

Carolina Palermo Szücs é arquiteta (1976) pela Universidade Federal de Pernambuco, mestre (1979) pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, especialista (1990) pela École D'Architecture de Nancy, França, e doutora (1991) pela Université de Metz, França. Atualmente é professora titular da Universidade Federal de Santa Catarina. Atua nas áreas de planejamento, projeto e desenvolvimento de sistemas construtivos voltados para a Habitação Social. É coordenadora do Grupo de Estudos da Habitação (GHAB-UFSC).

E-mail: carolps@arq.ufsc.br

Carlos Alberto Szücs é engenheiro civil (1976) pela Universidade Federal de Santa Catarina, mestre em engenharia de estruturas (1979) pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, doutor em ciências da madeira (1991) pela Université de Metz, França. Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Santa Catarina onde atua como professor do departamento de engenharia civil desde 1976 nas áreas de estruturas em madeira e de novas tecnologias de uso das madeiras nas edificações. É coordenador do Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira (GIEM).

E-mail: szucs@ecv.ufsc.br

Fernando Barth é engenheiro civil (1980) e mestre (1983) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e doutor (1998) pela Escola Superior de Arquitetura de Barcelona da Universidade Politécnica de Catalunya, Espanha. É professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina e supervisor do Laboratório de Sistemas Construtivos (LABSISCO-UFSC). Atua nas áreas de desenvolvimento de processos e sistemas construtivos industrializados.

E-mail: ferbarth@arq.ufsc.br

Marina Ester Fialho de Souza é arquiteta e urbanista (1976) pela Fundação Educacional Rosemar Pimentel, mestre (1999) em antropologia social pela Universidade Federal de Santa Catarina, onde atuou como professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo. É pesquisadora associada do GHAB, tratando dos temas apropriação espacial e aspectos simbólicos da habitação Social.

E-mail: marinafialho@yahoo.com.br

Agradecimentos Especiais para: Eng. MSc. Orlando José Prada (representante da empresa Battistella na equipe de pesquisa); Doutorandos* : Gustavo Lacerda Dias e Altevir Castro dos Santos, do PPGEC/UFSC; Mestrandos* : Felipe Etchegaray Reidrich e Thaís Inês Krambeck, do PósARQ/UFSC, Joana Geraldi Velloso e André Lima, do PPGEC/UFSC; Graduandos* : Lígia Michelle Clausen dos Santos, Thaís Lohmann Provenzano, Luís Henrique Maccarini Vefago e Monna Michelle da Cunha, do ARQ/UFSC, Samuel João da Silveira e Rui Mauro Retagi, do ECV/UFSC e Rafael Pires, do INF/UFSC.

* no período da pesquisa.

4.

Sistema STELLA/UFSC: avaliação e desenvolvimento de sistema construtivo em madeira de reflorestamento voltado para programas de habitação social

Carolina Palermo Szucs, Carlos Alberto Szücs, Fernando Barth e Marina Ester Fialho de Souza

Resumo

A pesquisa tratou do desenvolvimento de sistema construtivo em madeira de reflorestamento. Envolveu a revisão de sistema construtivo existente, com vistas ao barateamento sem perda de qualidade, para aplicação em programas públicos de provimento habitacional. Foram objetivos específicos: adequar o sistema quanto a simplicidade construtiva, capacidade evolutiva, segurança, economia, desempenho térmico e materiais e soluções dos sistemas de instalações; explorar a coordenação dimensional, visando a maior produtividade; facilitar a montagem e qualificar a mão-de-obra; e introduzir soluções inovadoras com aplicação da madeira, aumentando a visibilidade do material e o reconhecimento de suas qualidades.

67

Apresentação

O Brasil apresenta hoje déficit habitacional estimado em seis milhões de unidades. Tal montante concentra-se nas faixas de renda menos favorecidas, onde a população não tem acesso aos programas de financiamento ofereci-

dos pelo governo, que não parecem responder à demanda que continua a crescer. Alternativas construtivas que reduzam os custos de produção devem ser incrementadas no sentido de aumentar a oferta de habitações econômicas e de qualidade, com fácil acesso às comunidades ainda não atendidas.

A espelho do que acontece em outras regiões do mundo, a aplicação no Brasil da madeira reflorestada surge como alternativa viável e econômica, podendo ser aplicada principalmente nas regiões produtoras desse material. Um desenvolvimento tecnológico mais completo na área de manejo com a madeira reflorestada pode significar a independência do país em relação a tecnologias estrangeiras, caras e inacessíveis.

O Brasil é hoje um dos países com maior área florestada e reflorestada da América do Sul. Ao norte temos a mata nativa cobrindo a Amazônia. Ao sul, com a mata nativa já praticamente extinta, temos hoje uma reserva de madeira de reflorestamento do tipo eucalipto ou pínus cobrindo enormes áreas dos três estados da região. Este material, que até 15 anos atrás estava disponível apenas para a produção de pasta de celulose, hoje, numa tendência nacional, passa a ser mais empregado na construção civil.

Grandes centros de pesquisa brasileiros desenvolvem programas de formação específicos no trato com a madeira, com o objetivo de disseminar o aprofundamento de seu conhecimento. Só assim a indústria madeireira aumentará sua competitividade sem repetir o que aconteceu 30 ou 40 anos atrás, quando florestas inteiras foram dizimadas e jamais repostas.

Historicamente, a abundância, a aparente facilidade de manejo e o relativo baixo custo de comercialização fizeram com que a casa de madeira fosse sinônimo de sub-habitação. Os processos de transformação da sociedade fazem com isso seja revisto. A madeira de reflorestamento é um produto nobre, com características benéficas na sua utilização como elemento construtivo, e com condições favoráveis de gerar o conforto dos usuários. Deve estar associada à imagem de um produto arquitetônico sustentável, configurando-se num mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

Na região sul-brasileira, grandes empresas mantêm reflorestamentos, destinando esse material para os mais diferentes fins. O Conglomerado Battistella, parceiro nesta pesquisa, é grande produtor de placas de madeira e madeira serrada, usinada e tratada, principalmente a madeira de pínus. A Empresa Stella Casa Pronta é seu braço voltado para a produção de unidades habitacionais e há mais de 15 anos vem atendendo ao mercado em vários estados brasileiros. A casa Stella está direcionada para a população de alto poder aquisitivo, havendo interesse da empresa em ampliar o mercado propiciado a parceria responsável por esta pesquisa.

Em sua evolução, os sistemas industrializados de construção passaram por fases cujos resultados estéticos e compositivos não foram satisfatórios. Os primeiros sistemas pré-fabricados tinham como premissa a funcionalidade, em que prevalecia a rigidez das máquinas e processos de fabricação dos componentes, originando uma arquitetura pobre e repetitiva. Essa arquitetura passou a identificar a arquitetura marginal, de baixa qualidade.

Com a evolução dos equipamentos de fabricação dos componentes e com a diversificação dos processos, a flexibilidade na produção e na utilização dos componentes teve largo incremento. A pré-fabricação deixou de ser sinônimo exclusivo de industrialização, surgindo novos produtos, que devido à facilidade de manejo deram à obra característica de linha de montagem. A construção por componentes não tem por dogma a modulação. O princípio gerador é a coordenação dimensional e a diversificação de materiais como forma de satisfazer as exigências técnicas e garantir a competitividade no mercado da construção civil.

No âmbito dos sistemas de instalações elétricas e hidrossanitárias, existe carência bastante significativa de literatura. Sendo a edificação em madeira, o fato é ainda mais evidente. Num processo industrializado ou semi-industrializado, a concepção das instalações deve acompanhar o caráter inovador. As iniciativas neste sentido são bastante tímidas, com características mais de adaptação do que de inovação. A bibliografia em geral não faz referência a soluções específicas para habitação de madeira.

No Catálogo Ibero-Americano de Técnicas Construtivas Industrializadas para Casas de Interesse Social, elaborado com a participação do CNPq (1993), há 60 sistemas construtivos sumariamente descritos. Destes, somente 14 utilizam madeira. Na descrição dos sistemas não se faz qualquer alusão às instalações. Nos anais do III Simpósio Ibero-Americano sobre Técnicas Construtivas Industrializadas para Habitação de Interesse Social (1993), o enfoque se dá na estrutura e vedações, ou seja, modifica-se ou inova-se uma parte do sistema construtivo, o que muitas vezes leva a ganhos mínimos.

Neste quadro, duas necessidades justificaram uma investigação mais aprofundada: a) uma abordagem mais ampla dos sistemas construtivos, em que as instalações sejam vistas como um subsistema coerente com o todo; e b) um estudo crítico dos componentes, visando conferir-lhes flexibilidade de aplicação, especificamente na construção em madeira.

Estrutura da pesquisa

A pesquisa envolveu a avaliação e desenvolvimento de proposta construtiva em madeira de reflorestamento para aplicação na produção da habitação social. Adotou como referência para análise e avaliação o sistema construtivo produzido pela Battistella e colocado em oferta a uma população de padrão de renda médio-alto a alto. O objetivo central foi efetuar uma revisão do sistema, no sentido de seu barateamento sem perda de qualidade, para aplicação em programas públicos de provimento habitacional. A investigação foi desenvolvida na forma de subprojetos, a saber:

1. flexibilização arquitetônica aplicada a sistema construtivo em madeira dirigido a programas de habitação social:

- adequar o sistema Stella Casa Pronta a uma proposta habitacional voltada para a população de baixa renda, enfocando: *expectativas familiares* – busca atender às necessidades imediatas e mediatas de espaço da família; *simplicidade construtiva* – busca reduzir os custos sem perda de qualidade, através do apuro tecnológico, com vistas à

simplificação do processo no canteiro; e *construção evolutiva* – busca ampliar as possibilidades de aplicação do sistema, pela possibilidade da incorporação de novos espaços e/ou novos usos; e

- explorar o conceito de coordenação dimensional entre os diferentes subsistemas, com vistas ao aumento da produtividade, à rapidez de montagem e à qualificação da mão-de-obra;

2. sistema estrutural e de cobertura para habitação social industrializada em madeira de reflorestamento:

- avaliar os sistemas estrutural e de cobertura utilizados no sistema sob os aspectos de segurança, economia, praticidade de produção e montagem; e

- introduzir soluções inovadoras, que diversifiquem as formas de aplicação da madeira, contribuindo com uma maior visibilidade do material e o reconhecimento de suas qualidades;

3. vedação vertical industrializada com madeira de reflorestamento para programas de habitação social – adequação ambiental e melhoria da construtividade:

- avaliar a solução aplicada nas vedações do sistema quanto a: *desempenho térmico* – com vistas à redução do consumo energético; *construtividade* – busca a racionalização do projeto, a padronização dos componentes e a otimização dos procedimentos de montagem; e

- lançar soluções de vedação em madeira mais adequadas às condições de uso em habitações dirigidas às populações de baixo poder aquisitivo;

4. sistema integrado de instalações elétricas e hidrossanitárias para aplicação na construção industrializada em madeira de reflorestamento:

- analisar os sistemas de instalação e seus componentes, desde a concepção, execução e uso, quanto à adequação dos materiais usados e das soluções adotadas;

- adequar o sistema às necessidades do novo mercado e reduzir a relação entre custo e benefício das instalações; e
- desenvolver componentes de instalações elétricas e hidrossanitárias mais adequados ao uso integrado a sistemas construtivos em madeira.

Organização do tempo e estratégias de pesquisa

A pesquisa teve início em março de 2002, com o projeto do protótipo tecnológico em que estariam incorporados os elementos de pesquisa, sejam as soluções praticadas pela empresa, sejam as alternativas de revisão já promovidas pela equipe de pesquisa. A concepção do protótipo buscou atender a duas condições de uso, descritas abaixo.

1. Modelo de habitação em madeira com vistas ao atendimento das populações de renda média e médio-baixa inseridas em regiões madeireiras

A madeira é um material leve e, se manejado adequadamente, resistente e duradouro. Por suas características, é um dos materiais mais adequados à aplicação em construções de pequeno porte. Considerando ainda a necessidade de atendimento às necessidades habitacionais de populações de poder aquisitivo médio a médio-baixo, a edificação proposta incorporou atributos de flexibilidade que buscavam atender a dois níveis de demanda: rapidez de montagem, reduzindo o tempo de obra e, portanto, o custo global do empreendimento; e construção em etapas, permitindo a execução de parte da obra e deixando para mais tarde a complementação, quando a família necessitar e/ou obtiver capacidade financeira para tal.

2. Protótipo erguido como mostra tecnológica de aplicação intensiva de material inovador e alternativo à construção tradicional

Pela parceria com a empresa, a universidade teve oportunidade de trazer aos alunos os ensinamentos práticos de construção civil, através do acompanhamento do processo construtivo e da avaliação de desempenho,

tudo isso dentro do *campus*, podendo funcionar como exercício curricular de muitas disciplinas dos cursos de arquitetura e engenharia civil. Tal protótipo procurou atender a dois níveis de demandas: transparência do processo construtivo, permitindo o acompanhamento das etapas de forma simplificada e ampla visibilidade das partes da obra; e usabilidade do conjunto construtivo, permitindo que os alunos circulem no interior da edificação, sentindo os efeitos do espaço criado.

O protótipo tecnológico

O protótipo Stella-UFSC ficou definido como se segue: construção pré-fabricada de madeira do tipo pínus com paredes duplas de 15 cm de espessura, separadas por câmara de ar de 12 cm e pé-direito de 244 cm. A concepção está baseada na modulação de 122 cm x 244 cm, definida pelas dimensões padrão da empresa interveniente. Utiliza a coordenação dimensional, colocada como importante ferramenta de projeto, o que permite alcançar os seguintes benefícios:

- a) utilização de componentes industrializados com sistema de pré-fabricação e linhas de montagem;
- b) possibilidade de instalação de esquadrias, também padronizadas, em diferentes pontos da casa;
- c) simplificação do processo de ampliação da moradia, através de dispositivos de desenho incorporado ao conjunto construtivo;
- d) rapidez na montagem, reduzindo o tempo de mão-de-obra e conseqüentemente o custo final da obra; e
- e) redução dos retrabalhos e do desperdício de material.

A estrutura é composta de montantes de madeira maciça (3 cm x 12 cm x 244 cm), fixados em guias de apoio com dimensões de 3 cm x 12 cm. O conjunto forma painéis modulados estruturais, podendo ser montados no canteiro ou na fábrica, o que reduz o tempo de instalação.

Os painéis do pavimento superior, bem como o piso e o forro do mezanino são apoiados em vigas de seção I com dimensões de 8 cm x 25 cm, tendo alma com espessura de 3,4 cm.

O revestimento interno é feito com chapas laminadas¹ de dimensões de 122 cm x 244 cm. Já o revestimento externo é feito com tábuas do tipo *siding*, cuja colocação e sobreposição previnem a infiltração da água, na ação combinada da chuva e do vento. A estrutura do telhado é em treliças de madeira maciça, montada com conectores em chapa-prego. A cobertura é realizada em telhas de madeira produzidas pela empresa.

O projeto envolve um embrião com área inicial de 47,00 m². No pavimento térreo estão localizadas copa, cozinha e sala de estar. O segundo pavimento engloba o quarto e o banheiro. A edificação pode ser ampliada lateralmente, podendo receber três a quatro cômodos a mais, sem interferência na estabilidade estrutural do conjunto construtivo ou na estrutura de circulação interna. O banheiro foi localizado no pavimento superior para efeito didático por ser a situação crítica de localização, principalmente em se tratando de uma construção em madeira.

Cozinha e banheiro estão alinhados numa mesma coluna, o que facilita o sistema de instalação hidráulica e a manutenção dos equipamentos hidráulicos da casa. A área de serviço, situada nos fundos da casa, também é servida pela mesma coluna.

As esquadrias foram concebidas em pínus, de modo a intensificar o uso do material. Não foi possível verificar o desempenho destes componentes.

Quanto ao desenho propriamente dito, foram inseridos os seguintes elementos:

a) área de varanda, para estreitar a relação de vizinhança e o convívio familiar com o espaço do quintal;

¹ Chapas formadas por lâminas de madeira, em número ímpar, coladas. As lâminas exteriores são dispostas com suas fibras orientadas no sentido longitudinal, e as demais com alternância no sentido das fibras, o que garante o enrijecimento do conjunto. As chapas de revestimento interno são compostas de três lâminas de 4 mm de espessura cada.

- b) cozinha com espaço suficiente para circulação e uso dos equipamentos;
- c) área de serviço agregada à casa;
- d) zonas molhadas servidas por uma mesma coluna d'água;
- e) espaço da sala de estar conjugado com a cozinha;
- f) amplas aberturas, que fortalecem a relação com o exterior e favorecem a iluminação natural;
- g) projeto evolutivo através de dispositivos que permitem a identificação das alternativas de ampliação; e
- h) utilização da tipologia geminada, racionalizando os custos das redes urbanas e orientando a evolução do projeto.

As Figuras 1 a 7 informam sobre a concepção do protótipo com visualização da edificação finalizada.



Figura 1: Planta baixa do térreo



Figura 2: Planta baixa do pavimento superior

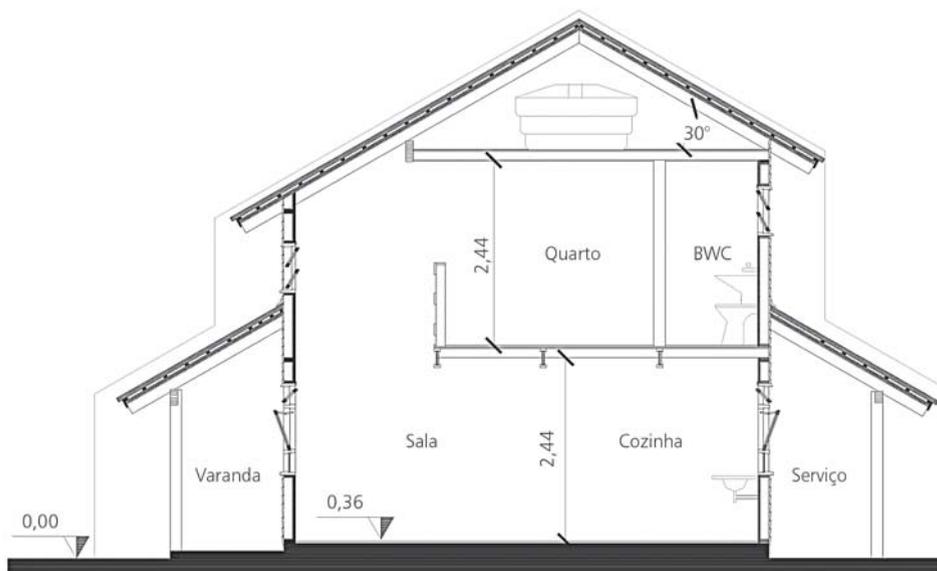


Figura 3: Corte longitudinal

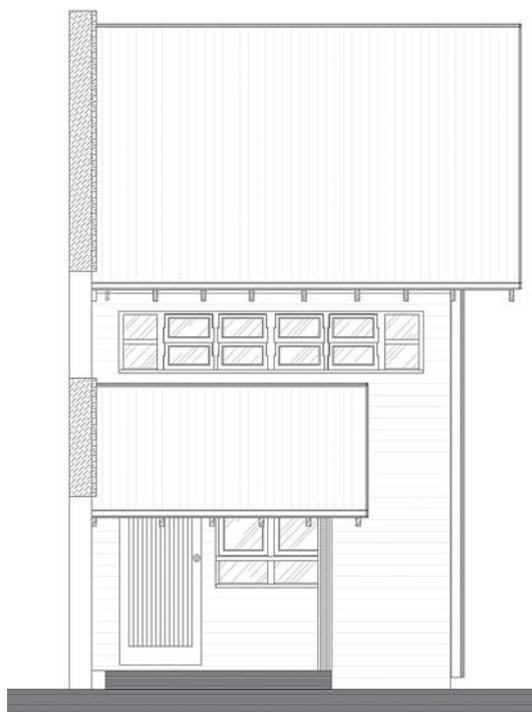


Figura 4: Vista frontal



Figura 5: Vista interna



Figura 6: Vista externa

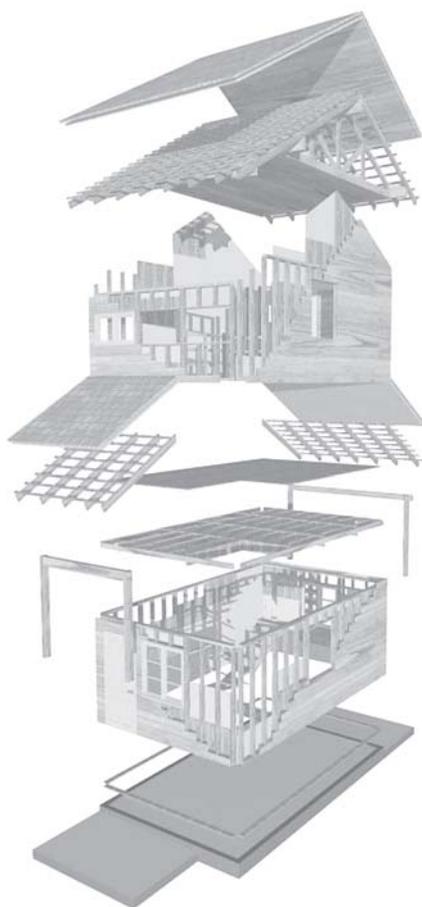


Figura 7: Perspectiva explodida

Resultados da pesquisa

Tendo em vista a complementaridade dos temas tratados nos diferentes subprojetos, muitas vezes levando a equipe de pesquisa a um trabalho conjunto, os resultados são apresentados em função dos subsistemas que compõem a edificação, independentemente da estrutura organizacional da pesquisa. Tal estratégia visa simplificar a compreensão das informações aqui disponibilizadas. Na seqüência, o documento esclarece sobre os cinco subsistemas que compõem o protótipo Stella-UFSC, quais sejam: piso; parede; entrepiso; telhado; e instalações elétricas e hidráulicas.

Descrição do sistema

1 Introdução

A pesquisa trata de sistema leve em madeira, mais conhecido como sistema plataforma, que é bastante desenvolvido e difundido em países como os Estados Unidos, Canadá, Suécia e Japão, e suas principais características são a simplicidade construtiva e a rapidez na execução. No Brasil há pouca experiência neste tipo de construção – apesar de o país possuir uma das maiores reservas mundiais de madeira – e os sistemas construtivos em madeira normalmente empregados são bastante precários.

O sistema plataforma não apresenta uma estrutura hierarquizada, na forma de pilares e vigas, sendo formado por um *entramado* composto de inúmeras peças de madeira maciça de pequenas dimensões, formando paredes e pisos, cujo fechamento é feito com chapas de madeira reconstituída (ex.: compensado). Desse modo, o entramado de piso, parede e cobertura é erguido e unido para formar a estrutura portante da edificação. Como se trata de sistema pré-fabricado, é necessária a estreita relação entre projeto e execução. A definição do projeto, ainda no papel, e a confecção das peças e componentes, ainda na fábrica, responderão pelo sucesso da execu-

ção da obra. Deve-se tirar proveito da modulação de alguns componentes, como, por exemplo, as chapas de compensado, para que sirva como instrumento de simplificação, e não de rigidez do sistema construtivo. O rigor na pré-execução será responsável pelo desempenho global do sistema. No que diz respeito à avaliação, dois conceitos preponderantes foram levados em consideração: simplicidade construtiva e evolutividade².

A simplicidade construtiva está diretamente ligada à qualificação da mão-de-obra. Neste sentido, é importante explicitar que o sistema em estudo é comercializado em ciclo fechado, isto é, a edificação é produzida inteiramente na indústria e montada no canteiro, por mão-de-obra especializada. A comercialização poderia, entretanto, se dar também em ciclo aberto, sendo as diferentes partes produzidas por diferentes indústrias e acopladas no canteiro por mão-de-obra especializada ou semi-especializada. Neste caso a simplicidade construtiva é essencial para a garantia da qualidade, mesmo com mão-de-obra pouco qualificada, além de contribuir na redução de custos. Assim, o sistema construtivo deve proporcionar um máximo de produtividade num mínimo de tempo, além de prevenir o desgaste do material e minimizar custos com manutenção (SZÜCS, 1992).

A capacidade evolutiva, ou *evolutividade*, é justificada pelo fato de populações de menor renda – em geral caracterizadas por famílias numerosas – não disporem de meios para adquirir ou construir uma moradia que atenda a todas as necessidades familiares. Nesse sentido, o usuário, procurando livrar-se do aluguel, busca uma habitação mínima, até que alcance os meios de transformar sua casa, aumentar ou acrescentar ambientes. É imprescindível, portanto, que a solução aplicada seja capaz de acompanhar esta dinâmica social (SZÜCS, 1992). Na descrição e avaliação do sistema, são usados os termos *componente* e *elemento*, segundo o que estabelece a NB 1228: componente – ente que compõe os elementos da edificação, constituí-

² Do francês “evolutivité”: potencial evolutivo da edificação, potencial de ampliabilidade.

do por material natural ou de fabricação industrial, como, por exemplo, lambri, sarrafo, chapa de compensado, telha cerâmica, etc.; elemento – parte do edifício suficientemente elaborada, constituída pela reunião de um ou mais componentes, como, por exemplo, painel, porta e janela. O termo “subsistemas” é aplicado neste capítulo com o seguinte conceito: partes do sistema construtivo que, unidas, formam a edificação, como, por exemplo, fundações, estrutura principal, cobertura, vedação e esquadrias.

Para fins didáticos, a descrição e a avaliação do sistema são apresentadas a partir dos subsistemas piso, paredes, entrepiso e telhado, conforme indicado na Figura 8.

Do ponto de vista da simplicidade construtiva, foram considerados os seguintes parâmetros:

- a) solução arquitetônica utilizando modulação básica adequada aos componentes;
- b) utilização de componentes e elementos não onerosos e disponíveis no mercado;
- c) menor variabilidade nas dimensões dos elementos e componentes;
- d) simplicidade nas ligações, com a utilização de materiais de fácil manejo;
- e) maior pré-fabricação dos componentes, simplificando os procedimentos de montagem; e
- f) adequação do peso e dimensões de componentes e elementos ao transporte e montagem.

80

No caso da evolutividade, os seguintes parâmetros foram analisados:

- a) fácil compreensão das possibilidades evolutivas do projeto por parte do usuário;
- b) possibilidade de reutilização de elementos e componentes na ampliação; e
- c) garantia da manutenção da qualidade da parte existente, especialmente nas junções.

Além da avaliação da simplicidade construtiva e da evolutividade, outros problemas identificados tiveram destaque, conforme a seqüência do capítulo.



Figura 8: Os subsistemas

2 Piso

2.1 Descrição

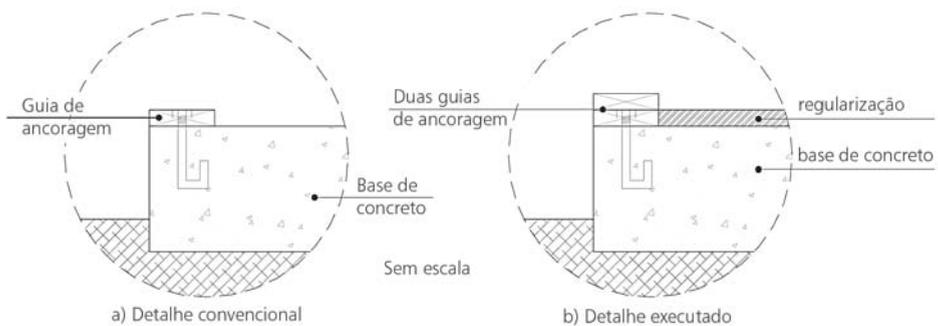
A definição do tipo de fundação é uma etapa muito importante porque recebe e transmite as cargas da edificação para o solo. No caso do sistema plataforma, outra função importante da fundação é a de ancoragem da edificação, de modo a evitar o seu levantamento ou tombamento por ação de ventos e outros fenômenos da natureza. No protótipo, o subsistema piso corresponde a uma base de concreto, o *radier*, onde são fixadas as guias de ancoragem da ossatura. Essa solução foi adotada por circunstâncias locais, podendo ser ainda utilizadas sapatas corridas ou isoladas com estrutura do piso em madeira.

A fundação do tipo *radier* consiste em uma laje armada e espessa que trabalha como uma única sapata, transmitindo uniformemente as cargas da estrutura para o solo. Como foi detectada a dificuldade de posicionamento dos ganchos na concretagem do *radier*, caso fosse adotada a solução de

vigas baldrame, o piso térreo poderia ter sua estrutura toda em madeira, semelhante à do entrepiso. A utilização do mesmo sistema de piso no térreo e no entrepiso foi economicamente vantajosa, pois há um aumento da industrialização na linha de produção, transferindo mais esta etapa da construção para a fábrica e minimizando os problemas decorrentes no sistema *radier*, entre eles a necessidade de um tempo maior de cura e um maior cuidado com o nivelamento do piso. O último ponto a ser observado é que essa vantagem econômica é válida para edificações com até 60 m², uma vez que todos os componentes da edificação podem ser transportados em um único caminhão.

Antes da concretagem do *radier*, foram dispostas guias de ancoragem provisórias em madeira, com ganchos metálicos, fixados na indústria. Após a concretagem, as guias foram substituídas por definitivas. Entretanto, devido à movimentação de funcionários na obra, as guias provisórias foram deslocadas, o que acarretou “retrabalho”, sendo necessário substituir alguns ganchos que não estavam na posição correta por parafusos do tipo *parabolt*.

A Figura 9A mostra o detalhe geral da fixação da guia de ancoragem, onde apenas uma guia é utilizada. Entretanto, como a base de concreto ficou desnivelada, foram usadas duas guias para permitir o posterior nivelamento do piso, como mostra a Figura 9B.



Figuras 9A e 9B: Detalhe da fixação das guias de ancoragem à base de concreto

2.2 Avaliação

Modulação

É necessário maior rigor no controle dimensional dos diferentes subsistemas. No caso da utilização de *radier*, o ideal seria utilizar apenas parafusos do tipo *parabolt*, o que facilita o posicionamento das esperas (ganchos) após a concretagem e dispensa a utilização de guias provisórias. Com a utilização de sapatas corridas ou isoladas, fica ainda mais fácil evitar o deslocamento das esperas durante a concretagem, mantendo-se a precisão. Já com a utilização de vigas baldrame e contrapiso, as formas determinam o posicionamento correto dos ganchos de ancoragem, sendo esta uma solução de baixo custo e amplamente difundida.

Menor variabilidade dimensional

Adotando-se como elemento de fundação sapatas corridas ou isoladas, piso e entrepiso teriam a mesma solução construtiva, o que reduz a variabilidade dimensional.

3 Parede

3.1 Descrição

O subsistema parede (Figura 10) possui função estrutural e de vedação. Está estruturado em painéis constituídos por ossatura e revestimento em ambos os lados. O revestimento interno trabalha estruturalmente, estabilizando os painéis. A vedação externa é realizada em tábuas do tipo *siding*. Os painéis são fixados ao piso por meio das guias de ancoragem. Sobre eles é pregada uma peça contínua de madeira (frechal), que completa a estabilidade do conjunto.

Os painéis são constituídos por módulos de 122 cm x 244 cm. Sua estrutura é composta de montantes com dimensões de 2,8 cm x 12 cm x 244 cm.

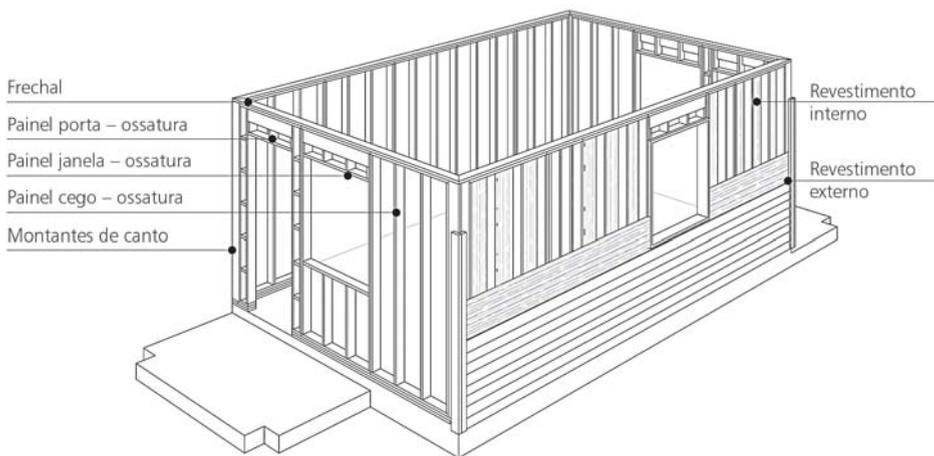


Figura 10: O subsistema parede

Existem os painéis porta, janela e cego, conforme a Figura 11.

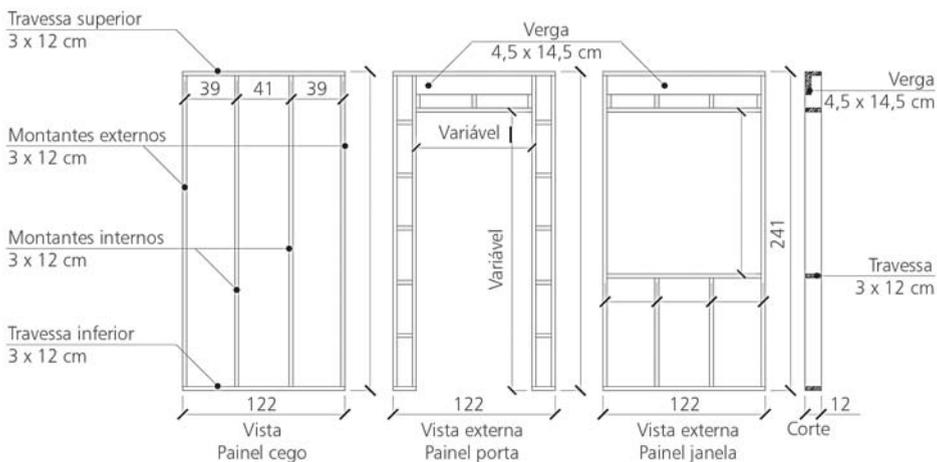


Figura 11: Detalhes dos painéis

Os revestimentos interno e externo são colocados após a instalação do telhado e das redes elétrica e hidráulica. Internamente, as paredes são fechadas por chapas de laminado compensado e gesso acartonado como acabamento. Exteriormente, os painéis recebem manta impermeabilizante

e tábuas horizontais do tipo *siding*. As divisórias internas recebem chapas de laminado compensado e placas de gesso acartonado nas duas faces. Apenas nos ambientes cozinha e banheiro a placa de gesso acartonado é substituída por revestimento cerâmico, aplicado sobre as chapas laminadas de madeira, com adesivo do tipo polimérico.

A Figura 12 mostra detalhes da junção entre parede, piso e entrepiso. Como no pavimento térreo é utilizada, a mais, a guia de ancoragem, com a qual é alinhada a chapa, os painéis do pavimento térreo precisam ter altura de 241 cm para compensar a diferença, diferentemente dos painéis do pavimento superior, que têm altura de 244 cm.

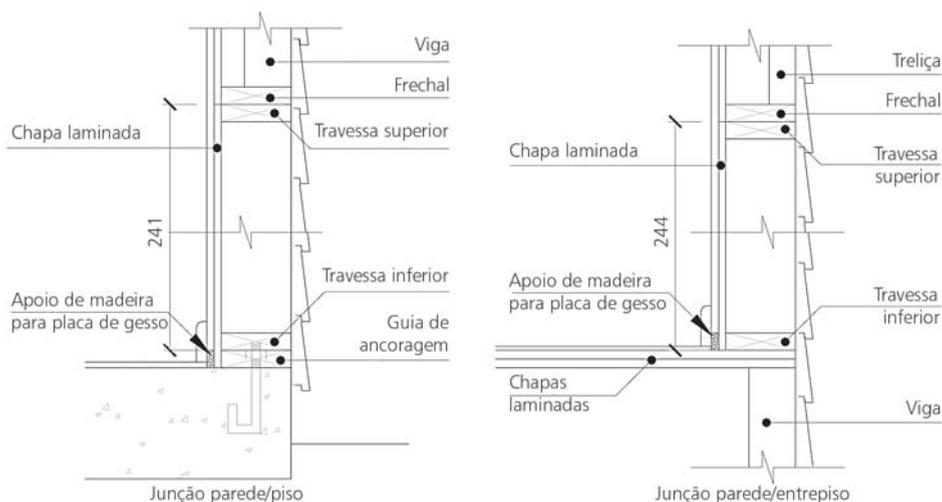


Figura 12: Detalhes de junção da parede com piso e com o entrepiso

3.2 Avaliação

Modulação

Devido à espessura das chapas de fechamento (12 mm), a ossatura é composta de dois montantes nas extremidades, para fixar as chapas de revestimento, e de dois montantes intermediários, para evitar que ocorra a flambagem, resultando num espaçamento de 40 cm entre os montantes.

Esses montantes são fixados em guias de apoio, as travessas inferior e superior, com dimensões de 2,8 cm x 12 cm. Devido ao distanciamento, os painéis ficam mais rígidos, e as vigas do entrepiso e do telhado podem ser apoiadas em qualquer ponto. Entretanto, o apoio sobre os montantes evitará um maior esforço da travessa superior e o possível ruptura da estrutura. O conjunto de montantes, travessas e chapa laminada, formando os painéis, pode ser fabricado no canteiro ou na indústria, o que reduz, neste último caso, o tempo de execução.

De um modo geral, entretanto, o espaçamento entre os montantes não segue modulação constante, havendo ainda a introdução de *meio módulo* (0,61 cm x 2,41 cm) como estratégia de ajuste. Tal estratégia, além de aumentar o corte de chapas, interfere nos demais subsistemas, o que exige sistemáticos ajustes dimensionais. É importante que o sistema esteja baseado em modulação evidente, simplificando a instalação e a ampliação da edificação.

Maior pré-fabricação dos elementos construtivos

O nível de pré-fabricação pode variar em função da escala de produção. No caso de habitações construídas isoladamente, recomenda-se que os painéis cheguem ao canteiro com a ossatura completa e que as chapas internas sejam fixadas em canteiro, imediatamente após a montagem da ossatura, simplificando o travamento e reduzindo a quantidade de escoras. No caso da produção de habitações em escala, os painéis podem chegar na forma de uma parede, com as chapas internas já fixadas. As dimensões das paredes estarão condicionadas às condições de transporte. O içamento pode ser feito por caminhão do tipo *muncie* e nos painéis onde ocorrem instalações. Uma vez que estão perfeitamente localizados em projeto, poderiam ser tratados de forma especial, reduzindo o nível de variabilidade destes elementos.

Menor variabilidade nas dimensões dos componentes

Durante a execução, percebeu-se que os operários realizam recortes em montantes e travessas para a passagem das instalações de forma aleató-

ria, sem preocupação com as dimensões máximas permitidas para a seção de cada peça. Tais recortes podem afetar o desempenho estrutural da edificação, já que travessas e montantes compõem a estrutura portante.

Uma solução alternativa seria manter o distanciamento entre os montantes igual a 61 cm, ou seja, o meio módulo, sendo os montantes internos unidos e fixados no meio do painel. Essa mudança no posicionamento dos montantes internos exige que tanto as vigas do entrepiso quanto do telhado sejam apoiadas exatamente sobre tais montantes e que a chapa de revestimento aumente sua espessura de 12 mm para 15 mm. Essas alterações não elevam a qualidade da estrutura, porém exigem maior atenção e cuidado durante a montagem, o que aumenta, conseqüentemente, o tempo e o custo da obra. Para a aplicação do sistema na construção de habitação social, tal alternativa torna-se inviável, já que existe uma busca constante de redução do custo sem reduzir a qualidade da edificação.

A resolução dos cantos deve buscar maior padronização dos afastamentos, determinados pela espessura das chapas de vedação. Deve-se evitar a utilização de componentes de dimensões diferentes cumprindo o mesmo papel no sistema.

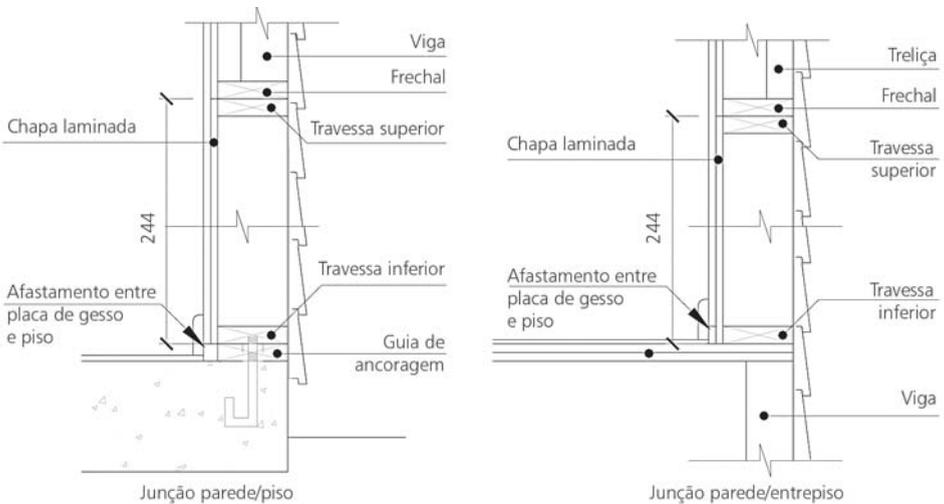


Figura 13: Detalhe proposto para a junção entre parede, piso e entrepiso

Na junção entre parede, piso e entrepiso, sugere-se que a chapa seja alinhada com a face inferior da travessa do painel, ficando assim afastada do piso, o que, além de igualar a altura dos painéis entre pavimentos, evita o contato da chapa com a umidade do piso. Do mesmo modo, recomenda-se que a placa de gesso acartonado fique afastada do piso, eliminando-se a ripa de madeira que cumpre essa função (Figura 13).

Simplicidade nas ligações e utilização de componentes não onerosos

O revestimento cerâmico de cozinha e banheiro é fixado por adesivo, o que onera o sistema. Em habitações de baixo custo, tal elemento pode ser substituído por laminado melamínico ou chapas texturizadas, também produzidas pela empresa, com acabamento em pintura acrílica, ou ainda placas de gesso acartonado hidrófugo, também com pintura acrílica.

Fácil compreensão das possibilidades de ampliação por parte do usuário

Tendo como objetivo a incorporação de atributos de flexibilidade, foi incorporado ao projeto um dispositivo removível, conduzindo a ampliação, quando ocorrer, o que reduz ao mínimo o desperdício e o retrabalho. O dispositivo ou *operador* da flexibilidade foi o painel janela, instalado na lateral da edificação. No momento da ampliação, o painel é retirado, sendo substituído por um painel porta, e reinstalado em local previamente indicado, na parede nova.

No caso do protótipo executado, a indicação de remoção não ocorreu em ambos os lados da parede, apenas no exterior, como mostram as Figuras 14 e 15, o que pode dificultar o entendimento por parte do usuário. Recomenda-se que o revestimento, em ambos os lados, seja cortado e que as juntas coincidam com as extremidades do painel a ser removido. Sobre as juntas propõe-se a utilização de vistas que farão a fixação. Assim, com a retirada das vistas, o revestimento interno é removido.



Figura 14: Corte nas tábuas de siding



Figura 15: Chapas sem cortes e dispostas horizontalmente

A esquadria e a ossatura do painel abaixo da esquadria devem ser fixadas aos painéis adjacentes com parafusos, facilitando sua retirada e reutilização em novo local, como mostra a Figura 16.

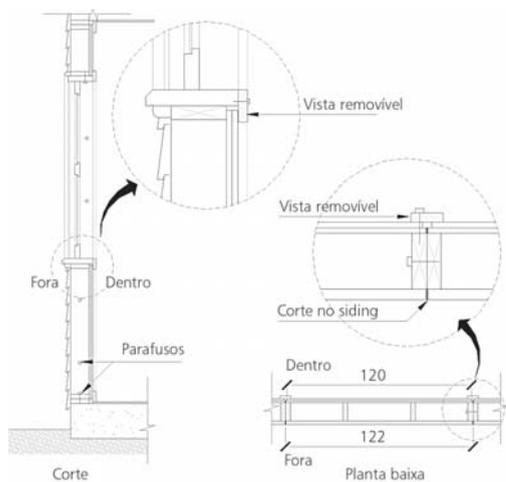


Figura 16: Solução para o painel removível

3.3 Outros problemas identificados

Estanqueidade à água

A forma como as tábuas de *siding* encontram o acabamento de canto não impede a entrada de umidade no topo da tábua (Figura 17). Neste caso, recomenda-se o tratamento do topo da tábua de *siding* com o mesmo *stain* aplicado sobre a superfície exposta. Na junção do revestimento externo com as esquadrias, a manta é dobrada, o que não impede a infiltração de água e agrava a situação (Figura 18).

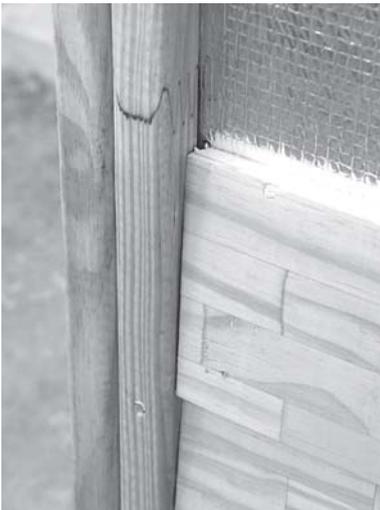


Figura 17: Encontro entre o *siding* e o acabamento de canto



Figura 18: Manta dobrada na junção com a esquadria

Má utilização da manta

A manta impermeabilizante de polietileno expandido utilizada na parede, com uma das faces aluminizada, tem também a função de isolamento térmico, funcionando como barreira radiante. No protótipo, a manta foi utilizada com a superfície aluminizada voltada para fora e encostada nas tábuas de *siding*, conforme mostraram as figuras anteriores. Isso prejudica o desempenho do conjunto, já que para a manta funcionar como barreira radiante é necessário que se tenha uma camada de ar adjacente à face aluminizada.

A tabela abaixo mostra propriedades térmicas da parede com a face aluminizada da manta voltada para fora (sem barreira radiante) e voltada para dentro (com barreira radiante). O procedimento de cálculo das propriedades e a comparação com valores de conforto foram feitos de acordo com o projeto de Norma de Desempenho Térmico de Edificações (1998), partes 2 e 3. Foram adotados os valores recomendados pelo projeto de norma para as zonas bioclimáticas 1, 2, 3 e 5, que são as zonas presentes em Santa Catarina. Observa-se que o desempenho do subsistema melhora quando a face aluminizada da manta fica voltada para dentro da edificação.

Propriedade térmica	Unidade	Parede sem barreira radiante	Parede com barreira radiante	Valores recomendados para ZB 1 e 2	Valores recomendados para ZB 3 e 5
Transmitância (U)	W/(m ² .K)	1,46	1,17	U ≤ 3,00	U ≤ 3,60
Atraso térmico (ϕ)	horas	2,18	2,43	ϕ ≤ 4,3	ϕ ≤ 4,3
Fator solar (FS)	%	1,75	1,4	FS ≤ 5,0	FS ≤ 4,0

Tabela 1: Propriedades térmicas da parede e comparação com valores de conforto

Inspeção das instalações

As instalações hidráulicas foram executadas no sistema PEX, descrito no subprojeto 3. Neste sistema, não há necessidade de cortes das paredes para inspecionar as instalações, pois a inspeção é feita de onde partem os tubos. Entretanto, em função do alto custo do sistema PEX, deve-se considerar a utilização de sistema tradicional com tubos de PVC. Neste caso, é necessária a criação de uma janela de inspeção, conforme proposta da Figura 19.

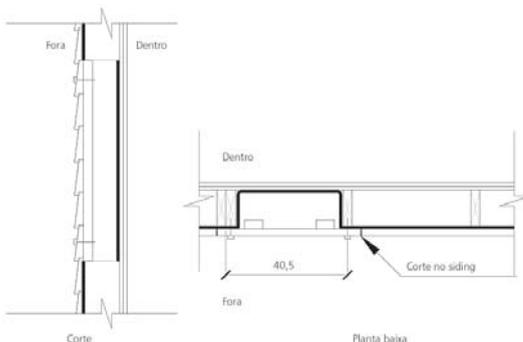


Figura 19: Quadro de inspeção

4 Entrepiso

4.1 Descrição

O subsistema entrepiso é estruturado por vigas de laminada colada, vigas de seção “I” com alma de chapas sarrafeadas (Figura 20), barrotes maciços. No protótipo, o fechamento é feito por camada dupla de chapas laminadas que auxiliam no travamento do conjunto.

As vigas “I” têm seção 8 cm x 22 cm. É um elemento novo no mercado e encontra-se em fase de análise de desempenho estrutural. Um dos problemas da utilização da viga “I” é que seu comprimento máximo atinge somente 6 m, o que limita a sua utilização na construção civil.

As vigas MLC estão dispostas no sentido do menor vão e foram pregadas ao frechal do pavimento térreo. As vigas “I” foram ligadas perpendicularmente às MLC, através de cantoneiras metálicas. Os barrotes estão dispostos perpendicularmente às vigas “I” e ligados através de cantoneiras metálicas e encaixe (Figura 21). Para o fechamento foram utilizadas chapas laminadas de 15 mm de espessura, dispostas em duas camadas intertravadas (Figuras 22A e 22B), melhorando o desempenho estrutural e acústico. Não foram utilizadas chapas abaixo da estrutura do entrepiso, ficando esta aparente.

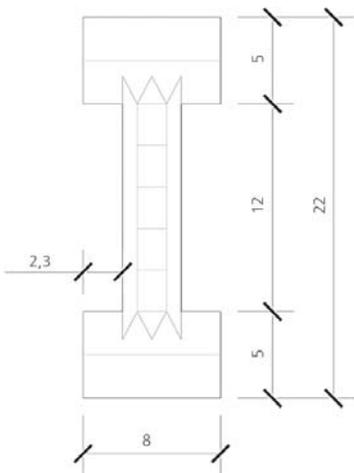


Figura 20: Viga “I”



Figura 21: Ligação entre os componentes da estrutura do entepiso



Figura 22A: Colocação das chapas laminadas



Figura 22B: Duas camadas de chapas

No banheiro foi adotada solução diferenciada em função da necessidade de estanqueidade. A estrutura corresponde a um bastidor de madeira composto de barrotes maciços fechado por chapas laminadas (Figuras 23 e 24). Na área do box foi executado um rebaixamento na estrutura, além de uma inclinação para escoamento da água. Abaixo do banheiro, chapas laminadas cumprem o papel de forro, o que facilita a inspeção e a manutenção do sistema.



Figura 23: A estrutura sob o banheiro



Figura 24: Rebaixamento na área do box

4.2 Avaliação

Modulação

No posicionamento das vigas MLC, a modulação original não foi respeitada. Devido a isso, as vigas apóiam-se no vão entre os montantes, e

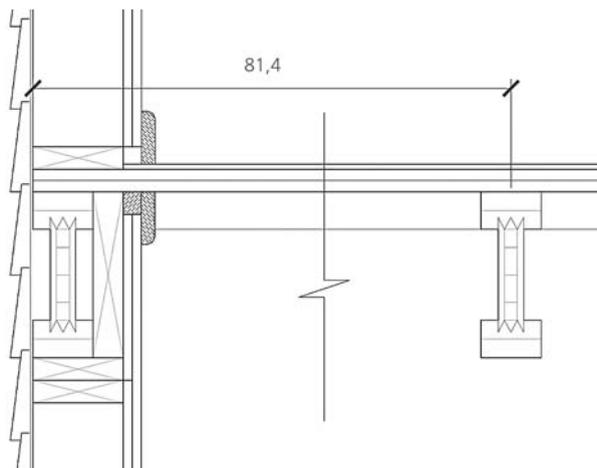


Figura 26: Corte longitudinal

A ampliação deve ocorrer sem prejuízos na parte existente e na ampliada

A Figura 27 apresenta proposta para a junção entre o entrepiso existente e o novo em caso de ampliação.

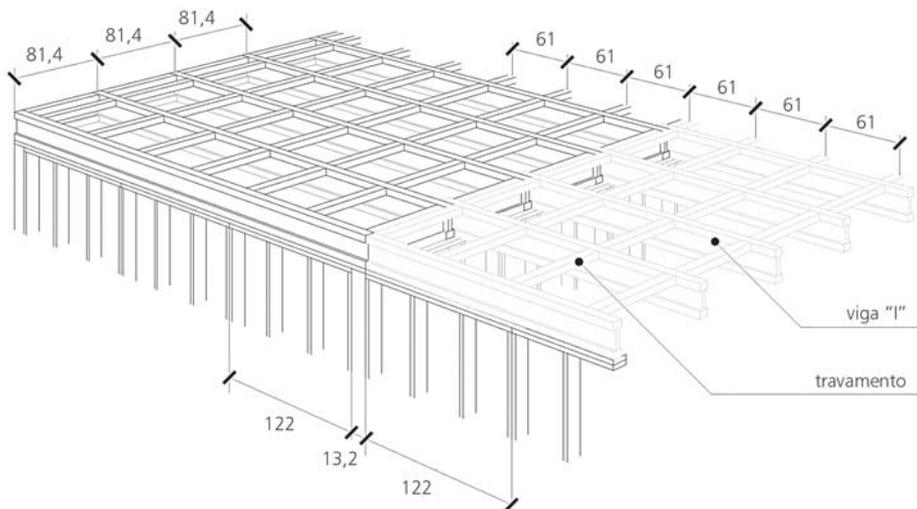


Figura 27: Estrutura do entrepiso no caso de ampliação

4.3 Outros problemas identificados

Isolamento acústico

O protótipo tal como foi executado apresentou certo nível de ruído através do entrepiso. Não foi possível aprofundar essa questão, mas pode-se considerar como alternativa a incorporação de manta isolante inerte, como a lã de rocha, no interior da dupla camada de acabamento do piso, o que proporciona melhor desempenho acústico.

5 Telhado

5.1 Descrição

O subsistema telhado é formado pelas treliças, a subcobertura e a cobertura em telhas de madeira, conforme indicado na Figura 28. As treliças são de madeira maciça, confeccionadas com conectores metálicos estampados (chapa prego) e chapas de madeira laminada de 12 mm de espessura, que fazem o travamento e funcionam como subcobertura. Sobre as chapas foram pregadas duas contra-ripas, que fazem a fixação da manta impermeabilizante, e sobre elas estão pregadas as ripas de seção 3 cm x 6 cm e telhas de madeira com dimensões de 40 cm x 20 cm.

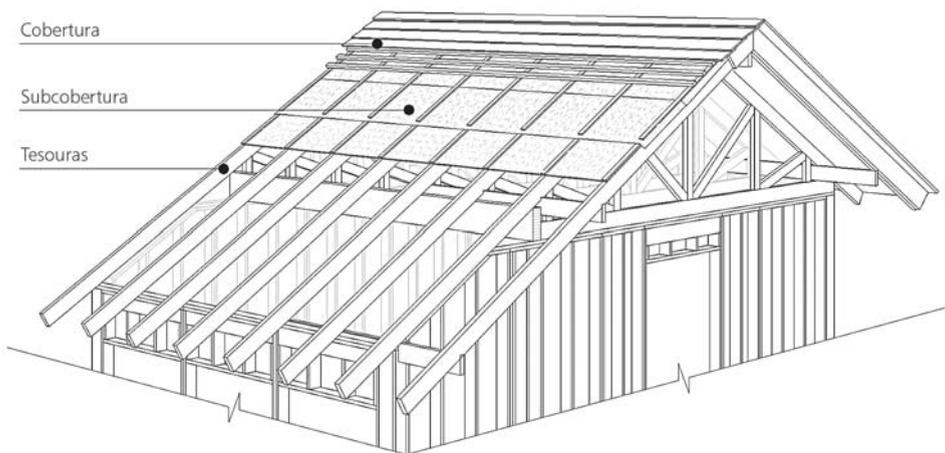


Figura 28: Subsistema telhado

As telhas de madeira também são feitas a partir de laminado compensado. São pregadas em dupla camada sobre ripas de madeira maciça (Figuras 29 e 30). Tábuas de beiral fazem o acabamento, protegendo o topo dos componentes, e a cumeeira é executada em dupla camada.



Figura 29: Colocação das telhas

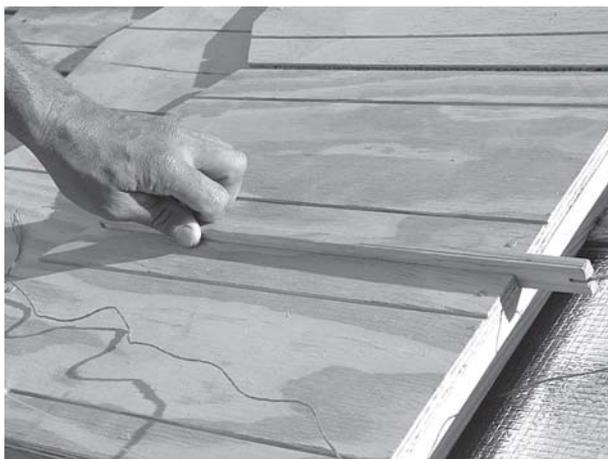


Figura 30: Utilização de gabarito para espaçamento das telhas

5.2 Avaliação

Modulação

Na instalação das treliças, a modulação original não foi considerada, acarretando em cortes nas chapas de subcobertura e o conseqüente des-

perdício de tempo e material. Ainda em função disso, as treliças apóiam-se muitas vezes sobre o vão entre os montantes da ossatura das paredes, e não no alinhamento destes, como mostra a Figura 31.

O número de treliças utilizadas foi superior ao especificado pelo projeto. Houve problemas na instalação da caixa d'água, de dimensões maiores que o espaçamento resultante (65 cm). Foi necessário recortar uma das treliças para que a caixa d'água pudesse ser posicionada. Este recorte reduziu a resistência da treliça, mas não interferiu na resistência do telhado, compensada pelas treliças excedentes.

A fim de padronizar as dimensões e evitar recortes, propõe-se que as treliças mantenham um espaçamento de 81,4 cm, ou seja, $1/3$ dos 244 cm da chapa laminada utilizada na cobertura, como mostra a Figura 32. Para reforçar a estrutura e fixar a chapa de subcobertura, propõe-se a utilização de barrotes de travamento a cada 122 cm de distância.

Com o aumento do distanciamento entre as treliças, foi necessário verificar se as ripas utilizadas (seção 3 cm x 6 cm) suportariam o vão com segurança. Através dos cálculos foi confirmado que as ripas suportam sem problemas o telhamento de madeira com as treliças dispostas, conforme proposta.



Figura 31: Falta de alinhamento com montantes da ossatura

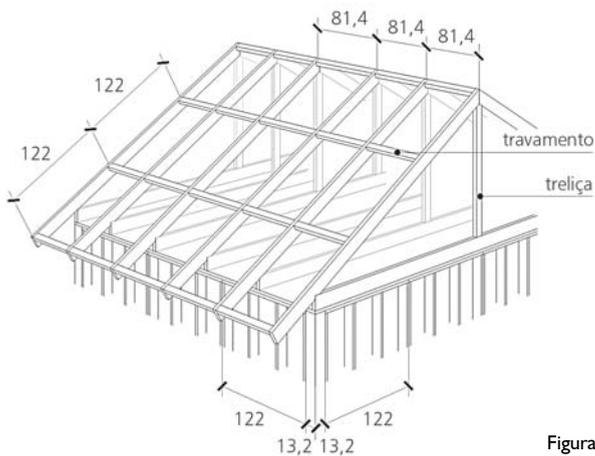


Figura 32: Estruturação do telhado proposta

Maior pré-fabricação dos elementos construtivos

As treliças são elementos pré-fabricados. Entretanto, no caso da construção em ciclo aberto, seria mais adequado que as treliças fossem confeccionadas no próprio canteiro, permitindo variações nos vãos e na inclinação.

Simplicidade nas ligações e utilização de componentes não onerosos

Os conectores metálicos utilizados na confecção das treliças são onerosos, tanto pelo custo do material quanto por exigir mão-de-obra especializada. Podem ser substituídos por ligações parafusadas, realizadas em canteiro, através do uso de ferramentas simples.

Adequação do peso e dimensões dos componentes ao transporte e montagem

No caso de a montagem das treliças ocorrer no canteiro, estas poderiam ser confeccionadas sobre o entrepiso, facilitando sua instalação no telhado. As treliças podem ainda ser substituídas por sistema convencional de cobertura com somente duas treliças formando os oitões, apoiando terças, caibros e ripas, com chapas laminadas pregadas sobre os caibros. Como isso implicaria sobrecarga das paredes que apoiariam os oitões, seria necessário reforçar os cantos com pilares.

A ampliação deve ocorrer sem prejuízos da parte existente

Conforme citado na avaliação do subsistema parede, é necessário resolver a junção entre telhado ampliado e parede existente. Vale lembrar que a utilização de madeira na estrutura do telhado facilita, em princípio, o desmonte e a reutilização no caso de ampliações.

5.3 Outros problemas identificados

Má utilização da manta

Assim como ocorreu nas paredes externas, a manta impermeabilizante utilizada na subcobertura tem também a função de isolamento térmico, funcionando como barreira radiante. No caso de a face aluminizada ficar voltada para baixo, a radiação é reduzida devido à baixa emissividade desse material. Já com a face aluminizada voltada para cima, parte da radiação é refletida, reduzindo a radiação no interior do ambiente (AKUTSU; SATO; VITTORINO, 2003). Entretanto, o desempenho da manta com a face aluminizada voltada para cima é prejudicado pelo acúmulo de poeira. Sendo assim, a equipe de pesquisa defende a utilização correta desse tipo de manta, ou seja, com a face aluminizada voltada para dentro.

A tabela a seguir apresenta valores de propriedades térmicas da cobertura com e sem barreira radiante, e a comparação com os valores de conforto. Os procedimentos de cálculo foram feitos de acordo com o Projeto de Norma de Desempenho Térmico de Edificações (1998), partes 2 e 3. Foram adotados os valores recomendados pelo projeto de norma para as zonas bioclimáticas (ZB) 1, 2, 3 e 5, presentes em Santa Catarina.

Propriedade térmica	Unidade	Cobertura sem barreira radiante	Cobertura com barreira radiante	Valores recomendados para ZB 1 e 2	Valores recomendados para ZB 3 e 5
Transmitância (U)	W/(m ² .K)	1,12	0,91	U ≤ 2,00	U ≤ 2,00
Atraso térmico (Φ)	horas	2,01	2,36	Φ ≤ 3,3	Φ ≤ 3,3
Fator solar (FS)	%	1,34	1,09	FS ≤ 6,5	FS ≤ 6,5

Tabela 2: Propriedades térmicas do subsistema telhado e comparação com valores de conforto

Observa-se que nos dois casos o conjunto enquadra-se nos valores recomendados pela norma, entretanto o desempenho melhora quando a face aluminizada da manta fica voltada para dentro da edificação. Propõe-se ainda a utilização de um contra-caibro de maior altura, como indicado na Figura 33, a fim de afastar a manta da subcobertura. Esse contra-caibro pode ser o mesmo componente ripa, com a maior dimensão, 48 mm, correspondendo à altura.

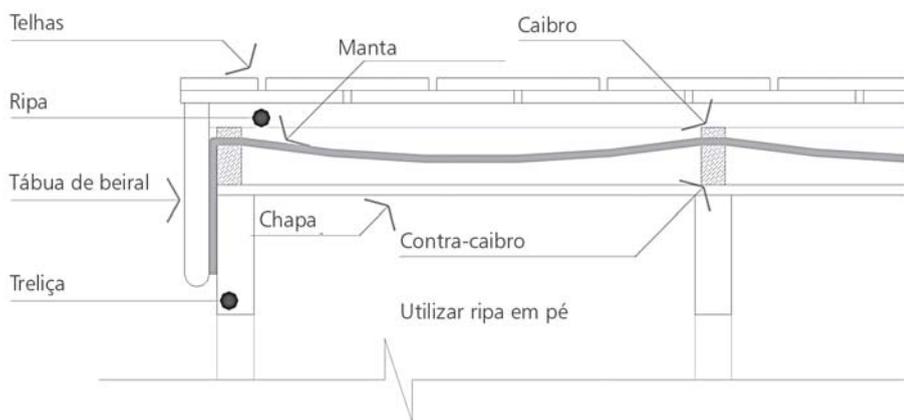


Figura 33: Camada de ar entre chapa e manta

6 Instalações elétricas

6.1 Descrição

Para o desenvolvimento do projeto de instalações elétricas do protótipo foi utilizado o programa Lumini, que permitiu melhor sistematização do projeto. O tratamento integrado da análise e revisão do sistema de instalações elétricas ficou, desta forma, facilitado, introduzindo para a equipe de trabalho uma ferramenta de alto desempenho para o acompanhamento de projeto de instalações elétricas.

A execução das instalações elétricas (Figuras 34 e 35) foi realizada através de dutos flexíveis inseridos na câmara interna da parede e de caixas de tomadas e interruptores convencionalmente utilizados. As instalações

telefônicas também foram embutidas na câmara interna da parede. Os montantes facilitaram a passagem da tubulação, pois estes eram furados com uma serra-copo. Eles foram cobertos por chapas de madeira, escondendo as tubulações e evitando o tradicional retrabalho. O sistema adotado é monofásico, cuja alimentação chega à caixa de medição no térreo e a conduz até a única caixa de distribuição, situada no pavimento superior.

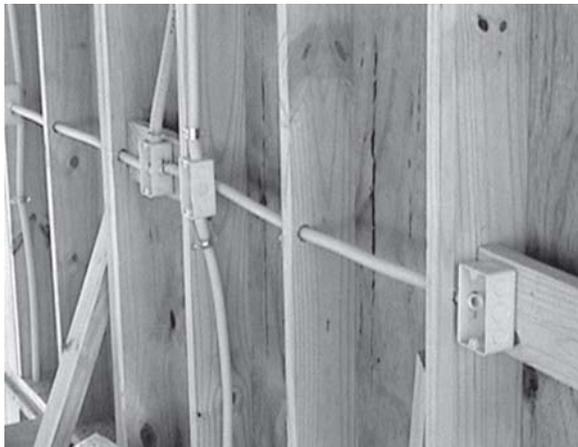


Figura 34: Eletrodutos flexíveis e caixas fixadas nos montantes

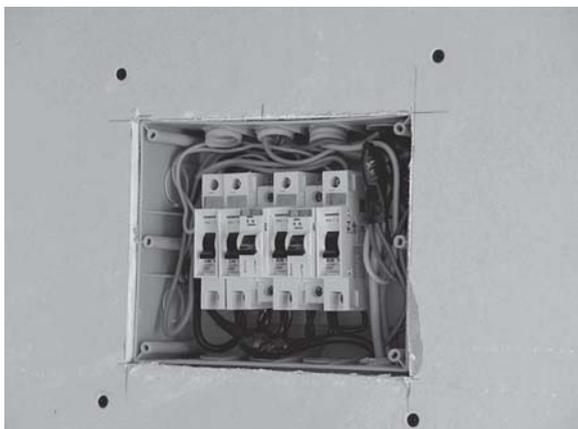


Figura 35: Caixa com disjuntores na ligação monofásica

6.2 Avaliação

Algumas ferramentas do programa facilitaram o desenvolvimento e a avaliação da construtividade do protótipo ainda no processo projetual. A

biblioteca disponibiliza condutos e caixas que apresentam, além das características de desenho, dados necessários ao dimensionamento e quantificação, o que pode gerar rapidamente uma lista de materiais.

A busca de peças adequadas, com base nas características dos elementos de projeto, é realizada no cadastro que o programa oferece, sem que se perca muito tempo no processo. O programa também facilita a avaliação global do projeto elétrico, através da visualização como um todo, especificando todos os elementos e informando sobre possíveis erros na instalação.

A passagem do eletrodutos através dos montantes é realizada facilmente com furadeira com serra-copo. Entretanto, as caixas de tomadas e interruptores exigem a colocação de uma travessa horizontal, pregada entre dois montantes, o que representa um pequeno aumento de insumos de materiais e de mão-de-obra. Como recomendação, pode-se buscar uma maneira de fixar as caixas diretamente sobre os montantes, através de recorte e encaixe ou de caixas que possam ser parafusadas lateralmente. A utilização do software Lumini permitiu agilidade no processo de dimensionamento e detalhamento, com geração de planilhas de quantitativos, quadro de cargas e do diagrama unifilar. Em função da simplicidade de instalações e equipamentos, optou-se por instalação monofásica.

7 Instalações hidrossanitárias

7.1 Descrição

O desenvolvimento do projeto das instalações hidrossanitárias utilizou o programa Hydros/Alto QI. A aplicação desse programa permitiu o tratamento sistematizado do projeto, com níveis de detalhamento que teriam sido mais difíceis de alcançar com outro instrumento. O tratamento integrado da análise e revisão do sistema ficou facilitado, introduzindo na pesquisa uma ferramenta de alto desempenho para o acompanhamento do projeto.

Algumas ferramentas facilitaram o desenvolvimento e a avaliação da construtividade ainda no projeto. Os tubos e conexões estão associados a dados de dimensionamento e quantificação, podendo ser geradas listas de materiais. A ferramenta também facilita a busca de peças alternativas e permite a visualização da rede como um todo, especificando os elementos e informando sobre possíveis erros cometidos.

No desenvolvimento do projeto optou-se pela execução de um banheiro no pavimento superior, com a finalidade de buscarem-se soluções alternativas para a execução das zonas úmidas, críticas em construções em madeira. Para tal utilizaram-se componentes industrializados (Figura 36) capazes de proporcionar a funcionalidade necessária às instalações e garantir estanqueidade desses ambientes.

O banheiro é composto de um módulo de 122 cm de largura e de três módulos de 122 cm de comprimento (Figuras 37 e 38). Na instalação, foi utilizado um bastidor de sustentação em madeira. O piso do box foi fabricado em GRC (*Glass Reinforced Concrete*) e o restante foi elaborado com placas cimentícias. A base do box é composta de elemento monolítico com argamassa reforçada com fibra de vidro resistente aos álcalis.

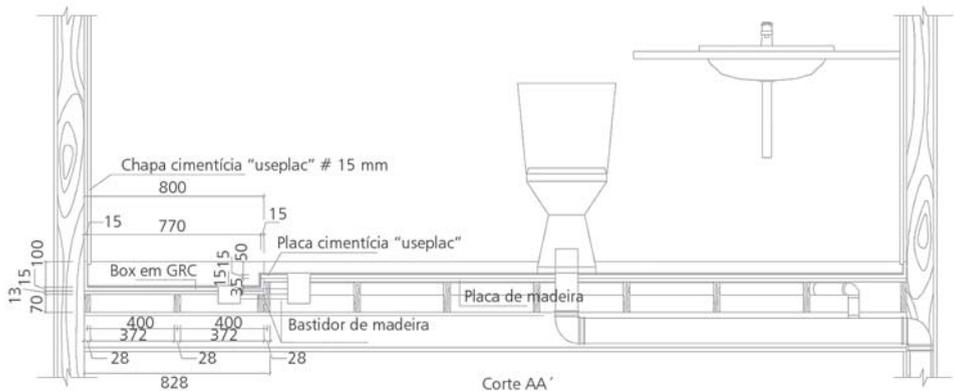


Figura 36: Corte longitudinal da laje do banheiro

O compósito GRC permitiu leveza (Figuras 39 e 40), resistência e facilidade de moldagem, além de estanqueidade à base do box, que apresenta espessura de 1,5 cm. O molde foi executado com chapa de MDF, garantindo os caimentos necessários para a coleta da água servida. Os elementos pré-fabricados têm a vantagem de serem apenas montados no local da obra, eliminando o trabalho artesanal e diminuindo o tempo de serviço e, conseqüentemente, o valor gasto com a mão-de-obra.

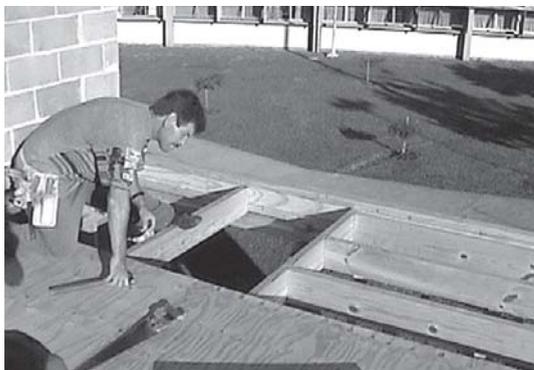


Figura 37: Estrutura da laje do banheiro

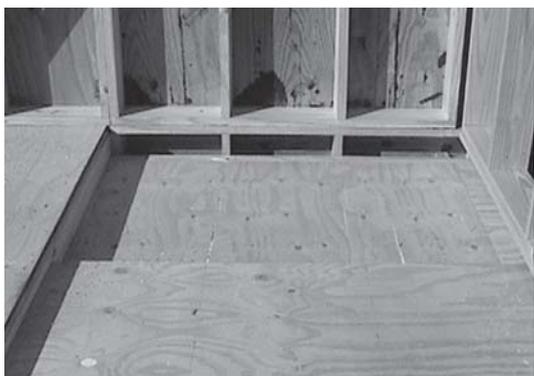


Figura 38: Piso em chapa de madeira com caimento do box

A colocação de revestimentos cerâmicos nas paredes com chapas de madeira foi realizada com adesivo epóxi específico para essa finalidade. Os revestimentos cerâmicos de pisos foram realizados sobre placas cimentícias, recobertas com uma camada de fibra de vidro com resina poliéster. Para facilitar a inspeção e manutenção das instalações hidráulicas, assim como sua durabilidade, optou-se pelo sistema PEX (polietileno reticulado) (Figura 41).



Figura 39: Desmolde do box em GRC



Figura 40: Aplicação da fibra de vidro

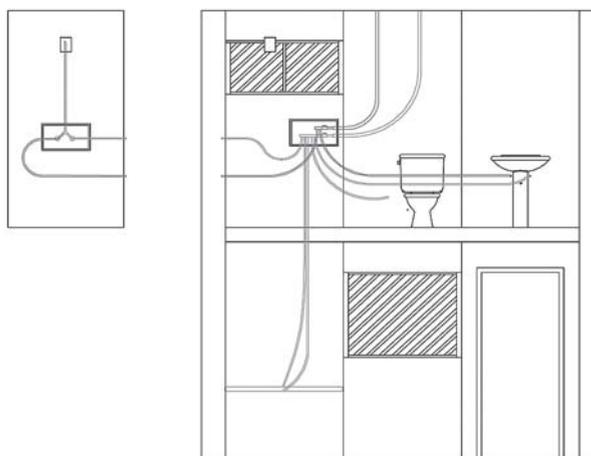


Figura 41: Distribuição de água com sistema PEX

Optou-se pelo sistema PEX visando avaliar as facilidades construtivas e de rapidez de instalação. A colocação da tubulação flexível (Figuras 42 e 43) é rápida, pois não existem conexões intermediárias entre a caixa de distribuição e os aparelhos sanitários. Esse sistema possibilita a inspeção e troca rápida de toda a tubulação. Pode-se utilizá-lo tanto em paredes de alvenaria quanto no tipo *dry wall*, sendo especialmente recomendada para casas industrializadas em madeira. Não requer nenhuma ferramenta de trabalho, exceto um cortador e uma chave simples, o que permite sua instalação na metade do tempo em comparação aos sistemas convencionais de tubulações de água fria e água quente.



Figura 43: Colocação dos tubos PEX

108

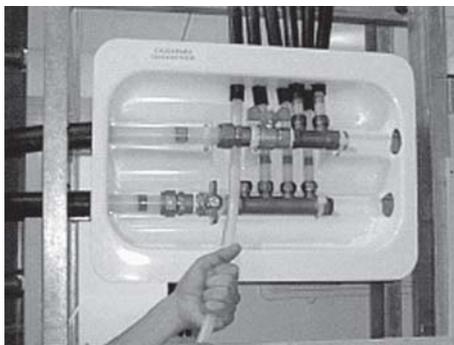


Figura 44: Instalação do quadro de distribuição
(www.pexdobrasil.com.br)

A rede possui o mesmo conceito de uma instalação elétrica: o tubo “PEX” é introduzido dentro de um tubo condutor (PeBD), que o guia desde a caixa de distribuição até o ponto de consumo. A água corre por um sistema de tubos extremamente flexíveis e resistentes, sem conexões intermediárias, o que permite a inspeção, troca e manutenção sem quebras de revestimentos e paredes. O conceito primordial desse sistema é garantir a acessibilidade às instalações em caso de eventual manutenção. O sistema não oferece risco de vazamentos, pois o tubo é contínuo, sem emendas desde o abastecimento até o ponto de consumo. Deve-se cortar o tubo apenas com a tesoura para que fique reto e se encaixe perfeitamente na conexão, o que elimina riscos de vazamentos.

No gabinete se instalarão dois distribuidores: um para água fria e outro para água quente. Deve-se deixar espaço para facilitar o acesso aos distribuidores e à tubulação de água quente, água fria e os grifos. A fixação do tubo-guia dentro das paredes e embaixo do piso se fará pelo caminho mais curto e de forma contínua desde o distribuidor até os pontos de consumo. O tubo-guia deve ser instalado antes da introdução dos tubos PEX.

O acoplamento dos conectores de metal ao tubo PEX é realizado pela colocação do casquilho e do anel sobre o tubo. O ajuste do casquilho é feito com a chave de aperto. O raio mínimo permitido para fazer curvas é de $8 \times f$ do tubo. Para obter raios de curvatura menores, não se deve utilizar chama direta; deve-se usar sopradores de ar quente. Fora do *shaft*, utiliza-se para fixação dos distribuidores uma caixa plástica fixada à estrutura da edificação por meio de braçadeiras, como mostra a Figura 44, acima. No caso de paredes em alvenaria, essa caixa é cimentada na própria parede. Assim como os distribuidores, quando não se tem *shaft*, utiliza-se para fixação do misturador e dos registros de pressão uma caixa plástica, fixada à estrutura também por meio de braçadeiras. As instalações do esgoto e tubos de ventilação foram executadas em PVC, com as colunas do

banheiro descendo através da laje de entrepiso e da câmara interna das paredes, conforme mostra a Figura 45.

O tubo de queda com diâmetro (100 mm) provocou uma descontinuidade nas travessas do entrepiso, como pode ser visto na Figura 46.



Figura 45: Ventilação do esgoto



Figura 46: Tubulação de esgoto na laje de entrepiso

A Figura 47 permite a visualização do conjunto do banheiro, com seus elementos constituintes.

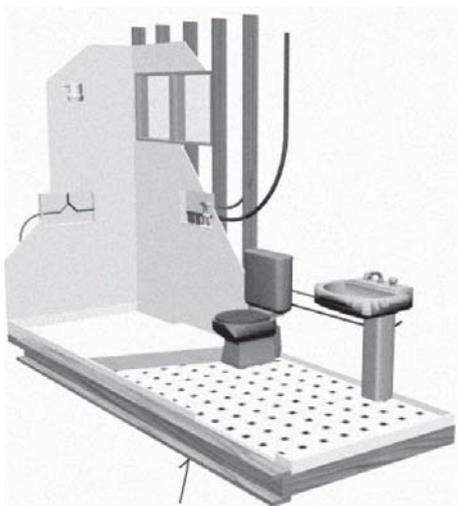


Figura 47: Vista do banheiro com seus componentes industrializados

7.2 Avaliação

A biblioteca disponibilizada pelo programa Hydros permite facilidade na escolha de condutos e caixas, realizando automaticamente o seu dimensionamento e quantificação, o que pode gerar rapidamente a lista de materiais. O programa também facilita a avaliação global do projeto elétrico, através da visualização global, especificando todos os elementos e informando sobre possíveis erros na instalação. O sistema de instalação hidrossanitária mostrou-se compatível com o sistema de vedações em chapas de madeira e câmara de ar interna com 12 cm de espessura.

111

O sistema PEX, por ter poucas conexões entre o reservatório e os aparelhos, facilita a passagem através dos montantes e permite fácil manutenção da tubulação. As instalações sofreram alterações durante a execução da obra em função do deslocamento da janela do box. A caixa de distribuição, inicialmente prevista em um *shaft* junto ao box, foi deslocada para o contraforro, com acesso por um alçapão, exigindo que o usuário utilize

uma escada para manutenção. No entanto, pode-se melhorar essa manutenção concentrando as prumadas em *shafts* inspecionáveis externamente, sem interferir na utilização da edificação. No protótipo, o sistema foi executado somente para água fria. O aquecimento da água do banho é realizado por chuveiro elétrico.

Outra possibilidade construtiva que pode contribuir para a redução dos custos é a realização das instalações hidráulicas com PVC, com prumadas localizadas em *shafts*. A distribuição da água até o local de utilização é feita de maneira semelhante à do sistema adotado, furando-se os montantes para a passagem das tubulações. Dessa maneira, as conexões entre o reservatório e o ponto de utilização são minimizadas, contribuindo para a redução do custo de instalações. O *shaft* pode ser acessado através de uma janela de inspeção externa, executada com o mesmo material do revestimento das paredes.

O box construído com GRC (Figuras 48 e 49) apresentou rigidez, leveza e estanqueidade compatíveis com a função a desempenhar. Como experimento, utilizou-se também a solução em fibra de vidro com poliéster, o que garante igualmente a estanqueidade do piso. No entanto, em uma casa popular, isso pode elevar os custos quando aplicado simultaneamente.

A opção com placa cimentícia adotada na parte restante do banheiro resultou na mais cara das alternativas analisadas. Em futuros experimentos poder-se-ia especificar a impermeabilização com manta asfáltica, após a colocação da chapa de madeira, que já provê os caimentos necessários. Em cima da argamassa coloca-se a manta asfáltica com espessura de 3 mm. Esta pode ser aplicada diretamente sobre a chapa de madeira com os seus cantos arredondados com massa epóxi. Tal alternativa permite a estanqueidade do sistema, com preços provavelmente mais acessíveis que os das propostas anteriores.

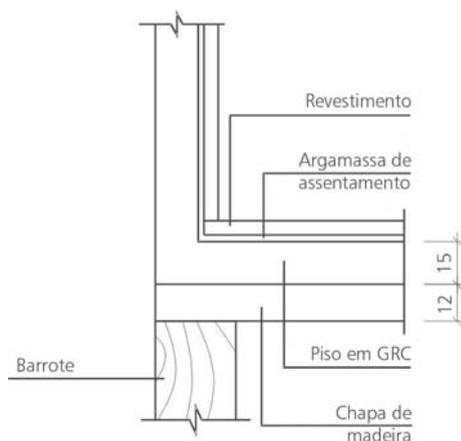


Figura 48: Box em GRC e revestimento cerâmico

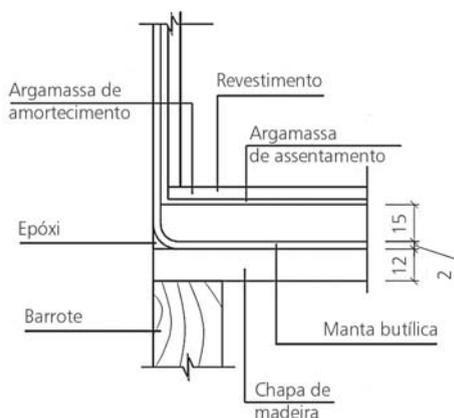


Figura 49: Box com chapa de madeira e manta butílica

O bastidor inferior do piso do banheiro inicialmente previa caibros transversais. Em função da unificação do esgoto das duas casas, o tubo de queda originalmente previsto junto à parede dos fundos passou para a parede lateral, exigindo a colocação de dois caibros longitudinais para facilitar a instalação do tubo. Recomenda-se para futuros projetos que o tubo de queda esteja o mais próximo possível do vaso sanitário.

Bibliografia

ANALYSIS v1.25. **Programa Analysis para avaliação bioclimática e conforto térmico**. Florianópolis: LMPT/EMC – NPC/ECV/UFSC, 1994.

BENSON, T. **The timber-frame home-design, construction and finishing**. 2nd Ed. Newtown, USA: The Taunton Press, 1997.

CIRIA. Wall Technology. **Especial Publication 87**. London, 1996.

CONSTRUCTION DE MAISON OSSATURE BOIS – CANADÁ. SCHL – Société Canadienne d’Hypothèque et de Logement, Toronto, 1997.

CTBA. Centre Technique du Bois et de l’Ameublement. **Construction à ossature bois**. Paris: Éditions Eyrolles, 1995.

GOTZ, K.; HOOR, D.; MOHLER, K.; NATERRER, J. **Construire en bois: choisir, concevoir et réaliser**. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes, 1987.

LAMBERTS, R.; NICOLAU, V. P.; PHILIPPI, P. C. Comportamento térmico de edificações: simulação numérica e medição das propriedades dos materiais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NAS EDIFICAÇÕES. **Anais...**, Epusp, 1989.

NUNNALLY, S. W. **Construction-methods and management**. 3rd Ed. New Jersey: Prentice Hall Career & Technology, 1993.

PINILLA VELASCO, F. **Diseno de cerramientos en edificación: analisis y comportamiento higrotérmico**. Col. Arquitectos de Madrid, 1983.

PEREIRA, F. O. R.; CUNHA NETO, J. A. B. Princípios para otimização do desempenho térmico de componentes da edificação. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., UFSC. **Anais...** Florianópolis, SC, 1988.

PROVENZANO, T.; Conti, L. H.; VEFAGO, L. H. **Habitação modular com madeira de reflorestamento de interesse social**. Projeto Prêmio Caixa - IAB 2001, 4º colocado – modalidade estudantil. Orientadores Barth, F. e Szücs, C. P. UFSC, 2001.

SZÜCS, C. P. **Système ouvert de construction en bois pour la maison populaire, applique a une systematique autoconstructive, comme une reponse a la demande d’habitations dans la region sud-bresilienne**. Tese, LFM, Metz, França, 1991.

SZUCS, C. P. Walter Segal: uma arquitetura de madeira; um método de trabalho. **Revista Projeto**, Rio de Janeiro, v. 154, p. 63-66, 1992.

TIMBER ENGINEERING. **Step 2: design, details and structural systems**. 1st Ed. Holanda: Centrum Hout, 1995.

