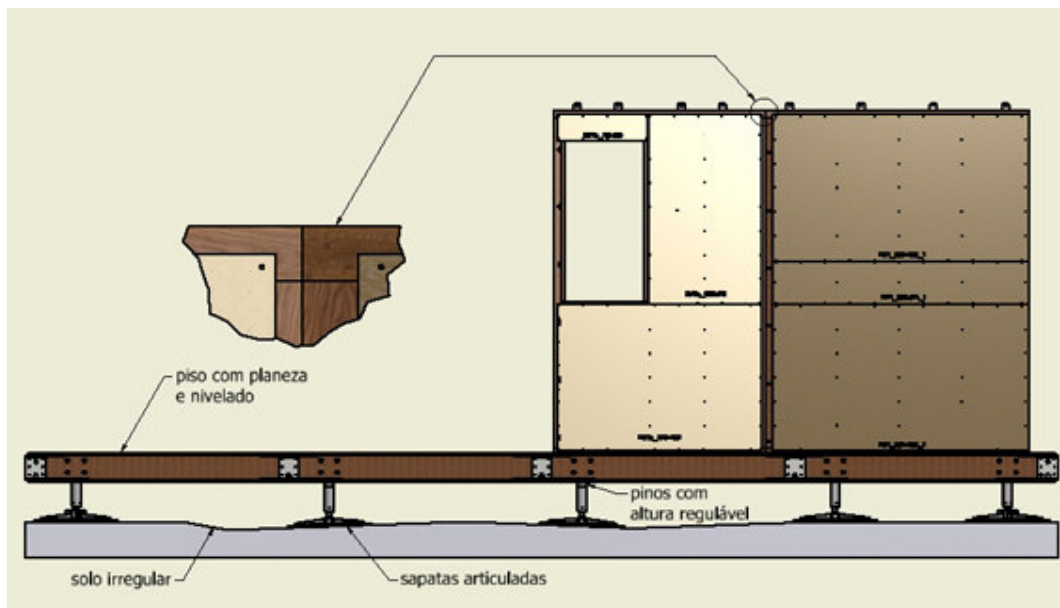


Figura 40 - Ilustração mostrando a versatilidade das sapatas da fundação, o pino permite regulagem de altura e a sapata articulada se auto ajusta ao solo. O recurso permite perfeito nivelamento e planeza do piso da edificação, requisito para a montagem das paredes e da cobertura.

O sistema de apoio no solo por meio de fundações compostas por sapatas articuladas, Figura 39 e Figura 40 permite que o piso e, por consequência, toda a edificação seja montada corretamente.

A eficiência de um processo de montagem para uma edificação pré-fabricada, desde o projeto até a montagem, passando pela produção dos elementos de manuseio e das tarefas de logística, depende de rigore disciplinadas sobre o controle da precisão em todas as etapas. Imprecisões de qualquer natureza podem inviabilizar a montagem, no tempo e forma como tenha sido idealizada.

5. REVESTIMENTOS VERTICAIS

Este capítulo analisa o uso dos softwares de manufatura e prototipagem digital para projetar e produzir os componentes dos sistemas de revestimento interno e externo para o protótipo da Ekó House. Durante a fase de projeto foi verificado que, para considerar o revestimento como um sistema, o projeto deveria conter soluções para atender outras necessidades de uma REZ relacionadas com diversas disciplinas: isolamento térmico e acústico; personalização dimensional e de acabamentos; facilidade de instalação de mobiliário; alojamento de dutos e outros componentes das instalações; facilidade de acesso para futura manutenção das redes etc. O projeto dos revestimentos se iniciou quando as paredes estruturais já estavam produzidas e montadas. A interoperabilidade entre projeto e produção por prototipagem digital viabilizou a produção do sistema.

Diversas soluções inovadoras foram aplicadas ao projeto de produção da Ekó House. Havia desafios para a efetiva produção da edificação e para as situações atípicas de logística de transporte e montagem. As soluções focadas na produção por prototipagem e fabricação digital utilizaram componentes produzidos a partir de projeto elaborado com *software* dedicado à manufatura, dada a natural interoperabilidade desses *softwares*.

Este capítulo analisa o leque de soluções encontradas para o projeto e produção dos revestimentos verticais internos e externos com a missão de atender a todas as demandas de um sistema do edifício que, na sua complexidade, precisa satisfazer necessidades técnicas e estéticas, além de se apresentar como solução adequada para os aspectos de logística relacionados com a montagem e o transporte intercontinental de uma REZ portátil.

5.1 História

O desenvolvimento do projeto de produção da Ekó House foi ao mesmo tempo substituto e evolução do projeto anterior. Alguns sistemas da edificação foram mantidos, com mais ou menos alterações relacionadas, por exemplo, com geometria, manuseio, montagem, transporte, portabilidade e outras. Passaram por essa evolução os sistemas cuja produção já tinha sido iniciada, os insumos adquiridos e os processos de beneficiamento iniciados.

Os outros sistemas, para os quais não haviam sido adquiridos insumos e a produção ainda não tinha se iniciado, as soluções foram totalmente desenvolvidas com os critérios de prototipagem e produção digital suportada pelos recursos do *software* de modelagem. O sistema de revestimento vertical e o guarda corpo são exemplos dessa situação.

5.2 Acervo

Sem um projeto anterior não havia, no acervo, materiais previamente adquiridos que pudessem estar disponíveis para a produção dos revestimentos verticais.

5.3 Proposta

Mais do que apenas cobrir as superfícies das estruturas, que na Ekó House eram também os vedos, os revestimentos têm outras funções técnicas destinadas ao conforto físico e psicológico da habitação. Caprio (2007) assim define o sistema de revestimentos:

Este sistema visa atender as condicionantes técnicas e de satisfação do usuário, como conforto térmico, acústico, durabilidade, estanqueidade, segurança, sendo, portanto responsável pelo conforto ambiental. Seus componentes estão vinculados aos revestimentos e condicionamentos acústicos e de impermeabilização executados segundo várias técnicas, destacando-se os revestimentos em geral, rebocos, pinturas, impermeabilização e tratamentos térmicos e acústicos.

Por ser um projeto destinado a uma REZ os revestimentos da Ekó House precisavam de soluções que contemplassem as exigências de desempenho mais apuradas do que as de uma residência convencional. As condicionantes de projeto vão além e se tornam mais complexas, o projeto precisa contemplar a forma como serão alojadas as instalações básicas (elétrica e hidrossanitária), alojar complemento para isolamento térmico e alojar o que existe de mais próximo do estado da arte na área de automação, que é a disciplina que permitirá o controle efetivo do desempenho energético da casa.

As limitações à maneira de pensar o projeto das instalações manifestam-se quando, além das condicionantes já citadas, a edificação obrigatoriamente precise ser portátil, ou seja, “que se possa desmontar e transportar” (HOUAISS, 2004). A Ekó House passaria por vários eventos de montagem, desmontagem para transporte.

As soluções também deveriam abranger a necessidade de personalização dos painéis de revestimento, e para tal os quadros deveriam ser analisados sob 8 critérios agrupados em quatro disciplinas, (Tabela 7):

- (a) Quatro critérios relacionados com geometria;
- (b) Dois critérios relacionados com materiais;
- (c) Um critério relacionado com o uso; e
- (d) Um critério relacionado com logística.

Além dos requisitos dos quadros o sistema, como um todo, deveria atender a mais três demandas, (Tabela 7):

- (e) Permitir a fixação de móveis, eletrodomésticos e componentes de decoração;

- (f) Fácil remoção e recolocação de forma a permitir manutenção e atualização dos recursos neles instalados; e
- (g) Acesso às interfaces das instalações

Tabela 7- Requisitos e soluções do sistema de revestimento vertical.

	DISCIPLINA	REQUISITOS	SOLUÇÕES
a	Geometria	Personalizar pelas dimensões das paredes estruturais	Quadros produzidos por artesanato digital
b	Materiais	Personalizar pelas características do ambiente	Quadros configurado como suporte para diversos materiais de acabamento.
c	Uso	Alojar isolamento térmico no revestimento externo	Quadros dimensionados com espaço para conter o isolamento térmico externo
		Disponibilizar espaço para instalações no revestimento interno	Perfil da moldura dos quadros desenvolvido prevendo espaço para isolamento e instalações
d	Logística	Forma de transportar	Quadros transportados instalados nas paredes. Quadros específicos para juntas transportados em <i>cases</i> .
e	Manuseio	Facilidade de manuseio	Dimensões e massa que permitam o manuseio sem auxílio de equipamento mecanizado de movimentação de carga
f	Interiores	Decoração e eletrodomésticos	Interface de ligação com recurso que permita fixação de mobiliário, equipamentos eletrodomésticos e elementos de decoração
g	Manutenção	Facilidade de remoção	Ligação removível por encaixe
h	Atualização	Acesso a interfaces	

As soluções para o sistema de revestimento vertical foram desenvolvidas para serem aplicadas a todas as situações analisadas. O sistema era composto por dois componentes básicos: (a) cartola, um perfil de chapa dobrada em forma de ômega fixada diretamente nos painéis estruturais; e (b) Quadro de revestimento composto de uma moldura padronizada, desenvolvida especificamente para o sistema. As molduras se acoplam às cartolas e nelas podem ser fixados diversos tipos de materiais de revestimento e acabamento.

Todos os componentes das cartolas e dos quadros são de aço carbono e depois de formados foram protegidos com deposição de zinco por processo eletrolítico. Em sua maioria essas peças foram projetadas com o recurso *Sheet Metal* do *software* que permite criar peças de

chapa utilizando todos os processos conhecidos de usinagem e conformação de chapa utilizando máquinas operatrizes com controle numérico. As ferramentas digitais permitem a modelagem virtual idêntica às ferramentas dos processos de corte por guilhotina, corte a laser, estamparia, dobra, calandragem, furação, etc. Por meio da interoperabilidade entre o *software* de modelagem e os *softwares* de manufatura assistidos por computador (CAM - *computer aided manufacturing*) e CNC as peças foram reproduzidas com um grau de precisão maior do que o desejável para uma edificação. Essa precisão, corriqueira na indústria mecânica, se localiza na casa das frações centesimais de milímetro.

5.4 Personalização

Há uma visível diferença na velocidade de produção de um componente em escala industrial e produzir o mesmo componente como protótipo. Em uma empresa na qual a produção se baseie em linha de montagem, um componente personalizado pode tornar a sua produção semelhante à produção de um protótipo. Na Ekó House havia uma quantidade de componentes e até sistemas completos produzidos como protótipos.

Em seu artigo *Transferencia de Tecnología para la Produccion de Vivenda em Chile*, Reyes (2008) relata a facilidade com que as indústrias oferecem alternativas de personalização de produtos de pequeno porte proporcionada pela automação dos processos produtivos citando como exemplo a Levi's Jeans, Nike, Adidas. Cita Kieran e Timberlake (2004) sobre comportamento semelhante no mercado automobilístico, onde a Toyota, no Japão, entrega no prazo de uma semana um veículo personalizado pelo cliente⁵². No mesmo artigo Reyes (2008) compara a falta de versatilidade de atendimento ao mercado, com a pouca ou quase nenhuma oferta de personalização de casas produzidas em massa, conflitando com o desejo dos compradores. Mitchell e Hurst (2009), ao relatarem a pesquisa para o projeto de produção para uma nova unidade industrial para fabricação de casas modulares em uma linha de montagem nos Estados Unidos, mostram o quanto a personalização interfere no desempenho da produção. Uma das soluções encontradas foi decidir que, para manter a linha de montagem em andamento, os elementos que necessitam de personalização sejam retirados da linha de montagem e tratados em paralelo mas são os mesmos profissionais especializados que fazem as instalações, tanto na linha de montagem como fora dela.

Incluir personalização em casas modulares cria processos não padronizados e, conseqüentemente, ruídos na produção ao longo da linha de montagem. A produção do revestimento da Ekó House - utilizando modelos de quadros semelhantes com as mesmas funções, mas personalizados para atender muitas de variações de geometria, de material, de uso e de logística - fez com que a proposta de produção linear para os quadros fosse abandonada. Os quadros foram produzidos um a um. Essa solução foi aceitável enquanto protótipo, mas é inadequada para produção industrial (Tabela 8).

⁵² Pode-se considerar como parcialmente personalizado, uma vez que as alternativas de personalização são oferecidas num cardápio fechado disponibilizado pela montadora.

Tabela 8 - Relação de itens e suas variações para definir cada quadro de revestimento vertical, ver Figura 4.

ITEM	DISCIPLINA	VARIÇÕES	FACE EXTERNA		FACE INTERNA	
Dimensão horizontal	Geometria	28	19	Variações ⁵³	9	Variações ⁵⁴
Dimensão vertical		7	4	Variações ⁵⁵	3	Variações ⁵⁶
Dimensão de profundidade		2	2	56 mm	1	42 mm
		76 mm				
Tipo de aba	3	1	Abas iguais	3	Aba larga esquerda	
					Aba larga direita	
					Abas iguais	
Material de vedação	Materiais	4	1	Chapa cimentícia	4	Chapa cimentícia
					Chapa cimentícia + inox + vidro	
					Chapa cimentícia + inox + espelho	
					Vidro	
Tratamento de superfície	3	1	Selante impermeabilizante	2	Selante impermeabilizante + pintura	
					Sem acabamento	
Preenchimento	Uso	2	1	Isolamento	1	Instalações
Como transportar	Logística	2	2	Instalado	2	Instalado
				Embalado		Embalado

5.4.1 Geometria

⁵³ Dimensões em mm: 182, 192, 202, 222, 242, 402, 442, 482, 502, 552, 617, 628, 632, 757, 972, 1072, 1252, 1642 e 1732

⁵⁴ Dimensões em mm: 200, 280, 320, 337, 423, 476, 617, 639 e 666

⁵⁵ Dimensões em mm: 231, 691, 1237 e 2792

⁵⁶ Dimensões em mm: 605, 1237 e 2530

(a) Análise das paredes estruturais

As paredes estruturais foram produzidas em dois modelos básicos, paredes fechadas e paredes com aberturas onde seriam instaladas as esquadrias de alto desempenho das janelas e portas, (Figura 41). No total foram produzidas 19 paredes o que representa 38 superfícies para receber os quadros de revestimento, sendo 17 voltadas para o exterior e 21 voltadas para interior, duas paredes são divisórias internas.

Os exemplos da Figura 41 se referem às faces externas das paredes e a Tabela 9 ilustra a diversidade de dimensões das áreas a serem revestidas.

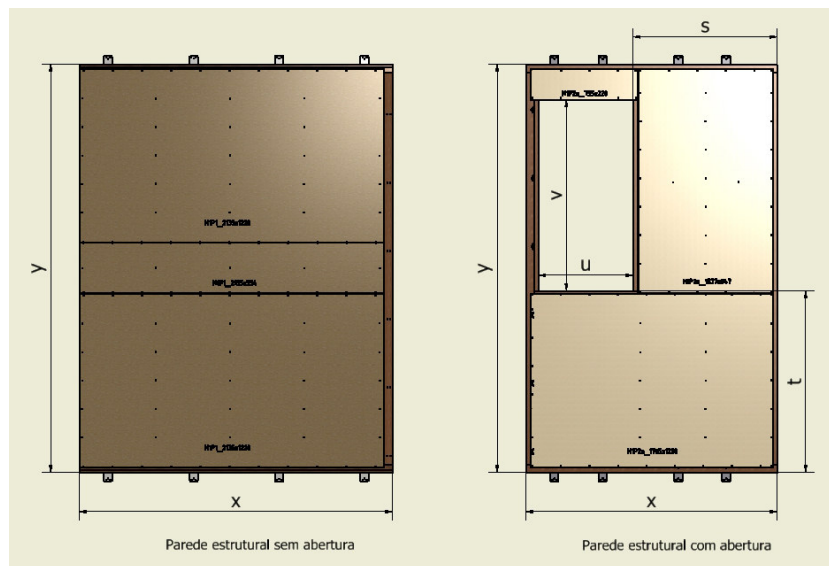


Figura 41 - Exemplos de paredes sem e com abertura.

Tabela 9 - Diversidade de dimensões das áreas das paredes estruturais a serem revestidas.

ITEM	NOME	DIMENSÃO DO PAINEL		ABERTURA	DIMENSÃO DA ABERTURA		DISTÂNCIA DA BORDA		
		x	y		qtde	u	v	lateral	peitoril
		mm	mm			mm	mm	mm	mm
1	M1P1	2200	2870						
2	M1P2a	1765	2870	1	665	1344	1010	1240	
3	M1P2b	1765	2870	1	665	1344	1010	1240	
4	M1P3	2140	2870						
5	M1P4a	1915	2870	1	665	1890	90	730	
6	M1P4b	1330	2870	1	665	1890	575	730	
7	M1P4c	1705	2870	1	665	1890	60	730	
8	M1P5	2140	2870						
9	M1P6	2200	2870						
10	M2P7a	1900	2870	1	1780	2560	60	78	
11	M2P7b	1900	2870	1	1780	2560	60	78	

12	M3P8	1900	2870					
13	M3P9a	1280	2870	1	1120	2560	60	60
14	M3P9b	1320	2870	1	1120	2560	100	60
15	M3P9c	1320	2870	1	1120	2560	100	60
16	M3P9d	1460	2870	1	1300	2560	100	60
17	M3P9e	1550	2870					
18	M3P9f	1550	2870					
19	M3P10	1900	2870	1	1690	2560	120	78
TOTAL				12				

(b) Análise dos quadros de revestimento

Os quadros de revestimento não foram produzidos com aberturas. Numa parede onde, por exemplo, havia uma abertura para janela foram produzidos quadros para as laterais da abertura, para o peitoril e para a bandeira (Figura 42).

Da análise reversa do processo de edificar a Ekó House, começando pela análise da logística de montagem, passando pela análise da logística de transporte chegando até a análise da produção dos quadros de revestimento vertical concluiu-se que os quadros de revestimento passariam pelas etapas de logística de transporte e montagem já instalados nas paredes estruturais.

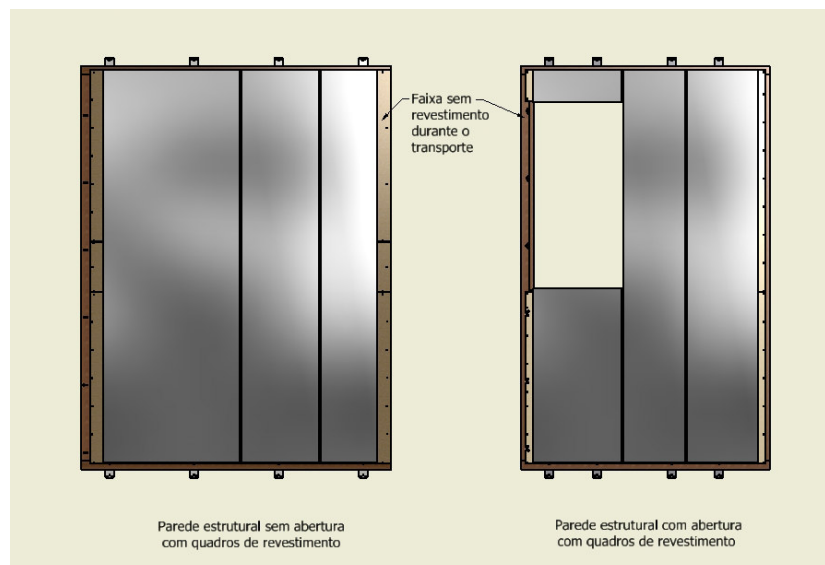


Figura 42 - Exemplos de paredes com quadros de revestimento vertical instalados e os quadros de revestimento contornando abertura onde viria a ser instalada uma esquadria.

Essa decisão proporcionou redução de espaço nos contêineres com economia no custo de transporte e muitas horas de montagem durante a competição.

Para atender essa definição estratégica do projeto, o mapeamento das dimensões dos quadros de revestimento foi compatibilizado com as dimensões das paredes estruturais. Os quadros revestiam as superfícies externas e internas das paredes deixando sem revestimento as bordas verticais de cada face numa faixa de largura variável tendo como referência 100 mm, (Figura 42). A área não revestida nas bordas facilitou a movimentação das paredes durante a colocação nos contêineres e na montagem. As juntas remanescentes foram revestidas por quadros com as mesmas características colocados ao final da montagem da estrutura (Figura 43).

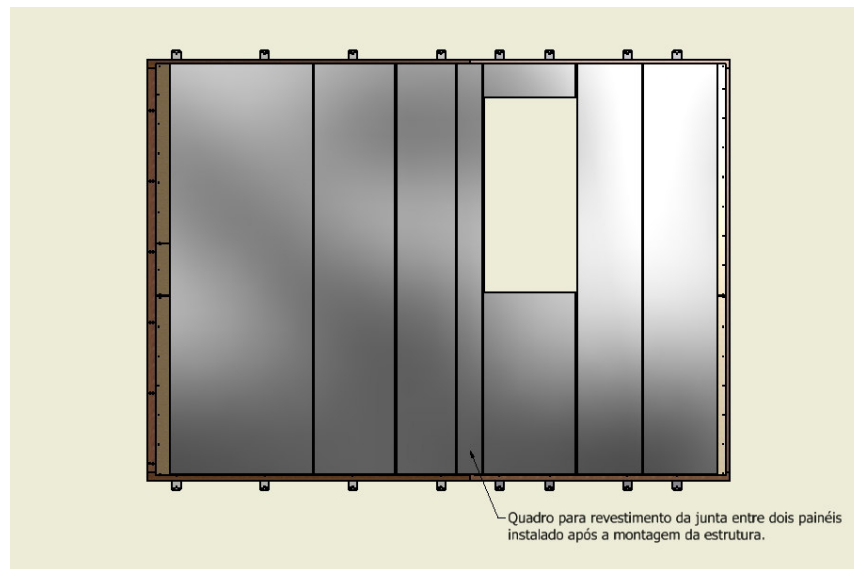


Figura 43 - Revestimento da junta entre dois painéis.

No total foram projetados e produzidos 94 quadros de revestimento vertical, sendo 53 aplicados nas fachadas e 41 aplicados sobre as superfícies verticais internas.

Os 53 quadros de revestimento vertical aplicados nas fachadas foram produzidos em 22 formatos diferentes, portanto com baixa repetição. Essa variedade de formatos atendeu a um requisito do projeto de arquitetura: os painéis de revestimento vertical deveriam ter uma distribuição não uniforme.

Os 41 quadros de revestimento vertical aplicados na face interna das paredes estruturais foram produzidos em 9 formatos diferentes, ou seja, um bom índice de repetição. Um dos formatos foi reproduzido em 26 quadros. Nos quadros de revestimento definiu-se encontrar uma dimensão que pudesse ser repetida para facilitar a produção. Diferente do ambiente externo, em que a paginação caótica do revestimento pode ser percebida quando o observador está distante, o ambiente interno não permite a mesma leitura.

A profundidade útil dos quadros internos era de 42 mm e a dos externos era 56 mm, com exceção da face externa da parede que recebia maior incidência de raios solares, que tinha 76 mm.

As abas laterais dos quadros internos, lindeiros às aberturas, eram maiores para compatibilizar com os arremates ali instalados.

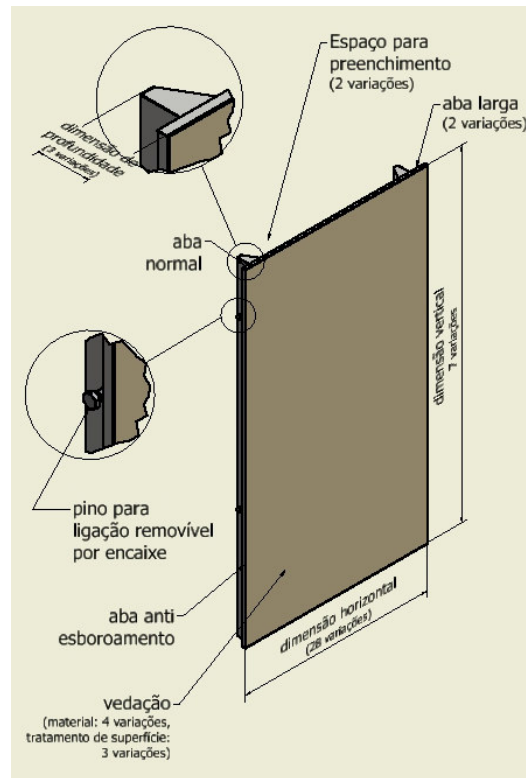


Figura 44 - Identificação das soluções aplicadas aos quadros conforme a Erro! Fonte de referência não encontrada..

A análise dos requisitos de natureza geométrica, com uma elevada quantidade de formatos e baixa repetibilidade de cada formato, demonstrou um cenário adequado à produção do revestimento vertical por processos de artesanato digital.

5.4.2 Materiais

Simultaneamente à produção das molduras dos quadros, as vedações eram produzidas por três processos diferentes:

- (a) No canteiro, o grupo responsável pela produção da edificação produziu as chapas cimentícias que foram ligadas aos quadros com fixação química permanente.
- (b) Nas instalações do distribuidor de vidros, selecionado pela empresa que fez a doação do material, eram produzidos os componentes de vedação a serem

utilizados nas áreas úmidas também ligadas aos quadros com fixação química permanente.

- (c) O fornecedor de serviços de corte a laser e o fornecedor de serviços de dobra por equipamento CNC produziu os componentes de aço inox a serem utilizados nos quadros a serem instalados nas áreas úmidas como suporte para instalações. As chapas de aço inox foram ligadas aos quadros com fixação química permanente.

(a) Chapas cimentícias

A seleção de chapa cimentícia como principal material de vedação nos quadros de revestimento vertical considerou:

- (a) Resistência mecânica adequada mesmo com pouca espessura;
- (b) Uso do mesmo material no meio externo e nos ambientes internos;
- (c) Fácil aplicação de tratamento de superfície para acabamento dos quadros;
- (d) Usinagem com ferramental disponível no canteiro e produção utilizando basicamente máquinas operatrizes que beneficiam madeira além de máquina portátil de corte de mármore com disco diamantado;
- (e) Fixação química com adesivo⁵⁷ sobre uma superfície com tratamento anticorrosivo, sem nenhuma fixação mecânica;
- (f) O quadro composto por chapa cimentícia e moldura de chapa de aço carbono tinha resistência adequada às condições de logística de montagem e transporte rodoviário e marítimo incluídas na agenda de eventos da Ekó House.

As dimensões de corte das chapas cimentícias contemplavam uma tolerância para facilitar o encaixe na moldura durante a montagem e também para assimilar as variações causadas pelas deformações com comportamento e intensidade diferentes dos dois materiais ligados, o aço carbono e a chapa cimentícia.

A chapa cimentícia encaixada no quadro com uma borda de aço da moldura contornando todas as bordas da chapa protege a chapa contra o esboroamento (Figura 44) – ou, quebra das bordas das chapas - durante a operação de encaixe e posteriormente durante as operações de remoção e recolocação dos quadros nos eventos de manutenção ou atualização.

Nos quadros instalados na face externa, o tratamento de superfície da chapa cimentícia se resumiu a proteção com um selante impermeabilizante. A composição química do selante impermeabilizante utilizado tem o mesmo polímero como base da composição do adesivo

⁵⁷ O grupo que produziu a casa tinha bom conhecimento e treinamento adequado para utilização de um adesivo de alto desempenho com o nome comercial Pesilox. Ensaios de cisalhamento realizados pela empresa informam que o adesivo resiste até 25 kg/cm². Fornecedor: Adespec.

utilizado na fixação química. O selante impermeabilizante é incolor e de textura acetinada o que não alterou a aparência natural da chapa cimentícia.

Os quadros instalados na face interna, após o tratamento com selante impermeabilizante, foram pintados com esmalte acrílico à base de água⁵⁸.

(b) Vidros e espelhos

Para o dimensionamento e ligação dos componentes de vedação com produtos de vidro foi especificado o mesmo critério de tolerâncias utilizado nas chapas cimentícias.

O fornecedor do material selecionou um distribuidor cuja produção é suportada por processos de usinagem que utilizam equipamentos com comando numérico. A interoperabilidade entre os recursos de projeto e os recursos de produção permitiu que processo de produção fosse digital. Durante o projeto foram realizadas as análises de interferência e durante a produção foram utilizados os arquivos digitais gerados no *software* de manufatura. Não foi necessário fazer as medições nos quadros como é praxe no mercado vidreiro.

Por esse processo foram produzidos os vidros e os espelhos. Os vidros incolores de alta transparência com a superfície posterior pintada de branco foram utilizados nos revestimentos da cozinha. O revestimento do banheiro foi feito com o mesmo vidro utilizado na cozinha e espelho⁵⁹.

(b) Aço inoxidável

Os componentes de aço inoxidável instalados nos quadros internos das áreas úmidas cumpriam duas funções:

- a) Nos quadros instalados nas paredes da cozinha que a parte inferior era coberta por mobiliário fixo esse segmento do revestimento tinha vedação de chapa cimentícia. Nesses segmentos havia pontos de instalação e a chapa cimentícia é adequada a usinagem de aberturas. As chapas de aço inox faziam a concordância entre o revestimento em chapa cimentícia do segmento inferior e o revestimento em vidro do segmento acima do mobiliário fixo. Essa concordância era instalada sobreposta aos dois materiais.
- b) Logo acima do mobiliário fixo, era o local onde se encontravam os pontos de instalações para conexão de eletrodomésticos, sensores, displays de automação, etc.. O mapeamento desses pontos no projeto permitiu que o corte a laser dessas peças já contemplasse as aberturas para as instalações.

⁵⁸ Extraído do catálogo do fabricante, produto: Metalatex Bacxterkill Banheiros & Cozinhas Sem Cheiro . Fornecedor: Sherwin-Williams.

⁵⁹ Extraído do catálogo do fabricante, produto: Vidro Coverglass extra branco com 4 milímetros de espessura e espelho Optmirror com 6 milímetros de espessura. Os vidros que servem de base para os dois produtos são produzidos com vidro conhecido como *extra-clear*, um vidro que tem elevado grau de transparência à luz visível, sem o tom esverdeado comum nos vidros incolores. Fornecedor: Cebrace.

5.4.3 Uso

(a) Isolamento

Os integrantes do grupo responsáveis pelas simulações de eficiência energética especificaram duas aplicações com materiais diferentes para isolamento térmico da casa: *(a)* lã de vidro (marca comercial Isover) e *(b)* manta à base de sílica amorfa e silicato de cálcio (marca comercial Aerogel).

- (a)* Lã de vidro, com uma espessura de 6 centímetros, instalada de forma a preencher os espaços vazios da retícula de todas as paredes estruturais, a mesma solução com 20 centímetros de espessura foi adotada nos painéis horizontais;
- (b)* Manta à base de sílica em camada de 6 centímetros, foi especificada para revestir as paredes externas cujas faces tem pouca exposição à luz solar; na face com maior exposição, que na montagem em Madri estava voltada para o sul⁶⁰, a camada da manta a base de sílica era de 8cm de espessura. Essa manta também apresenta bom desempenho no isolamento acústico de som aéreo, (Figura 45) .

⁶⁰ Essa orientação foi determinada em função da participação da Ekó House no certame SDE 2012 que ocorreu no hemisfério norte, em Madri, Espanha. Quando a casa for montada no hemisfério sul, provavelmente em São Paulo, a implantação da casa privilegiará a orientação da face com espessura de isolamento no revestimento para o lado com maior insolação.

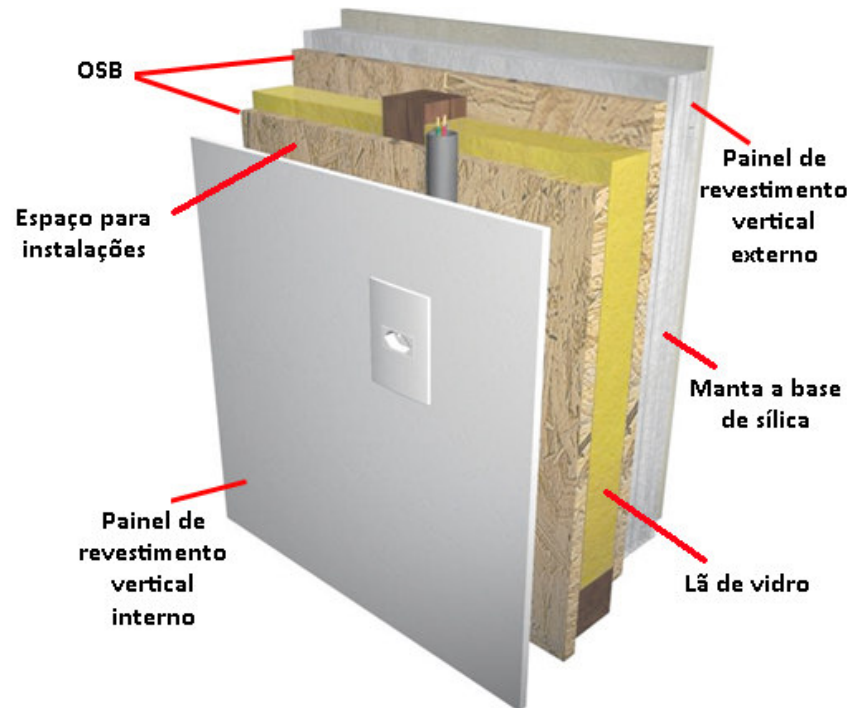


Figura 45 - Ilustração da seção da parede estrutural.

Os quadros de revestimentos continham um espaço para preenchimento. Nos quadros da face externa esse espaço era utilizado para instalação da manta de sílica executada conforme a sequência ilustrada na Figura 46.

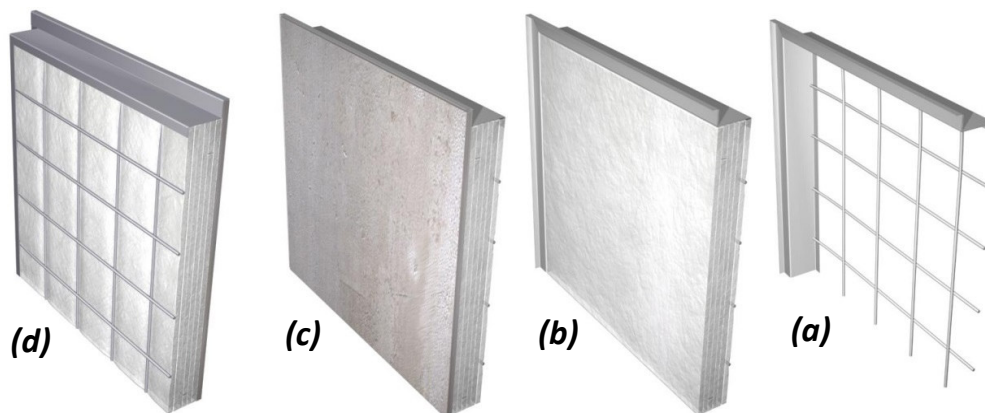


Figura 46 - Da direita para a esquerda a sequência de montagem de um quadro de revestimento externo típico: (a) a moldura é formada com quatro perfis de chapa dobrada de aço carbono cortados a 45° soldados nos cantos e depois a tela é soldada na face interna da aba posterior, (b) o isolamento já cortado é encaixado no quadro, (c) a vedação é colada na aba da frente e (d) vista posterior do quadro pronto.

(b) Instalações

Os quadros de revestimento interno foram produzidos com pensamento semelhante aos equipamentos e placas *plug&play* utilizados em computadores. Cada quadro continha os pontos de uso, o cabeamento e as interfaces para se conectar às interfaces das redes instaladas na laje. Dessa forma ao instalar um quadro e plugar as interfaces os recursos instalados no quadro já estavam operacionais.

As instalações nos quadros foram projetadas para ocupar o espaço de preenchimento semelhante ao espaço destinado ao isolamento nos quadros do revestimento externo (Figura 45).

5.4.4 Manuseio.

Os quadros de revestimento externos não continham instalações. Dessa forma uma vez instalados eles não passavam por processos de remoção e recolocação.

Os corredores de circulação externa foram dimensionados pela largura mínima e deveriam permanecer desimpedidos para atender requisitos de segurança. Por esse motivo os quadros de revestimento vertical externo não podiam ser suporte para elementos decorativos ou equipamentos que causassem redução da largura útil dos corredores.

A versatilidade do sistema foi desenvolvida com foco na utilização dos quadros nos ambientes internos.

A utilização de ligações que tenham sido projetadas com foco em proporcionar redução de tarefas pode ser o recurso mais eficiente para melhorar o desempenho durante a montagem. Em edificações é comum utilizar ligações que concentram várias funções utilizando componentes de pequeno porte para unir componentes maiores com poucas funções. Um bom exemplo são as dobradiças, componentes de porte muito menor que as folhas de porta onde estão instaladas e que além de ser o suporte para a massa da porta também têm função de permitir o movimento de rotação controlado para abertura e fechamento da porta.

Esse pensamento de concentrar funções nas ligações foi o que deu a direção para o projeto da ligação do revestimento vertical. Chamadas de cartola, pelo perfil em forma de ômega, essas ligações tinham as seguintes funções:

- (a) Ser instaladas sobrepostas às paredes estruturais a qualquer tempo
- (b) Suportar a massa dos quadros de revestimento
- (c) Garantir o correto posicionamento dos quadros de revestimento em todos os eventos de remoção e recolocação
- (d) Fornecer recurso para suporte de eletrodomésticos e objetos de decoração

(a) Instalação sobreposta

Montadas a partir de um perfil conformado em chapa dobrada, conhecido por ômega ou cartola, as ligações eram fixadas sobre as paredes estruturais por meio de parafusos com rosca para madeira processada ou macia. É uma tarefa que pode realizada a qualquer tempo e independe de instalações prévias ou de preparação de predisposição para recebê-las.

A restrição para a instalação é a precisão do posicionamento, dessa precisão depende o desempenho da instalação dos quadros.

(b) Suportar a massa dos quadros

Utilizando os recursos de simulação e análise de stress disponíveis no *software* foi possível dimensionar material e forma da ligação. Nos componentes de ligação dos quadros internos, foram considerados além da massa dos quadros, sobrecargas provenientes dos objetos e eletrodomésticos que pudessem ser suportados pelas ligações.

(c) Garantia de reposicionamento

Os perfis cartola ligados às paredes estruturais, por meio de fixações permanentes, deveriam disponibilizar ligações com fixações removíveis para os quadros. Para essa função foi desenvolvida uma abertura receptiva no perfil cartola para alojamento por encaixe simples dos pinos soldados nas laterais dos quadros.

A remoção e a recolocação dos quadros é feita sem auxílio de ferramentas, (Figura 47).

O desenho do recorte faz com que o movimento de encaixar direcione o quadro pela sua geometria e por gravidade para o ponto correto de instalação. Para os montadores basta aproximar o quadro e posicionar o pino na posição aproximada da fixação, o resto do processo é feito pelo próprio sistema.

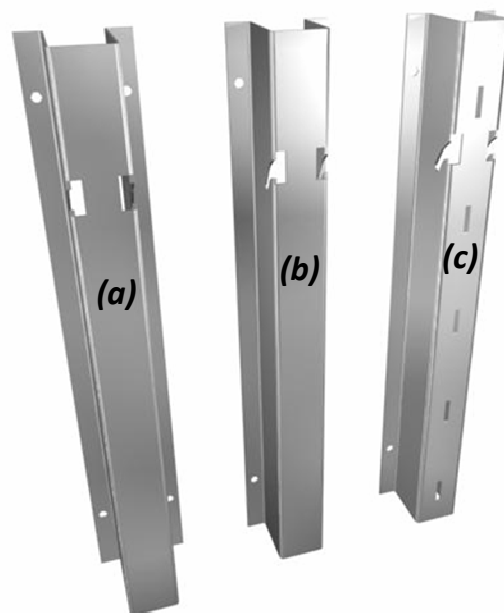


Figura 47 - Os três modelos de cartolas utilizados: (a) cartola com 80 milímetros de profundidade para uso externo nos revestimentos da fachada Sul; (b) cartola de uso geral nos revestimentos externos; e (c) cartola para uso nos revestimentos internos, na face da frente do perfil os rasgos para alojar os acessórios que permitem fixar móveis, equipamentos ou objetos de decoração em qualquer parede a qualquer momento. Todos contém o encaixe que proporciona auto posicionamento dos quadros de revestimento.

(d) suporte para equipamentos e objetos

Os materiais de vedação selecionados para o revestimento das faces internas das paredes, chapa cimentícia, vidro e espelho, não são adequados como suporte para eletrodomésticos que possam ser fixados às paredes, um exemplo é uma televisão de tela plana instalada na parede do living numa posição que permite vê-la do quarto.

Para suportar os eletrodomésticos, elementos decorativos, mobiliário e acessórios para cozinha e banheiro, foi desenvolvido um sistema de ligação removível por encaixe que uma vez fixado ao objeto pode ser ligado às cartolas em qualquer posição, de qualquer ambiente, sem uso de ferramentas (Figura 48 e Figura 49). O suporte desenvolvido em chapa de aço carbono recortada a laser, perfilada por dobradeira operada por comando numérico e proteção anticorrosiva por eletrodeposição de zinco, foi produzido em quatro modelos para atender a duas demandas:

- (a) Suportar peças de mobiliário com massa de até 500 kg, utilizando componentes com dois encaixes na ligação, e peças de pouca massa utilizando componentes com encaixe único.
- (b) Peças para instalação à esquerda e à direita do eixo da cartola, as aberturas de encaixe nas cartolas foram dimensionadas para receber dois componentes na mesma abertura.

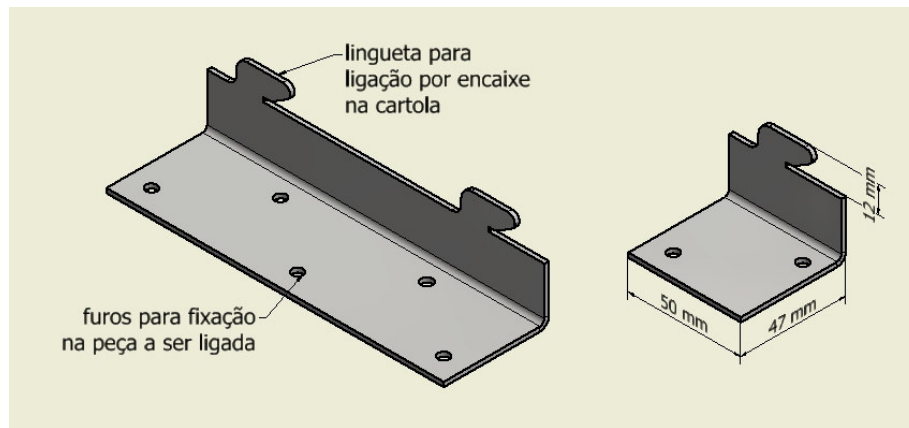


Figura 48 - Componentes para suportar equipamentos e objetos instalados nas paredes, os dois modelos ilustrados tinham peças para instalação à esquerda e à direita.

Nas cartolas instaladas nas faces internas das paredes, há uma linha de rasgos dimensionada para receber os suportes (Figura 47, ilustração C e Figura 49)

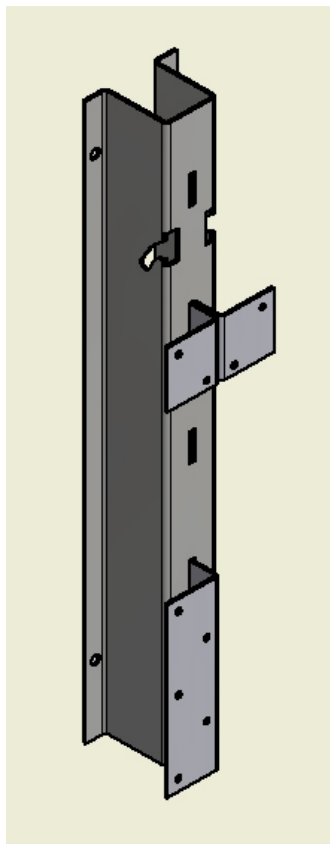


Figura 49 - Cartola com os componentes para suportar equipamentos ligados por encaixe removível.

5.5 Manutenção e Atualização

Os quadros de revestimento contêm as interfaces das instalações: tomadas de força, ponto de antena de TV, interruptores, torneiras, pontos de saída de esgoto, os sensores de automação.

Os ambientes de uma habitação contemporânea contêm muitas interfaces a disposição do usuário que incluem interruptores, pontos de força elétrica, rede estruturada, redes de comunicação aberta e via cabo, entre outras. A REZ, além de todos os recursos habituais das habitações contemporâneas também possui sistemas complexos de automação que fazem o gerenciamento dos recursos e do consumo de energia da casa. Na Ekó House, todas as interfaces estão posicionadas no interior da edificação.

As redes de distribuição dessas instalações, a exceção das hidrossanitárias, foram fixadas na face inferior da laje de cobertura providas de interfaces intermediárias junto às paredes cujo posicionamento foi mapeado em função dos pontos de consumo. Dos 41 quadros de revestimento interno, 23 tinham algum tipo de instalação conectada às interfaces intermediárias por meio do recurso de conexão rápida (5.4.3 (b)) (Figura 50).



Figura 50 - Ilustração da portabilidade dos quadros de revestimento. No detalhe à direita as redes fixadas na laje, as interfaces intermediárias e os conectores.

A solução não proporciona redução no tempo da montagem da casa porque os quadros de revestimento são transportados fixados às paredes estruturais. O objetivo da solução é que a qualquer momento qualquer quadro, com ou sem instalação, possa ser removido. A Ekó House é um trabalho acadêmico e um objeto permanente de estudo, o recurso de portabilidade, utilizado no projeto dos quadros de revestimento, permite fácil manutenção e a futura atualização de quaisquer das suas instalações.

6. SISTEMA DE FORRO

Este capítulo analisa uma solução inovadora para o sistema de forro utilizando parte dos insumos disponível no acervo e novos componentes projetados para facilitar as logísticas de transporte e montagem que permitiram a instalação do forro com segurança e em tempo reduzido.

6.1 História

Como elemento do sistema de revestimento interno, o forro dos ambientes do quarto e dos ambientes de convivência, na primeira versão do projeto, foi definido como um recurso onde fosse possível instalar um sistema de teto gelado irradiante, que iria contribuir para o controle da temperatura interna da casa. Leite (2012) *apud*(www.hvacmecosul.com.br)descreve o conceito de radiação utilizado nessa técnica:

SISTEMA DE FORRO RADIANTE: O outro sistema - Condicionamento por Teto Radiante - desenvolvido na Poli pela professora Brenda poderia ser definido como de “água condicionada”. Emprega painéis instalados no teto, formados por placas de forro metálico perfurado, nas quais são acopladas serpentinas de água gelada que irradiam o frio para o ambiente. Mas como conta também com a contribuição do ar, embora com menor participação, pode ser definido como um sistema híbrido. Funciona com central de água gelada, schiller⁶¹ e tanque de água gelada. O sistema também é economizador, pois a água é mais eficiente que o ar na troca de calor, exigindo menor quantidade de energia para resfriar o ambiente⁶².

Independente do sistema gerador de frio a ser instalado diretamente sob a laje de cobertura, a parte visível do sistema foi um produto disponível no mercado composto por uma retícula de guias produzidas com perfis dobrados de aço ABNT 1020 com tratamento anticorrosivo por eletrodeposição de zinco e painéis de um produto conhecido comercialmente como Aluzinco⁶³ composto de chapa perfurada dobrada de aço ABNT 1020 com tratamento anticorrosivo.

Os painéis de chapa, perfurados, dobrados, conformados como bandeja, contêm ressaltos nas bordas verticais que asseguram a sua fixação por simples encaixe nas guias. A instalação e a eventual remoção desses painéis é feita individualmente, peça por peça.

⁶¹ Schiller ou Chiller, equipamento que produz água gelada para sistemas de climatização em edificações.

⁶² Artigo da jornalista Heloísa Medeiros publicado em 19/11/2012, disponível em: http://www.hvacmecosul.com.br/conteudo_det.php?noticia=389#.Uw-oAGeYYdU
Acesso em 27/02/2014

⁶³ Marca da Hunter Douglas do Brasil. Revestimento com uma camada composta de 43,5% de zinco, 1,5% de silício e 55% de alumínio. O tratamento foi inventado em 1972 pela Bethlehem Steel Corporation que o comercializa com a marca Galvalume. Disponível em: http://www.galvinox.com.br/index.php?modulo=10&cod_produto_categoria=5
Acesso em 27/02/2014

A solução adotada para a situação anterior permitia, por meio do teto gelado, o controle da temperatura do ambiente interno do quarto e dos ambientes de convivência. Os painéis de revestimento do forro, produzidos com chapa perfurada, não constituíam uma barreira para a passagem do ar frio gerado em um equipamento instalado entre os painéis de forro e a laje de cobertura.

O forro e o espaço entre o forro e a laje de cobertura também alojavam componentes de outros sistemas necessários ao funcionamento da edificação:

- (a) Equipamentos fixos do sistema de iluminação. Os equipamentos foram especificados para operar com tecnologia de *led (light-emitting diode* ou diodo emissor de luz), tanto os de luz difusa, que proporcionavam a luz ambiente homogênea, como os de luz dirigida, que tinham a função de iluminar detalhes da decoração. Os equipamentos cuja instalação permitia alguma mobilidade eram instalados nas paredes ou apoiados sobre o mobiliário;
- (b) Sensores dedicados à monitoração de diversos sistemas gerenciados pelos recursos de automação;
- (c) Sonofletores do sistema de som ambiental;
- (d) Difusores do sistema de ventilação mecânica destinados à renovação do ar.
- (e) Tubulação e cabeamento das instalações elétricas e de automação.
- (f) Tubulação para sistemas de aquecimento, ventilação mecânica e ar condicionado (HVAC - *heating, ventilation and air-conditioning*).

A sequência de operações para aplicação dessa solução previa que após ter sido concluída a execução da instalação da infraestrutura para todas as demandas técnicas fixadas na parte inferior da laje de cobertura⁶⁴, seria então instalada a grade de guias de chapa dobrada, o primeiro componente a ser instalado do sistema do forro.

Assim como acontece com a instalação da maioria dos sistemas de forro disponíveis no mercado, independente do seu grau de industrialização, durante a instalação do sistema escolhido obrigava que os ambientes ficassem vazios, à disposição da equipe de instaladores.

A instalação das guias é a tarefa que exige mais precisão no processo de instalação do forro. Normalmente os instaladores preparam um piso de serviço em toda a área do ambiente, o que permite realizar a tarefa com conforto. A qualidade do resultado da instalação do forro em painéis é uma consequência direta da precisão da instalação das guias. As guias determinam: o posicionamento do conjunto de painéis em relação às paredes; e o alinhamento das placas.

Esses sistemas de forro disponíveis no mercado foram projetados com recursos que permitem absorver as imperfeições das superfícies que lhes servem de suporte, assim como as vigas e os rebaixos nas lajes. Um recurso de nivelamento de fácil utilização, composto de barras de aço

⁶⁴ Eram previstas instalações de diversas disciplinas, a maioria por cabeamento como: elétrica; automação; comunicação; sonorização; e telemática e outras por tubulação como os tubos dos elementos refrigerantes e os dutos de ar.

com diâmetro de 3,0 mm fixadas em posição normal à laje e uma trava deslizante que corre nessas barras, permite o rápido ajuste e nivelamento das guias. Esse recurso é de pouca utilidade para a instalação na laje de cobertura da REZ que é nivelada e com absoluta planeza.

Uma vez instalado o *grid* de guias, fica prejudicado o acesso às instalações fixadas à laje.

Na sequência desse tipo de instalação, comumente, é feito o encaixe individual de todos os painéis de forro. Normalmente o passo seguinte é dedicado a mapear e executar as aberturas para instalação dos equipamentos dos sistemas tais como luminotécnica, sonorização, automação, HVAC e, por fim, os instaladores especializados fazem a instalação desses aparelhos.

A análise desse sistema indica que a proposta não continha inovação, utilizava um processo com as características normais de qualquer sistema de forro removível disponível no mercado com as vantagens e desvantagens inerentes a esses sistemas. Na prática, basta que o responsável pelo projeto especifique poucas variáveis, como dimensão dos ambientes, quantidade, cor dos painéis, porcentagem de área aberta na perfuração das chapas e receber o produto pronto para ser instalado.

A instalação é uma tarefa normalmente realizada por profissionais treinados que a executam com boa velocidade. Os painéis vêm de fábrica com a cor e o acabamento especificado. Assim ao término da instalação não foi necessário uma etapa subsequente de trabalho para sua finalização.

Quanto às desvantagens, o sistema se comporta bem se não houver remoção frequente dos painéis para manutenção das instalações fixadas à laje. Como a fixação dos painéis de forro é feita por encaixe simples, após poucas manobras de remoção e recolocação, essa fixação perde a qualidade de correto reposicionamento garantido.

Os painéis de revestimento instalados na posição horizontal, independente da técnica utilizada, se caracterizam por se tornar grandes acumuladores de pó na superfície voltada para a laje. É impossível remover um painel sem que as mãos do operador fiquem impregnadas pelo pó, em geral muito fino, que se deposita no painel de forro.

Em um forro que necessite de remoção frequente dos painéis é comum identificá-los pelo seu mau reposicionamento ou pelas marcas de mãos na região do forro onde ocorre a remoção.

6.2 Acervo

O produto especificado, na situação anterior, para o sistema de revestimento de forro já havia sido adquirido. Esse era o produto disponível para ser utilizado na produção da Ekó House, cuja área interna da casa era 4m² maior do que a do projeto inicial. Mesmo com esse acréscimo de área a quantidade de guias disponível no acervo era suficiente para cobrir toda a laje no quarto e nos ambientes de convivência.

Ao especificar um produto para aquisição, é necessário tomar decisões sobre alternativas oferecidas pelo fornecedor que não poderão ser alteradas após a concretização da compra.

O fabricante dos painéis de revestimento produz esses componentes, em formatos definidos e informados no projeto fornecido pelo comprador. O processo de definição desses formatos leva em conta que um painel não venha a necessitar de qualquer tipo de recorte ou ajuste no momento da instalação. Um corte que resulte na retirada de uma aba da bandeja inutiliza o painel pela remoção do recurso de fixação na guia.

- (a) Quando da utilização do conceito de forro gelado, a outra variável é determinada pelo sistema de controle de temperatura interno, que especifica a porcentagem de área aberta na perfuração da chapa dos painéis para permitir a passagem do ar frio. Uma vez que esse índice foi determinado o painel não poderá ser alterado.
- (b) Uma variável que permite alteração a qualquer momento é a cor. O último processo do tratamento de superfície conhecido como Aluzinco é uma pintura e permite que os painéis possam ser repintados a qualquer momento antes ou depois de sua instalação.

A quantidade de painéis disponível no acervo era exata para forrar o quarto e as áreas de convivência conforme o primeiro projeto. Os painéis foram dimensionados em dois formatos que se alojavam com facilidade na divisão interna desse projeto.

Com o acréscimo de área as dimensões dos painéis não estavam mais adequadas à geometria do novo leiaute. Não havia mais compatibilidade entre a geometria dos painéis e do respectivo ambiente. A quantidade de painéis disponível representava uma área insuficiente para revestir o forro da nova área de circulação.

6.3 Proposta para a situação atual

O projeto de produção e montagem do forro foi desenvolvido para atender a uma relação de requisitos considerados os mais adequados para todas as etapas pelas quais a casa deveria passar, desde o projeto até a última montagem depois de retornar da competição, (Tabela 10). Cada um desses requisitos resultou nas soluções analisadas nos subitens subsequentes.

Tabela 10 - Requisitos e soluções para o sistema de forro.

REQUISITOS	SOLUÇÕES
Instalação rápida	Ligação Instantânea por magnetismo
	Dispositivos de segurança
Poucas peças para manuseio	Uma peça por ambiente
	Conceito de produto <i>plug&play</i>
	Componentes de ligação pré-fixados na laje
Diferenças de geometria	Canaletas de ajuste geométrico com múltiplo

	uso
Concordâncias	Tabeiras com fácil remoção
Manuseio por quatro pessoas	Cada quadro com massa menor do que 80kg
	Conforto e boa postura corporal do instalador (ergonomia)

6.3.1 Requisitos

(a) Instalação rápida

Em termos ideais a colocação do quadro do forro deveria ser instantânea, era do conhecimento comum que as demais instalações a serem executadas na laje de cobertura, mesmo tendo sido projetadas para ser pré-fabricadas e pré-instaladas ocupariam a maior parte do tempo disponível para a montagem da casa durante a competição;

(b) Poucas peças para manuseio:

O forro deveria ser composto por quadros maiores, um para cada ambiente. Cada quadro deveria se comportar como um produto pronto para uso. Nos quadros já estariam previamente montados todos os equipamentos de todas as instalações previstas para operar fixados no forro. Cada equipamento também continha a interface com todas as conexões necessárias ao seu funcionamento. Para que esses equipamentos fossem ativados bastava conectar as interfaces de cada instalação;

(c) Diferenças de geometria:

A solução deveria contemplar a compatibilização das diferenças de geometria entre os painéis de forro disponíveis e a geometria do novo leiaute da casa;

(d) Concordâncias:

Entre as bordas dos quadros do forro e os quadros de revestimento vertical das paredes internas foi deixado um espaço para acesso permanente às conexões das interfaces que proporcionaram a possibilidade de segmentação das instalações montadas nas lajes e nas paredes. O fechamento desse espaço deveria ser feito de forma a permitir fácil acesso por uma pessoa.

(e) Manuseio por quatro pessoas:

Cada quadro deveria ter uma massa tal que permitisse o seu manuseio com segurança e conforto por no máximo quatro pessoas.

6.3.2 Soluções

(a) Fixação magnética:

Assim que é instalado, o quadro de forro permanece ligado pela atração magnética entre pastilhas de super ímãs permanentes de neodímio instaladas no quadro de forro e esperas produzidas com chapas de aço ABNT 1020 previamente fixadas na laje. Foi utilizada, em média,

uma pastilha de imã com 30 mm de diâmetro e 10 mm de altura para cada metro quadrado de forro.

(b) Dispositivos de segurança:

Como complemento de segurança, os quadros foram equipados com cabos de aço ligados por mosquetões aos mesmos suportes dos componentes da ligação magnética. Esses suportes também continham um recurso redundante de ligação utilizando parafusos e porcas de aço funcionando como travas entre os suportes.

(c) Poucas peças para manuseio:

Para cada ambiente foi projetado um único elemento para revestimento do forro. Esse elemento era composto de um chassi revestido com os painéis de forro existentes no acervo e as instalações projetadas para cada ambiente. Essa solução permitiu que com a instalação de cinco peças, o quarto e todos os ambientes de convivência, estava concluída a tarefa de revestimento da laje, (Figura 51).

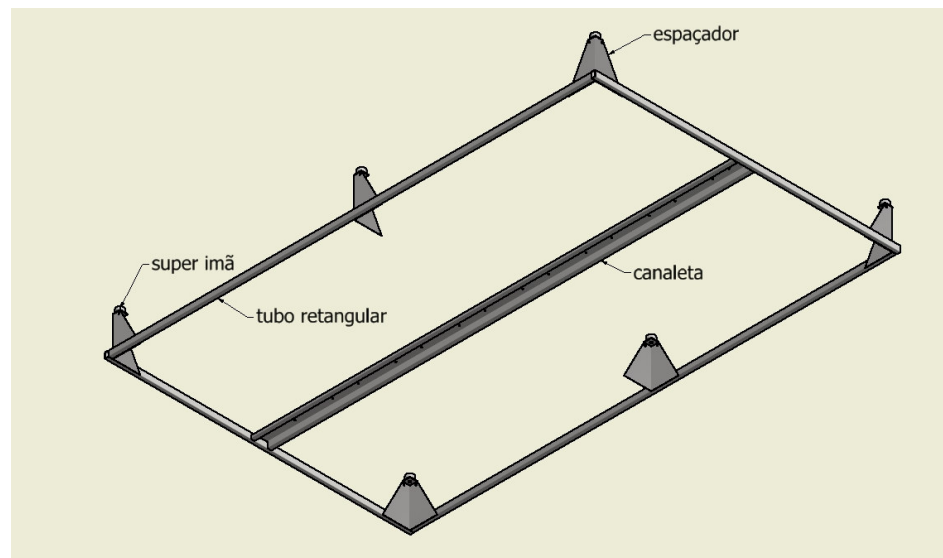


Figura 51- Exemplo do chassi do quadro do forro dimensionado a partir de duas informações: a modulação dos painéis de forro do acervo; e as dimensões de cada ambiente.

Todos os componentes dos demais sistemas instalados no forro, tais como luminárias, sensores e componentes de sonorização foram pré-instalados nos quadros de forro e suas ligações feitas com conectores especificados de tal forma que cada tipo de ligação era equipado com um par de conectores com configuração exclusiva e ligados por encaixe macho e fêmea com posicionamento único dos terminais. Na prática não era possível realizar uma ligação errada. Cada quadro de forro era um produto pronto e sua utilização semelhante aos equipamentos conhecidos como *plug&play* utilizados em computadores. Uma vez concluída a fixação do quadro de forro, as instalações funcionavam imediatamente e seus componentes ficavam operacionais.

(d) Canaletas de ajuste geométrico com múltiplo uso:

Os painéis de forro disponíveis no acervo haviam sido produzidos em dois formatos em quantidade insuficiente para a nova realidade. Para adequar a geometria dos painéis do acervo com a geometria do novo leiaute da casa o desenho dos quadros do forro tinha um componente com três funções, uma canaleta de chapa dobrada instalada no eixo de cada quadro do forro na direção longitudinal da casa. (Figura 52).

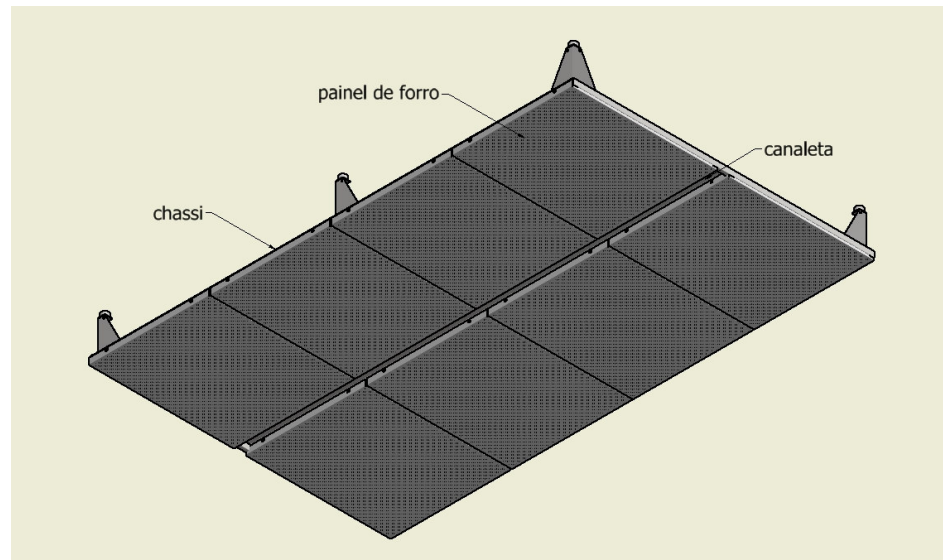


Figura 52 - Elemento de manuseio do forro, quadro formado pelo chassi e os painéis de forro.

A primeira função, de natureza geométrica, permitiu adaptar a geometria do material disponível à nova geometria dos ambientes internos da casa. A segunda função foi servir de alojamento para instalar as luminárias lineares que proporcionavam a luz difusa nos ambientes. O perfil das canaletas tinha dimensões especificadas em função das dimensões das luminárias de forma que estas, mesmo instaladas, ficavam protegidas dentro das canaletas e puderam, assim, ser transportadas sem risco. Por fim, a canaleta era um dos componentes que permitiam a fixação do revestimento. Cada quadro de forro era composto de um chassi montado com tubos retangulares e perfis dobrados de chapa de aço ABNT 1020, cuja geometria era compatível com a fixação definitiva dos painéis de chapa perfurada disponíveis no acervo. Esses quadros receberam pintura eletrostática e os componentes de ligação ou sujeitos a ação magnética, receberam tratamento anticorrosivo por zincagem eletrolítica.

(e) Concordâncias

As concordâncias entre o revestimento vertical e os quadros do forro, utilizadas para fechar o espaço de acesso às conexões de instalações, foram produzidas com um conjunto de tabeiras desenvolvidas em chapa dobrada de aço ABNT 1020 com acabamento em pintura eletrostática. Sua instalação se fazia por encaixe simples. Essa solução permitiu que o acesso às ligações *plug&play* dos quadros de revestimento vertical pudessem ser feitas a qualquer momento, permitindo manutenção e atualização permanente.

(f) Manuseio por 4 pessoas

Com auxílio do *software* de manufatura, durante a fase de projeto, utilizando os componentes digitais já modelados e que continham informações sobre as propriedades físicas dos materiais utilizados, foi possível controlar a massa resultante de cada quadro de forro.

Os painéis de revestimento produzidos com chapa perfurada com 0.5 mm de espessura eram peças bem leves. A quantidade de apoios especificada para os quadros de forro resultou em vãos inferiores a 2.000 mm o que permitiu que os componentes que formavam os quadros fossem construídos com tubos e perfis de chapa dobrada de aço ABNT 1020 com parede de 1,0 mm. O maior quadro utilizado, que foi instalado no escritório, tinha massa inferior a 80 kg⁶⁵.

Esse valor é inferior ao requisito de que a massa tivesse um limite de 128 kg por quadro, o equivalente a 32 kg⁶⁶ por pessoa.

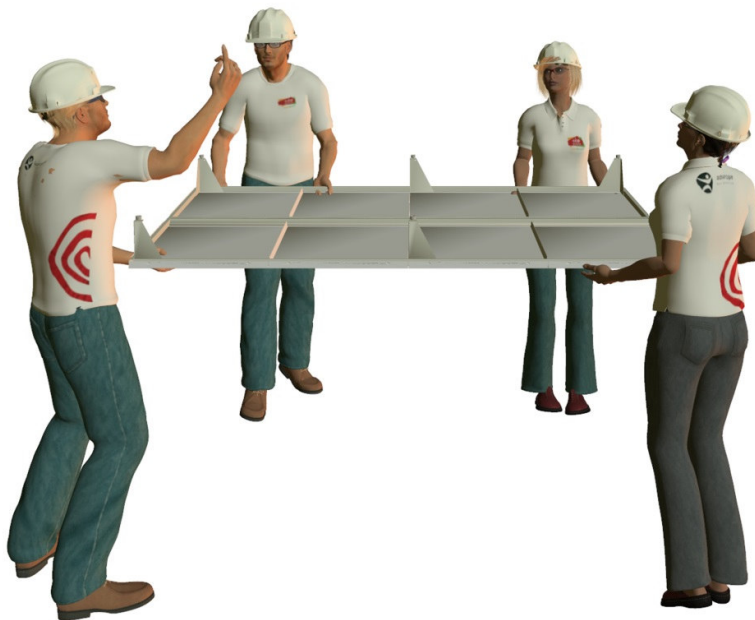


Figura 53 - O forro pode ser manuseado com conforto por quatro pessoas.

⁶⁵ O artigo 198 da Consolidação das leis do Trabalho – Decreto Lei 5452/43 tem a seguinte redação: É de 60 kg (sessenta quilogramas) o peso máximo que um empregado pode remover individualmente, ressalvadas as disposições especiais relativas ao trabalho do menor e da mulher. (Redação dada pela Lei nº 6.514, de 22.12.1977). Disponível em <http://www.jusbrasil.com.br/topicos/10742562/artigo-198-do-decreto-lei-n-5452-de-01-de-maio-de-1943>. Acesso em 18/02/2014.

Desde 16/08/2005 encontra-se na Câmara do Deputados o PLS - Projeto de Lei do Senado número 19 de 2003, de autoria do senador Marcelo Crivella que da nova redação ao artigo 198 fixando o peso máximo em vinte quilogramas que um empregado pode remover, individualmente. Disponível em http://www.senado.gov.br/atividade/materia/detalhes.asp?p_cod_mate=54848. Acesso em 18/02/2014.

⁶⁶ Essa massa é internacionalmente conhecida como confortável para ser manuseada por uma pessoa. Um exemplo disso é o limite de massa admitido para as bagagens de porão, manuseadas por funcionários das empresas de transporte aéreo.

6.4 Produção

6.4.1 Projeto

O projeto do forro começou a ser elaborado quando nos espaços onde seriam instalados os quadros de forro já estavam sendo feitas as montagens das instalações por tubulação e cabeamento. Essas instalações eram executadas seguindo dois critérios: *(a)* critério técnico, utilizando um projeto com representação unifilar sem preocupação espacial e *(b)* critério espacial, respeitando durante a instalação as faixas reservadas para cada disciplina na superfície da laje de cobertura.

Com base em: *(a)* informações digitais sobre o conteúdo dos componentes disponíveis no acervo; *(b)* nas informações do cadastro digital do espaço edificado; e *(c)* no acompanhamento em tempo real da execução das instalações por cabeamento, foram feitas as análises dos requisitos mínimos para o projeto do forro e as propostas de soluções para atender esses requisitos.

O método de retroalimentação simultânea e permanente de informações assegurou que fossem evitadas as possíveis interferências entre os sistemas em fase de instalação e a modelagem do forro. Assim desde seu início a produção dos quadros de forro se fez com base em informações consistentes e previamente testadas em ambiente virtual.

Como forma de assegurar a precisão das concordâncias entre os quadros de forro e os quadros de revestimento vertical o projeto de fabricação dessas peças foi o último a ser elaborado, feito em seguia à instalação do forro.

6.4.2 Fabricação

Devido à simplicidade da configuração final dos quadros de forro, que se resumiu a fixação dos componentes de revestimentos de chapa perfurada disponíveis no acervo num chassi formado por tubos de seção retangular e uma canaleta de múltiplos usos, a produção do sistema de forro foi um processo que pouco utilizou os recursos de prototipagem digital. A (Tabela 11) mostra a composição dos elementos do sistema.

Tabela 11 - Composição do sistema de forro magnético removível.

COMPONENTE	MATERIAL	PROCESSO	ACABAMENTO
Estrutura perimetral do quadro	Tubo de seção retangular de Aço ABNT 1020 20x30x0,9 mm	Corte por máquina de serra horizontal convencional	Pintura eletrostática
		Solda TIG ⁶⁷	
Canaleta de múltiplos usos	Chapa dobrada de Aço ABNT 1020 Espessura 0,9 mm	Corte, furação e dobra por processos CNC	Pintura eletrostática
		Solda TIG	
Suporte da cápsula	Chapa dobrada de Aço ABNT 1020 Espessuras 0,9 mm e 3,18 mm	Corte, furação e dobra por processos CNC	Zincagem eletrolítica
Cápsula	Barra redonda de Aço ABNT 1045 Ø 1.1/2"	Usinagem por torno mecânico convencional	Zincagem eletrolítica
	Parafuso com sextavado interno, cabeça chata M6x16, DIN 7991 (referência bibliográfica da norma)	Aquisição	Zincagem eletrolítica
Esperas	Chapa dobrada de Aço ABNT 1020 Espessura 6,35 mm	Corte, furação e dobra por processos CNC	Zincagem eletrolítica
Revestimento	Acervo	Mapeamento de aberturas e usinagem	Aluzinco

(a) Estrutura perimetral do chassi:

Foi produzida por processos básicos de metalúrgica utilizando os desenhos gerados pelo *software* de manufatura. O material utilizado foram tubos de seção retangular adquiridos no mercado de acordo com a especificação obtida a partir das simulações realizadas no ambiente virtual do *software* de manufatura.

⁶⁷ TIG, *Tungsten Inert Gas*, processo de [soldagem](#) a [arco elétrico](#) entre um [eletrodo](#) não consumível de [tungstênio](#) e as peças a serem unidas, com ou sem deposição de material. Esse processo deixa a solda limpa, sem os resíduos provenientes da queima do revestimento dos eletrodos de solda elétrica e por isso é adequado para peças que receberão proteção anticorrosão por processos eletrolíticos.

(b) Canaleta de múltiplos usos:

Após o dimensionamento geral da peça que permitiu o arranjo dos painéis de chapa perfurada nos ambientes, foi realizado um mapeamento da furação para fixação a alimentação elétrica dos aparelhos de iluminação linear que foram instalados na canaleta. A sequência do processo feito por equipamento CNC foi: (a) cortar a chapa de aço ABNT 1020 em guilhotina; (b) furar a chapa em prensa excêntrica; e (c) perfilar a peça em dobradeira.

(c) Suporte da cápsula:

Soldada nas bordas e arestas da estrutura perimetral do chassi, na quantidade e localização determinada no projeto, o suporte era formado por chapa de aço ABNT 1020 com espessura de 0,9 mm dobrada, utilizada na vertical e outra peça do mesmo material com espessura de 3,0 mm soldada na horizontal. Um furo no centro da peça horizontal foi utilizado para alojamento do parafuso de fixação da cápsula.

(d) Cápsula:

Apesar de ter sido usinada em equipamento convencional, a precisão da usinagem desse componente foi rigorosamente controlada. Sua fixação não é rígida, um parafuso com cabeça chata é colocado de baixo para cima no suporte e nesse parafuso é fixada a cápsula sem que esta tenha contato com o suporte o que permite a movimentação da cápsula. Esse recurso assegura que a cápsula ao se ligar, por atração magnética, à espera fixada na laje o faça em toda a superfície da borda da cápsula. Esse contato integral é imprescindível para o funcionamento do sistema, não havendo contato integral o fluxo magnético se dissipa e a carga suportada pelo sistema se reduz perdendo a eficiência.

(e) Esperas:

Ensaio e as informações do fornecedor foram determinantes para a especificação da espessura da chapa de aço ABNT 1020. Com pouca espessura o fluxo magnético se dissipa e a eficiência do sistema fica comprometida. Peças muito espessas além de aumentar o custo têm mais restrições para produção. O processo de produção seguiu a mesma sequência do suporte da cápsula, citado acima.

(f) Revestimento:

A partir de uma planta contendo a localização de todos os aparelhos instalados no forro, as aberturas necessárias nas peças de revestimento foram mapeadas por traçado manual e usinadas com auxílio de ferramentas e máquinas elétricas portáteis. Com o mesmo processo foram feitos furos nas abas laterais dos painéis de forro para fixá-los nos quadros por meio de rebites de repuxo.

O processo de produção do sistema de forro se assemelhou a forma como trabalha uma montadora industrial. Fornecendo desenhos e arquivos digitais e gerenciando de forma remota o controle da produção dos componentes, em suas várias etapas: (a) corte por equipamento CNC; (b) dobras por equipamento CNC; (c) montagem de chassi com técnicas de serralheria convencional apoiada por dispositivos montados com peças modeladas e produzidas por prototipagem digital; 4- processos de pintura e proteção galvânica; e 5- logística necessária para proporcionar fluidez nessa sequência.

6.5 Montagem do sistema

Nenhuma peça do sistema de forro foi produzida no canteiro, as tarefas de preparação de componentes executadas no canteiro se resumiram a usinagem das aberturas utilizando ferramentas e máquinas elétricas portáteis.

Concluídos todos os ciclos de produção dos componentes, a montagem dos quadros foi realizada no canteiro. A Tabela 12 mostra em ordem cronológica a sequência de operações necessárias para que, como numa linha de montagem, os componentes se transformassem em elementos de manuseio.

Na primeira montagem esses elementos de manuseio eram considerados protótipos, uma vez que para se formarem precisaram passar por todas as operações.

Na última coluna da tabela estão marcadas as tarefas relacionadas com a sequência de montagens e desmontagens quando os elementos já eram produtos, prontos para uso.

Tabela 12 - Operações de montagem do sistema.

TAREFAS	PROTÓTIPO	PRODUTO
Formação dos elementos de manuseio	X	
Instalação de aparelhos diversos sistemas	X	X
Instalação de esperas	X	
Instalação de super imãs ⁶⁸	X	X
Elevação manual do quadro	X	X
Primeiro recurso de segurança	X	X
Conexão dos aparelhos montados no forro	X	X
Segundo recurso de segurança	X	X
Sistema de concordâncias	X	X

(a) Formação das peças de manuseio:

O chassi montado com tratamento de superfície aplicado ao receber com fixação definitiva os painéis de forro se transformou em peça de manuseio⁶⁹. Mesmo que a esses quadros fosse instalado mais algum componente o manuseio durante as tarefas de logística de transporte e montagem seria realizado com esse componente.

(b) Instalação de componentes dos diversos sistemas :

Em sequência à montagem dos quadros foram instalados os aparelhos dos diversos sistemas fixados nas aberturas já usinadas para esse fim. Por diversas questões relacionadas com

⁶⁸ Por segurança os super imãs não permaneceram instalados durante as tarefas de logística de transporte, foram alojados somente no momento da instalação do quadro do forro.

⁶⁹ Para este trabalho, é considerada peça de manuseio a menor peça de um sistema quando submetida aos processos de logística de transporte e montagem.

segurança física e patrimonial nem todos os aparelhos permaneceram instalados durante o transporte. Esses aparelhos tinham sistemas de fixação por encaixe simples e interfaces de conexão com o cabeamento que permitia fácil instalação e remoção a qualquer momento.

(c) Instalação das esperas:

A distribuição dos pontos de apoio dos quadros definiu o local onde as esperas da ligação magnética foram instaladas. Essas peças, uma vez posicionadas e fixadas, não precisam ser removidas para transporte.

(d) Instalação de super imãs :

As cápsulas contendo os super imãs são colocadas na estrutura por meio de um parafuso numa operação muito simples, pelas mesmas razões que certos aparelhos não viajaram instalados os super imãs são as últimas peças montadas no forro.

(e) Elevação manual dos quadros:

A decisão de fazer a montagem final do forro sem auxílio de equipamentos mecânicos de elevação foi tomada com base nos requisitos de projeto que consideraram entre outros fatores o fato de serem os quadros de forro compostos por peças com dimensões próximas das dimensões dos ambientes onde foram instalados. Os quadros eram peças grandes, leves e também frágeis. O ideal é que tão logo o forro se fixe nas esperas por meio das cápsulas magnéticas os montadores conectem os sistemas complementares de segurança, os cabos de aço e os pinos.

Em qualquer etapa da montagem em que o operador precise trabalhar com as mãos para cima, como no caso dos quadros de forro, além do desconforto da posição provoca fadiga em muito pouco tempo.

Normalmente essas tarefas necessitam duas ações simultâneas dos operadores: (a) segurar ou manter a peça elevada, que exige esforço, mas, não é uma tarefa motora fina; (b) alinhar os recursos de ligação e fixa-los, tarefas que necessitam atenção e coordenação.

A proposta do forro magnético com o objetivo de minimizar as tarefa que exigem esforço, permite que quando o quadro se aproxima da sua posição definitiva, as esperas atraem as cápsulas magnéticas e o quadro de forro permanece ligado. Com o forro ligado o operador pode se concentrar nas tarefas motoras finas utilizando as duas mãos.

(f) Primeiro recurso de segurança:

Durante a montagem dos quadros são instalados os cabos de aço guarnecidos por mosquetões. Com o forro fixado na laje os montadores puderam fazer com conforto e segurança as ligações dos mosquetões nas esperas engatando-os nas aberturas feitas para esse fim.

(g) Conexão dos aparelhos montados no forro:

Com os mosquetões ligados, é possível descer o forro 20 cm da sua posição final. Essa posição permite que os instaladores especializados façam as conexões das interfaces dos aparelhos montados no forro com as redes instaladas na laje.

(h) Segundo recurso de segurança:

A última tarefa da montagem do forro foi retornar o quadro para a sua posição definitiva e instalar o segundo recurso de segurança. Um conjunto de parafuso e porca que funcionava como trava do suporte da cápsula na espera fixada na laje.

(i) Sistema de concordâncias:

Após o término da montagem do forro e de realizadas as conexões e os testes das instalações o sistema de concordâncias já poderia ser colocado. O espaço revestido pelas tabeiras permite o acesso a todas as conexões entre as instalações horizontais e verticais e a sua montagem se faz por simples encaixe, sem necessidade de uso de ferramentas. Composto por componentes leves e de pequeno porte podem ser manipulados por uma pessoa a qualquer momento, para manutenção ou atualização dos sistemas instalados.

O sistema de forro foi o primeiro protótipo a se tornar produto. Enquanto estava no canteiro foi instalado uma única vez para verificações, removido só foi reinstalado em Madri após a conclusão das tarefas de instalação na laje sem que fosse necessário nenhuma outra preparação.

7. SISTEMA DE GUARDA CORPO

Este capítulo analisa o projeto e a produção de um sistema de guarda corpo transparente.

7.1 História

O projeto arquitetônico da casa não contemplou uma proteção física para as varandas e para a rampa de acesso. As imagens da casa, produzidas por maquetes eletrônicas e que foram utilizadas na divulgação do projeto, valorizaram as varandas e o uso de materiais naturais como bambu (Figura 54), mas apenas para seu fechamento e com o objetivo de proporcionar privacidade e controle de luz. Não estava representada uma solução que permitisse às pessoas circular com segurança pelo entorno da casa ou pela rampa de acesso.



Figura 54 - Imagem de divulgação da Ekó House onde se pode ver a rampa de acesso e a varanda lateral esquerda sem proteção. Maquete eletrônica de Rovi Ferreira

A proposta foi produzir um sistema de guarda corpo que pudesse proporcionar a segurança necessária sem, contudo alterar significativamente o partido arquitetônico adotado. A solução foi projetar e produzir um guarda corpo, o mais transparente possível, partindo da disponibilidade de utilização de vidro proporcionada por uma das empresas⁷⁰ de um grupo empresarial parceiro do projeto, que entre outros produtos produz vidro plano.

O uso do vidro tirando proveito arquitetônico da sua transparência tem sua história no início do século XX. Quando em 1914 o belga Emile Fourcault inventou um método de produção de grandes folhas de vidro, chamado de *flat glass* ou o vidro plano como é conhecido no Brasil.

⁷⁰ Cebrace, empresa da *joint venture* dos grupos Saint-Gobain da França e da NSG do Japão. A Saint-Gobain também foi patrocinadora do evento SDE 2012.

No artigo *The terrifying beauty of absence: transparency in modern architecture*⁷¹, Alexander D'Hooghe⁷² comenta:

*Early generations of Modernists immediately became enthralled with the revolutionary potential of this transparent technology. For the first time in human history, it became possible to conceive of buildings, programs, etc – that would not be there; buildings, whose presence would be a studied kind of absence; whose form would have no expression*⁷³.

A forma sem expressão, ou a matéria que está presente, mas, não é uma barreira visual proporciona uma sensação de imaterialidade, um conceito abstrato frequente no projeto da Ekó House, uma casa, que se propõe como padrão contemporâneo de alta eficiência energética e que vai além do material:

- (a) A energia, que permite o funcionamento da casa tem essa característica, obtida da radiação solar sem nenhuma ação mecânica para produzi-la.
- (b) O forro, analisado no capítulo 6, permanece no local onde foi instalado por meio de atração magnética, um sistema de fixação sem ligações mecânicas.
- (c) A casa automatizada no estado da arte da disciplina de automação predial reage às variações do clima e tem autonomia de decisão sobre quando e como sombrear, iluminar, esfriar e aquecer, entre outras ações.

A essência da alta eficiência energética é desmaterializada desde a geração da energia até o controle do consumo.

Haviam sido analisados sistemas comerciais modulares produzidos em diversos materiais, mas, que não se mostraram viáveis. Os componentes desses sistemas utilizam o piso da edificação como base para instalação e fixação. Na Ekó House essa solução era inviável, o piso da varanda era montado na configuração de dequeutilizando régua de madeira unidas entre si por um cordão têxtil e simplesmente apoiadas e encaixadas em quadros montados com perfis de alumínio.

7.2 Acervo

⁷¹ A beleza aterrorizante da ausência: transparência na arquitetura moderna. Tradução do autor. Disponível em http://history.thiscenturyreview.com/THE_TERRIFYING_BEAU.theterrifyingbeaut.0.html, acessado em 6 de outubro de 2013.

⁷² Alexandre D'Hooghe é professor adjunto na Architectural Urbanismo no MIT. Ele conduz um grupo de pesquisa denominado "Plataforma para uma permanente Modernidade", e um escritório de design chamado "Gabinete de Permanente Modernidade", localizado em Boston com sucursal em Bruxelas (public.org-www.org).

⁷³ As primeiras gerações de modernistas ficaram imediatamente encantadas com o potencial revolucionário da tecnologia transparente. Pela primeira vez na história da humanidade, tornou-se possível conceber edifícios, programas, etc - que não estariam lá; edifícios, cuja presença seria uma espécie estudada de ausência; cuja forma não teria qualquer expressão. Tradução do autor.

Sem um projeto anterior não havia, no acervo, materiais previamente adquiridos que pudessem estar disponíveis para a produção do guarda-corpo.

7.3 Proposta

O projeto do guarda corpo foi feito quando a edificação já estava em fase final de fabricação e montagem e, a exemplo dos demais sistemas da casa, o projeto precisou atender a requisitos que permitissem sua produção com os recursos de prototipagem digital sobre os quais o grupo já tinha domínio. As soluções deveriam ser compatíveis com as etapas de montagem pelas quais a edificação deveria passar. (Tabela 13).

Tabela 13 - Requisitos e soluções para o sistema de guarda corpo.

REQUISITOS	SOLUÇÕES
Transparência	Vidro de alta transparência
Segurança	Vidros laminados e temperados
Fixação segura	Pilares da estrutura do deque
Montagem simples	Executada por duas pessoas
Produção Digital	Corte e usinagem por CNC

7.3.1 Requisitos

(a) Transparência:

O guarda corpo instalado nas varandas e na rampa de acesso não deveria concorrer com a proposta do projeto arquitetônico. Um elemento instalado no perímetro da edificação é o primeiro a ser visto e se não for transparente pode ocultar as propostas de arquitetura.

(b) Segurança:

A função do guarda corpo é proporcionar segurança para os usuários ou visitantes da casa de forma que possam ambular pelas varandas ou pela rampa de acesso sem risco de queda a parte superior do guarda corpo é também um corrimão.

Qualquer sistema que utilize vidro como material básico precisa ser projetado com critérios de segurança específicos. A ABNT fornece um total de 27 normas⁷⁴ para uso de vidros em construção civil, arquitetura, decoração e mobiliário. Fixação segura: As tentativas de produzir um guarda corpo com sistemas disponíveis no mercado não tiveram sucesso porque a base natural de fixação desses sistemas, o piso, no caso da Ekó House, era um deque composto de componentes em forma de régua de madeira serrada⁷⁵ simplesmente apoiadas numa estrutura de quadros de alumínio.

⁷⁴ Dentre essas normas 4 são publicadas como NBR NM, normas que passaram por processo de harmonização em âmbito regional conduzido pela AMN, Associação Mercosul de Normatização. Nesse caso as Normas Mercosul passam a ser também Normas Brasileiras.

⁷⁵ A madeira utilizada no deque era teca de reflorestamento tratada por processo em autoclave que lhe confere alta resistência a intempéries, porém a torna mais rígida.

Montagem simples: A instalação do guarda corpo seria executada no final da montagem da edificação. Na sequência da montagem os deques que formavam as varandas e a rampa de acesso só seriam montadas depois que a montagem da estrutura da casa e a instalação dos seus revestimentos estivessem concluídas. A solução deveria priorizar a velocidade de instalação e considerar que no momento em que a instalação fosse feita poucas pessoas estariam disponíveis para realizar essa tarefa, pois todos estariam envolvidos com a finalização de outras montagens.

(c) Artesanato Digital:

Não haveria tempo para uma pré-montagem do sistema de guarda corpo. Todo o processo exceto as peças e a montagem seria conduzido em ambiente virtual. Com os recursos do *software* de manufatura foram modelados os elementos de ligação e as peças de vidro e com esses componentes virtuais foram feitas e analisadas as simulações de montagem.

7.3.2 Soluções

(a) Vidro de alta transparência:

A utilização de vidro no guarda corpo, por si só, proporciona a transparência proposta para o sistema, entretanto a empresa parceira do projeto disponibilizou a produção dos componentes em vidro de alta transparência, conhecidos no mercado como *extra-clear*⁷⁶. Com a utilização desse material o guarda corpo ficou o mais transparente que o mercado permite.

(b) Vidros temperados e laminados:

A norma ABNT NBR 7199 de 1989 determina que, vidros de guarda-corpo, ou vidros instalados acima do pavimento térreo devem ser de vidros de segurança laminados⁷⁷. No caso de quebra de uma ou das duas folhas de um vidro laminado o conjunto não se desintegra, permanecendo no local onde o vidro foi instalado. Essa característica física do vidro laminado é que o configura como vidro de segurança.

Segundo o *Manual del Vidrio*(1996) para ligar folhas de vidro a componentes metálicos com fixação por meio de fixações que dependam de furos no vidro o vidro precisa ser endurecido ou temperado como é conhecido no mercado. Nijssse (2003) descreve o processo de endurecimento:

The toughening of glass is a physical process. One must not forget that the glass as a material is not changed! The glass becomes stronger, less vulnerable but only thanks to the artificial introduction of a compression (stress) in the outside skin of the toughened glass element. The procedure os

⁷⁶ *Extra-clear* é um vidro cuja composição tem baixo teor de óxido de ferro. O óxido de ferro é o elemento que proporciona o tom esverdeado, notadamente nas bordas, do vidro conhecido como incolor. O vidro *extra-clear* tem as bordas transparentes semelhantes às bordas do acrílico. A Cebrace comercializa esse vidro com a marca Diamant.

Disponível em <http://www.cebrace.com.br/v2/vidro/tipos-vidros>, acesso em 6 de outubro de 2013.

⁷⁷ Vidros laminados são conjuntos de duas ou mais folhas de vidro unidas por películas ou resina PVB. O PVB pode ser incolor, colorido ou texturizado.

making toughened glass is as follow. A glass panel, complete with all holes and polished edges, is made of normal float glass. In the furnace this element is heated up to about 600 degrees. After taking the panel out of the furnace the outside of panel is ventilated with air at room temperature. This causes the outside "skin" to cool quickly and hence become hard. The mass of glass on the inside is still very hot and cools down slowly. When a material cools down it inevitably has to shrink. The outside, however, already has its final permanent form. Thus the shrinking part inside, firmly attached to the outside "skin", starts to pull at the hardened outside. This causes compression in the outside "skin" and subsequently, due to balance, tensile stresses in the interior. Existing scratches and cracks are pushed closed. New scratches undergo the same effect. This means that in a part of the glass structure where the loading in the element leads to tensile stresses the existing cracks cannot open, grow and causes the collapse. Crack growth is a dangerous phenomenon indeed for glass. Glass has no mechanism in its molecular build-up to stop growing cracks. It is just the opposite: a growing crack driven by a tensile stress in the material grows at great speed till it meets a free edge. This brittle behavior is a bad property of glass of which we should be aware⁷⁸.

Para produzir um vidro temperado que tenha furos onde serão inseridos os componentes de ligação e fixação a superfície interna do furo precisa ser polida. A rugosidade causada pelas ferramentas de usinagem cria uma concentração de tensões na superfície do furo durante o processo de endurecimento, o que fragiliza o vidro. Nijse (2003) mostra como exemplo dessa fragilidade um dossel construído na Nijmegen Station Square entre 1997 e 1999. A cobertura formada por planos de vidro ligados por meio de parafusos a vigas longitudinais e transversais também produzidas com vidro rachavam após um período de meia hora de instalados. Descoberta a causa, furos não polidos, o dossel pode ser coberto com novas peças produzidas com furos polidos.

⁷⁸ "O endurecimento do vidro é um avanço físico. Não se deve esquecer que o vidro como um material não é alterado! O vidro se torna mais forte, menos vulnerável, mas apenas devido à introdução artificial de uma compressão (stress) na "pele" externa do componente de vidro temperado. O método operacional do procedimento para produzir vidro temperado é o seguinte. Uma folha de vidro, completa com todos os furos e bordas polidas, é feita de vidro plano normal. No forno esse elemento é aquecido até cerca de 600 graus. Depois retira-se a folha do forno a face externa da folha é ventilada com ar, à temperatura ambiente. Isso faz com que a "pele" do lado de fora passe a esfriar rapidamente e, portanto, tornar-se dura. A massa de vidro no interior ainda está muito quente e esfria lentamente. Quando um material esfria inevitavelmente tem de encolher. Olado de fora, no entanto, já tem a sua forma permanente final. Assim, a parte que está encolhendo dentro, firmemente ligada à "pele" do lado de fora, começa a puxar a região externa endurecida. Isto causa tensões de compressão na "pele" exterior e subsequentemente, devido ao equilíbrio, causa tensões de tração no interior. Arranhões e rachaduras existentes são forçados a fechar. Novos riscos sofrem o mesmo efeito. Isto significa que em uma parte da estrutura do vidro em que a carga do componente leva a tensões de tração as fissuras existentes não podem abrir ou aumentar, causando o colapso. O crescimento de uma fissura é um fenômeno perigoso para o vidro. O vidro não tem nenhum mecanismo molecular em seu acúmulo para interromper rachaduras crescentes. É exatamente o oposto: uma rachadura crescente impulsionada por uma força de tensão no material cresce em grande velocidade até que encontre uma borda livre. Este comportamento frágil é uma má propriedade do vidro da qual devemos estar cientes.

(c) Pilares da estrutura do deque:

A estrutura do deque era formada por pilares de tubos de alumínio com regulagem de altura e quadros montados com perfis de alumínio recurso que permitia o perfeito nivelamento do piso do deque. Apenas os componentes de alumínio, pilares e quadros, do deque tinham características de estabilidade e resistência. Como os quadros não ofereciam uma geometria adequada à instalação de ligações para o guarda corpo estas foram fixadas aos pilares. Dessa forma, por meio de ligações especificamente desenvolvidas, o guarda corpo ficou fazendo parte da estrutura do piso das varandas.

Com essa solução as pessoas que transitavam pela varanda, não tinham visibilidade do sistema de ligação do guarda corpo. Visto do ângulo de quem está nas varandas toda a superfície do sistema era transparente.

(d) Duas Pessoas:

A instalação dos suportes nos pilares e dos vidros nos suportes foi feita com parafusos e porcas. O projeto especificou que os parafusos fossem soldados aos suportes de forma que os instaladores não precisavam manipular os parafusos durante a instalação. A primeira tarefa na colocação do vidro era posicionar o vidro de forma a encaixá-lo nos parafusos, com a massa do vidro suportada pelos parafusos os instaladores poderiam com conforto concluir a instalação colocando e apertando as porcas. Com essa solução foi possível a instalação das peças de vidros por duas pessoas. Para cada vidro eram utilizados quatro parafusos para fixação do suporte e mais quatro parafusos para fixação dos vidros.

(e) Corte e usinagem por CNC:

A produção dos suportes de aço foi realizada por prototipagem digital com fornecedores e procedimentos utilizados em outros sistemas da edificação. Além da produção digital dos suportes de aço a empresa parceira do projeto que forneceu os vidros selecionou um distribuidor comercial dos seus produtos que faz beneficiamento de folhas de vidro por meio de equipamentos comandados por controle numérico, de forma que mesmo nessa situação, ainda pouco comum para o mercado vidreiro, a produção de todo o sistema se desenvolveu com absoluta precisão devida a interoperabilidade dos processos digitais de projeto e produção.

7.4 Produção

Para produção do guarda corpo foi desenvolvido um projeto de envidraçamento das varandas e da rampa de acesso e se desenvolveu utilizando como referência a modelagem dos componentes do sistema de deque e a modelagem do sistema montado (Figura 55e Figura 56). O sistema era composto de componentes de ligação e vidros cada um com requisitos próprios de projeto e produção.

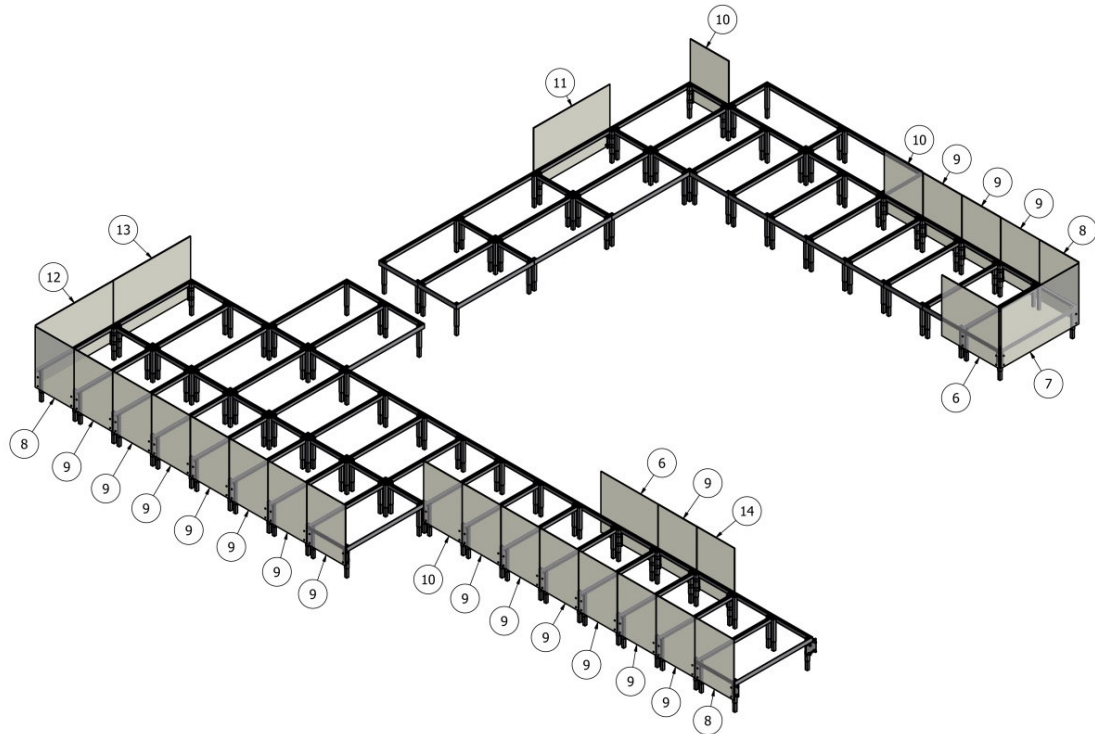


Figura 55 - Guarda corpo virtual instalado na estrutura modelada do deque que forma as varandas. Nesta imagem não são apresentados os acessos por escada e por rampa.

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	44	deck 2000x1000	
2	9	suporte D	
3	4	suporte B	
4	22	suporte A	
5	2	suporte C	
6	2	vidro F	
7	1	vidro E	
8	3	vidro H	
9	17	vidro A	
10	3	vidro G	
11	1	vidro D	
12	1	vidro B	
13	1	vidro C	
14	1	vidro J	

Figura 56 - Parts list identificação e quantificação dos componentes para montagem do guarda corpo nas varandas

7.4.1 Ligações

As ligações produzidas em chapa de aço ABNT 1020 com proteção anticorrosiva por deposição de zinco por processo eletrolítico, instaladas nos pilares da estrutura do deque e desenvolvidas como componentes dedicados a instalação de vidros foram desenvolvidos no *software* de manufatura e produzidos por prototipagem digital.

O sistema completo, incluindo deque e guarda corpo, montado como aparece na Figura00 não existia fisicamente, alguns componentes do deque cuja estrutura também suportaria vidros do guarda corpo não estavam montados e só o seriam durante a competição.

Com esse recurso do *software* foi possível analisar todas as configurações possíveis da ligação. Nas varandas, excluídos os acessos, haviam ligações para: (a) dois vidros contíguos; (b) primeiro ou último vidro de uma série de vidros coplanares; (c) vidros formando um canto interno; e (d) vidros formando canto externo.

A ligação era composta de duas peças que formavam uma abraçadeira de seção quadrada compatível com a seção do pilar da estrutura do deque, considerando uma tolerância de 2 mm que facilitava a instalação. Esse conjunto permanecia fixado no pilar pela pressão exercida na fixação da abraçadeira.

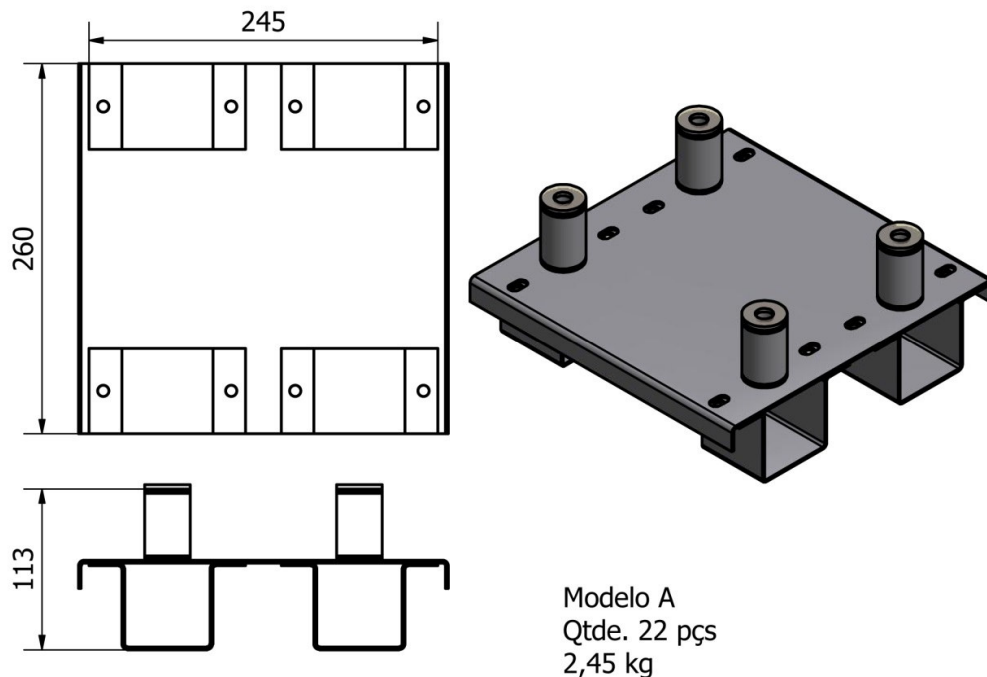


Figura 57 - Ilustração da primeira peça projetada a partir da definição do conceito de fixação do guarda corpo utilizando o pilar da estrutura do deque.

O modelo da Figura 57, o mais completo, era fixado nos pilares de dois quadros de deque consecutivos, para proporcionar suporte para dois vidros como os vidros identificados pelo balão 9 na Figura 55.

Na versão final desse conjunto a peça plana, voltada para fora da varanda os parafusos necessários para receber os vidros estavam soldados nas peças (3.2.6)

7.4.2 Vidros

Na produção dos vidros a utilização dos recursos de modelagens e análises de geometria de componentes foi suficiente para atingir o resultado esperado. A partir da modelagem dos elementos: (a) a estrutura; (b) os suportes; e (c) os vidros foi feita a montagem de todos os componentes o que permitiu realizar as análises e correções de possíveis interferências entre esses componentes. Na sequência foi emitido um conjunto de arquivos digitais e suas respectivas representações gráficas.

As representações gráficas continham, além de desenhos, as informações sobre a composição e o processo de produção das peças de vidro. O material gráfico também seria útil para conferência e identificação das peças no momento do recebimento dos vidros.

QUANTITATIVO DE VIDRO PARA GUARDA-CORPO

Vidro Cebrace Extra Clear - Laminado 12mm (6mm + PVB incolor + 6mm)

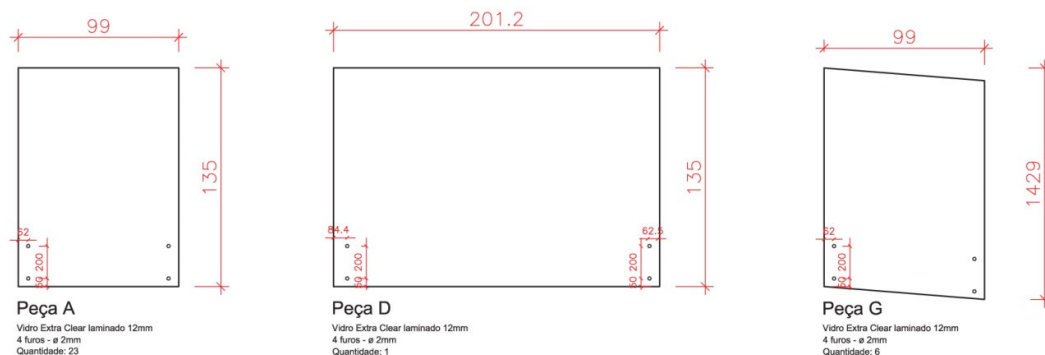


Figura 58- Ilustração das informações gráficas disponibilizadas para o beneficiador

O material ilustrado na Figura 58, em mídia digital e gráfica, foi enviado por correio eletrônico diretamente para a empresa escolhida para o beneficiamento dos vidros. Não foi necessária uma visita técnica de um representante do beneficiador para medições e outras conferências no local, praxe do mercado de fornecimento de vidro,

Transcorrido o prazo necessário para a produção das peças de vidro, o beneficiador fez a entrega das peças. Todas as peças receberam etiquetas de identificação de fácil leitura e foram acondicionadas em cavaletes metálicos especificamente projetados para o transporte dos vidros. Os vidros foram retirados do cavalete pela primeira vez durante a montagem do guarda corpo no final da fase da primeira montagem da casa às vésperas do início da competição.

7.4.3 Fabricação

Iniciada poucos dias antes da desmontagem da casa para ser transportada para a competição em Madri, quando já havia domínio e segurança sobre prototipagem e fabricação digital, a

produção do sistema de guarda corpo utilizou os mesmos processos e métodos de fabricação e gerenciamento utilizados nos demais sistemas.

A Tabela 14 mostra a composição dos elementos do sistema:

Tabela 14 - Composição do sistema de guarda corpo transparente.

COMPONENTE	MATERIAL	PROCESSO	ACABAMENTO
Presilha do suporte em perfil cartola	Chapa dobrada de aço ABNT 1020 Espessura 3 mm	Corte, furação e dobra por equipamento CNC	Zinco por processo galvânico
		Solda TIG	
Frente do suporte em perfil U	Chapa dobrada de aço ABNT 1020 Espessura 3 mm	Corte, furação e dobra por equipamento CNC	Zinco por processo galvânico
		Solda TIG	
Calço para distanciar o vidro do quadro do deque	Tubo redondo de aço ABNT 1020 Ø32x1,9 mm	Corte por máquina de serra horizontal convencional	Zinco por processo galvânico sugestão: mesclar células
Arruela de apoio do vidro	Barra redonda de aço ABNT 1045 Ø32 mm	Corte por máquina de serra horizontal convencional	
		Usinagem por torno convencional	
Parafuso de montagem do suporte	Aço 1020 Ø10x50 mm	Aquisição	Zinco por processo galvânico
Porca de montagem do suporte	Aço 1020 Ø50 mm	Aquisição	Zinco por processo galvânico
Arruela de separação entre vidro e aço	PVB pneumático em manta, Ø32 mm, furo Ø12 mm, espessura 2 mm	Corte manual com vazador calibrado	
Tubo de separação entre o parafuso e o vidro	Mangueira transparente de PVC Ø1/2"	Corte manual	
Parafuso de fixação do vidro	Aço 1020 Ø10x80 mm	Aquisição	Zinco por processo galvânico
Parafuso de fixação do vidro	Aço 1020 Ø50 mm	Aquisição	Zinco por processo galvânico
Arruela de fixação do vidro	Barra redonda de aço ABNT 1045 Ø32 mm	Corte por máquina de serra horizontal convencional	Zinco por processo galvânico
		Usinagem por torno convencional	
Vidro temperado e laminado	Vidro incolor extra –clear laminado 6 mm + PVB + 6 mm bordas e furos lapidados	Usinagem por equipamento CNC	

Com exceção dos vidros e das peças de PVC todos os componentes metálicos do sistema do guarda corpo foram produzidos com aço ABNT 1020 ou ABNT 1045 e receberam tratamento anticorrosivo. Esse tratamento foi adequado para proteger componentes que durante toda a sua utilização permanecem ao tempo e em local onde não há facilidade para vistoria rotineira sobre desgaste ou corrosão.

(a) Presilha do suporte em perfil cartola e frente do suporte em perfil U:

As duas peças passaram por processos iguais, após a definição das dimensões que permitiu o ajuste do suporte no tubo da estrutura do deque, foram mapeados os furos onde seriam alojados os componentes de fixação dos vidros. Realizado por equipamentos operados por CNC a produção se fez na seguinte sequência: (a) cortar a chapa de aço ABNT 1020 em guilhotina; (b) furar a chapa em prensa excêntrica; e (c) perfilar a peça em dobradeira.

(b) Calço para distanciar o vidro do quadro do deque:

As faces dos tubos da estrutura do deque não são coplanares com as faces dos quadros do deque, são recuadas. Para que o vidro ficasse posicionado 10 mm afastado do quadro foi necessária a colocação de um componente afastador. Esses afastadores foram feitos com tubo de seção circular cortados com equipamento convencional.

(c) Arruela de apoio do vidro:

Essa peça foi projetada de forma a atender duas funções: (a) posiciona o calço afastador alinhando o eixo do calço com o centro do furo do parafuso que suporta e fixa o vidro; e (b) cria uma superfície plana perpendicular ao piso para servir de encosto para o vidro. A peça foi produzida a partir de barras de aço SAE 1020 usinadas em torno convencional.

(d) Parafusos e porcas:

Todos os elementos de fixação utilizados no guarda corpo, adquiridos no mercado especializado, tem dimensões do sistema métrico e são produzidos segundo as normas DIN.

(e) Arruela de separação entre vidro e aço e Tubo de separação entre o parafuso e o vidro:

O vidro temperado é um material muito duro e com alta resistência a compressão, porém, de ruptura frágil quando em contato direto com um material de dureza semelhante. Por isso nunca se faz a fixação de uma peça de vidro sem que haja uma camada de um material deformável separando o vidro das ferragens e dos componentes de fixação. Para essa finalidade foram escolhidas manta e mangueira de PVC incolor, um material de fácil aplicação, pouco sensível às variações climáticas e de alta transparência.

(f) Arruela de apoio do vidro:

Essa peça tem a função de distribuir a força aplicada pelos componentes de fixação. A peça foi produzida a partir de barras de aço SAE 1020 usinadas em torno convencional.

(g) Vidro temperado e laminado:

O resultado final da produção dessas peças depende da precisão com que todo o processo de desenvolve. A sequência de operações para sua produção foi: (a) corte e lapidação das bordas do vidro; (b) usinagem e polimento dos furos, tanto o corte como a usinagem dos furos foi realizado com equipamento operado por CNC; (c) endurecimento da superfície esse processo só pode ser feito depois que todas as operações de usinagem tenham sido executadas, um

vidro temperado não admite nenhum tipo operação que implique em remoção de material; e (d) laminação com PVB, o processo de endurecimento da superfície dos vidros pode resultar em perda de planeza, isso implica na utilização de mais de uma folha de PVB na laminação, sendo um material macio permite acomodar as faces não absolutamente planas das duas folhas do conjunto. Sem um rigoroso controle de todo o processo pode ocorrer falta de alinhamento das bordas ou dos furos, inutilizando o conjunto.

A fabricação dos componentes do guarda corpo também seguiu procedimentos característicos de montadora, os componentes depois de projetados foram produzidos por fornecedores externos e sua primeira utilização ocorreu no momento da montagem da casa durante a competição.

7.4.4 Montagem do sistema

O sistema de guarda corpo não passou por uma fase de pré-instalação ou de testes que permitissem verificar a compatibilidade dimensional entre o sistema de piso das varandas e da rampa de acesso.

As simulações dimensionais realizadas no ambiente virtual do *software* de manufatura foram suficientes e eficientes para garantir a precisão dimensional necessária para a utilização correta do sistema.

O projeto definiu que cada vidro estaria dedicado a uma única face de um quadro da estrutura do deque, essa decisão atende a duas características dessa instalação: (a) a precisão dimensional dos quadros do deque era semelhante à precisão que se poderia obter na produção do sistema de guarda corpo e dessa forma a compatibilidade dimensional estaria assegurada; e (b) o deque não é uma estrutura rígida, o andar das pessoas sobre o deque provoca nos quadros movimentos com poucos milímetros de amplitude, não havendo vidros fixados na estrutura de dois ou mais deques esses movimentos são assimilados e acompanhados pelos vidros, esse movimento previsto em projeto acontecia entre as juntas da ordem de 2,0 cm entre duas folhas de vidro.

Nas varandas, com segmentos retos e horizontais não houve nenhuma situação de falta de compatibilidade dimensional que pudesse prejudicar a instalação dos vidros, todos foram instalados com a facilidade prevista nas simulações.

As peças de vidros foram manuseadas por duas pessoas que também executaram a instalação das peças dentro do tempo previsto.

O processo de formação de uma base de dados para o projeto do guarda-corpo proporcionou uma boa oportunidade de aprendizado para quem se dispõe a trabalhar com produção digital. A rampa, dimensionada para o projeto anterior era composta de três segmentos, um segmento inicial com 8 graus de inclinação em relação ao solo, um patamar central nivelado e um último segmento com 6 graus de inclinação. Na época da modelagem da rampa, sem que

houvesse sido feito um criterioso cadastro do deque, foi adotado um critério padrão de dois segmentos com 5 graus de inclinação unidos por um patamar em nível.

Essa simplificação trouxe consequências que se manifestaram no momento da montagem. A exceção dos vidros instalados no patamar horizontal nenhuma peça de vidro desenhada para ser utilizada na rampa tinha compatibilidade geométrica e dimensional com os quadros inclinados da rampa. Para que os vidros pudessem ser instalados na rampa foi necessário refazer os suportes instalados nos segmentos inclinados.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Artesanato, a arte e a técnica do trabalho manual não industrializado, realizado por artesão e que escapa à produção em série tem finalidade a uma tempo utilitária e artística (HOUAISS, 2004).

Digital, dispositivos que trabalham exclusivamente com valores binários (HOUAISS, 2004). Referencia ao processamento dos computadores que utilizam bits com valores zero ou um.

O artesão, produzindo com os próprios meios, tem domínio da sua arte, *(a)* conhece na intimidade os materiais com os quais produz suas peças; *(b)* tem destreza com seus instrumentos e *(c)* quando inicia o seu trabalho já sabe qual será o resultado.

O ambiente digital para projetar com auxílio de *software* parametrizado, dedicado à manufatura, *(a)* disponibiliza para o profissional, por meio de um banco de dados, as propriedades físicas do material com o qual vai modelar um componente; *(b)* oferece um cardápio de ferramentas interativas emprestando destreza a quem projeta e *(c)* apresenta o componente pronto, virtual, antes que venha a ser produzido com fidelidade por meio da interoperabilidade com os equipamentos operadores controlados por CNC.

Artesanato digital é consequência contemporânea da valorização da arte de projetar, de oferecer segurança aos meios e métodos de produção física, mesmo que para uma peça única, por meio de um conteúdo de informações completo e confiável.

Este trabalho ao analisar os projetos, a produção e a montagem de quatro sistemas selecionados dentre os sistemas do protótipo Ekó House: *(a)* estrutura; *(b)* revestimentos verticais portáteis; *(c)* forro magnético; e *(d)* guarda corpo transparente, considera que o processo de desenvolvimento da produção desses sistemas elaborados com recursos e postura de artesanato digital foi determinante para alcançar o resultado obtido.

Não seria viável alcançar o objetivo de produzir, em menos de um ano, uma edificação de alta eficiência energética pré-fabricada, portátil, sem a utilização dos recursos do *software* de manufatura paramétrico e a interoperabilidade entre o projeto e os meios de produção digital.

Com auxílio do *software* de manufatura, cada sistema do projeto foi validado após terem sido realizados testes de avaliação das montagens, suas possíveis interferências ou perda de desempenho. Os testes foram realizados utilizando componentes e elementos modelados virtuais, que disponibilizaram informações sobre as características geométricas e as propriedades físicas dos materiais utilizados. O método utilizado, onde as avaliações de desempenho se realizaram partir de componentes digitais, com baixo custo e boa velocidade de produção, assegurou a qualidade da produção dos componentes físicos.

Um dos resultados obtidos foi durante a participação no certame internacional SDE 2012, em Madri, quando a equipe do Team Brasil, composta por cerca de 20 alunos, sem especialização na produção de edificações, montou uma residência de alta eficiência energética, com área interna de 45 m², em 150 horas.

A viabilidade do método foi assegurada pela valorização do projeto, utilizado como a principal ferramenta para tomada de decisões para a produção. A correta utilização dos recursos de projeto por meios digitais permite projetar cenários virtuais confiáveis antes de produzi-los com segurança.

Foi possível produzir e montar em tempo reduzido, o sistema estrutural e demais sistemas da casa, utilizando o quanto possível técnicas de prototipagem digital disponíveis no mercado nacional. A prática dessa forma de produção e a montagem de um exemplar contribuem para a criação de novas bases de conhecimento para industrialização e pré-fabricação de edificações, notadamente aquelas que tenham alta eficiência energética.

REFERÊNCIAS

ALONSO, Carlos Egídio. Arquitetura – signagem e não linguagem. *In*: XXI CLEFA. **Memórias**. p.438-42. Universidad Técnica Particular, Loja, Equador. 2005.

ANDIA, A. **Towards algorithmic BIM networks: the integration of BIM databases with generative design**. Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5601**: aços inoxidáveis – classificação por composição química. Rio de Janeiro. 2011.

_____. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro. 1997.

_____. **NBR 7199**: projeto, execução e plaicações de vidros na construção civil. Rio de Janeiro. 1998.

_____. **NBR 15198**: espelhos de prata – beneficiamento e instalação. Rio de Janeiro. 2005.

_____. **NBR 15498**: placa plana cimentícia sem amianto - requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2005.

CAPRIO, A, A. **Análise do desempenho técnico-constructivo de edifícios de apartamentos localizados no bairro de Higienópolis entre as décadas de 30 e 60 na cidade de São Paulo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CITAV - CENTRO DE INFORMACION TECNICA DE APLICACIONES DEL VIDRIO. **Manual del vidrio**. Cristaleria Española, Madrid. 1996.

CONSORCIO BRASIL. **Project manual #5**. Complete project report. Casa Solar Flex. São Paulo: Instituto de Energia e Eletrotécnica da Universidade de São Paulo. 2010. 256p.

D'HOOGHE, A. **The terrifying beauty of absence: transparency in modern architecture.**

Disponível

em: http://history.thiscenturysreview.com/THE_TERRIFYING_BEAU.theterrifyingbeaut.0.html,

Acesso em: 6 out 2013.

DASSAUD SYSTÈMES. Site da empresa. Disponível

em: [<http://www.3ds.com/pt/company/about-dassault-systemes/30-years-of-innovation/>](http://www.3ds.com/pt/company/about-dassault-systemes/30-years-of-innovation/).

Acesso em: 22 oct. 2012.

DOMINGUES, E.H.; OLIVEIRA, C.T.A. **O uso de software de manufatura no desenvolvimento de projetos de edificações pré-fabricadas.** In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 5., Salvador, Anais do evento, 2011.

DOMINGUES, E.H.; OLIVEIRA, C.T.A. **Interoperabilidade no projeto e produção de revestimentos portáteis.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3 E ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO SBQP & TIC 2013, 6., Campinas. Anais do evento, 2013.

ESCOLA SENAI SUIÇO-BRASILEIRA, **Métodos e processos de usinagem de precisão**, São Paulo, 2005.

FARIA, R. N.; LIMA, L.F.C.P. **Introdução ao magnetismo dos materiais.** Editora Livraria da Física, São Paulo, 2005.

GIACAGLIA, M,E; LARA, A,H; MOURA, N,C,S. **Digital manufacturing terminology in the product and the construction industries.** Arqitetura revista, Vol. 7, n.2, p. 172-181, Unisinos, 2011.

GILBRETH JR, F.B.; CAREY, E.G. **Cheaper by the dozen.** New York, D.Van Nostrand Company, 1921. Reedição: New York, Open Road Integrated Media, Inc, 2013.

GILBRETH, F.B. **Motion study: a method for increasing the efficiency of the workman.** New York, D.Van Nostrand Company, 1921. Reedição: San Francisco, Prelinger Library, 2006.

_____. **Bricklaying system**. New York and Chicago, The Myron C. Clark Publishing Co., 1909.
Reedição: [S.l.], Adamant Media Corporation, 2005.

GRIFFITH, B.; LONG, N.; TORCELLINI, P.; JUDKOFF, R.; CRAWLEY, D.; RYAN, J. **Assessment of the technical potential for achieving net zero-energy buildings in the commercial sector**. National Renewable Energy Laboratory. U.S. Department of Energy. 2007. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge>>. Acesso em: 15 abr. 2011.

HOUAISS, A; VILLAR, M, S; FRANCO, F, M, M. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**, Objetiva, Rio de Janeiro, 2004.

KIERAN, S; TIMBERLAKE, J. **Refabricating architecture: How manufacturing methodologies are poised to transform buiding construction**. New York, McGraw-Hill, 2004.

LEITE, B.C. **Sistemas de teto radiante e de insuflação pelo piso com alto grau de automação**. Disponível em: http://www.hvacmercosul.com.br/conteudo_det.php?noticia=389#Uw-oAGeYYdU. Acesso em: 27 fev. 2014.

MELCONIAN, S. **Mecânica técnica e resistência dos materiais**. Editora Érica Ltda. São Paulo. 2004.

MILA, A – **O Edifício**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1973.

MITCHELL, Phil; HURST, Robert Russell III. **Technology assessment of automation trends in the modular home industry**. General Technical Report FPL-GTR-188. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 51 p. 2009. Disponível em: < www.fpl.fs.fed.us >. Acesso em: 28 out. 2010.

NASEREDDIN, M; MULLENS, A, M; COPE, D. **Automated simulator development: a strategy for modeling modular housing production**. Automation in construction 16, 2006.

NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. **Federal research and development agenda for net-zero energy, high-performance green buildings.** Report of the Subcommittee on Buildings Technology Research and Development. U.S. Government. October, 2008. Disponível em: <<http://www.bfrl.nist.gov/buildingtechnology/documents/FederalRDagendaforNetZeroEnergyHighPerformanceGreenBuildings.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2011.

NIJSSE, R. **Glass in structures.** Birkhäuser Publishers for Architecture, Basel. 2003.

PLUME, Jim; MITCHELL, John. **Collaborative design using a shared IFC building model: learning from experience.** Automation in Construction. Elsevier, v.16, 2007, p. 28-36.

REYES, A,A,V. **Transferência de tecnologia para la producción de vivienda em Chile.** Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Integrated project delivery: a guide.** Version 1. 2007. Disponível em: <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/document/aiab085539.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2011.

TORCELLINI, S. P.; DERU, M.; CRAWLEY, D. **Zero energy buildings: a critical look at the definition.** National renewable energy laboratory – NREL. Aceee Summer Study Pacific Grove. Proceedings. Califórnia, August 14-18, 2006. 15p. Disponível <<http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2010.