

Solar Decathlon: o desafio do projeto colaborativo e interdisciplinar

Casa Solar Flex: a construção do protótipo como instrumento de pesquisa

Claudia Terezinha de Andrade Oliveira, professora doutora, Departamento de Tecnologia da Arquitetura - AUT, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - FAUUSP

Resumo

O objetivo deste artigo é apresentar os temas de pesquisa que incorporam as soluções inovadoras para a construção do protótipo da Casa Solar Flex – CSF. das residências energia zero (REZ). Esse trabalho tem o intuito de colaborar para debate sobre o trabalho integrado da universidade e cadeia produtiva para o aprimoramento de uma cultura de projeto e produção voltada à inovação. O projeto da CSF integra uma pesquisa de maior abrangência que tem como objetivos desenvolver capacitação técnica para o projeto e construção de residências energia zero (REZ) adaptadas ao Brasil e lançar as bases de uma futura indústria nacional das REZ. Como as bases tecnológicas para as REZ devem ser praticáveis na estrutura produtiva existente para, futuramente, dar suporte a pesquisas e desenvolvimentos específicos, a inovação se dá pelo uso não convencional de soluções técnicas a partir de produtos industrializados de mercado. Trata-se do conceito COTS (*Commercial off-the-shelf*) para as inovações no uso de materiais, componentes e no processo construtivo, por meio do uso de fundamentos científicos e conhecimento tecnológico. Entre os temas da pesquisa destacam-se: (a) o desenvolvimento de um modelo de análise integrada de desempenho e risco aplicável ao projeto e construção da Casa Solar Flex; (b) estudo de novos componentes e sistemas construtivos integrados segundo a lógica da coordenação modular, que viabilizem a construção, industrialização e adaptação de modelos da Casa Solar Flex. Uma das principais contribuições do desenvolvimento do protótipo da Casa Solar Flex é a inserção em uma atividade acadêmica direcionada à

pesquisa e integração de diferentes tecnologias da construção de protótipos pelos professores e alunos envolvidos. Este diferencial possui um impacto significativo em todo o processo e o transforma em uma das mais importantes experiências acadêmicas e de pesquisa.

Palavras-chave: residências energia zero, análise de desempenho, inovação

Abstract

The aim of this paper is to present the research topics that incorporate innovative solutions for the construction of the Casa Solar Flex prototype - CSF. This work aims to contribute to debate on the work of the university and industry supply chain to improve a culture of design and production focused on innovation. The CSF project integrates a much broader research project with the objective of developing technical skills for design and construction of zero energy homes (REZ) adapted to Brazil and laying the foundations for a future of national industry REZ. As the technological basis for the REZ should be feasible in the existing production structure for a future support of specific research and development, innovation occurs through the use of unconventional technical solutions from industrial products to market. This is the concept COTS (Commercial off-the-shelf) to the innovations in the use of materials, components and construction process through the use of scientific foundation and technological knowledge. Some of the research topics highlights are: (a) the development of a model for performance integrated analysis and risks related to the design and construction of Casa Solar Flex (b) the study of new components and construction systems integrated according to the logic of modular coordination, which allow the construction, production and adaptation of Casa Solar Flex models. A major contribution of the Casa Solar Flex prototype development is the inclusion, in an academic activity directed towards research and integration, different technologies of building prototypes by the faculty and students involved. This differential has a significant impact on the entire process and turns it into a leading academic and research experiences.

Key words: Zero energy homes, performance analysis innovation

1. Introdução

O projeto da Casa Solar Flex – CSF integra uma pesquisa de maior abrangência¹ que tem como objetivos desenvolver capacitação técnica para o projeto e construção de residências energia zero (REZ) adaptadas ao Brasil e lançar as bases de uma futura indústria nacional das REZ. A CSF é o protótipo que a equipe brasileira, formada por universidades públicas, está preparando para a participação em uma futura edição do Solar Decathlon Europe.

No sentido estrito do termo, as REZ², de acordo com a revisão de Torcellini *et al* (2006), são edificações com consumo baixo energético obtido por meio do ganho em eficiência energética. Aqueles autores complementam que, na essência do conceito, a energia demandada para o funcionamento das REZ deve provir de fontes renováveis, não poluidoras, localmente disponíveis e de baixo custo. Portanto, dependendo o contexto e das prioridades do empreendimento, uma REZ pode ser projetada para atender um ou mais dos requisitos apontados. Todavia, para que o conceito da energia zero em edificações residenciais seja implementado com sucesso, é necessária a adequação dos sistemas construtivos e a adequação dos meios produtivos às novas tecnologias requeridas para esse tipo de edificação.

É nesse contexto que o projeto da CSF está sendo desenvolvido. Trata-se de uma experiência singular em que a equipe da pesquisa tem a oportunidade de vivenciar as várias etapas de um empreendimento real, transitando por todas as etapas do projeto e chegando à construção e avaliação de um protótipo.

A concretização do processo produtivo da CSF requer o enfrentamento de questões como a captação e gerenciamento de recursos financeiros, de recursos humanos e tecnológicos, do tempo e dos meios e condições materiais para construção da CSF.

Mobilizados pelo desafio de construir e avaliar um protótipo que reúne uma série de conceitos inovadores na construção e uso de residências, alunos da

¹ Convênio Eletrobrás/Procel ECV 308/09.

² Zero Energy Building (ZEB)

graduação, pesquisadores, professores, e profissionais parceiros têm vivenciado um processo interativo que vai, concretamente, da teoria à prática.

As bases tecnológicas para as REZ devem ser praticáveis na estrutura produtiva existente para, futuramente, dar suporte a pesquisas e desenvolvimentos específicos. Neste contexto, a inovação se dá pelo uso não convencional de soluções técnicas a partir de produtos industrializados de mercado. Trata-se do conceito COTS (*Commercial off-the-shelf*) para as inovações no uso de materiais, componentes e no processo construtivo, por meio do uso de fundamentos científicos e conhecimento tecnológico.

Isso requer, igualmente, inovação na forma de conceber o projeto e produzir o edifício como destacado no Plano Estratégico para Ciência, Tecnologia e Inovação, na área de tecnologia do ambiente construído com ênfase na construção habitacional (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO³, 2002):

"(...) os edifícios deixarão de ser produtos únicos, sendo compostos por componentes relativamente independentes, de durabilidade variável, cujas conexões permitem a substituição de alguns componentes com relativa facilidade. Neste contexto, o surgimento de componentes pré-fabricados e padronizados, segundo uma lógica de industrialização aberta oferecerá condições para ganhos de produtividade e redução de prazos, desde que sejam introduzidas melhorias gerenciais, relacionadas principalmente à logística, projeto, planejamento e controle da produção e gestão de processos (...)".

A prática desses conceitos, de certo modo, já é observada nas obras atuais. No entanto, decorrida quase uma década, ainda falta articulação na cadeia produtiva na oferta de produtos [e mão de obra] com a lógica de subsistemas para a construção residencial no país.

No entanto, se o foco é a consolidação da lógica da industrialização aberta associada aos modelos de sustentabilidade econômica, social e ambiental na construção civil, não há solução centrada em uma única linha de atuação.

Sob esta perspectiva, o objetivo deste artigo é apresentar os temas de

³ ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ANTAC

pesquisa que incorporam as soluções inovadoras para a construção das REZ, com o intuito de colaborar para o debate sobre o trabalho integrado da universidade e cadeia produtiva para o aprimoramento de uma cultura de projeto e produção voltada à inovação.

Os dois temas principais vinculados aos sistemas construtivos são:

- desenvolvimento de um modelo de análise integrada de desempenho e risco aplicável ao projeto e construção da Casa Solar Flex;
- estudo de novos componentes e sistemas construtivos integrados segundo a lógica da coordenação modular, que viabilizem a construção, industrialização e adaptação de modelos da Casa Solar Flex;

Nos itens a seguir estão detalhados os temas da pesquisa e a forma genérica para a sua abordagem.

2. O modelo de análise integrada no projeto

O projeto, mais do que um meio de definir as características do produto final, tem significativa influência na qualidade geral do processo de construção e no uso de uma edificação.

À medida que o projeto reconhece e se apropria das variáveis desses processos como um todo, ele não se apresenta apenas como o suporte material do produto final, mas se estabelece como definidor de procedimentos e passa a representar as atividades produtivas da construção, uso e manutenção da edificação.

Novaes (2002) apresenta dois conceitos para projeto. Um conceito estático, caracterizando-o como produto constituído por elementos gráficos e descritivos. Nesse conceito o projeto tem a função técnica e se presta ao dimensionamento, ao cálculo, à especificação e representação detalhada do produto final no momento da sua concreção. O outro conceito, dinâmico, confere ao projeto um sentido de processo, através do qual as soluções são elaboradas e compatibilizadas. O conceito dinâmico atribui ao projeto a função gerencial do processo de produção bem como do ciclo de vida útil do produto.

Inserido nessa dimensão mais ampla, o projeto é descrito para as suas duas funções básicas e a análise de risco é caracterizada.

2.1 A função técnica do projeto

Quanto à função técnica, vale ressaltar que o projeto da CSF foi concebido e está sendo detalhado com base nos seguintes requisitos:

- a eficiência energética⁴, requisito norteador de todo o processo;
- requisitos de interesse do usuário final da CSF: conforto e salubridade dos ambientes internos e externos; segurança no uso e operação; adequação do uso e às atividades consideradas no programa de necessidades; viabilidade de manutenção;
- requisitos de interesse ao processo construtivo: factibilidade de construção e de transferência da tecnologia ao meio produtivo, uso de produtos industrializados do mercado para reduzir a necessidade de investimento no desenvolvimento de novos produtos;
- requisitos que permitem a redução do impacto da construção: uso de materiais renováveis, uso de processos construtivos com menor consumo de insumos, uso de materiais e componentes com maior durabilidade, redução das perdas materiais na construção, economia do uso de recursos materiais durante as fases de produção, uso e manutenção, controle de riscos ocupacionais no momento de produção e manutenção tendo em vista ao usuário caberão certas atividades de manutenção como, por exemplo, a limpeza dos painéis fotovoltaicos da cobertura e fachada;
- requisitos que atendem as novas demandas do usuário da REZ: automação predial (domótica),
- requisitos complementares que viabilizam a implantação da CSF em locais desprovidos de infra-estrutura de saneamento: tratamento de águas residuais cinzas, sistema de compostagem para efluentes de esgoto sanitário (águas negras), aproveitamento de águas pluviais; sistema de reuso de água tratada.

Para cada um desses requisitos foram definidos critérios de desempenho capazes de orientar as especificações e as análises iterativas.

A função técnica do projeto só tem significado se houver uma abordagem sistêmica do problema, ou seja, se a edificação que está sendo projetada é

⁴ “Eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um service com baixo dispêndio de energia. [...] um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia [...]” (LAMBERTS et al, 1997, p.14).

compreendida como um sistema físico composto por um conjunto subsistemas, ordenados segundo uma estrutura lógica, e que devem funcionar como uma unidade. É importante o entendimento que esses subsistemas têm o seu comportamento determinado pelas suas características, sua forma de interligação, bem como da sua interação com os usuários e com o meio externo.

2.1 A função gerencial do projeto

As inovações propostas nesta pesquisa exigem substanciais melhorias gerenciais nos processos que antecedem a produção, tais como o projeto e o planejamento da obra. Portanto, a função gerencial do projeto foi definida como prioritária no desenvolvimento do projeto da CSF como forma de reduzir as incertezas e os riscos das inovações. Esse gerenciamento é também essencial para viabilizar o trabalho remoto e fragmentado de uma equipe multidisciplinar que, além de professores e alunos, envolveu também uma série de pesquisadores colaboradores e representantes da indústria.

O modelo de análise integrada, aplicável a todas as fases de projeto, construção e uso da CSF, permite o planejamento e a construção de um projeto de forma integrada às necessidades dos usuários finais e de todos os intervenientes do processo construtivo.

Quanto à função gerencial, o projeto se vale da aplicação de novos conceitos ligados ao modelo único da construção (*single building model*) e da prototipagem digital.

Entre esses modelos estão aqueles com base em plataformas BIM⁵ (*Building Information Modeling*) ou Modelagem das Informações da Construção. Esses modelos, tridimensionais e paramétricos, permitem a compatibilização de todos os sistemas construtivos da CSF. A partir da elaboração das bases no modelo único da construção, pode-se constituir um banco de dados que contempla o projeto da REZ. Essa forma de interagir com dados e informações de diversas origens e especificidades permite o desenvolvimento de projetos integrados, com vários graus de complexidade.

⁵ Neste projeto está sendo usado o software Revit Architecture da Autodesk.

Pesquisas e sobre o tema (FLORIO, 2007, CRESPO et al, 2007) apontam que o banco de dados pode ser manipulado em modelo único tridimensional, e também pode ser modificado e/ou adaptado ao longo das fases de projeto, construção, avaliação, uso e operação do protótipo, facilitando a compreensão da interconexão dos componentes construtivos e aumentando a produtividade em obra. A vantagem é que, uma vez inserido nessas plataformas, as alterações feitas em uma parte do projeto, automaticamente alteram as outras partes que têm interferência com a alteração inicial. Esse modelo ainda permite a elaboração da base de dados cadastrais do projeto, onde todos os elementos construtivos são representados por objetos que contém: propriedades geométricas dos elementos; especificações dos materiais (propriedades físicas e químicas dos materiais que compõem o elemento); modelo, tipo e fornecedor; orientações, limitações e restrições de uso e manutenção; consumos e custos desses elementos.

A prototipagem digital⁶ se fez necessária em razão do grau de incerteza sobre o comportamento dos sistemas propostos, dado o nível de inovação do projeto. Além disso, a prototipagem digital atende o requisito precípua da pesquisa - a eficiência energética - à medida que reduz os gastos de energia [e também recursos materiais e humanos] para a simulação e validação de modelos até então não experimentados na prática.

Dada a natureza tecnológica e experimental desta pesquisa, a realização dos trabalhos práticos está condicionada pela natureza inovadora dos processos tecnológicos. Estes possuem uma dinâmica de produção que exige a retroalimentação sistemática e a contínua readequação da proposta. Desta forma o projeto do protótipo detalhado, numa primeira instância, tem sido sistematicamente re-adequado nas diferentes etapas de desenvolvimento do projeto para produção.

Sabendo que o conhecimento nesta área de modelagem está ainda é incipiente no país, existem amplas oportunidades para o desenvolvimento de uma tecnologia nacional e adaptada à cultura projetual brasileira, de interesse especial ao projeto da REZ.

⁶ Neste projeto está sendo usado o software Inventor da Autodesk.

2.3 Análise de risco

A análise de risco, como introduzida nesta pesquisa, implica a identificação e o reconhecimento, por parte de especialistas, de falhas da edificação que possam trazer consequências indesejáveis aos usuários, quer sejam aquelas consequências que reduzam o nível de segurança do edifício, quer sejam aquelas que reduzam ou impeçam as condições de habitabilidade, operacionalização e manutenção dos sistemas da edificação, ou mesmo aquelas que contribuam para o desperdício de recursos (água, energia).

Comparativamente a uma residência comum, uma REZ apresenta um conjunto complexo de sistemas e funções de suporte para a geração de energia (elétrica e térmica), de controle (domótica), segurança, isolamento térmico, de condicionamento de ar interno, entre outros. Essa complexidade e diversidade de funções potencializa os modos e as ocorrências de falhas na edificação e requer soluções de projeto e construção de alta confiabilidade para reduzir a frequência de ocorrência e controlar ou mitigar a extensão dos danos e impactos dessas falhas.

O risco é identificado tanto em situações ou eventos normais como naqueles de caráter anormal ou de emergência. O risco não está necessariamente relacionado a uma falha que caracteriza condição de perigo iminente, no entanto, a permanência da falha resultará na depreciação do valor do imóvel e no aumento exponencial do custo para a manutenção futura. Por essas razões a análise de risco permite uma apreciação geral da edificação preservando o nível de desempenho de projeto.

Meacham (2001) destaca que a análise de risco pode ser aplicada não apenas para situações que expõem os usuários ao perigo iminente, como também para determinar níveis aceitáveis de desempenho para a funcionalidade dos edifícios e de suas partes, por exemplo. Se visto sob a perspectiva da análise de risco, o desempenho da edificação ao longo da vida útil e, por conseguinte, a sua manutenção podem ser analisados de forma mais equilibrada.

Além disso, os fatores de risco considerados no projeto podem ser alterados conforme a interação do usuário com a edificação e conforme a dinâmica do ambiente e às condições de exposição do edifício. Nesses casos a análise de risco é útil para auxiliar as tomadas de decisão buscando um equilíbrio entre os níveis de segurança toleráveis e os recursos disponíveis (físicos e financeiros) com o objetivo de

restabelecer ou melhorar o desempenho global do edifício (GUIMARÃES, 2003; McDOWEEL; LEMER, 1991).

3. Componentes e subsistemas construtivos

São apresentados, a seguir, alguns dos componentes e sistemas construtivos que estão sendo detalhados no projeto da CSF.

3.1 Subsistema cobertura

Nas edificações convencionais, a cobertura tem como funções básicas proteção do usuário do intemperismo e outros fenômenos naturais, estanqueidade à chuva, proteção patrimonial, controlar as trocas de calor, controlar a transmissão do ruído aéreo. Na CSF, a essas funções somam-se outras como a de ser o suporte para um subsistema de geração de energia, permitir o acesso seguro do usuário para a manutenção preventiva do subsistema de geração de energia.

Nessa nova perspectiva, no subsistema cobertura outros subsistemas são agregados: drenagem e captação de águas pluviais para reaproveitamento, [sub]sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), estrutura de suporte dos painéis fotovoltaicos, revestimento da cobertura (telhas e juntas que garantem a estanqueidade do conjunto), subsistema de geração de energia fotovoltaica, subsistema de aquecimento de água por irradiação solar; isolamento térmico de alto desempenho.

Como os painéis fotovoltaicos foram especificados em razão da sua eficiência na produção de energia fotovoltaica, a modulação desses painéis foi o fator governante na determinação das dimensões finais da cobertura. Tratam-se de componentes com medidas fixadas pelo fabricante e sem possibilidade de redimensionamento.

Para atender todos os requisitos de segurança, funcionalidade, durabilidade da cobertura foi adotado um sistema de cobertura com telha e assessorios de alumínio que permitem a zipagem radial das telhas. Essa solução de zipagem garante a estanqueidade, a montagem e desmontagem da cobertura, além disso, permite a fixação de elementos de suporte para outros sistemas sem comprometer a sua

integridade. Por permitir uma montagem e desmontagem fácil, estas telhas cumprem os critérios de construtibilidade e portabilidade previstos para o projeto que tem como propósito a industrialização. Um dos principais entraves conceituais percebidos pela equipe foi a forma de apropriação desse material pelo mercado. Usualmente ele é aplicado no setor industrial e de armazenagem. A empresa parceira⁷, dada sua característica empreendedora, aceitou o desafio e participou ativamente no desenvolvimento do projeto da cobertura para a CSF. As telhas e alguns acessórios de fixação foram desenhados e construídos especificamente para atender os requisitos de desempenho. O uso de um sistema de cobertura em alumínio apresenta vantagens na redução do consumo energético do edifício e no consumo de recursos.

Em edifícios unifamiliares residenciais uma parcela significativa de ganho de calor decorre da emissão do calor radiante na cobertura. Esse calor radiante aquece as coberturas que liberam calor no ambiente interno. O alumínio apresenta baixa emissividade e que reduz a transmissão de calor por via radiante, dessa forma, contribui para a redução de eletricidade requerida para o condicionamento artificial da temperatura no interior das edificações.

Desse modo a opção por uma telha zipada radial torna-se uma opção viável econômica e tecnicamente, visto que de forma associada a essas características técnicas ela pode receber sistemas do tipo fotovoltaico e térmico sem alterar a sua principal função.

Para a estrutura de apoio dos painéis fotovoltaicos estão sendo desenvolvidas estruturas de ligas de alumínio-silício-magnésio, para fins estruturais, da série 6000. O alumínio foi escolhido para essas estruturas por suas propriedades físico-químicas que justificam suas aplicações quando se desejam baixo peso próprio, facilidade de usinagem e baixo custo de manutenção, quando comparado ao aço carbono, por exemplo. Por ser um material de grande resistência à corrosão, as estruturas expostas exigem mínimo custo de manutenção, garantindo obras de maior durabilidade. Mesmo com coeficiente de dilatação térmica maior do que o do aço, o seu baixo módulo de elasticidade, aproximadamente igual a 1/3 do módulo de elasticidade do aço, resulta tensões de dilatação correspondentemente menores e que, normalmente, não são significativas. Devido às baixas tensões de dilatação

⁷ Bemo do Brasil

térmica, para pequenos vãos, dispensa-se o uso de juntas de dilatação, deixando que a estrutura absorva esses esforços por tensão interna.

O alumínio também permite a obtenção de perfis com geometrias complexas com ganho significativo de rigidez e baixo consumo de matéria. Essas geometrias complexas são obtidas por meio de extrusão, processo industrial que, atualmente, é viabilizado dado o baixo custo de confecção das ferramentas de extrusão.

3.2 Componentes de madeira para revestimento de fachadas e pisos externos

Um tipo de madeira termotratada está sendo estudada para a aplicação em pisos e revestimentos de paredes. A madeira de uma espécie exótica, a *Tectona grandis*, é originária de florestas plantadas e certificadas da região centro-oeste do Brasil. A madeira é popularmente conhecida popularmente como teca.

Estudos anteriores, realizados por membros da equipe do projeto (OLIVEIRA *et al*, 2008), indicam a viabilidade do emprego da madeira teca termotratada⁸ para usos internos e externos. Esse produto é de interesse para o uso em revestimentos de pisos e vedações verticais em razão da homogeneidade de cor, menor variação dimensional e, principalmente, da sua resistência à degradação biológica, dispensando o uso de biocidas. Um método otimizado para o termotratamento da teca está sendo implementado pelo fabricante; esse novo método permite a obtenção de madeira com resistência mecânica compatível com as solicitações de projeto e aplicáveis a pisos internos e externos, adicionalmente às outras propriedades já apontadas.

3.3 Subsistema estrutural de madeira

A escolha do sistema estrutural da CSF teve como premissas: o uso de materiais que reduzam as pontes térmicas; o uso de materiais de fontes renováveis que propiciam a fixação de carbono (CO₂) por meio de soluções técnicas que prolonguem a vida útil da estrutura; uso de tecnologias que reduzam o consumo de material mantendo o desempenho estrutural e estabilidade do conjunto; possibilidade

⁸ Madeira termotratada Thermoteak, produzida pela Floresteca.

de rearranjos estruturais de acordo com as necessidades de ampliação e/ou modificação do projeto da casa.

Diante dessas premissas optou-se pelo uso de um sistema estrutural composto por componentes de madeira maciça serrada (vigas, pilares, travessas e montantes) e madeira transformada (painéis de contraventamento), dentro do conceito de estrutura reticulada, conhecida como *balloon frame*. Na Figura 1 são ilustrados os módulos da estrutura justapostos (esquerda) e um dos painéis verticais com a vista da sua estrutura interna e revestimento (direita).

Os módulos estruturais são independentes, o que facilita o transporte e montagem. Constitui-se de um módulo básico que contém o programa elementar da edificação (cozinha, banheiro, dormitório e gabinete técnico) e demais módulos que podem ser agregados ao módulo básico, conforme a necessidade de ampliação, acrescentando outras funções e outros ambientes à casa. Para a CSF o módulo básico tem dimensões de 2,2 x 8, 6x3, 3m. Os módulos adicionais têm dimensões de 1,9 x 8, 6x3, 3m e 1,9 x 8, 6x3, 3m.

Para permitir a junção dos módulos, optou-se pelo uso de um sistema de protensão, que além de permitir o uso de componentes de madeira serrada com dimensões convencionais de mercado, permite o acoplamento dos módulos da casa de forma segura, garantindo estabilidade e estanqueidade ao conjunto. Esse sistema de protensão é uma tecnologia de uso reconhecido na construção de pontes de madeira e, pela primeira vez, está sendo testado na produção de edificações de pequeno porte.

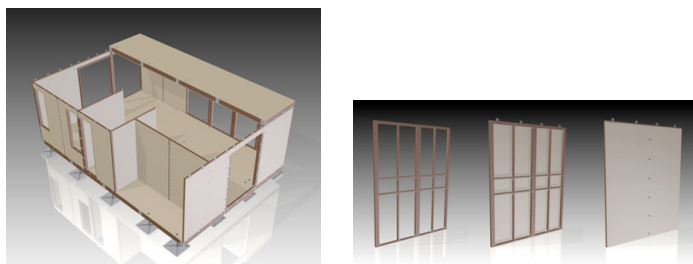


Figura 1 Módulos da estrutura de madeira da CSF (esquerda); painel vertical com a estrutura e revestimento (direita).

4. Considerações finais

Do ponto de vista da formação de competência técnica em projeto, uma das

principais contribuições desta pesquisa é a atividade acadêmica direcionada à integração de diferentes tecnologias da construção de protótipos pelos alunos e profissionais envolvidos no processo.

Houve muita reflexão para a identificação e o reconhecimento das necessidades do processo de construção e do usuário final da REZ. Entretanto, o principal desafio foi a tradução dessas necessidades em soluções de projeto que atendessem, simultaneamente, os requisitos de desempenho do processo produtivo e do uso final da edificação.

As características desta pesquisa que têm possibilitado experiências em cenários de prática real transformam-na em uma das mais significativas experiências na capacitação de recursos humanos, não apenas para o projeto e construção de REZ, mas para a produção de edificações em geral.

Agradecimentos

Esta pesquisa conta com o apoio financeiro, institucional e técnico de: Eletrobrás, Saint Gobain, Philips, Bemo do Brasil, Sun Power, Feeling Structure, CAT Consultoria e Assessoria Técnica, Godoy Luminotécnica, Weiku Esquadria de PVC, Baraúna Marcenaria, Luxaflex, Hunter Douglas do Brasil, Pro-Reitoria de Pós-Graduação da USP, Pró-Reitoria de Extensão da USP, Coordenação de Cooperação Internacional da USP, Capes, CNPq.

Bibliografia

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ANTAC. **Plano Estratégico para Ciência, Tecnologia e Inovação na área de tecnologia do ambiente construído com ênfase na construção habitacional**. Abril, 2002. Promoção: Financiadora de Estudos e Pesquisas – FINEP; Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT; Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. Coordenação: Carlos Torres Formoso – NORIE/UFRGS. Disponível em: <http://habitare.infohab.org.br/habitare.htm>. Acesso em 20/ago/2002.

- CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. *In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Integração de Sistemas em Arquitetura, Engenharia e Construção. Anais.* Porto Alegre, 11 e 12/jul/2007, 9 p.
- FLORIO, W. Contribuições do building information modeling no processo de projeto em arquitetura *In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Integração de Sistemas em Arquitetura, Engenharia e Construção. Anais.* Porto Alegre, 11 e 12/jul/2007, 10 p.
- GUIMARÃES, L. S. Gerenciamento de riscos e segurança de sistemas. São Paulo: Editora i@ditora. 2003. 187 p.
- LABERTS, R.; DUTRA, L. PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997. 192p.
- McDOWELL, B. D.; LEMER, A. C. (Editors). Uses of risk analysis achieve balance safety in building design and operations. Building Research Council (U.S). Washington, D.C.: National Academy Press. 1991. 84p. ISBN 978.0309046800. Access: Mar 1st, 2008. Available at <http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=1907>.
- MEACHAM, B. J. Identifying and Regulating for Multiple Levels of Performance. In: CIB 2001 WORLD CONGRESS: PERFORMANCE IN PRACTICE. Proceedings... Rotterdam: CIB (CD-ROM). 2001.
- NOVAES, C. C. Adequação do processo de projeto de edificações aos novos paradigmas econômico-produtivos. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2002, Porto Alegre, RS. **Anais.** Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 2002. v. 1. p. 1-5.
- OLIVEIRA, C. A., BONATELLI, I. G., COUTINHO, R. The use of thermally modified juvenile teak. *In: Tenth International Conference on Non Conventional Materials and Technologies NOCMAT 2008. Proceedings.* Cali: Universidad del Valle, 2008. 14p. (CD-ROM).
- TORCELLINI, S. P.; DERU, M. CRAWLEY, D. Zero energy buildings: a critical look at the definition. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY – NREL. Conference paper published in ACEEE SUMMER STUDY PACIFIC GROVE.

Proceedings. Califórnia, August 14-18, 2006. 15p. Disponível em <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>. Acesso em 20/out/2010.