

8.1 O protótipo Casa Alvorada: O projeto

8.2 O protótipo Casa Alvorada: avaliação do projeto

8.3 O protótipo Casa Alvorada: a construção

8.4 O protótipo Casa Alvorada: medições  
e avaliações *in loco* do protótipo

8.5 Esquadrias em madeira

8.6 Captação de água de chuva

## A avaliação dos resultados

### 8.1 O protótipo Casa Alvorada: o projeto

#### 8.1.1 Caracterização do protótipo Casa Alvorada

**D**escreve-se a edificação implementada no *campus* da UFRGS, particularmente as modificações nela incorporadas, relativamente àquelas unidades (Casa Alvorada) construídas no Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis (CETHS), e relatam-se as experiências de construção e os resultados de monitoramento, assim como de diversos estudos nela desenvolvidas. Do projeto da edificação, que foi desenvolvido com a participação de diversos alunos de mestrado (arquitetos, engenheiros civis e agrônomos), de turmas sucessivas, a partir de 1999, participaram mais de 30 profissionais.

Conforme divulgado na página do Programa Habitare (<http://www.habitare.org.br/>), “a concepção e construção de protótipos empregando materiais de baixo impacto ambiental e baixo custo, visam atender à necessidade básica da habitação, integrando conceitos de desempenho, qualidade e conforto da habitação. O protótipo será usado como modelo de divulgação de uso de tecnologias não convencionais, e como elemento

para teste e verificação de metodologias de avaliação de desempenho. Para construção do protótipo serão empregados novos produtos desenvolvidos no âmbito dos projetos de pesquisa financiados pela FINEP – Programa de Tecnologia da Habitação – HABITARE”.

O processo de desenvolvimento do protótipo Casa Alvorada (PCA) teve início com a análise das idéias premiadas no Concurso Internacional de Idéias de Projeto, com o apoio da ANTAC e da Passive and Low Energy Association (PLEA), que tinha por título “*Design Ideas Competition Sustainable Housing for Poor*” – Concurso Internacional de Idéias de Projeto – **Habitacões Sustentáveis para Populações Carentes** e que teve como objetivo discutir novos parâmetros para políticas habitacionais, segundo princípios sustentáveis. A partir das idéias constantes nas propostas premiadas no Concurso, uma equipe composta de alunos e professores do NORIE passou a desenvolver um projeto de habitação de baixo custo e baixo impacto ambiental para a cidade de Alvorada, para atender a uma demanda estabelecida em um convênio firmado com a Prefeitura desse município. Esse processo, posteriormente, passou a integrar um trabalho maior, de desenvolvimento do projeto de pesquisa CETHS, financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e pela Caixa Econômica Federal (CAIXA), visando ao desenvolvimento de um projeto executivo para um conjunto habitacional com objetivos demonstrativos e experimentais, para ser implantado na cidade de Nova Hartz, RS (SATTLER; SPERB, 2001a). A Casa Alvorada (Figura 160) seria uma das tipologias habitacionais a serem implantadas no CETHS.



Figura 160 – Imagens da Casa Alvorada, tal como concebido para o município de Alvorada

Os principais objetivos da Prefeitura de Alvorada, com o desenvolvimento desse protótipo, foram os de qualificar e regularizar as atividades locais de construção de habitações populares, atenuar o déficit habitacional, reduzir impactos ambientais e possibilitar a geração de renda, já que o Município tinha, e continua tendo, um alto índice de desemprego. Além desses objetivos predefinidos, foram caracterizados outros objetivos, como a qualidade do espaço construído diante de critérios de habitabilidade e acessibilidade, a fim de propiciar maior qualidade de vida aos usuários da edificação.

Identifica-se o PCA como aquele construído no *campus* da UFRGS, tendo recebido algumas peque-

nas modificações relativamente à Casa Alvorada (CA), construída no CETHS, parcialmente implementado na cidade de Nova Hartz, RS. Tal como no projeto do CETHS, para a construção do PCA o NORIE também contou com recursos da CAIXA e da FINEP. A edificação foi construída como parte de um conjunto de cinco protótipos demonstrativos contemplados com recursos pelo Programa Habitare.

O protótipo (Figura 161), tal como a CA, consiste em uma residência unifamiliar, com um programa de necessidades típico de uma habitação para uma família pequena, incluindo dois dormitórios, sala e cozinha conjugados, banheiro, área de serviço e área de entrada, totalizando 48,50 m<sup>2</sup> de área construída.



Figura 161 – Imagens do PCA, tal como adaptado para o *campus* da UFRGS

Considerando os objetivos a serem alcançados, foram definidas diretrizes para o projeto do protótipo de habitação, que representam fatores determinantes do desempenho energético dele, entre elas a otimização das condições de habitabilidade da edificação e a escolha criteriosa dos materiais e sistemas construtivos. Condições otimizadas de habitabilidade resultam de projetos minuciosos, que utilizaram a forma da implantação e a composição das aberturas, bem como a escolha dos materiais em favor do conforto do futuro usuário da edificação. Desse modo, minimizam-se quaisquer *inputs* energéticos, tais como iluminação e ventilação artificial. A escolha dos materiais de construção, por outro lado, levou em consideração o consumo energético relacionado à extração das matérias-primas, ao processamento destas, à montagem em obra, ao uso da edificação e ao transporte necessário entre as diversas etapas de produção da edificação.

Tanto a Casa Alvorada como o protótipo Casa Alvorada, derivado da primeira, são modelos de habitação destinados a populações de baixa renda, ambos estando inseridos em um processo de busca de desenvolvimento de referenciais **mais sustentáveis** para a produção da habitação e do ambiente urbano. Nesse contexto, identificam-se ambos como habitações mais sustentáveis por buscarem maior eficiência nos fluxos de matéria e energia, utilizando tecnologias compatíveis com objetivos sociais, econômicos e ambientais das comunidades e potencializando as ações de reeducação formal e informal. Tais habitações empregam estratégias passivas de aquecimento

e resfriamento, materiais de baixo impacto ambiental, oferecem a possibilidade de autoconstrução e buscam a gestão local de resíduos sólidos e líquidos, o uso de fontes energéticas sustentáveis, a coleta e o emprego de água de chuva, assim como a produção local de alimentos, através da incorporação de princípios de permacultura.

As atividades de construção do envelope do protótipo Casa Alvorada foram desenvolvidas entre outubro de 2001 e janeiro de 2003. Mesmo em agosto de 2006 não se pôde caracterizar o protótipo como totalmente concluído, já que novas atividades e metas são continuamente agregadas a ele. A seguir, são apresentados vários estudos realizados com o intuito de aprofundar a caracterização do PCA, ou de projetos complementares, e assim melhor entender e justificar o seu desempenho. As críticas contidas em muitos desses estudos buscam contribuir no aperfeiçoamento contínuo tanto do protótipo quanto de outras edificações de mesma natureza que vierem a ser desenvolvidas.

### 8.1.2 O paisagismo no entorno do protótipo Casa Alvorada

Este estudo (Figura 163) foi apresentado como produto de um trabalho desenvolvido por um grupo de alunos do NORIE, da disciplina Comunidades Sustentáveis em Prática (CHIARELLI; NERBAS; MAGRO, 2005), em continuidade a um trabalho anterior (CARDOSO et al., 2003), desenvolvido na disciplina de Paisagismo e Meio Ambiente, conduzida pela professora Beatriz Fedrizzi (Figura 162).

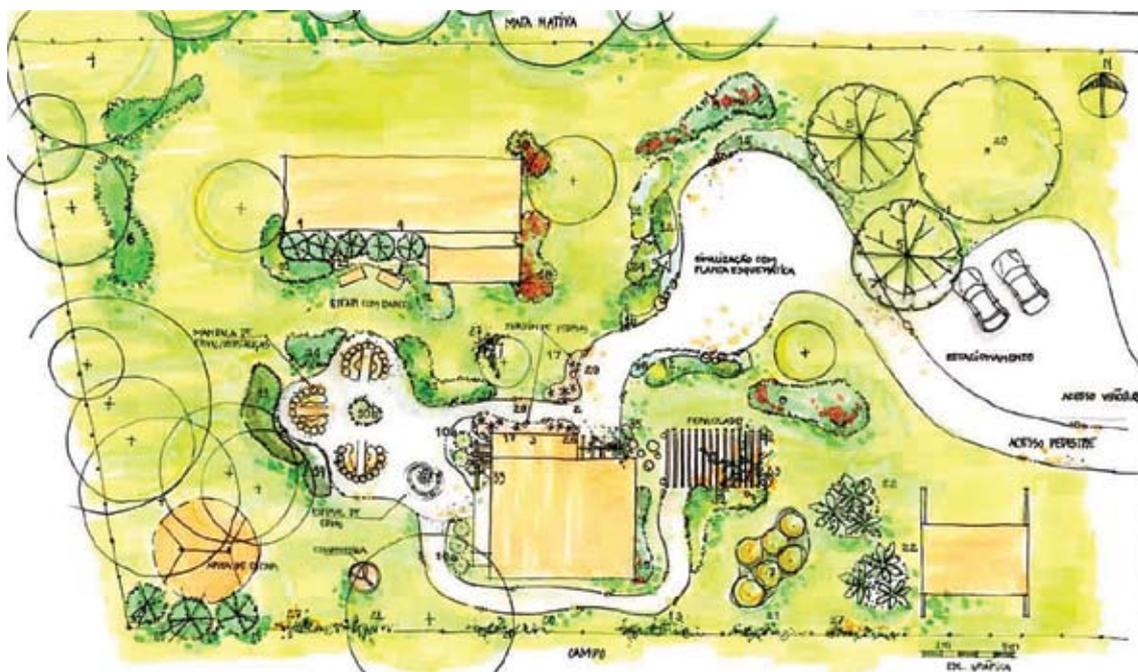


Figura 162 – Proposta inicial de paisagismo para o entorno do protótipo desenvolvido por alunos da disciplina Paisagismo e Meio Ambiente  
 Fonte: Cardoso et al. (2003)

Os autores deste trabalho consideraram que, já que o local onde se encontra o protótipo se tornará uma área de demonstração de tecnologias habitacionais sustentáveis, caberia “estender as preocupações envolvidas no projeto da habitação para as áreas externas que compõem o entorno da casa”, partindo do princípio de que “a casa e o jardim devem estar per-

feitamente integrados, a ponto de constituírem uma unidade funcional”, justificando-se uma proposta de paisagismo para o local da implantação. O projeto, em seu todo, constou de uma implantação do protótipo, com seu entorno próximo, com a indicação das plantas utilizadas e suas funções, além de agregar o projeto de uma pequena churrasqueira de tijolos.

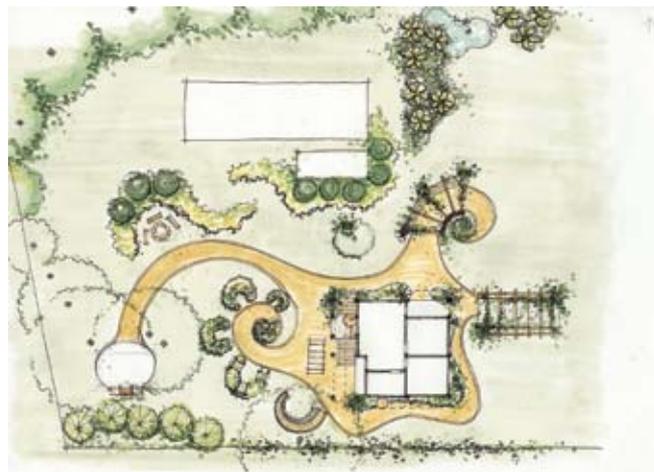
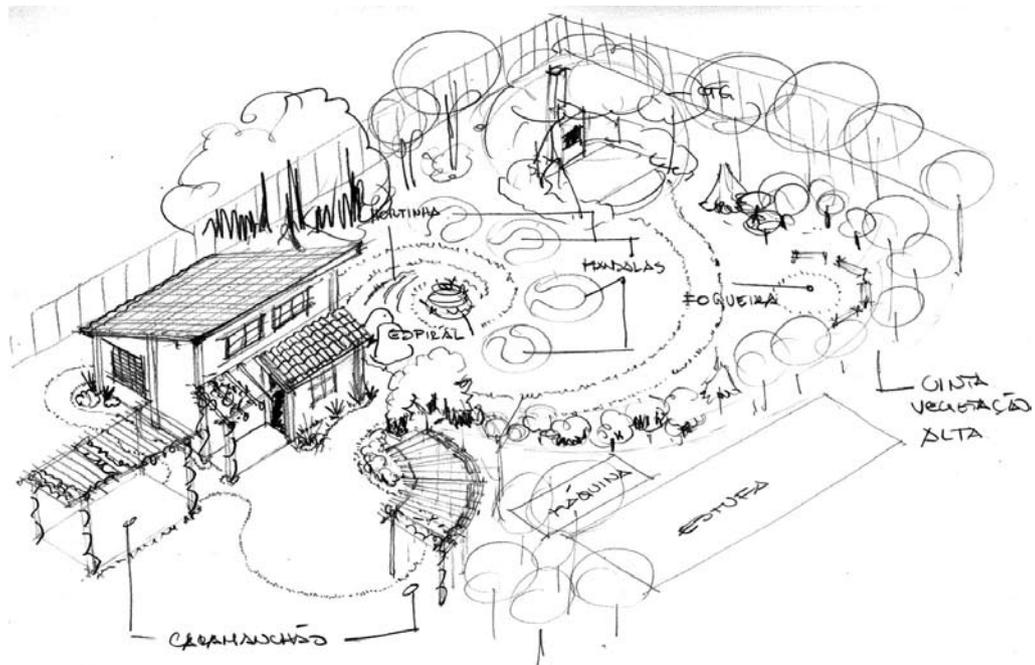


Figura 163 – Propostas adicionais de paisagismo para o entorno do protótipo Casa Alvorada  
 Fonte: Chiarelli, Nerbas e Magro (2005)

### 8.1.2.1 Princípios e estratégias utilizados

Os autores buscaram inspiração na permacultura (MOLLISON, 1998) para o estabelecimento da proposta, incluindo:

- a) **paisagismo produtivo**: utilização de soluções como espiral de ervas, horta construída com material reciclado, etc., para a produção de alimentos, bem como com espécies que pudessem auxiliar na redução de despesas de alimentação e/ou de geração de renda, através de espécies hortícolas, ervas medicinais, matéria-prima para a produção de artesanato, etc.;
- b) **paisagismo pedagógico**: através da vegetação utilizada no projeto, demonstrar conceitos e técnicas permaculturais, e sensibilizar o visitante para o potencial ornamental e produtivo da flora local;
- c) **paisagismo contribuinte para o conforto térmico**: uso de trepadeiras caducifólias em pergolados e outros tipos de vegetação, que definam espaços sombreados no entorno da edificação; e
- d) **paisagismo contribuinte para o conforto visual**: agregando valor estético ao paisagismo produtivo e pedagógico.

Adicionalmente, a partir dos 253 **padrões** propostos por Alexander, Ishikawa e Silverstein (1977), o grupo selecionou 21 deles, que entendeu serem os mais adequados a espaços abertos coletivos e que melhor se adequariam à proposta do protótipo. Tais padrões, servindo de referencial para o projeto, ou passíveis de implementação posterior, foram:

· **Padrão 22 - Nove por cento de estacionamento**: não permita que se use para estacionamento mais do que nove por cento do solo, de qualquer zona;

· **Padrão 112 - Transição à entrada**: crie um espaço de transição entre a rua e a porta dianteira. Leve o caminho que conecta a rua à entrada, através desse espaço de transição, e marque-o com trocas de luz, de som, de direção, de superfície, de nível, etc.;

· **Padrão 121 - A forma do caminho**: alargue o caminho público até o centro e estreite os extremos, para que se forme um recinto apto a estar, e não só para passar;

· **Padrão 126 - Algo brusco no meio**: coloque algo que se destaque ao centro, entre os caminhos naturais que atravessam a praça pública, um pátio, um pedaço de terreno comum: uma fonte, uma árvore, uma estátua, uma torre-relógio, com assentos, um moinho de vento, um quiosque de música. Tome as medidas necessárias para que a praça tenha um pulso firme e vigoroso e que atraia as pessoas até o centro. Deixe exatamente onde cair entre os caminhos; resista ao impulso de situar exatamente ao centro;

· **Padrão 135 - Taipa de luz e sombra**: crie áreas alternativas de luz e sombra em todo o edifício, de modo que as pessoas caminhem espontaneamente até a luz, sempre que, ao fazê-lo, se dirijam aos lugares importantes: assentos, entradas, escadas, corredores, sítios de beleza especial, etc., e incrementalmente o contraste, escurecendo as demais áreas;

· **Padrão 147 - Comer juntos:** faça da comida em comum um evento regular. E, em concreto, estabeleça um almoço comum, em cada lugar de trabalho, de modo que a autêntica comida em torno a uma mesa coletiva (e não, tirando-a de caixas, máquinas e bolsas) se converta em um acontecimento diário agradável e importante nele e que haja lugar para convidados;

· **Padrão 161 - Lugar ensolarado:** nos pátios e jardins orientados ao sol, encontre um ponto mais ensolarado, entre o edifício e o exterior. Desenvolva-o como um lugar ensolarado especial, faça dele um importante ambiente exterior, um lugar para trabalhar ao sol, para se mexer e cuidar de algumas plantas, para se banhar ao sol. Cuide especialmente de situá-lo em um lugar ensolarado, em uma posição protegida ao vento. Um vento forte impedirá de usar o mais belo dos lugares;

· **Padrão 170 - Pomares:** plante pequenos hortos de frutas em jardins e terrenos comuns, ao longo dos caminhos e ruas, em parques e vizinhanças, sempre que haja grupos bem estabelecidos e capazes de cuidar deles e colher as frutas;

· **Padrão 171 - Lugares árvore:** ao plantar árvores, faça-o de acordo com sua natureza, formando recintos, avenidas, praças, agrupados ou isolados, quando têm a copa extensa e se situam no centro de espaços abertos. Configure os edifícios próximos, em resposta às árvores, de modo que esses, em si mesmo, e junto àquelas, formem lugares utilizáveis pelas pessoas;

· **Padrão 174 - Caminhos com pérgolas:** quando os caminhos reclamarem uma proteção especial ou quando se necessite um maior grau de intimidade, cubra-os com uma pérgola, embelezada com plantas trepadeiras. Utilize uma tela para contribuir para formar espaços exteriores de ambos os lados;

· **Padrão 176 - Banco de jardim:** crie no jardim um lugar tranqüilo, em recinto privado, com assento cômodo, sol e vegetação densa. Escolha cuidadosamente o lugar do assento, para que ofereça intensa presença solar;

· **Padrão 177 - Horta:** reserve um pedaço de terra no jardim privado ou nos terrenos comuns e destine-os para a horta. Cada família de quatro membros necessita, aproximadamente, de 400 m<sup>2</sup>. Assegure-se de que a horta está ensolarada e que ocupa uma posição central em relação aos lugares que serve;

· **Padrão 181 - O fogo:** instale o fogo em um espaço comum, como um foco natural de conversações, sonhos e pensamentos;

· **Padrão 185 - Círculo de assentos:** situe cada espaço de estar em uma posição protegida, não atravessada por caminhos ou pelo movimento, aproximadamente circular e de tal natureza que o espaço mesmo ajude a sugerir o círculo - ainda que não exclusivamente - com os percursos e as atividades circundantes, de maneira que se grave naturalmente, até as cadeiras, quando exista o desejo de se sentar. Distribua com flexibilidade cadeiras e almofadas nesse círculo e procure que haja algumas a mais;

· **Padrão 238 - Luz filtrada:** ali onde a borda de uma janela, ou parte saliente de um telhado se recorte contra o céu, crie um rico e detalhado tapete de luz e sombra, para decompor a luz e suavizá-la;

· **Padrão 241 - Pontos de sentar:** escolher bons pontos para os assentos ao ar livre é muito mais importante que construir bancos de fantasia. Na realidade, se o lugar for bem escolhido, o mais simples banco é perfeito. Nos climas frios, situe os bancos de frente para o sol e protegidos do vento; nos climas de verão quente, situe-os à sombra e abertos às brisas de verão. Em ambos os casos, de frente para alguma atividade;

· **Padrão 242 - Banco na frente da porta:** construa um banco especial na frente da porta de entrada, para se sentar comodamente durante horas, para ver as pessoas passarem. Coloque o banco definindo um domínio semiprivado, em frente à casa. Uma mureta, algumas plantas ou uma árvore podem ajudar a criar esse domínio;

· **Padrão 245 - Flores no alto:** suavize as bordas dos edifícios, os caminhos e as áreas exteriores com flores. Eleve seus leitos de modo que se possa tocar, perceber o odor ou que caiam à nossa altura, ao nos sentarmos. Construa-os com bordas maciças e grossas, para que seja possível, também, sentar-se entre as flores;

· **Padrão 246 - Plantas trepadeiras:** procure fazer com que cresçam plantas trepadeiras nos mu-

ros ensolarados, em torno aos ocos, janelas, portas, átrios, galerias e pérgolas;

· **Padrão 247 - Pavimento com fendas entre as lajes:** pavimento caminhos e terraços com louças que deixem, entre si, fendas de 2 cm a 3 cm, em que cresçam as ervas, o musgo e as florzinhas. Coloque as lousas diretamente sobre a terra, e não em um leito de argamassa, e não use cimento, nem argamassa entre elas; e

· **Padrão 253 - Os objetos de sua vida:** não se deixe enganar pela idéia de que a decoração moderna tem que ser rebuscada ou psicodélica, natural ou arte moderna, plantas ou qualquer coisa que reclamem os fazedores de gostos do momento. É mais belo quando nasce diretamente de sua vida, das coisas que a você importam, das coisas que lhe dizem algo.

#### 8.1.2.2 Proposição do projeto

##### Sinalização

Junto à entrada da área foi prevista a colocação de um painel informativo, para que os visitantes possam ser orientados sobre o projeto do protótipo Casa Alvorada e sobre os princípios envolvidos em seu desenvolvimento. Esse painel deverá conter um breve texto de apresentação do projeto e um esquema da área, em planta baixa, indicando os principais elementos utilizados nas áreas externas, com finalidade demonstrativa. Também podem ser acrescentadas ao painel informações sobre as principais espécies utilizadas, sua localização no jardim e seu potencial de uso.



Figura 164 – Sinalização

### Jardim de pedra

Junto à fachada norte da casa é prevista a construção de um pequeno jardim de pedras, onde serão cultivadas espécies xerófitas. O jardim de pedras visa evitar a erosão e a compactação do solo, em função da queda da água da chuva (já que a face norte da cobertura não possui calha), e ainda demonstrar a possibilidade de construção de jardins utilizando plantas suculentas, com finalidade medicinal e de produção de alimentos.



Figura 165 – Jardins de pedra

### Pergolados

Segundo o projeto original da habitação, é previsto o cultivo de trepadeiras caducifólias, em pergolados nas fachadas norte e oeste da casa, a fim de melhorar o conforto térmico no interior dela (uma vez que as espécies caducifólias permitem o sombreamento no verão e a passagem dos raios solares no inverno). Também é previsto um terceiro pergolado, próximo à entrada da casa, com a finalidade de servir como uma área de estar sombreada, a ser utilizada, também, como sala de aula ao ar livre, onde os visitantes poderão ser recebidos e orientados sobre os princípios envolvidos na concepção do projeto da casa e do jardim. Os pergolados permitem, também, a variação na paisagem, a partir da luz filtrada, que varia durante as diferentes horas do dia.



Figura 166 – Pergolados

## Círculos de bananeiras

Têm a finalidade de demonstrar a utilização de uma estratégia permacultural, onde bananeiras são plantadas em círculos, ao redor de covas de, aproximadamente, 2 m de diâmetro por 1 m de profundidade. Essa técnica permite, além da produção de frutos, a produção de *mulch* e composto orgânico para os cultivos do jardim. À medida que as bananas vão sendo colhidas, suas folhas vão sendo cortadas e colocadas no interior do círculo, para serem compostadas (também outros resíduos orgânicos, provenientes do jardim, ou da cozinha, poderão ser compostados nesses locais).

## Cerca produtiva

Consiste no cultivo de espécies trepadeiras, junto às cercas localizadas aos fundos da casa. Visa demonstrar a possibilidade do cultivo vertical de plantas medicinais e produtoras de alimentos, permitindo um maior aproveitamento da área disponível para o jardim.

## Espiral de ervas

A espiral de ervas, já existente no local, próximo à cozinha, baseia-se em uma técnica permacultural, onde ervas e temperos são cultivados em um canteiro elevado, em forma de espiral. Essa estrutura permite um maior aproveitamento do espaço disponível e uma disposição racional das espécies, de acordo com suas exigências de insolação e drenagem do solo. Na construção da espiral teve-se o cuidado de utilizar materiais reaproveitados da obra da casa.



Figura 167 – Espiral de ervas

## Horta permacultural

É prevista a ampliação da horta permacultural, que já foi iniciada no local, construindo-se mais dois canteiros semelhantes ao já existente. A horta é construída em canteiros elevados, usando-se pneus velhos. O cultivo em canteiros elevados permite maior facilidade de manejo e maior acessibilidade para pessoas de idade mais avançada e/ou que possuam dificuldades para se abaixar. A disposição em “ferradura” dos canteiros facilita o manejo da horta, uma vez que segue um design mais racional dos cultivos, onde as espécies de menor porte e maior exigência de manutenção são plantadas no interior da “ferradura”, enquanto as espécies maiores e que requerem pouca manutenção são dispostas do lado de fora da mesma. O projeto prevê, também, o cultivo de espécies repelentes de insetos (citronela e cravo-de-defunto) junto à horta, a fim de prevenir danos às demais espécies cultivadas.



Figura 168 – Horta permacultural

### 8.1.2.3 Outros aspectos considerados no projeto

O trabalho inclui, adicionalmente, o projeto de um conjunto churrasqueira/área de convívio, aqui não incluso, e um conjunto de tabelas de vegetação propostas para o paisagismo da área do entorno do protótipo.

### 8.1.2.4 Conclusão

Os autores da proposta não pretenderam esgotar as dimensões de sustentabilidade na exploração da proposta e expressaram ter utilizado apenas dois referenciais em sua proposição: Mollison (1998) e Alexander, Ishikawa e Silverstein (1977). Alegam que o paisagismo, em si, não está identificado com o conceito de sustentabilidade e que o tema requer uma abordagem interdisciplinar.

## 8.1.3 Projeto de um aquecedor multiúso: forno + fogão + lareira + aquecedor d'água

### 8.1.3.1 Introdução

Outro produto da disciplina Comunidades Sus-

tentáveis em Prática foi o desenvolvimento de uma proposta para um fogão para o protótipo, um “equipamento” cuja necessidade já havia sido prevista no projeto original do protótipo e mais tarde confirmada pelos estudos de desempenho térmico do protótipo, realizados por Morello (2005). A proposta foi desenvolvida por uma equipe que cursava a disciplina (KUHN; PROFES; ZANIN, 2005). Conforme descrito em documento ilustrativo da proposta, os alunos buscaram desenvolver um “equipamento compacto e de simples construção, que aproveitasse ao máximo o calor gerado pela biomassa, sem negligenciar o impacto estético e o benefício lúdico da visualização do fogo em chama pelos moradores. Para tanto, foram agregadas diversas funções ao **Aquecedor Multiúso**, entre elas: a de lareira, aquecendo o ambiente interno durante o inverno, a de aquecedor de água para banho e as de forno e fogão”.

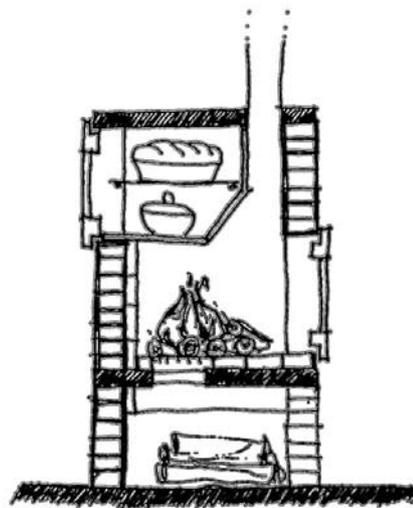


Figura 169 – O aquecedor multiúso

### 8.1.3.2 Descrição do funcionamento do aquecedor multiúso

As atividades domésticas em torno do forno/fogão e da lareira desenvolvem-se em faces laterais opostas do aquecedor multiúso, permitindo que ele sirva, também, como um divisor de ambientes, já que as restrições econômicas impostas aos projetos de habitações populares induziram à elaboração de uma tipologia com um ambiente comum para sala e cozinha. Apesar de ter sido desenvolvido para um protótipo de habitação popular, o aquecedor apresenta inúmeros benefícios, que justificam sua utilização em qualquer outra edificação, que durante certo período do ano apresente temperaturas abaixo da zona de conforto. Apresenta maior eficiência que as lareiras tradicionais, aquece água, incorpora materiais reutilizados e impede a passagem de fumaça para o interior do ambiente, através da implementação de portas. Além disso, há a vantagem de que se atribui melhor paladar aos pratos preparados em fogões à lenha. Em síntese, ele soma às qualidades de um fogão e forno à lenha as de uma lareira eficiente e de um aquecedor de água.

Um dos princípios fundamentais do projeto foi a busca da eficiência, através da otimização do calor produzido. Assim, a primeira medida foi o fechamento da boca da fornalha, com a utilização de portas de fogões, que pudessem ser adquiridas em oficinas de reciclagem, e a criação de camadas laterais de ar, entre a parede e as chamas, colocando-se uma chapa metálica interna. Isso possibilitaria o aquecimento do recinto por radiação e convecção. As lareiras tradicionais, sem fechamento, além de deixarem passar fumaça para

dentro do ambiente, apresentam uma grande perda de calor. O acréscimo de portas aumenta em, no mínimo, 10% a eficiência do sistema (PAHL, 2003).

O ciclo de geração de calor é iniciado mediante a combustão de lenha na lareira. A liberação desse calor para o ambiente ocorre por três formas. A primeira pela radiação direta do calor, através da porta envidraçada do fogão. A segunda pela re-irradiação do calor que tenha sido absorvido pelas superfícies opacas, como as alvenarias, superfícies metálicas e outros componentes do fogão. E, por último, o fogo aquece as chapas metálicas, que, por sua vez, esquentam o ar da câmara, gerando uma circulação convectiva (Figura 170) e estabelecendo-se trocas de calor com o ambiente, com o ingresso de ar frio do recinto pelas aberturas inferiores e liberação do ar aquecido pelas superiores.

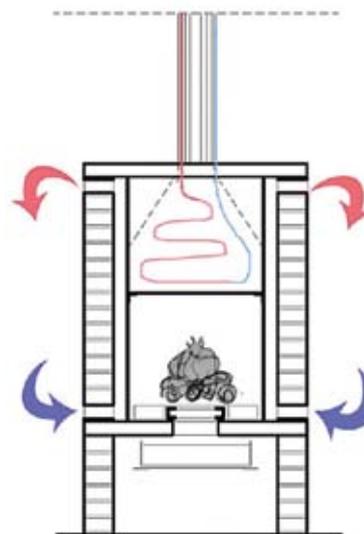


Figura 170 – Distribuição de calor pelo aquecedor multiúso

Simultaneamente, o aquecimento do fogão se dá, diretamente, através do calor das chamas na chapa de ferro fundido do fogão, e por meio do ar aquecido que sobe pela chaminé e daquele que circula pelas câmaras laterais, elevando a temperatura das chapas metálicas que circundam o forno, aquecendo seu interior.

Da mesma forma, a água fria que circula pela serpentina (tubos de cobre) é aquecida ao passar pelo interior do pirofuncional e, assim, sobe por gravidade para o reservatório, onde é armazenada a água aquecida por um coletor solar.

### 8.1.3.3 Descrição dos componentes do produto desenvolvido e de sua montagem

A seguir é feita a descrição, em etapas, de cada um dos componentes do fogão e é sugerida uma seqüência das etapas necessárias para a sua montagem.

#### Etapas de montagem

##### Etapa 1

As dimensões do fogão, em planta, são 83 cm x 82 cm, devendo ser instalado sobre uma área plana. Os tijolos devem ser assentados como ilustrado na Figura 171, contrafiando-os até a quarta fiada. O traço da argamassa de cimento, cal e areia deve ser 1:3:8. Após o assentamento da quarta fiada, duas barras metálicas devem ser dispostas, como ilustrado na figura, para funcionar como apoio para a gaveta de cinzas.

A seguir, deve-se assentar as fiadas seguintes, até a sexta fiada, para a colocação da laje inferior. A laje inferior deverá ser armada, conforme desenho de armadura das lajes (Figura 184), e o traço do concreto (cimento, areia e brita zero) deve ser de 1:3:6.

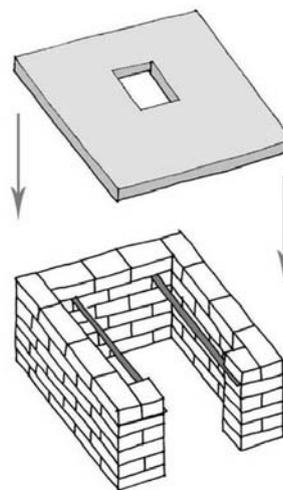


Figura 171 – Base para a laje inferior

##### Etapa 2

Após a colocação da laje inferior, deve ser assentada a sétima fiada de tijolos, observando que, nas paredes laterais do fogão, deverão ser deixados furos para a entrada de ar, com a utilização de tijolos cortados.

A laje deverá ser revestida com tijolos refratários, conforme a Figura 172 (e planta baixa - Figura 182), preferencialmente com argamassa refratária.

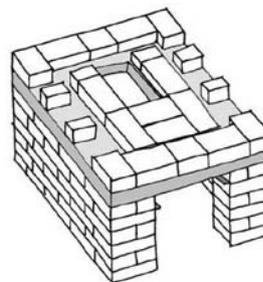


Figura 172 – Entradas de ar

### Etapa 3

Após essa etapa, prossegue-se com a construção das paredes laterais e do fundo, até a 14ª fiada. Na parede frontal, deixa-se a abertura frontal da lareira. O traço da argamassa de assentamento é de 1:3:8 (cimento, cal e areia).

Na abertura, escora-se a verga para o assentamento de duas barras de ferro com argamassa.

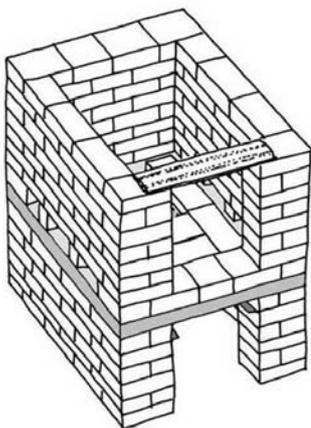


Figura 173 – Abertura frontal

### Etapa 4

Assentam-se, então, as plaquetas refratárias na parede posterior interna e, em seguida, a 15ª fiada de tijolos maciços, sendo que na parede posterior (abertura forno/fogão) assentam-se somente os tijolos cortados de 9 cm nas extremidades, para deixar a abertura do forno.

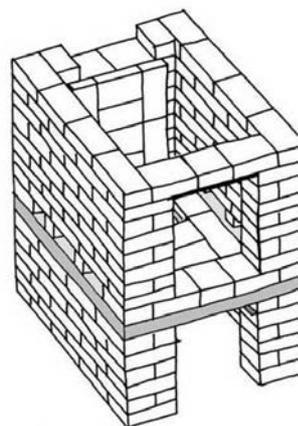


Figura 174 – Base para a laje inferior

### Etapa 5

Encaixa-se a estrutura de aço (conforme desenhos 1 e 2 da Figura 192), com os tubos de cobre (serpentina para circulação de água).

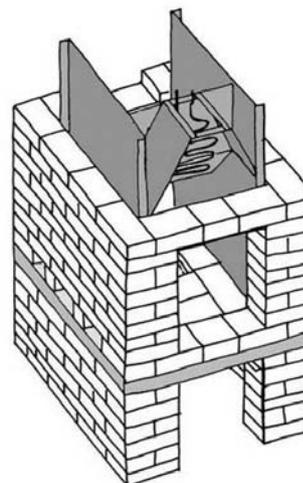


Figura 175 – Encaixe da estrutura de aço

## Etapa 6

Após, encaixa-se a chapa de ferro fundido, com duas bocas na estrutura metálica, conforme a Figura 176 e a Figura 192, com a estrutura em aço e o tubo de encaixe para a chaminé.

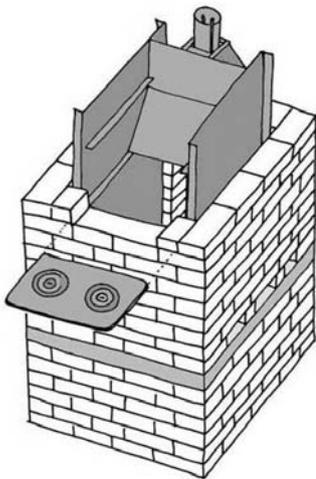


Figura 176 – Encaixe das bocas para o fogão

## Etapa 7

Após a montagem da estrutura interna, assentam-se as fiadas 16 até 20, com argamassa de assentamento 1:3:8 (cimento, cal e areia). A 21ª fiada deve ser assentada da mesma maneira que a sétima fiada de tijolos, observando que, nas paredes laterais do fogão, serão criados os furos para saída de ar, através do assentamento de tijolos cortados (observar planta de fiadas).

Na parede posterior (abertura do forno/fogão), assentam-se somente os tijolos cortados, de 9 cm, nas extremidades.

A laje superior deve ser construída conforme armadura (ver planta de detalhes), e o traço do concreto deve ser de 1:3:6, respectivamente: cimento, areia e brita zero. Encaixam-se, então, as grelhas de forno na estrutura de aço.

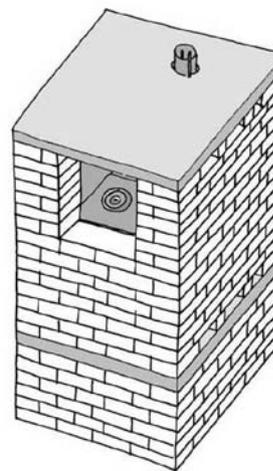


Figura 177 – Laje superior

## Etapa 8

Por fim, encaixa-se a gaveta, na abertura inferior, sobre as barras, e parafusam-se as portas das duas aberturas nos tijolos maciços. Para finalizar a montagem, encaixa-se o tubo para a chaminé e o tubo de cobre (serpentina), que será conectado ao reservatório de água.

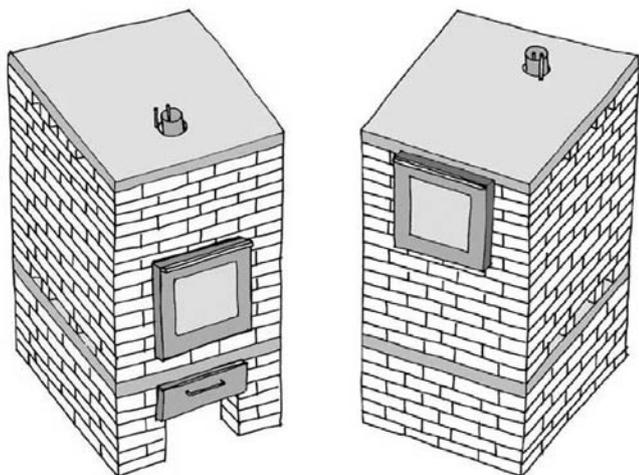


Figura 178 – Vistas anterior e posterior do pirofuncional

### 8.1.3.4 Detalhes técnicos de construção

#### Desenhos Técnicos

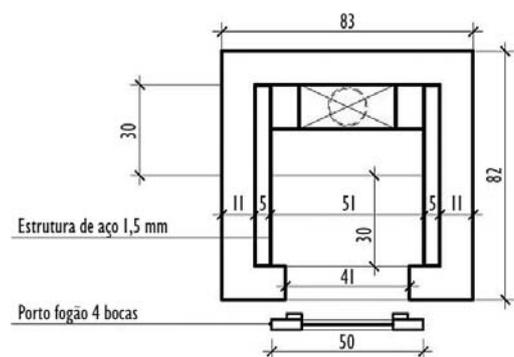


Figura 179 – Planta do fogão

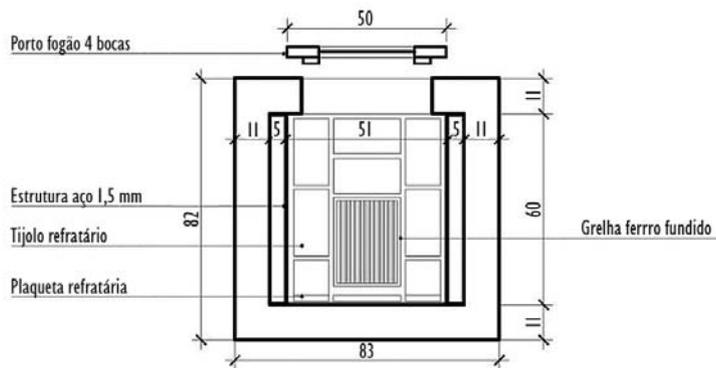
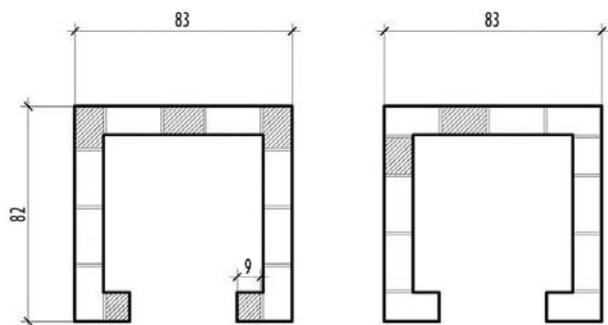


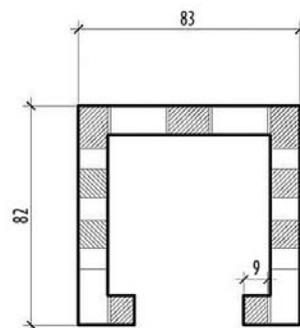
Figura 180 – Planta da lareira



 tijolos cortados

Figura 181 – Fiadas pares

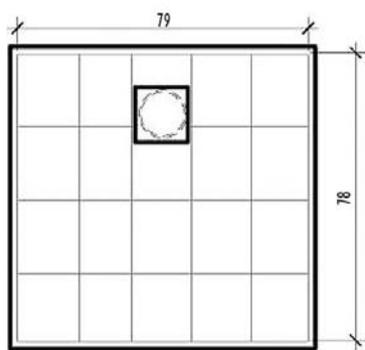
Observação: os tijolos marcados sofreram corte.



 tijolos cortados

Figura 182 – Fiadas com vazios

## Desenhos Técnicos



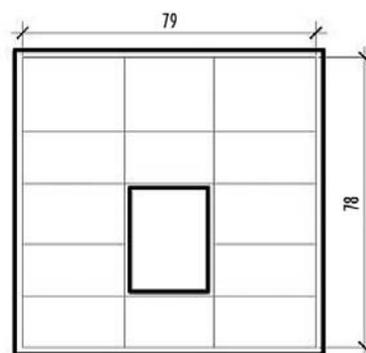
Laje superior

Figura 183 – Planta laje superior

4 N1 d 6.3 79

6 N2 d 6.3 78

2 N3 d 6.3 35



Laje inferior

Figura 184 – Planta laje inferior

5 N4 d 6.3 79

4 N5 d 6.3 78

2 N6 d 6.3 28

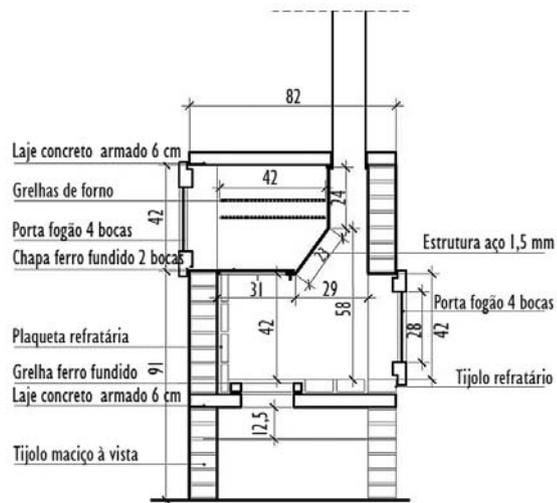


Figura 185 – Corte 1

## Desenhos Técnicos

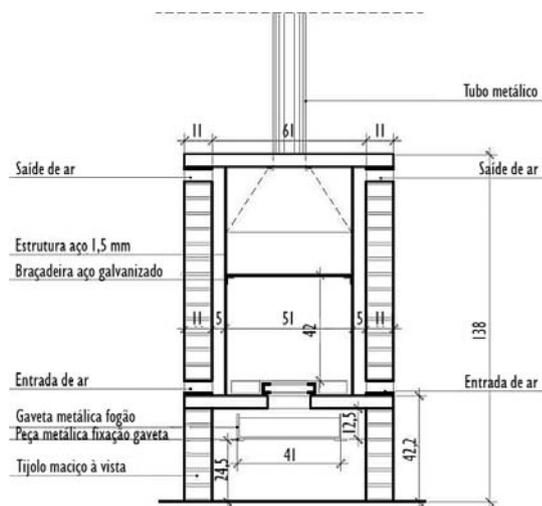


Figura 186 – Corte 2

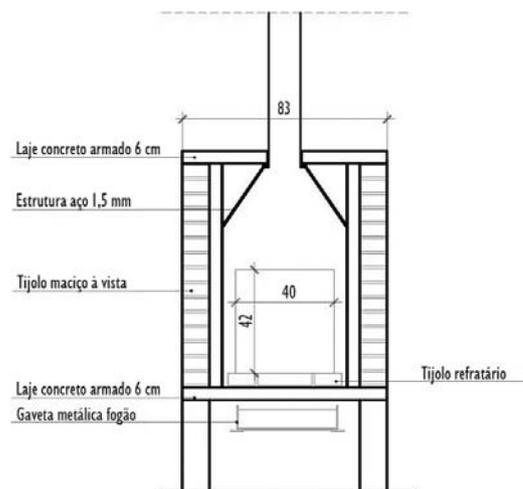


Figura 187 – Corte 3

## Desenhos Técnicos

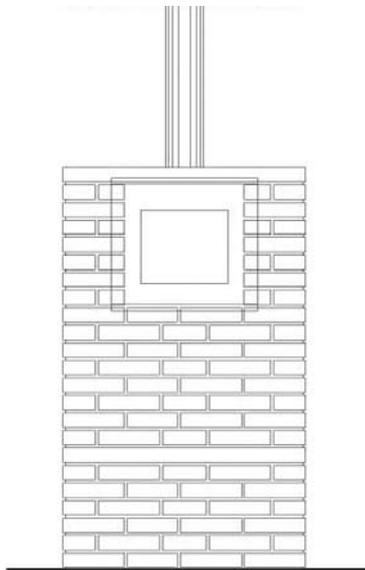


Figura 188 – Vista do fogão

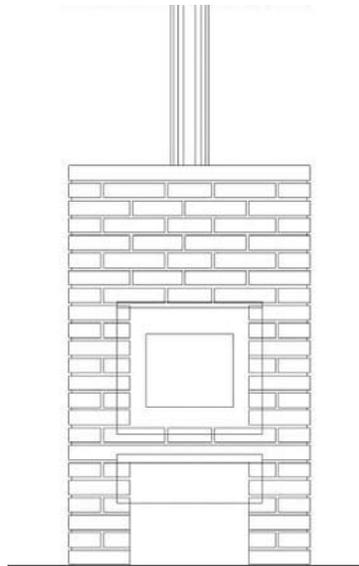


Figura 189 – Vista da lareira

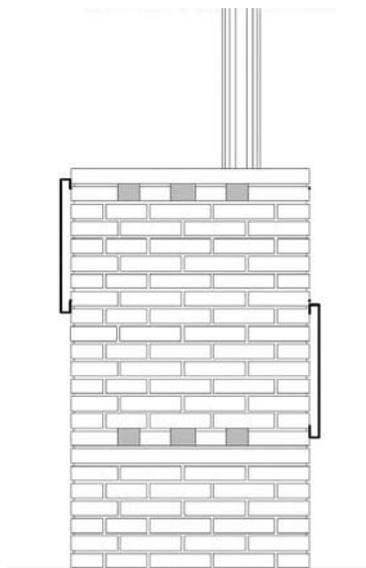


Figura 190 – Vista lateral



Figura 191 – Portas reutilizadas

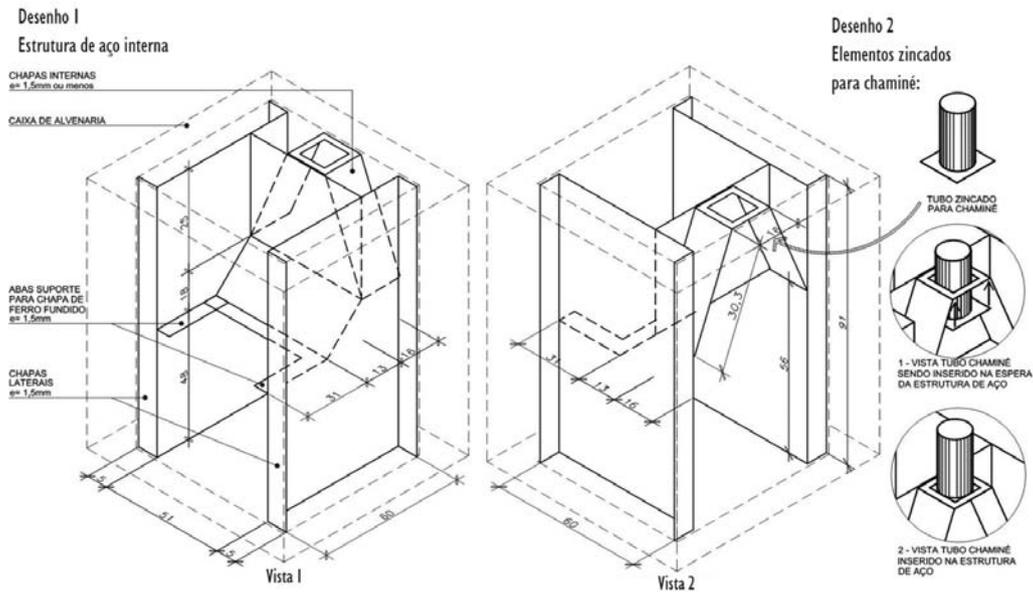


Figura 192 – Estrutura de aço interna

### Ambientação do protótipo com a inserção do pirofuncional

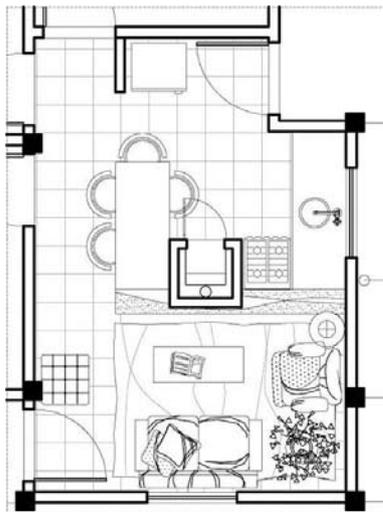


Figura 193 – Planta protótipo *layout*

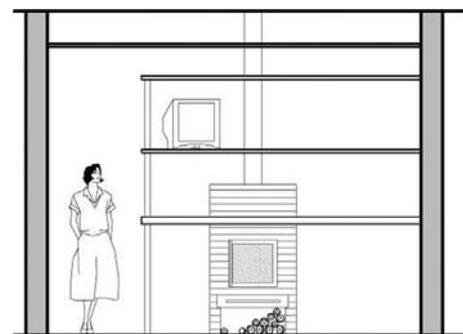


Figura 194 – Corte protótipo *layout*

Tabela 12 – Materiais utilizados e orçamento do aquecedor multiúso

Materiais e Orçamento				
Material (para fogão e reservatório)	Quantidade	Dimensões	Custo unitário <sup>1</sup>	Custo total <sup>1</sup>
Chapa de ferro fundido com duas bocas	1 un.	30 x 50 cm	75,00	75,00
Estrutura de aço (1,5 mm)	1 un.	ver desenho 1	280,00	280,00
Elementos de zinco para chaminé	1 un.	ver desenho 2	78,00	78,00
Gaveta usada fogão 4 bocas	1 un.	40 x 11 cm <sup>2</sup>	20,00	20,00
Grelha de ferro fundido	1 un.	21 x 28 cm	29,70	29,70
Grelha usada de forno fogão 4 bocas - para forno	2 un. <sup>3</sup>	51 x 42 cm	5,00	10,00
Lajes e argamassa (segundo detalhamento e traços) <sup>4</sup> :				
Barras aço Ø 6,3 mm	16,26 m	-	11,48 (12 m)	15,56
Cimento	25,17 kg	-	16,9 (50 kg)	8,51
Cal em pó	23,78 kg	-	5,65 (20 kg)	6,72
Areia média	0,15 m <sup>3</sup>	-	26,68 (m <sup>3</sup> )	4,01
Brita zero	0,07 m <sup>3</sup>	-	45,55 (m <sup>3</sup> )	3,19
Porta usada de fogão de 4 bocas	2 un.	50 x 42 cm	-	35,00
Tijolos maciços	278 un.	21 x 11 x 5 cm	0,25	69,50
Tijolos refratários 0,7	10 un.	21 x 11 x 5 cm	1	10,00
Tubos de cobre	8 m	variável <sup>5</sup>	4,25	34,00
Braçadeira galvanizada de 1"	12 un.	-	0,15	1,80
Tonel metálico	1 un.	220 L	20,00	20,00
<b>TOTAL</b>				<b>709,39</b>

<sup>1</sup> valores correspondentes a julho de 2005<sup>2</sup> dimensões aproximadas<sup>3</sup> pode-se optar pela utilização de apenas uma grade para forno<sup>4</sup> quantidades úteis, sem considerar perdas<sup>5</sup> comprimento depende da distância do fogão ao reservatório

## 8.2 O protótipo Casa Alvorada: avaliação do projeto

Diversos estudos foram realizados por alunos do NORIE no sentido de estimar o provável desempenho do protótipo. Alguns desses estudos fizeram uso de ferramentas de projeto, algumas recomendadas em Normas Técnicas, outras disponibilizadas pelo meio técnico (numéricas ou gráficas), e são apresentados a seguir (MORELLO; BEVILACQUA; GRIGOLETTI, 2004).

### 8.2.1 Relações entre perímetro, área de piso, envoltória e volume

Uma maneira de relacionar tipologias construtivas com desempenho, em termos de conforto térmico ou ganhos energéticos nas edificações, é a utilização do *Índice de Compacidade*. Esse índice relaciona a área do piso da edificação com o perímetro da envolvente dela. Considera-se como parâmetro de comparação o círculo, que é a figura geométrica que encerra a maior área com o menor perímetro possível.

Também se podem utilizar outras relações para identificar vantagens ou desvantagens na questão energética relacionando o volume da edificação com a superfície do piso, ou com a área do envelope da edificação. A relação entre superfície e volume (RSV) se estabelece a partir da superfície da envolvente exterior do edifício e do volume contido pela mesma. Essa relação permite comparar distintas formas de edifícios, no que se refere à menor superfície contendo o maior volume possível.

Sabe-se que as trocas térmicas de um edifício com o exterior são proporcionais à superfície de sua envoltória ou envelope. Como consequência, quanto mais compacto é o edifício (baixa RSV), menores serão as trocas térmicas com o exterior, o que é desejável tanto para uma situação de clima frio (ou de inverno, com baixas temperaturas) como de clima quente. Nessa relação (superfície/volume), leva-se em conta apenas a superfície exterior, que está mais exposta às variações de temperatura e ventos, ou seja, não se considera o piso.

A RSV expressa, por exemplo, a capacidade de retenção de calor no interior do edifício de forma parcial, pois outros aspectos irão influenciar a retenção de calor no interior da edificação, como, por exemplo, a resistência térmica de paredes e coberturas e a quantidade de aberturas ou superfícies envidraçadas.

#### 8.2.1.1 Índice de compacidade

A análise do *Índice de Compacidade* busca verificar aspectos econômicos ligados ao envelope da edificação e sua área. Da análise qualitativa, observa-se que os recortes no volume, que originaram os alpendres frontal e lateral, não trouxeram nenhum benefício instrumental à edificação.

O Índice de Compacidade é um valor adimensional que relaciona a área de piso e o perímetro que define esta área, para a figura geométrica (planta baixa da edificação) que está sendo analisada, com a área e perímetro de um círculo que contém a mesma área da figura geométrica em questão. Quanto mais próxima essa relação estiver da unidade, melhor será

seu Índice de Compacidade, ou seja, tanto maior será a área contida em determinado perímetro (MASCARÓ, 1998). Quanto mais próximo tal valor estiver da unidade, maior será o volume contido por certa superfície externa. Do ponto de vista de economia em área de envolvente de edificação, isso certamente é desejável, principalmente em se tratando de uma edificação de interesse social, onde aspectos econômicos têm grande relevância.

No projeto original, o perímetro formado pelas paredes da Casa Protótipo Alvorada é igual a 27,50 m e contém uma área igual a 41,89 m<sup>2</sup>. Para conter essa mesma área seria necessário um raio de:

$$41,89 = \pi R^2 \Rightarrow R = 3,65 \text{ m}$$

Já o perímetro externo de um círculo ( $2\pi R$ ) com raio igual a 3,65 m é igual a 22,93 m.

Dividindo-se esse valor pelo perímetro do protótipo, tem-se o **índice de compacidade da edificação**.

Índice de compacidade do protótipo original:  
 $22,93 \div 27,50 = 0,83$ .

### 8.2.1.2 Índice de compacidade volumétrico

Na análise do Índice de Compacidade Volumétrico, considera-se como parâmetro comparativo a figura geométrica da semi-esfera, a qual apresenta a menor área exposta para determinado volume.

No projeto original, o volume contido pelo envelope construtivo é igual a 163,6 m<sup>3</sup>, com uma superfície exposta de paredes e telhado igual a 141,16 m<sup>2</sup>.

Para conter esse mesmo volume em uma semi-esfera, seria necessário que ela possuísse um raio igual a:

$$163,6 = (2\pi R^3)/3 \Rightarrow R = 4,27 \text{ m}$$

Com esse raio, uma semi-esfera teria uma área exposta igual a 114,56 m<sup>2</sup>.

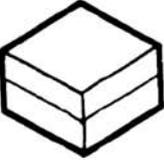
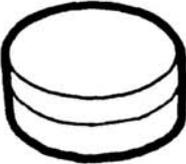
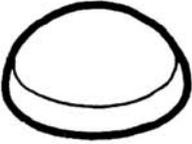
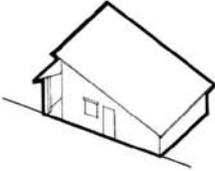
Dividindo-se esse valor pela área exposta do protótipo, tem-se o **índice de compacidade** volumétrico da edificação:  $114,56 \div 141,16 = 0,81$ .

### 8.2.1.3 Relação entre superfície envolvente e superfície do piso – RSSP

O índice RSSP, que dá uma idéia da utilização do espaço, através da relação da envolvente com a área do piso, indica a semi-esfera como o volume mais eficiente. No entanto, se for considerada a colocação de um mezanino no protótipo Casa Alvorada, dentro do mesmo espaço, essa relação chega a 1,59, portanto mais eficiente que a situação da semi-esfera, que tem a relação RSSP de 1,99.

Considerando o protótipo sem o mezanino, a relação RSSP é de 2,22, maior que a relação RSSP do protótipo com o mezanino, de 1,59. Fica claro, pois, nessa relação, a vantagem na ocupação do espaço (área do piso) e sua envolvente.

Também, deve-se considerar que a funcionalidade e a ocupação do espaço projetado, principal objetivo da construção, são mais eficientes no protótipo com o mezanino do que na semi-esfera. O Quadro 30 mostra uma relação entre diferentes soluções construtivas e aquela adotada para o PCA.

	<p>SITUAÇÃO 1 - CUBO</p> <p>VOLUME TOTAL: 128,61 m<sup>3</sup>          ÁREA DO PISO: 25,50 m<sup>2</sup>          ÁREA DA ENVOLVENTE: 102,01 m<sup>2</sup></p> <p>RSV = 0,79 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>          RSSP = 4,00</p>
	<p>SITUAÇÃO 2 - CILINDRO</p> <p>VOLUME TOTAL: 128,61 m<sup>3</sup>          ÁREA DO PISO: 24,04 m<sup>2</sup>          ÁREA DA ENVOLVENTE: 92,78 m<sup>2</sup></p> <p>RSV = 0,72 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>          RSSP = 3,85</p>
	<p>SITUAÇÃO 3 - SEMI-ESFERA</p> <p>VOLUME TOTAL: 128,61 m<sup>3</sup>          ÁREA DO PISO: 49,02 m<sup>2</sup>          ÁREA DA ENVOLVENTE: 98,03 m<sup>2</sup></p> <p>RSV = 0,76 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>          RSSP = 1,99</p>
	<p>SITUAÇÃO 4 - PROTÓTIPO SEM O MEZANINO</p> <p>VOLUME TOTAL: 128,61 m<sup>3</sup>          ÁREA DO PISO: 38,39 m<sup>2</sup>          ÁREA DA ENVOLVENTE: 85,43 m<sup>2</sup></p> <p>RSV = 0,66 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>          RSSP = 2,22</p>
	<p>SITUAÇÃO 5 - PROTÓTIPO COM O MEZANINO</p> <p>VOLUME TOTAL: 128,61 m<sup>3</sup>          ÁREA DO PISO: 55,91 m<sup>2</sup>          ÁREA DA ENVOLVENTE: 89,09 m<sup>2</sup></p> <p>RSV = 0,69 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>          RSSP = 1,59</p>

#### 8.2.1.4 Considerações a respeito do índice de compacidade e RSSP

No estudo do Índice de Compacidade, o PCA apresentou resultados satisfatórios. Isso já era esperado, visto que a forma em planta e o volume do projeto apresentam dimensões muito próximas do quadrado e do cubo, respectivamente.

Também, devemos considerar que a funcionalidade e a ocupação do espaço projetado, principal objetivo da construção, é mais eficiente no protótipo com o mezanino do que em uma construção com formato de semi-esfera.

Conclui-se, portanto, que a incorporação do mezanino no protótipo é uma solução viável e vantajosa, com o aumento de área útil para a habitação e com pequenos acréscimos construtivos. Ademais, também observando as análises efetuadas adiante, verifica-se que proporciona indicadores satisfatórios em relação às áreas construídas, volumes, envolventes e desempenho térmico.

#### 8.2.2 Análise do dimensionamento das aberturas de iluminação e ventilação do protótipo Casa Alvorada

Diante da facilidade de consulta ao Código de Edificações da Cidade de Santa Maria por parte de alguns alunos do NORIE (MORELLO; BEVILACQUA; GRIGOLETTI, 2004), foi realizada uma comparação entre as dimensões dos compartimentos existentes no Protótipo Casa Alvorada, bem como entre as dimensões das respectivas janelas e aquelas constantes nesse Código. A discussão a respeito é apresentada a seguir.

#### 8.2.2.1 Padrões para vãos de ventilação e iluminação

O artigo 91 do Código de Edificações de Santa Maria estabelece que a área total dos vãos voltados para o exterior, destinados à iluminação e à ventilação dos compartimentos, não deverá ser inferior a uma fração da área de piso, conforme se segue. Para a iluminação dos compartimentos de uma edificação de uso residencial, são estabelecidos vãos equivalentes a 1/6 da área do piso e, para ventilação, a 1/12 do piso.

Realizando a comparação com os vãos do protótipo, obtém-se:

##### **Dormitório da frente (janelas na face norte)**

Dimensões da janela inferior 1,13 m x 1,13 m

Área = 1,27 m<sup>2</sup>

Dimensões da janela superior 1,47 m x 0,43 m

Área = 0,63 m<sup>2</sup>

Área total, superior + inferior = 1,90 m<sup>2</sup>

Área exigida pelo Código de Edificações: 1/6 da área do piso (8,10 m<sup>2</sup>)

Área exigida = 1,35 m<sup>2</sup>

**Portanto, (1,90 m<sup>2</sup> > 1,35 m<sup>2</sup>) satisfaz o Código de Edificações de Santa Maria.**

##### **Dormitório dos fundos (janela na face leste)**

Dimensões da janela 1,07 m x 1,12 m

Área = 1,19 m<sup>2</sup>

Área exigida pelo Código de Edificações: 1/6 da área do piso de 8,10 m<sup>2</sup>

Área exigida =  $1,35 \text{ m}^2$

**Portanto, ( $1,19 \text{ m}^2 < 1,35 \text{ m}^2$ ) não satisfaz o Código de Edificações de Santa Maria.**

### **Sala de estar e cozinha (janelas nas faces norte e oeste)**

Dimensões da janela inferior  $1,13 \text{ m} \times 1,13 \text{ m}$

Área =  $1,27 \text{ m}^2$

Dimensões da janela superior  $1,47 \text{ m} \times 0,43 \text{ m}$

Área =  $0,63 \text{ m}^2$

Dimensões da janela da cozinha  $1,09 \text{ m} \times 0,88 \text{ m}$

Área =  $0,95 \text{ m}^2$

Área total, inferior + superior + cozinha =  $2,85 \text{ m}^2$

Área exigida pelo Código de Edificações: 1/6 da área do piso de  $15,90 \text{ m}^2$

Área exigida =  $2,65 \text{ m}^2$

**Portanto, ( $2,85 \text{ m}^2 > 2,65 \text{ m}^2$ ) satisfaz o Código de Edificações de Santa Maria.**

### **Banheiro (janela na face oeste)**

Dimensões da janela inferior  $0,75 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}$

Área =  $0,26 \text{ m}^2$

Área exigida pelo Código de Edificações: 1/12 da área do piso de  $4,52 \text{ m}^2$

Área exigida =  $0,37 \text{ m}^2$

**Portanto, ( $0,26 \text{ m}^2 < 0,37 \text{ m}^2$ ) não satisfaz o Código de Edificações de Santa Maria.**

Segundo o Código de Edificações da Cidade de Pelotas, a área mínima exigida para esse tipo de ambiente deve ser de  $0,40 \text{ m}^2$ . Dessa forma, as dimensões dessa abertura deveriam ser aumentadas para satisfazer as condições mínimas exigidas pelos Códigos de Edificações.

Outras exigências, em relação aos dispositivos de iluminação e ventilação natural, são a colocação de dispositivos de proteção térmica e luminosa nos compartimentos principais, quando com área superior a 40% da parede onde estiverem localizados e, obrigatoriamente, nos espaços destinados a dormitórios.

Na habitação analisada, essa exigência não se faz necessária, uma vez que a dimensão dos vãos são inferiores a 40% da dimensão das paredes. No entanto, deve-se considerar, também, que apenas o dormitório dos fundos está equipado com veneziana para proteção térmica e luminosa. No dormitório da frente, as janelas não possuem proteção efetiva, satisfazendo apenas parcialmente a exigência do Código de Edificações.

Com relação ao posicionamento das vergas dos vãos, o Código estabelece uma altura máxima de 1/7 do pé-direito. Nesse caso, todas as vergas, com exceção das aberturas superiores, estão em desacordo com o Código. No caso do protótipo, em que o pé-direito tem altura variável, crescente, as aberturas deveriam ter altura superior às dimensões mínimas exigidas para iluminação e ventilação. O objetivo maior no posicionamento da verga é a possibilidade de melhor ventilação das partes altas do compartimento. Essa alternativa está presente no projeto do

protótipo, pois a diferença de pé-direito e a colocação de aberturas na parte mais elevada da parede frontal tinham como objetivo proporcionar uma ventilação mais eficiente.

#### 8.2.2.2 Considerações finais sobre a avaliação das dimensões das esquadrias do protótipo Casa Alvorada

As dimensões mínimas exigidas pelo Código de Edificações de Santa Maria não resultam de estudos locais mais acurados. Nesse sentido, é sabido que grande parte dos Códigos de Edificações de nossos municípios são resultados de cópias de outros Códigos, não estando embasados em pesquisa do ambiente e em especificidades locais.

Deve-se assinalar, também, que o protótipo não teve estudos mais aprofundados no dimensionamento das aberturas externas e buscou se adequar às dimensões oferecidas por um dos poucos fabricantes de esquadrias que utilizava madeiras de reflorestamento no Rio Grande do Sul (uma das estratégias perseguidas na construção do PCA). Isso acabou determinando uma configuração que prejudica a eficiência de iluminação e ventilação.

#### 8.2.3 Incidência de radiação solar direta e condições de sombreamento das superfícies externas da edificação

A análise de incidência da radiação solar direta e condições de sombreamento das diferentes superfícies da edificação foi realizada (MORELLO; BEVILACQUA; GRIGOLETTI, 2004) a partir de dados obtidos com simulação, através do programa Luz do Sol. O

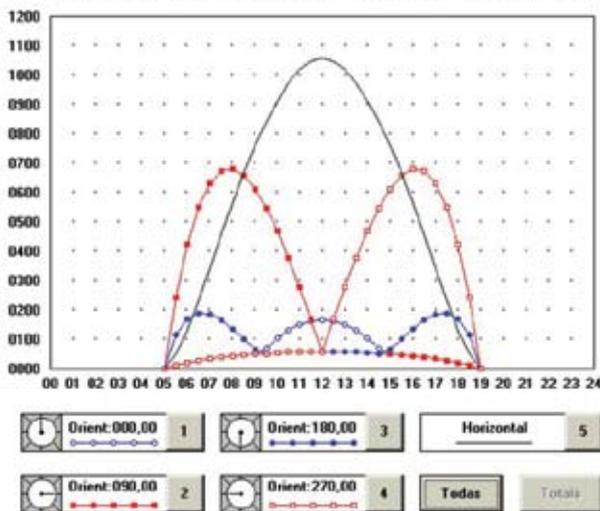
programa Luz do Sol gera gráficos com radiações solares diretas horárias e tabelas com tais dados, para cada uma das quatro orientações, para datas escolhidas a partir da latitude do local. Os mesmos autores criaram uma maquete tridimensional do protótipo, através dos programas AutoCAD 14 e 3DStudio R4. Após, os modelos foram exportados para o programa SketchUp, no qual foram realizadas as simulações para a verificação do sombreamento de aberturas e fachadas da edificação, em diferentes épocas do ano e horários do dia, com o objetivo de verificar a eficiência dos elementos projetados para esse fim (beirais, pergolados, etc.).

Foram simuladas quatro datas: solstícios de verão e inverno (21 de dezembro e 21 de junho), equinócios de primavera e outono (21 de setembro e 21 de março), para a latitude de Porto Alegre (aproximadamente 30° sul). As simulações foram realizadas considerando dias de céu claro e para as quatro orientações - norte, leste, sul e oeste - e planos horizontais, correspondentes às orientações dos fechamentos laterais e cobertura, da edificação analisada. São apresentados, a seguir, os resultados dessas simulações bem como comentários e observações a respeito de cada uma.

##### 8.2.3.1 Condições de insolação e sombreamento no protótipo para o solstício de verão

A Figura 195 mostra a radiação solar ou energia radiante incidente sobre as quatro orientações de paredes da edificação e para o plano horizontal, em diferentes horários do dia, para o solstício de verão (21 de dezembro). Na Tabela, “0” corresponde ao norte, “90” corresponde ao leste, e assim sucessivamente.

Radiação Solar (Wh/m²) - Latitude:- 30,00 Nebulosidade: 00,0 Dia:21 Dez



Radiação Solar (Wh/m²) - Latitude:- 30,00 Nebulosidade: 00,0 Dia:21 Dez							
	0	90	180	270	COB	TOTAL	
05,03	0	0	0	0	0	0	0
05,53	12	243	114	12	51	432	
06,03	21	424	171	21	132	768	
06,53	28	551	190	28	233	1029	
07,02	34	632	184	34	344	1228	
07,52	39	673	164	39	457	1371	
08,02	43	679	134	43	567	1466	
08,52	46	657	100	46	669	1518	
09,01	49	611	66	49	761	1536	
09,51	70	546	52	52	842	1562	
10,01	102	468	54	54	913	1592	
10,51	129	378	56	56	972	1591	
11,00	150	278	57	57	1018	1561	
11,50	162	171	58	58	1047	1497	
12,00	167	59	59	59	1058	1400	
12,50	162	58	58	171	1047	1497	
13,00	150	57	57	278	1018	1561	
13,49	129	56	56	378	972	1591	
13,99	102	54	54	468	913	1592	
14,49	70	52	52	546	842	1562	
14,99	49	49	66	611	761	1536	
15,48	46	46	100	657	669	1518	
15,98	43	43	134	679	567	1466	
16,48	39	39	164	673	457	1371	
16,98	34	34	184	632	344	1228	
17,47	28	28	190	551	233	1029	
17,97	21	21	171	424	132	768	
18,47	12	12	114	243	51	432	
18,97	0	0	0	0	0	0	

Figura 195 – Valores de radiação solar, em Wh/m², segundo o programa Luz do Dia, para as quatro orientações, para a data de 21 de dezembro

A Figura 195, à esquerda, mostra os dados em forma de gráfico. Dos dados apresentados, observa-se que a maior incidência de irradiação, no dia de 21 de dezembro, extensível aos meses quentes do ano (dezembro a março, incluindo o dia 21 de março, cujos resultados são mostrados adiante), ocorre sobre os planos verticais orientados a leste e oeste, nos períodos manhã e tarde, respectivamente, e sobre o plano horizontal. Na figura, “000,00” corresponde ao Norte, “090,00” corresponde ao leste, e assim sucessivamente.

### Comentários

**Ganhos térmicos** - O controle do ganho térmico pelas paredes da edificação foi parcialmente contemplado através do sombreamento da parede

oeste, com o uso de pérgola, com vegetação de folhas caducas e com a orientação das águas da cobertura a norte e sul, com a maior delas orientada para o sul. O uso de pérgola com vegetação de folhas caducas poderia ser estendido, também, à fachada leste (quando houver espaço para tal), que contém as paredes dos dormitórios, uma vez que tais ambientes podem ser usados pela manhã. O fato de haver incidência de radiação solar direta sobre tais fechamentos pode tornar o uso de tais compartimentos desconfortáveis no período de verão.

**Iluminação natural** - Do ponto de vista da iluminação natural, a fachada norte será a que melhor contribuição trará para a captação da luz, permitindo, ainda, um fácil controle da incidência direta do

sol, se forem acrescentados elementos horizontais apostos à fachada. Tais controles permitiriam que ambientes orientados para o norte possam ter múltiplas funções, tais como descanso, leitura, atividades manuais, etc. Já as fachadas leste e oeste exigirão o uso de proteções verticais, paralelas à fachada, nos períodos da manhã e tarde, respectivamente, para o controle de ganhos térmicos, o que influenciará negativamente na disponibilidade de luz natural no interior da edificação. A fachada sul, por estar voltada para uma orientação onde a distribuição de luz natural é a mais uniforme no decorrer do dia, adapta-se bem a atividades que exijam disponibilidade de luz natural, sem incidência direta do sol, na maior parte do dia, tais como atividades de leitura e trabalhos manuais. No entanto, tal orientação pode gerar desconforto térmico no período de inverno, por ser a orientação de onde provém os ventos frios dessa estação (UBER, 1992, p. 84).

Na Figura 196 são apresentadas as imagens do protótipo Casa Alvorada, geradas pelo programa SketchUp, para o solstício de verão em Porto Alegre.

Observa-se que o sol nasce a sudeste e se põe a sudoeste. Dessa forma, a fachada norte recebe insolação somente a partir das 10h00 da manhã. Percebe-se, também, que os beirais de 80 cm sombreiam praticamente toda a superfície da parede norte e, por conseguinte, suas esquadrias. Esse resultado já era esperado, visto que os beirais foram dimensionados para impedir a incidência direta de raios solares, no período de verão.

A única janela do protótipo Casa Alvorada voltada para leste está localizada no dormitório dos fundos e possui venezianas para o controle da incidência solar.

Entretanto, durante o verão, caberá ao usuário do protótipo controlar esse mecanismo, de forma a permitir a entrada de um mínimo de iluminação, bloqueando a entrada de radiação solar no período da manhã.

A janela da fachada oeste recebe a maior parte da radiação solar do período da tarde. O pergolado, sem as parreiras, não representa um elemento de sombreamento efetivo, devido à sua esbelteza.

A fachada sul recebe insolação até às 9h00, durante o período da manhã, e das 16h00 em diante, no período da tarde. No entanto, como não existem janelas voltadas para essa orientação não se faz necessária a adoção de elementos de sombreamento.

### 8.2.3.2 Condições de insolação e sombreamento no protótipo para o solstício de inverno

A Figura 197 mostra a radiação solar incidente sobre as paredes da edificação, para cada uma das quatro orientações, em diferentes horários do dia, para o **solstício de inverno** (21 de junho).

#### Comentários

**Ganhos térmicos** - Para a situação simulada, que representa o período do ano mais frio (entre abril e setembro aproximadamente, incluindo o dia 21 de setembro, cujos resultados são mostrados ao final), verifica-se que a maior incidência de radiação ocorre sobre as superfícies voltadas para norte e sobre a horizontal. Neste período, é desejável a captação da radiação solar, para proporcionar o aquecimento interno da edificação. Aberturas maiores para a orientação norte, com possibilidade de sombreamento no verão (o que pode ser facilmente conseguido através do bei-

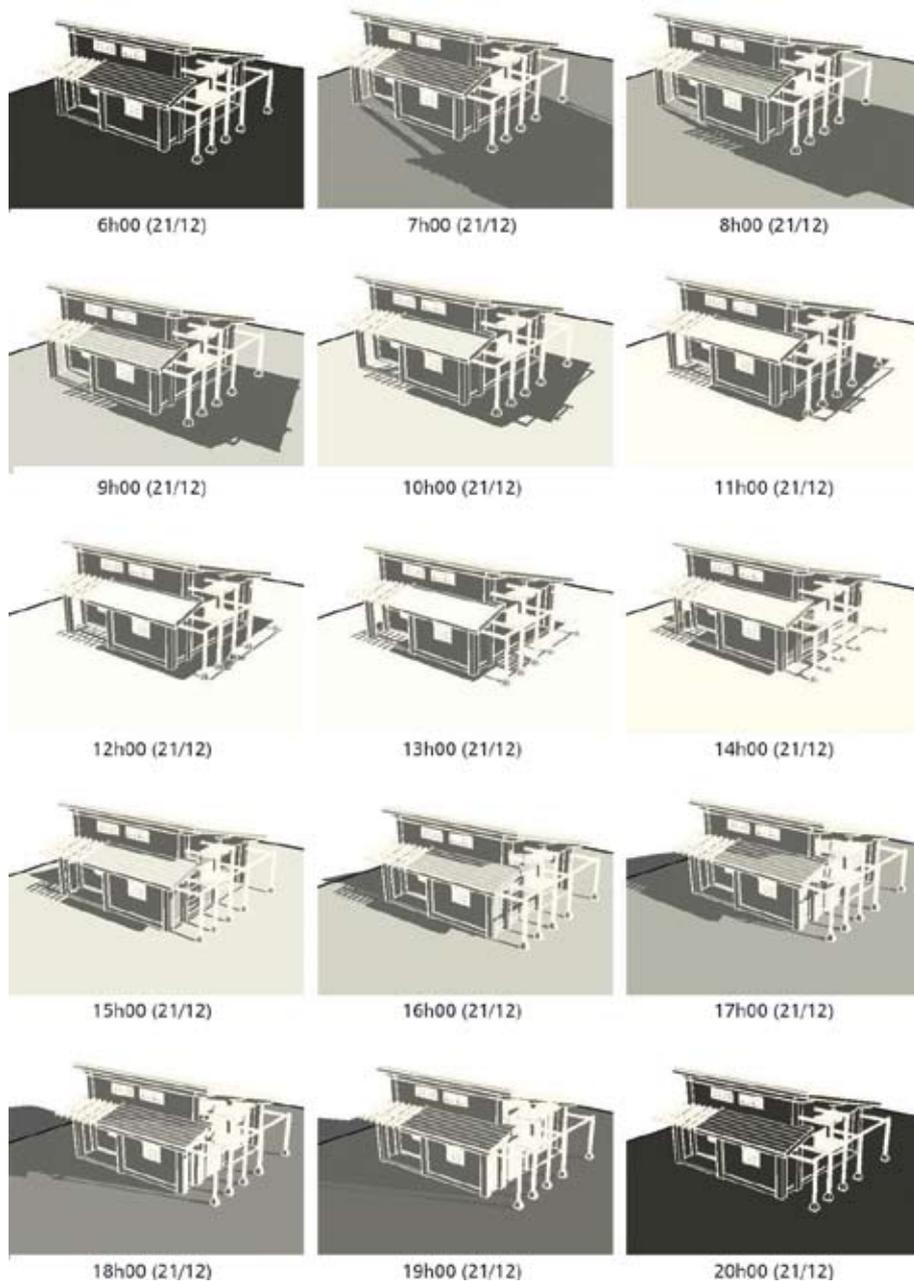
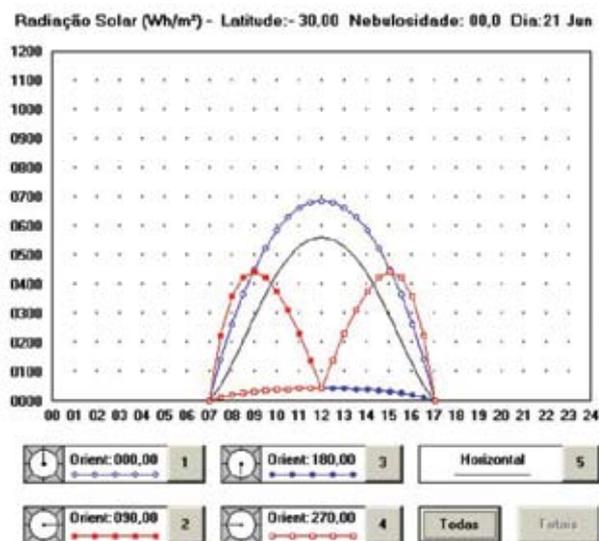


Figura 196 – Simulação do sombreamento das fachadas no protótipo (21/12)



Radiação Solar (Wh/m²) - Latitude: -30,00 Nebulosidade: 00,0 Dia: 21 Jun						
	0	90	180	270	COB	TOTAL
06,97	0	0	0	0	0	0
07,47	141	224	12	12	49	438
07,97	261	356	20	20	122	779
08,48	364	423	26	26	205	1045
08,98	451	442	31	31	289	1244
09,48	525	424	35	35	367	1385
09,99	584	378	38	38	435	1472
10,49	629	311	40	40	490	1509
10,99	661	229	41	41	530	1503
11,50	680	138	42	42	554	1457
12,00	686	43	43	43	563	1377
12,50	680	42	42	138	554	1457
13,01	661	41	41	229	530	1503
13,51	629	40	40	311	490	1509
14,01	584	38	38	378	435	1472
14,52	525	35	35	424	367	1385
15,02	451	31	31	442	289	1244
15,52	364	26	26	423	205	1045
16,03	261	20	20	356	122	779
16,53	141	12	12	224	49	438
17,03	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>9277</b>	<b>3254</b>	<b>613</b>	<b>3254</b>	<b>6644</b>	<b>23042</b>

Figura 197 – Valores de radiação solar, em Wh/m², nas quatro orientações, em 21 de junho

ral da cobertura) e com possibilidade de fechamento ou obscurecimento à noite (com o uso de gelsias, venezianas, etc.), para evitar perdas neste período do dia, contribuiriam para o bom desempenho da edificação, no que diz respeito a aspectos térmicos.

**Iluminação natural** - Em relação à iluminação natural, nota-se, novamente, que a fachada sul é a que menos recebe radiação solar direta, tornando esta fachada fria, porém adequada para o desenvolvimento de tarefas visuais, que exijam uniformidade de iluminação no decorrer do dia. Já as fachadas leste e oeste, da mesma forma que para condições de verão, serão banhadas pelo sol, na parte da manhã e na parte da tarde, respectivamente. Isso faz com que o interior de ambientes com aberturas voltadas para tais fachadas recebam luz direta do sol, o que, a depender das atividades a serem desen-

volvidas no interior de tais compartimentos, poderá não ser confortável.

Na Figura 198, podem ser visualizadas as imagens geradas para o solstício de inverno em Porto Alegre, com a fachada frontal voltada para o norte. As vistas apresentadas mostram as fachadas norte e oeste. Deve-se ressaltar que não foram consideradas as obstruções externas existentes no terreno da implantação (árvores ou outras edificações), podendo estas se constituir em significativos elementos de sombreamento das fachadas.

Nas imagens da Figura 198 é possível verificar que, para o solstício de inverno, o período de insolação das janelas localizadas na fachada norte inicia-se entre as 7h00 e as 8h00 da manhã e se prolonga até pouco antes das 18h00. Durante a tarde, a janela da sala/cozinha passa a receber insolação a partir das

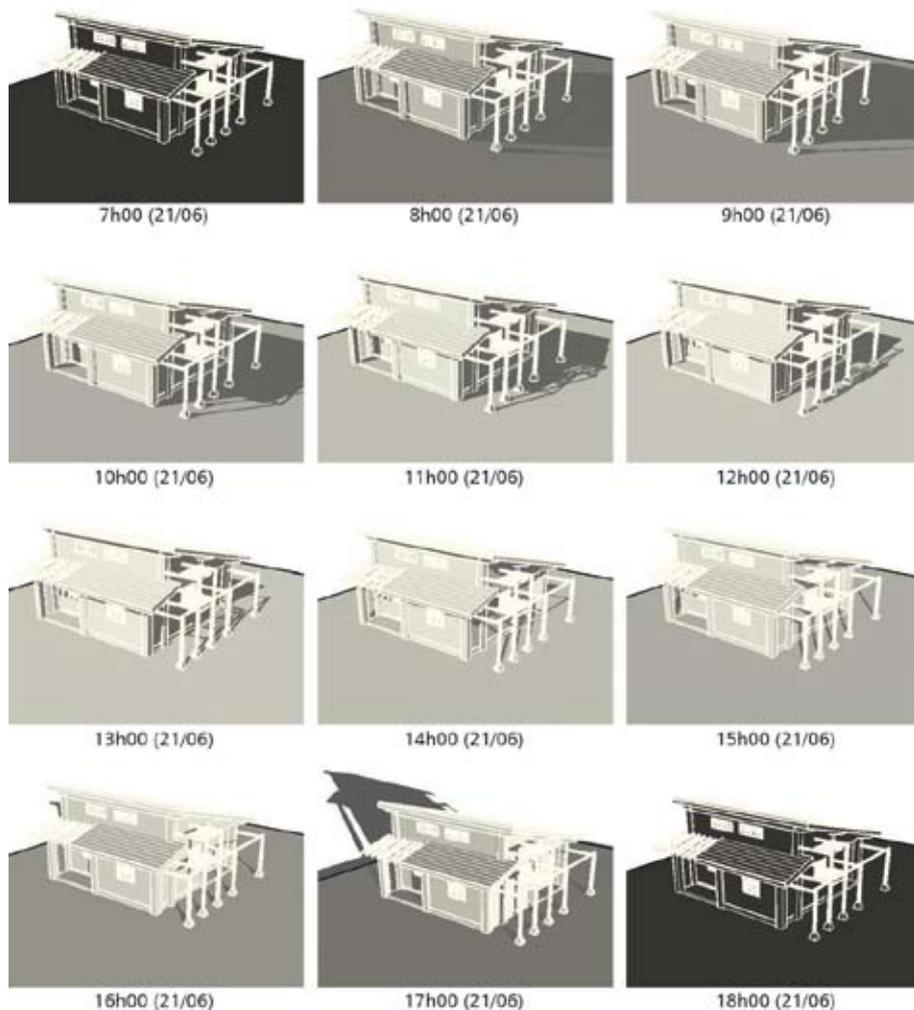
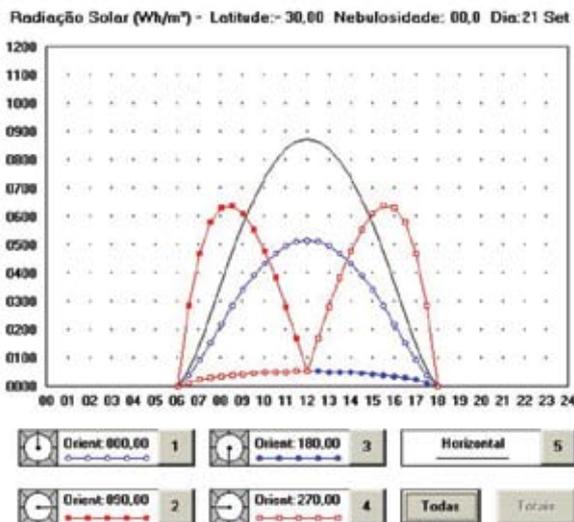


Figura 198 – Simulação do sombreamento das fachadas no protótipo (dia 21/06)

13h00 e fica apenas parcialmente sombreada pelo pergolado de troncos da fachada oeste.

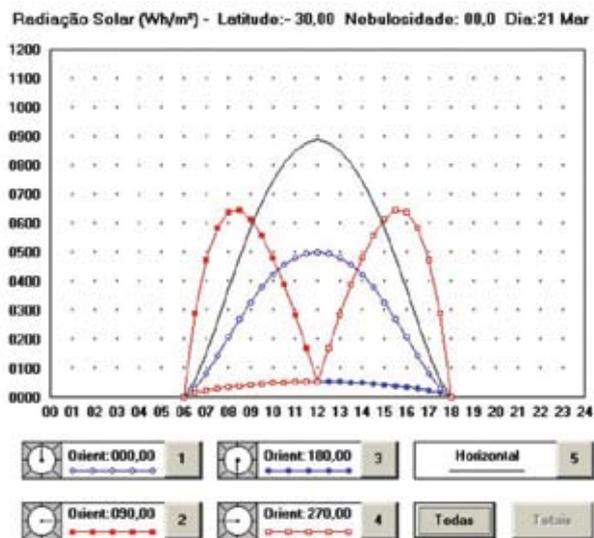
Para o período de inverno, considerou-se como característica desejável a entrada de sol pelas superfícies envidraçadas da construção. Com isso, podem ser obtidos ganhos térmicos durante

a estação mais fria do ano. No entanto, o dormitório da frente começa a receber insolação antes das 8h00, representando um inconveniente para os usuários em dias nos quais se deseja despertar mais tarde (essa situação irá se repetir em todas as outras simulações).



Radiação Solar (Wh/m <sup>2</sup> ) - Latitude:- 30,00 Nebulosidade: 00,0 Dia:21 Mar							
	0	90	180	270	COB	TOTAL	▲
06,00	0	0	0	0	0	0	0
06,50	31	288	13	13	58	404	
07,00	82	474	22	22	150	751	
07,50	143	585	29	29	258	1045	
08,00	208	638	35	35	372	1287	
08,50	270	645	40	40	482	1477	
09,00	328	617	43	43	583	1615	
09,50	379	560	46	46	672	1703	
10,00	422	481	49	49	747	1748	
10,50	456	388	51	51	807	1752	
11,00	481	283	52	52	850	1719	
11,50	496	170	53	53	878	1650	
12,00	502	53	53	53	887	1548	
12,50	496	53	53	170	878	1650	
13,00	481	52	52	283	850	1719	
13,50	456	51	51	388	807	1752	
14,00	422	49	49	481	747	1748	
14,50	379	46	46	560	672	1703	
15,00	328	43	43	617	583	1615	
15,50	270	40	40	645	482	1477	
16,00	208	35	35	638	372	1287	
16,50	143	29	29	585	258	1045	
17,00	82	22	22	474	150	751	
17,50	31	13	13	288	58	404	
18,00	0	0	0	0	0	0	
<b>TOTAL</b>	<b>7095</b>	<b>5617</b>	<b>921</b>	<b>5617</b>	<b>12600</b>	<b>31850</b>	

Figura 199 – Gráfico mostrando os valores de radiação solar, em Wh/m<sup>2</sup>, para as quatro orientações, para a data de 21 de março



Radiação Solar (Wh/m <sup>2</sup> ) - Latitude:- 30,00 Nebulosidade: 00,0 Dia:21 Set							
	0	90	180	270	COB	TOTAL	▲
06,04	0	0	0	0	0	0	0
06,54	37	286	13	13	58	407	
07,03	92	470	22	22	148	754	
07,53	155	580	29	29	255	1048	
08,03	221	632	35	35	367	1289	
08,52	284	639	39	39	475	1477	
09,02	343	610	43	43	575	1614	
09,52	394	554	46	46	663	1703	
10,01	436	477	48	48	737	1747	
10,51	470	384	50	50	795	1750	
11,01	495	280	52	52	839	1717	
11,50	510	169	53	53	865	1649	
12,00	516	53	53	53	874	1548	
12,50	510	53	53	169	865	1649	
12,99	495	52	52	280	839	1717	
13,49	470	50	50	384	795	1750	
13,99	436	48	48	477	737	1747	
14,48	394	46	46	554	663	1703	
14,98	343	43	43	610	575	1614	
15,48	284	39	39	639	475	1477	
15,97	221	35	35	632	367	1289	
16,47	155	29	29	580	255	1048	
16,97	92	22	22	470	148	754	
17,46	37	13	13	286	58	407	
17,96	0	0	0	0	0	0	
<b>TOTAL</b>	<b>7390</b>	<b>5564</b>	<b>915</b>	<b>5564</b>	<b>12426</b>	<b>31859</b>	

Figura 200 – Gráfico mostrando os valores de radiação solar, em Wh/m<sup>2</sup>, para as quatro orientações, para a data de 21 de setembro

### 8.2.3.3 Condições de insolação e sombreamento no protótipo para o equinócio

As demais figuras mostram a radiação solar ou energia radiante incidente sobre as paredes da edificação, para cada uma das quatro orientações, em diferentes horários do dia, para os equinócios de outo-

no (21 de março) e de primavera (21 de setembro).

Na Figura 201 são apresentadas as imagens geradas para o equinócio, a partir do mesmo ângulo da câmera da Figura 198. Assim como na simulação anterior, não foram consideradas as obstruções externas existentes no terreno da implantação.

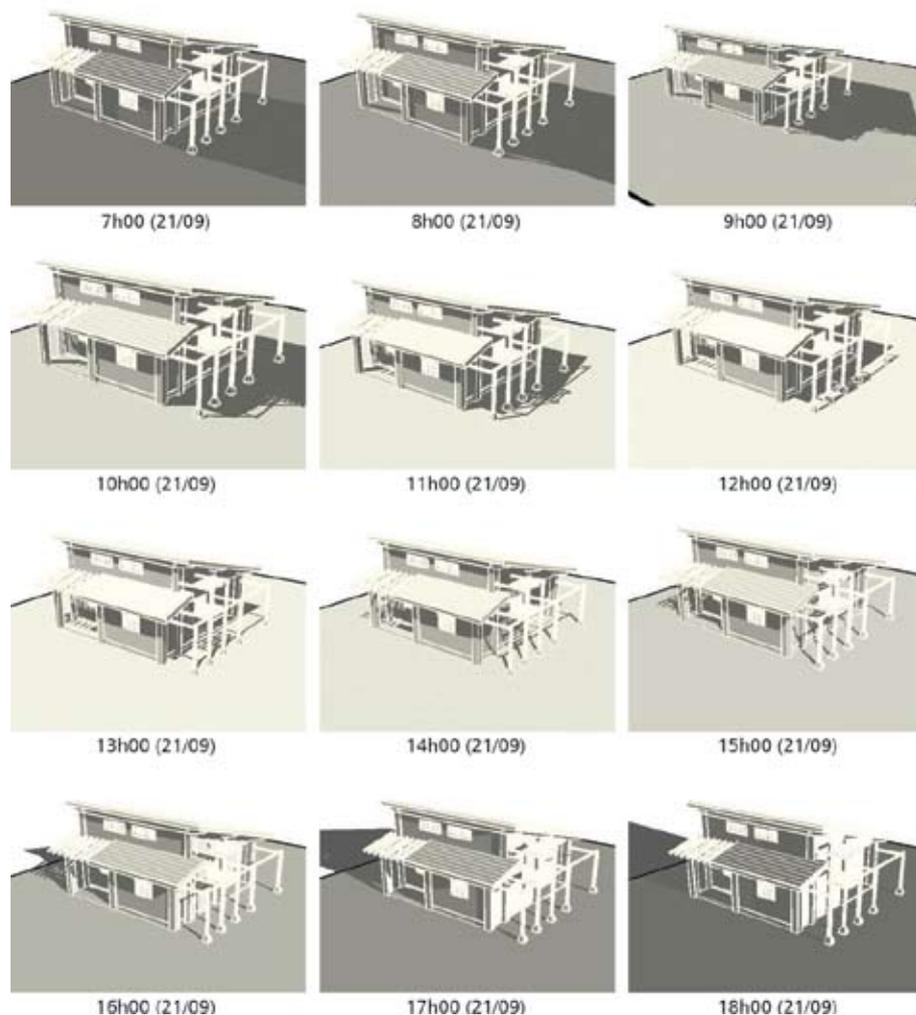


Figura 201 – Simulação do sombreamento das fachadas no protótipo (21/09)

Observa-se que aproximadamente 50% da superfície das janelas da fachada norte ficam sombreadas ao longo do dia. Entre as 17h00 e as 18h00, o sol passa a incidir quase que perpendicularmente à fachada oeste. Entre as 13h00 e as 14h00, a janela da sala/cozinha começa a receber insolação direta, sendo sombreada parcialmente pelo pergolado de troncos.

#### 8.2.3.4 Avaliação das condições de sombreamento das superfícies externas do protótipo Casa Alvorada

Considerações a respeito do estudo de sombreamento das esquadrias

##### Fachada norte

Durante o período do inverno as janelas recebem insolação direta, que alcança o seu maior valor no dia do solstício. No período do equinócio, as esquadrias ficam parcialmente sombreadas (praticamente 50% de sua superfície), o que demonstra que, no período subsequente, cada vez menos radiação solar entrará no interior do protótipo. O contrário acontece durante o solstício de verão, quando o sol alcança sua altura máxima e é totalmente obstruído pelo beiral. A partir desse dia, sua inclinação (altura) começa a diminuir, chegando ao equinócio do outono com as esquadrias parcialmente sombreadas, da mesma forma que no equinócio da primavera.

Uma alteração importante, que poderia ser introduzida no projeto do PCA, seria a de uma descontinuidade na inclinação do telhado, a partir do seu alinhamento com a superfície externa da parede norte, determinando o seu caimento para a parte

frontal da edificação. Isso resultaria em uma maior proteção da fachada norte, inclusive do próprio telhado, contra as intempéries. Essa mudança também poderia melhorar as condições de sombreamento das janelas altas, durante as estações da primavera e do outono.

##### Fachada leste

Ao longo do ano a esquadria localizada nesta fachada recebe insolação direta durante o período da manhã. O beiral não representa um elemento efetivo de sombreamento, visto que sua forma horizontal e posição elevada não são eficientes para barrar o sol, que está muito baixo no horizonte, durante essas horas do dia. Embora, a veneziana se mostre eficaz para barrar a radiação solar, pode representar um obstáculo à iluminação natural, principalmente no verão, quando o sol nasce ao sudeste e a janela deverá ficar praticamente fechada durante toda a manhã (se o objetivo for bloquear toda a radiação solar direta).

##### Fachada oeste

A janela posicionada nesta fachada não possui veneziana, o que pode representar um ganho indesejável de radiação solar no verão. O pergolado de troncos poderá se tornar mais efetivo em sua função de sombreamento desta fachada com o crescimento das parreiras. Sem as parreiras, essa abertura deverá se constituir em uma das principais responsáveis pelo ganho de calor no interior da edificação durante o verão.

#### Avaliação do sombreamento das fachadas no protótipo

Segundo Dutra (1994), se a proporção de área

envidraçada da parede externa voltada para norte for pequena (em torno de 25%), deve-se permitir o acesso do sol, garantindo **fatores solares** acima de 0,7 no inverno e menores ou iguais a 0,2 no verão. Como os fatores solares baixos pressupõem um alto índice de sombreamento, deve-se também equacionar a questão da necessidade lumínica do ambiente. Para evitar a insolação no período mais quente, sugere-se a adoção de um brise fixo horizontal, o qual resolve facilmente o problema. Com isso, durante o inverno, com o sol mais baixo, fica garantida a incidência solar no ambiente (e o ganho de calor através da radiação de onda curta entrante).

Para a fachada leste, Dutra (1994) sugere um fator solar entre 0,7 e 0,8, para proporções de abertura menores que 25% da parede. Dutra também sugere que seja evitada, sempre que possível, a distribuição de ambientes mais nobres para as fachadas oeste e que, talvez, a melhor solução de sombreamento para essa fachada sejam os brises móveis ou, então, o uso de árvores com folhas caducifólias.

Na fase de concepção do projeto do protótipo Casa Alvorada foram calculadas as dimensões dos beirais para sombrear as esquadrias da fachada norte durante o verão, e permitir a entrada de sol desejável no inverno. Também foi projetado um pergolado, junto à fachada oeste, para sombrear essa face da edificação durante as tardes do verão. Concomitante a isso foi previsto o plantio de trepadeiras caducifólias junto aos troncos do pergolado, para tornar mais efetivo o sombreamento no verão e permitir ganhos térmicos no inverno (parreiras).

## 8.2.4 Avaliação das condições de iluminação natural mediante simulações com o programa Daylight

Esse procedimento de avaliação de iluminação natural foi descrito em Morello, Bevilacqua e Grigoletti (2004), e empregou as estimativas do programa Daylight, o qual fornece, a partir da geometria do ambiente e dimensões e localização das aberturas, a distribuição de iluminâncias no interior do ambiente, apresentando o índice Fator de Luz do Dia. Este representa a percentagem disponível de iluminância naquele ponto medido em relação àquela disponível no exterior. Para fins de análise, considerou-se uma iluminância externa disponível de 10.000 lux.

A seguir, são apresentadas as simulações realizadas no programa *Daylight*, para cada um dos compartimentos do protótipo Casa Alvorada.

### 8.2.4.1 Banheiro

No banheiro do Protótipo Alvorada foram verificadas as piores condições de iluminação natural. Em qualquer hora do dia, faz-se necessário complementar o nível de iluminação com o uso de lâmpadas. Para a simulação foram adotados os valores apresentados no Quadro 31, a seguir.

Na Figura 202 pode-se verificar o resultado obtido com a simulação no programa Daylight para a distribuição da luminosidade nesse compartimento.

Dimensões do compartimento	1,60 m x 2,80 m
Dimensão da janela	0,75 x 0,35 / 1,75
Projeção do beiral	1,60 m
Fator de transmissão da janela	0,5 (devido aos caixilhos)
Refletância do forro	0,2 (madeira escura)
Refletância das paredes	0,4 (revestimento branco e cinza)
Fator de manutenção dos vidros	0,81 (vidro jateado e sujo)

Quadro 31 – Banheiro: valores utilizados na simulação com o programa Daylight



Figura 202 – Distribuição da iluminação natural no interior do banheiro

Percebe-se, pela observação dos contornos dos níveis de iluminação, que o valor máximo não ultrapassa 0,3% da iluminação externa. Esse valor é confirmado pelas medições efetuadas no dia 27 de outubro de 2003, quando foi registrado, para o ponto central do compartimento, não mais do que 10 lux.

O programa Daylight aponta os seguintes valores para as condições simuladas.

Essas condições se devem principalmente ao diminuto tamanho da janela, ao grande beiral formado pela reentrância da área de serviço e à baixa refletância do forro e das paredes.

Valor mínimo	0,06%
Valor máximo	0,27%
Média	0,14%
Uniformidade da iluminação*	0,43

\* A uniformidade é dada pela divisão do valor mínimo pela média

Quadro 32 – Resultados da simulação

Sabe-se que as esquadrias representam um custo significativo no cômputo geral dos materiais de construção utilizados em uma habitação de interesse social. Em função disso, na proposta de alteração do projeto, sugere-se um pequeno aumento na área da superfície da janela do banheiro, visto que esse compartimento foi o que demonstrou o pior desempenho sob esse aspecto. Mas, como principal alteração, para melhorar as condições de iluminação natural interna, propõe-se a pintura das superfícies das paredes e do forro com cores claras ou branco.

A partir dessas alterações, novamente foram simuladas as condições do novo projeto. Foram consideradas as seguintes dimensões e coeficientes para a simulação.

Na Figura 203 se verifica que, apesar dos percentuais de iluminação ainda não serem muito altos, houve uma melhora significativa na utilização da iluminação natural.

Dimensões do compartimento	1,20 m X 2,30 m
Dimensão da janela	0,80 X 0,50 / 1,60
Projeção do beiral	0,80 m
Fator de transmissão da janela	0,5 (devido aos caixilhos)
Refletância do forro	0,8 (madeira escura)
Refletância das paredes	0,6 (azulejo e reboco brancos)
Fator de manutenção dos vidros	0,81 (vidro jateado e sujo)

Quadro 33 – Banheiro: valores utilizados na nova simulação com o programa Daylight



Figura 203 – Simulação da distribuição da iluminação natural no interior do banheiro no projeto proposto

Os seguintes valores foram registrados pelo programa.

Nota-se que tanto o valor mínimo como a média tiveram seus valores quintuplicados, fazendo com que a uniformidade permanecesse inalterada.

Valor mínimo	0,30%
Valor máximo	1,13%
Média	0,71%
Uniformidade da iluminação	0,43

Quadro 34 – Resultados da nova simulação

#### 8.2.4.2 Dormitório dos fundos

Na Figura 204 pode-se verificar o resultado obtido com a simulação no programa Daylight para a distribuição da luminosidade no dormitório dos fundos.

Para a simulação foram adotados os valores apresentados abaixo.

Dimensões do compartimento	3,00 m x 2,70 m
Dimensão da janela	1,07 x 1,12 / 0,98
Projeção do beiral	0,80 m
Fator de transmissão da janela	0,5 (devido aos caixilhos)
Refletância do forro	0,2 (madeira escura)
Refletância das paredes	0,2 (revestimento de tijolos maciços escuros e reboco cinza)
Fator de manutenção dos vidros	0,9 (vidro sem limpeza)

Quadro 35 – Banheiro: valores utilizados na simulação com o programa Daylight

Observando a Figura 204, percebe-se que em determinados pontos do ambiente existe pouca luminosidade. Isso é verificado também pelos dados numéricos registrados pelo programa.

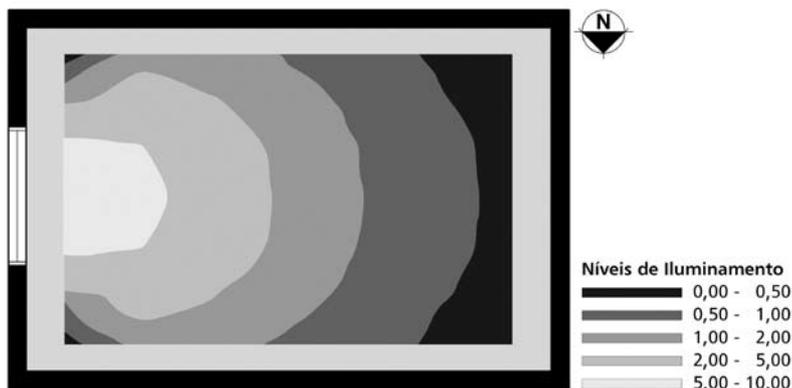


Figura 204 – Simulação da distribuição da iluminação natural no interior do dormitório dos fundos atual

Valor mínimo	0,18%
Valor máximo	7,49%
Média	1,67%
Uniformidade da iluminação	0,10

Quadro 36 – Resultados da simulação

Para melhorar as condições de luminosidade optou-se por sugerir o aumento da refletância das paredes através da pintura delas com a cor branca. Também se sugeriu a adoção de esquadrias com um fator de caixilho menor (mesmo em madeira é possível chegar a 70% da superfície envidraçada). Além disso, para esse e para os demais compartimentos, buscou-se adotar no projeto novo as dimensões mínimas exigidas pelo Código de Edificações da Cidade de Santa

Maria (com a área de janela igual ou superior a 1/6 da área de piso). Com isso a janela do dormitório dos fundos, no novo projeto, passará a ter 1,20 m x 1,20 m (1,44 m<sup>2</sup> de área).

#### 8.2.4.3 Dormitório da frente (janela para norte)

Na Figura 205 pode-se verificar o resultado obtido com a simulação no programa Daylight para a distribuição da luminosidade no dormitório da frente.

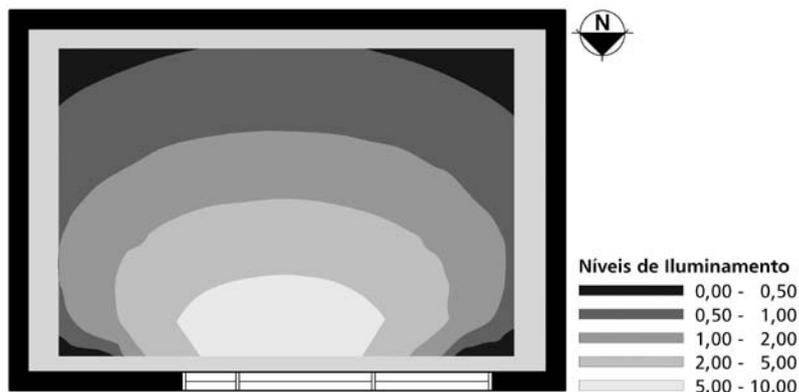


Figura 205 – Simulação da distribuição da iluminação natural no interior do dormitório da frente

Para a simulação foram adotados os valores abaixo.

Dimensões do compartimento	3,00 m x 2,70 m
Dimensão das janelas	1,13 x 1,13 / 0,96
	1,47 x 0,43 / 3,39
Projeção do beiral	0,80 m
Fator de transmissão da janela	0,5 (devido aos caixilhos)
Refletância do forro	0,2 (madeira escura)
Refletância das paredes	0,2 (revestimento de tijolos maciços escuros e reboco cinza)
Fator de manutenção dos vidros	0,9 (vidro sem limpeza)

280

Quadro 37 – Dormitório da frente: valores utilizados na simulação com o programa Daylight

Valor mínimo	0,15%
Valor máximo	8,34%
Média	1,72%
Uniformidade da iluminação	0,09

Observando a Figura 205, percebe-se que em determinados pontos do ambiente existe pouca luminosidade. Isso é verificado também pelos dados numéricos registrados pelo programa.

Quadro 38 – Valores fornecidos pelo programa Daylight para o dormitório da frente

#### 8.2.4.4 Sala/cozinha

Na Figura 206 pode-se verificar o resultado obtido com a simulação no programa Daylight para a distribuição da luminosidade na sala/cozinha atual. Foi necessário fazer duas simulações separadamente para esse compartimento devido à posição da janela alta.

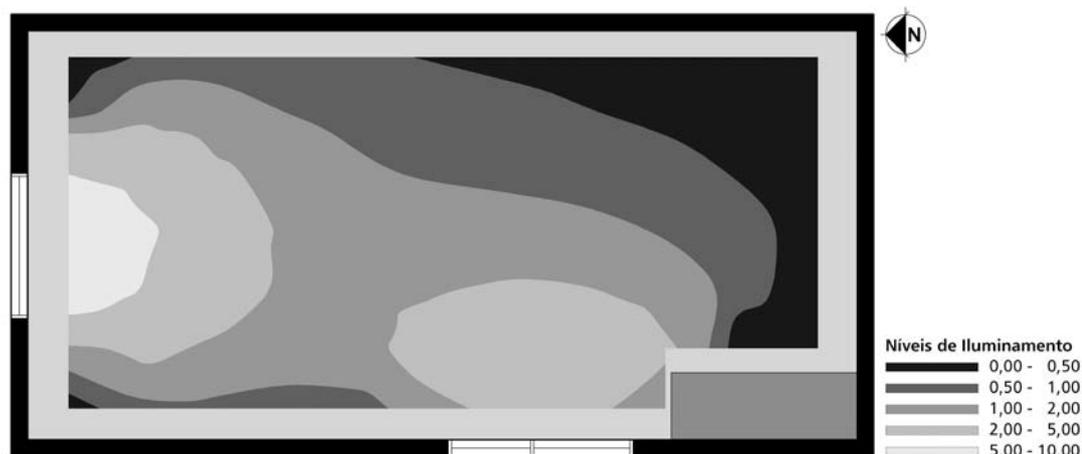


Figura 206 – Simulação da distribuição da iluminação natural no interior da sala/cozinha (somente janelas baixas)

Para as simulações 1 e 2 foram adotados os valores constantes no quadro que se segue.

Dimensões do compartimento	4,95 m x 3,35 m com uma obstrução
Dimensão das janelas	1,13 x 1,13 / 0,96 (norte)
	1,09 x 0,88 / 1,22 (oeste)
	1,47 x 0,43 / 3,39 (alta-norte)
Projeção dos Beirais	0,80 m
Fator de transmissão da janela	0,5 (devido aos caixilhos)
Refletância do forro	0,2 (madeira escura)
Refletância das paredes	0,2 (revestimento de tijolos maciços escuros)
Fator de manutenção dos vidros	0,9 (vidro sem limpeza)

Quadro 39 – Sala/cozinha: valores utilizados na simulação com o programa Daylight



Figura 207 – Simulação da distribuição da iluminação natural no interior da sala/cozinha (somente janela alta)

Observando as Figuras 206 e 207, percebe-se que em determinados pontos do ambiente existe pouca luminosidade. Observa-se que a janela alta contribui muito pouco para a iluminação do ambiente (não chega a 0,2% nos pontos de maior contribuição). Isso é facilmente verificado pelos dados numéricos registrados pelo programa.

Valores	Janelas baixas	Janela alta
Valor mínimo	0,12%	0,02%
Valor máximo	8,99%	0,18%
Média	1,54%	0,07%
Uniformidade da iluminação	0,08	0,26

Quadro 40 – Valores fornecidos pelo programa Daylight para a sala/cozinha

Segundo Szokolay (1980), a iluminância de uma superfície de várias fontes é a simples soma das iluminâncias produzidas por cada uma das fontes. Dessa forma, como no caso acima, podem ser soma-

das as contribuições das janelas baixas com a da janela alta (obviamente isso não vale para o percentual da média, nem para o índice de uniformidade).

#### 8.2.4.5 Considerações a respeito da iluminação natural

No projeto do PCA ocorrem muitas zonas escuras, em um patamar entre 1% e 2%. O aumento das dimensões das janelas poderia ser verificado em termos de custos, para tentar viabilizar a sua execução em futuras edificações similares. Especial atenção deve ser dada ao banheiro, onde foram verificados os piores resultados em relação à iluminação natural. A diminuição do fator de caixilho também poderá contribuir para aumentar os níveis de iluminação interna sem elevar o custo das esquadrias.

#### 8.2.5 Análise crítica qualitativa do projeto do protótipo Casa Alvorada

A seguir são apresentados e discutidos aspectos negativos observados através da análise qualitativa feita a partir de plantas, cortes, fachadas e obser-

vação *in loco* efetuada no protótipo construído no *campus* do Vale da UFRGS (MORELLO; BEVILACQUA; GRIGOLETTI, 2004).

#### 8.2.5.1 Ventilação

Através do estudo em planta e cortes verifica-se que a ventilação cruzada no protótipo não é efetiva, uma vez que as entradas e saídas de ar (janelas e portas) não permitem uma circulação entre as fachadas externas da edificação localizadas em paredes opostas, tendo presente que os ventos predominantes de verão em Porto Alegre vêm do quadrante leste/sudeste (UBER, 1992).

Com a mudança da porta da área de serviço, da face oeste da edificação para a face sul, haveria uma ventilação cruzada mais efetiva, admitindo-se que a entrada de ar ocorresse pela abertura do dormitório dos fundos e pela porta voltada a sul, e a saída de vento pela face voltada a norte e oeste.

A janela alta (dormitório e sala de estar/cozinha), cujo objetivo principal era o de proporcionar a exaustão do ar quente formado no interior do protótipo, não está cumprindo a função programada devido à dificuldade de operação da abertura.

#### 8.2.5.2 Iluminação natural

No atual projeto, não existe nenhum elemento de sombreamento e obscurecimento das esquadrias do dormitório da frente e sala/cozinha, havendo necessidade de serem acrescentados tais dispositivos nessas aberturas (venezianas iguais àquela adotada no dormitório dos fundos, por exemplo).

Verificou-se, no presente trabalho, que, em média, aproximadamente 50% da área da área nominal das aberturas instaladas no protótipo Alvorada é obstruída pelos caixilhos. O estudo de aberturas visa melhorar aspectos de ventilação e iluminação naturais, não contemplados pela tipologia adotada pelo projeto. Considerando-se esquadrias de madeira, seria possível chegar a valores em torno de 70% de vidro em relação à área total da esquadria, ou seja, mesmo que se privilegie a adoção de madeira para as esquadrias, é possível aumentar a área efetiva para iluminação.

Também foi identificado que os acabamentos (refletâncias) das superfícies internas não otimizam o aproveitamento da luz natural. Propõe-se o uso de cores claras para superfícies internas (paredes e forros) a fim de aproveitar melhor a luz natural. Esse procedimento pode ser feito diretamente sobre a alvenaria, dispensando o reboco, que poderia aumentar custos da construção do protótipo.

#### 8.2.5.3 Aspectos construtivos

Em relação à funcionalidade das aberturas superiores (janelas altas), estas são muito pequenas e com dificuldade de acionamento pelos usuários (difícil acesso para abertura e fechamento delas). Para uma situação em que não se construir o mezanino junto a essas janelas, propõe-se o uso de um sistema antigo de corrente e contrapeso, de fácil manuseio e manutenção por parte do usuário da edificação.

Na parte mais alta do telhado, ocorre um envelhecimento acelerado do fechamento norte do forro ventilado. Isso se dá devido à sua exposição ao sol durante todo o dia e à sua forma, que o torna vulnerável

ao escoamento da água da chuva. Sugere-se que o beiral não continue ascendendo, após passar pelo alinhamento da parede norte, mas que caia para a frente da edificação, protegendo um pouco mais a parede norte e, principalmente, suas esquadrias (Figura 208).

#### 8.2.5.4 Divisão dos compartimentos e fluxos

Em relação à divisão dos compartimentos e à posição de aberturas, o grande número de portas que abrem para o ambiente de estar e cozinha cria uma circulação perdulária, diminuindo a área útil do recinto. Alterações no posicionamento de tais portas poderiam otimizar o uso desse compartimento. Além disso, a excessiva área do banheiro acaba diminuindo a área da sala/cozinha. Embora o banheiro tenha sido projetado para permitir o acesso de uma cadeira de rodas, entende-se que tal situação é a exceção, e não a regra, constituindo uma alternativa para quando isso se fizer necessário.

Ainda fazendo uma análise do aproveitamento de áreas na edificação, nota-se que os alpendres frontal e lateral pouco contribuem para o conforto da residência, devido à sua pequena dimensão. No caso do alpendre frontal, além da pequena área, não é coberto, pouco contribuindo para o conforto do usuário que deseja usar esse espaço. Já o alpendre lateral, devido à sua pequena largura, torna desconfortável e mesmo impossibilita o uso do tanque destinado à lavagem de roupas. Uma proposta de alteração integraria tais áreas ao interior da edificação, criando um alpendre plugado na face norte da edificação. Com isso, a área interna passaria de 38 m<sup>2</sup> para 42 m<sup>2</sup>, permitindo a ampliação da área da sala/cozinha, além

de melhorar os fluxos e possibilidades de distribuição de mobiliário. Essa mudança contempla um dos principais anseios dos moradores do assentamento de Nova Hartz, onde foram construídas seis edificações baseadas no projeto arquitetônico do protótipo Alvorada (MORELLO et al., 2003).



Figura 208 – Visualização da nova proposta, com o deslocamento do alpendre lateral para a fachada norte e modificação no telhado

Outro aspecto negativo verificado foi o pé-direito elevado, que não é utilizado em todo o seu potencial. Alterações poderiam ser feitas explorando-se a possibilidade de uso do pé-direito duplo com um mezanino, para aumento da área útil da edificação (aproximadamente 12 m<sup>2</sup>). Duas propostas poderiam ser exploradas: uma com escada convencional passando pelo dormitório da frente; e outra com uma escada do tipo *Santos Dumont*, dentro da sala, com degraus alternados. Em ambas as situações, poderiam ser propostos usos para o espaço criado embaixo dessas escadas (estantes ou armários), evitando perdas demasiadas de superfície de piso com circulação vertical.

Verifica-se, também, que as paredes internas de alvenaria não permitem flexibilidade no uso dos

ambientes (perda de área útil interna devido à espessura das paredes). Para melhorar esse aspecto, poderiam ser utilizadas divisórias leves, que poderiam ser facilmente adaptadas segundo as necessidades dos usuários. Em um cálculo expedito, observou-se que a área de alvenaria seria reduzida em quase 14 m<sup>2</sup>, tornando desnecessária a construção de fundações sob as mesmas (já contabilizado o aumento de paredes externas em função do aumento da altura). Com isso, a área útil de piso interno aumentaria 1,08 m<sup>2</sup> (ganhar-se-ia a área necessária para a circulação em frente ao banheiro).

Outro aspecto pertinente seria a possibilidade de expansão da moradia, uma vez que essa é uma das necessidades mencionadas com maior frequência por parte dos moradores do assentamento de Nova Hartz (MORELLO et al., 2003). Para não se perderem as benesses proporcionadas pelas estratégias adotadas no projeto original, como o telhado ventilado e a orientação de sua superfície para o sul, poderia ser criada uma alternativa com a possibilidade de expansão para o fundo do lote.

## 8.3 O protótipo Casa Alvorada: a construção

### 8.3.1 A construção do protótipo

#### 8.3.1.1 Introdução

A construção do protótipo Casa Alvorada envolveu mais de 15 estudantes de pós-graduação e de graduação, além de professores, com vinculação permanente ou temporária ao NORIE. Um dos objetivos do envolvimento de alunos foi o de procurar

demonstrar a viabilidade de sua construção por mão-de-obra pouco qualificada, como provavelmente seria a dos futuros usuários, populações de baixa renda. A iniciativa de autoconstrução foi, inclusive, dos próprios alunos, que demonstraram entusiasmo em eles próprios construir o protótipo. Como poucos tinham experiência de obra – mesmo os que tinham, era apenas em aspectos particulares da construção –, programou-se um curso de qualificação para aqueles que se dispunham a participar. Foram feitos, inclusive, contatos com o Serviço Nacional de Aprendizado Industrial (SENAI/RS), particularmente ao seu setor ligado à construção civil, que qualifica jovens para trabalhar em construção civil, para ministrar o curso, buscando realizá-lo no próprio local onde seria erguido o protótipo. No entanto, como os recursos de que se dispunha eram escassos e haveria custos – não consideráveis, mas também não disponíveis para esse fim específico –, resolveu-se desenvolver um curso básico de qualificação com o auxílio de diversos professores da UFRGS, atuando na área de construção e geotecnia. Assim, a equipe disposta a se envolver na construção recebeu uma orientação específica, abrangendo conhecimentos sobre execução de fundações (que depois se revelaria de extrema importância diante das condições limitadas de suporte do solo local), materiais de construção e de gestão da construção.

Inicialmente, pensava-se que seria possível envolver os estudantes em quase todas as etapas de construção, que, estimava-se, requereria de quatro a seis meses, no máximo. No entanto, vários fatores contribuíram para que isso, depois, não viesse a se efetivar:

o tempo de negociações requerido, dentro da universidade, para obter um local onde erguer a edificação (foi necessária a formalização de um processo administrativo e várias etapas de negociação com o departamento usuário da área); as condições precárias do solo, demandando a execução de fundações especiais; a demora em contar com equipamentos de escavação, graciosamente cedidos pela prefeitura universitária; a época de início das obras (final de novembro), logo seguido de período de férias (e conseqüente diminuição da equipe de trabalho); e, a seguir, o envolvimento dos estudantes em atividades acadêmicas (em sua maioria, de pós-graduação), bastante demandantes de tempo. Isso resultou na contratação de um profissional (pedreiro) com experiência, a partir de fevereiro de 2002, para a execução de componentes específicos e para uma condução ininterrupta dos serviços de construção; e de um servente, a partir de maio de 2002. Uma estudante de ensino médio cujo pai era pedreiro e residente em uma vila próxima ao *campus* recebeu uma bolsa do projeto para apontar a movimentação

de materiais e mão-de-obra envolvida na obra e servir de intermediária entre a equipe de coordenação do projeto e a equipe de campo.

### 8.3.1.2 Ilustrações relativas ao desenvolvimento da construção

Tanto em razão da falta de recursos como pela indefinição quanto às soluções a serem encaminhadas quanto às instalações elétricas e hidráulicas (se convencional ou fotovoltaica, qual tipo de coletores solares para o aquecimento d'água, aproveitar ou não as águas de chuva no vaso sanitário e na irrigação), estas não haviam sido concluídas até o final de 2006. Tais instalações estavam sendo ultimadas no início de 2007 pela equipe do Laboratório de Energia Solar, da Engenharia Mecânica da UFRGS, responsável pela área onde foi construído o protótipo, para viabilizar o uso do protótipo por estudantes de pós-graduação desse laboratório.

A documentação fotográfica apresentada a seguir ilustra o histórico dos trabalhos no canteiro de obras, desde a marcação da obra até o estágio de conclusão do envelope da edificação.



Figura 209 – Marcação da obra, em 28/11/01



Figura 210 – Escavação das fundações, em 19/12/01



Figura 211 – Materiais reusados para as fundações (à esquerda, materiais descartados na substituição de pavimentos do *campus* Central da UFRGS: à direita, restos de demolição de construção preexistente ao lado do lote destinado ao protótipo), em 02/01/02

287



Figura 212 – Preparação do berço para as fundações, em 04/02/02



Figura 213 – Construção dos alicerces sobre o berço, em 02/03/02



Figura 214 – Execução das formas para as vigas de fundação, em 20/03/02

288



Figura 215 – Construção do piso, em 04/05/02



Figura 216 – Elevação das paredes, em 06/06/02



Figura 217 – Execução das vigas de coroamento das paredes, em 13/06/02



Figura 218 – Vigas de coroamento (telhado sul, inferior), em 14/06/02



Figura 219 – Execução das caixas de gordura e filtros, em 18/07/02



Figura 220 – Fachada norte (parte superior), com janelas superiores, em 18/07/02



Figura 221 – Edificação pela primeira vez coberta, em 31/10/02



Figura 222 – Vistas externas e internas, em 05/11/02



Figura 223 – Banheiro e seu revestimento (recebido em doação), em 05/11/02



Figura 224 – Detalhes construtivos do telhado, em 26/11/02

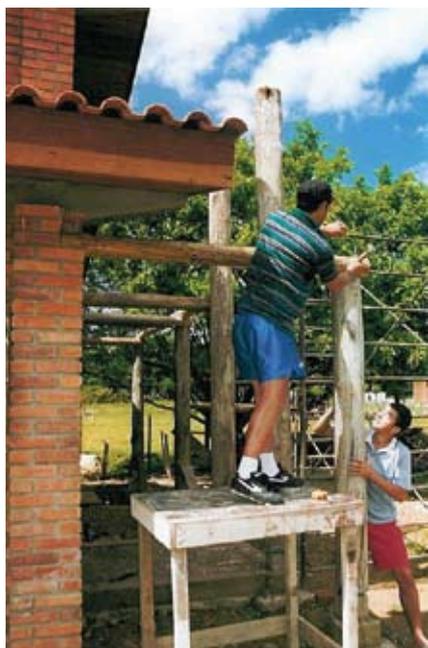


Figura 225 – Pergolado em construção, em 15/12/02



Figura 226 – Protótipo com janelas instaladas, em 28/01/03



Figura 227 – Protótipo em detalhes, em 15/04/03

## 8.3.2 Implantação de um sistema modular de gestão de águas residuárias

### 8.3.2.1 Introdução

Em uma dissertação de mestrado desenvolvida no NORIE (ERCOLE, 2002), são apresentados vários exemplos de aplicação de um sistema de tratamento de águas residuárias proposto pelo seu autor. Um desses sistemas foi implantado junto ao protótipo Casa Alvorada.



Figura 228 – Implantação do sistema de tratamento de águas residuárias do protótipo Casa Alvorada (vista a partir do leito de evapotranspiração, em execução)

### 8.3.2.2 Descrição ilustrada do sistema modular implantado junto ao protótipo

O sistema modular implantado junto ao protótipo propõe a separação das águas cinzas e negras, um leito de evapotranspiração (também conhecido como canteiro de evapotranspiração ou leito de raízes ou *reed bed*) e, complementarmente, um espelho

d'água, para polimento do efluente final.

Todas as tubulações do sistema de tratamento de águas residuárias são de cerâmica (evitam o uso de PVC). As caixas de passagem e caixas sifonadas também são de alvenaria de tijolos cerâmicos, revestidos com argamassa de cimento e areia (Figura 229). Dentro do mesmo espírito, os sifões dessas caixas foram executados com tubulações cerâmicas, convenientemente cortadas e unidas com argamassa de cimento e areia (Figura 229).

As águas cinzas (da cozinha, área de serviço e banheiro - chuveiro e lavabo) passam por decantadores (Figuras 229 e 230) e caixa de mistura dos efluentes cinzas (águas cinzas), antes de se combinarem com o efluente do vaso sanitário (águas negras), preliminarmente tratado no reator anaeróbico.

O reator para o protótipo, em fase de construção, está detalhado nas Figuras 232 e 233, tendo sido dimensionado para uma família de até cinco pessoas. Na Figura 231, observa-se o compartilhamento das paredes dos equipamentos, em uma proposta alternativa (não implementada no protótipo), que buscava a redução de seu custo.

As paredes do reator foram executadas com tijolos cerâmicos maciços, revestidos com argamassa de cimento e areia. O fundo é de concreto, com espessura de 5 cm. A cobertura, ou tampa do reator, é feita com laje de concreto pré-moldado, com tampas para limpeza de concreto armado, com malha de aço de bitola de 4,2 mm, com espaçamento de 50 mm. Essas tampas têm dimensão de 0,30 m x 0,30 m e espessura de 5 cm. Todas as conexões desse reator são compostas de tubulações de cerâmica.



Figura 229 – Sifão (à esquerda) e decantadores do sistema de tratamento

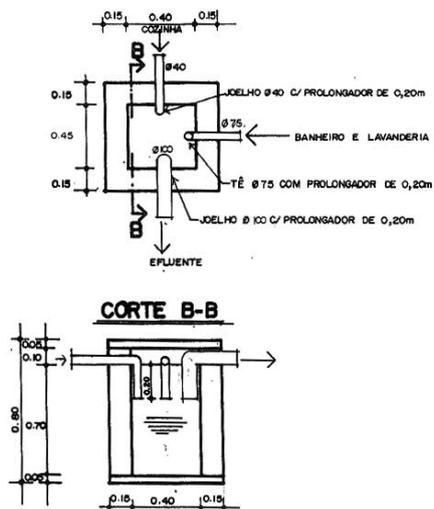


Figura 230 – Modelo de decantador utilizado no protótipo Casa Alvorada

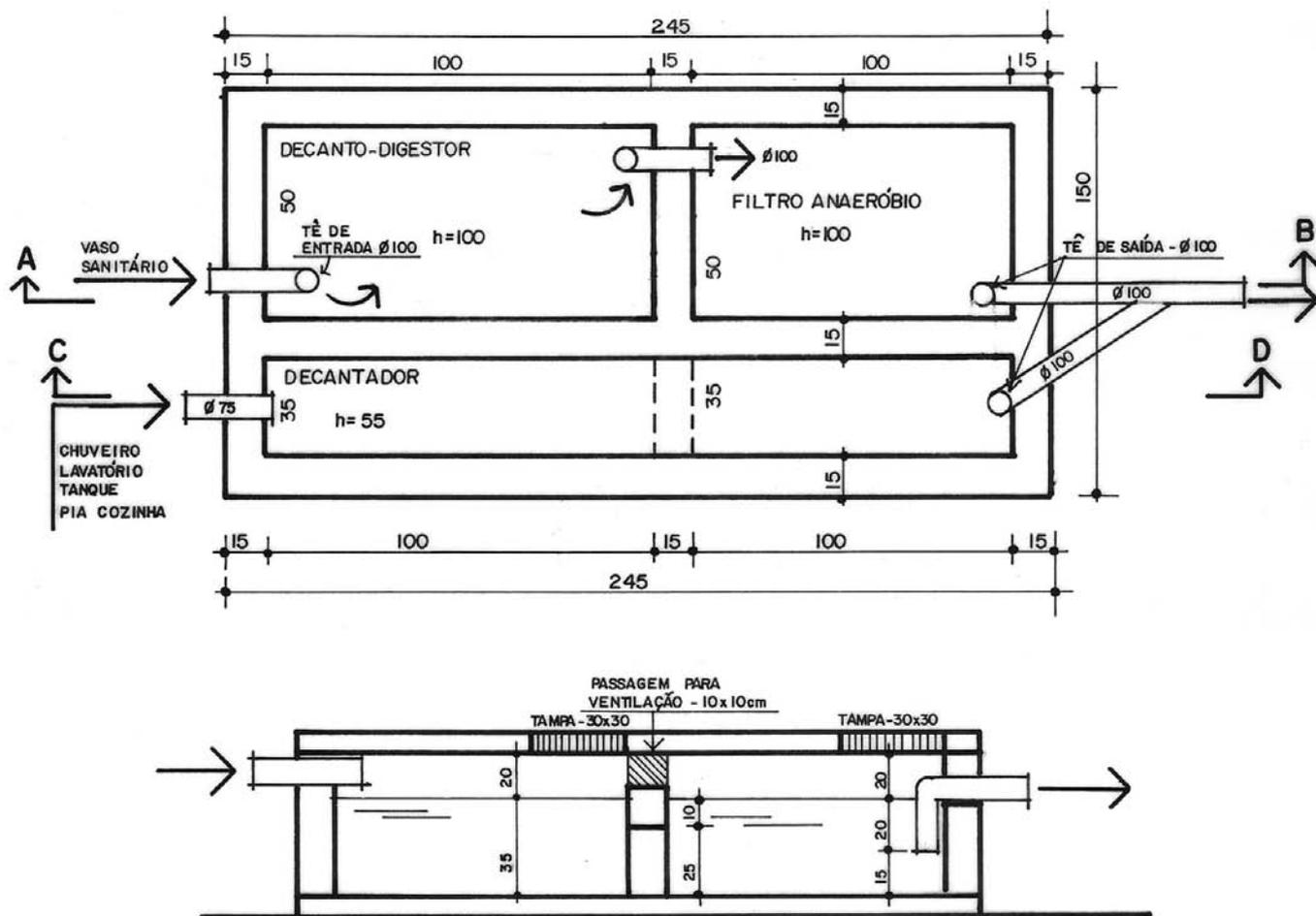


Figura 231 – Modelo de sistema modular, com separação de águas negras e cinzas, utilizado no protótipo Casa Alvorada



Figura 232 – Sistema modular, com separação de águas negras e cinzas, no protótipo Casa Alvorada. Na extremidade superior da foto à esquerda, a caixa de mistura de águas cinzas (oriundas do banheiro e cozinha), precedida de uma caixa de gordura (para as águas da cozinha)



Figura 233 – Sistema modular, em construção, mostrando, à esquerda, os seus dois compartimentos (acima, digestor; abaixo, o filtro). À direita, o sistema modular sendo coberto por laje, onde também se observa o filtro (abaixo), executado com o uso de blocos de 6 furos

O efluente desse reator, após agregar as águas cinzas e negras, pré-tratadas, é conduzido para um leito de evapotranspiração, conforme a Figura 234. O leito de evapotranspiração é impermeabilizado, em sua base, com um lençol de polietileno de alta densidade. O objetivo dessa impermeabilização é não permitir a infiltração das águas tratadas através do fundo do leito, já que o lençol freático se encontra elevado, mas realizar o polimento do efluente do leito através

de um tratamento complementar, com um pequeno espelho d'água, que recebe um sistema vivo, composto de plantas e fauna aquáticas. O fundo desse espelho d'água não é impermeabilizado, possibilitando que um eventual excedente líquido, adequadamente depurado, possa ser conduzido para um córrego (as nascentes do Arroio Dilúvio) que corre próximo ao local onde se encontra o protótipo.

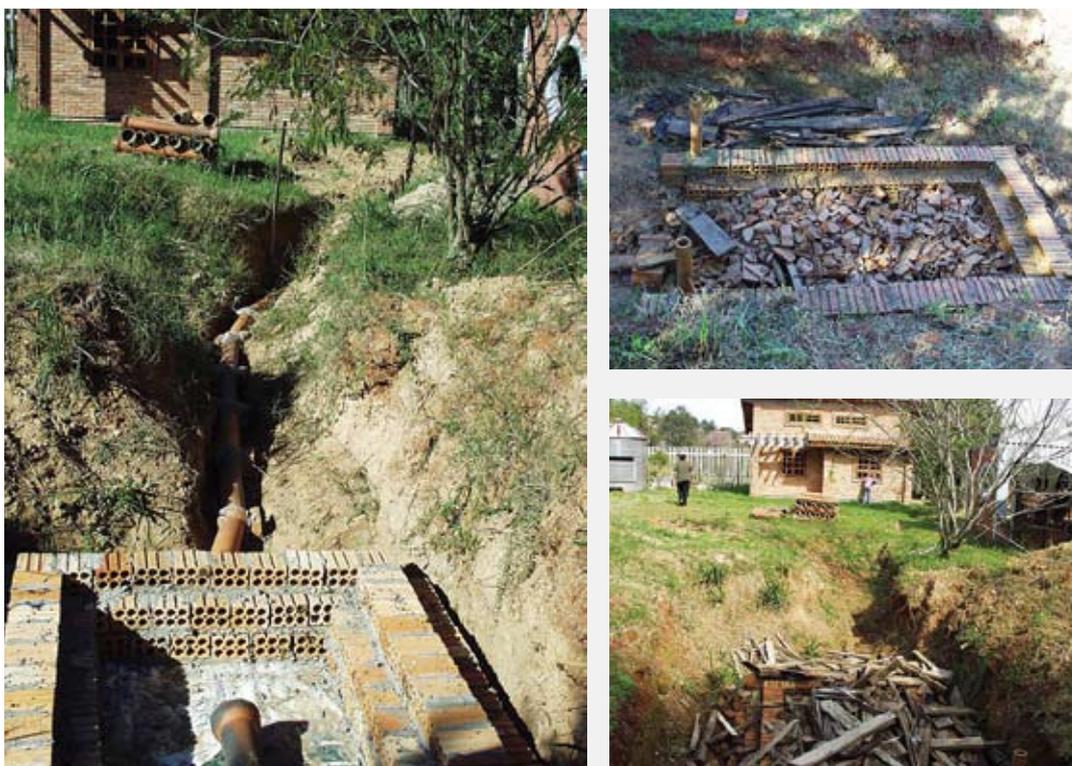


Figura 234 – Construção do leito de evapotranspiração, com impermeabilização ao fundo (esquerda) e leito filtrante, construído com a utilização de entulhos resultantes da obra (direita)

### 8.3.2.3 Considerações finais

Nas conclusões finais de seu trabalho, Ercole (2002) afirma que

“o **sistema modular**, com separação de águas cinzas, é, na realidade, a associação de vários sistemas de tratamento de esgotos, utilizados há muito tempo, acrescidos de alguns detalhes construtivos resultantes dos avanços obtidos pelos estudos de microbiologia nas três últimas décadas, principalmente, como, por exemplo, o lançamento do afluente próximo ao fundo do reator, onde a concentração de microorganismos é maior, o que torna a digestão do esgoto mais rápida”.

Adiciona que é um sistema de construção simples, que utiliza materiais comuns, requer pouquíssima manutenção e não necessita de energia externa para o seu funcionamento. Embora de concepção e funcionamento simplificados, esse sistema modular apresenta eficiência de tratamento muito superior ao de sistemas convencionais, além de constituir uma alternativa mais sustentável de tratamento local de efluentes líquidos, que substitui as soluções tradicionalmente adotadas, principalmente em empreendimentos habitacionais de interesse social, de tratamento de “fim de tubo”.

### 8.3.3 Coletor solar de baixo custo

#### 8.3.3.1 Introdução

Um terceiro produto da disciplina Comunidades Sustentáveis em Prática, já referida anteriormente, foi o desenvolvimento de estudos para projetar e construir um coletor solar de placas planas de bai-

xo custo, concebido para ser utilizado no protótipo Casa Alvorada ou em outras habitações de interesse social (MUSSKOPF, 2005).

#### 8.3.3.2 Dados de embasamento do projeto

A temperatura de água fria foi estimada a partir do valor da temperatura média mínima do ar, que corresponde ao valor adotado quando existem reservatórios elevados como parte do sistema de calefação.

Não há normas brasileiras que estimem consumo de água quente, por pessoa, para sistemas de aquecimento de água por energia solar. Sendo esse um valor relativo aos costumes e usos da população, estimou-se um consumo de água quente, para banho, da mesma forma com que o fazem as empresas de aquecedores de água: 40 L/dia por pessoa. Sendo a composição da família média no Rio Grande do Sul de cinco membros, dois adultos e três crianças, o consumo de água quente totaliza 200 L/dia.

Na Tabela 13 é possível observar uma estimativa de aquecimento de 200 L de água e a economia (em reais), para uma superfície de 1 m<sup>2</sup>, e eficiência de 20%, entre a radiação incidente e o aquecimento de água. Os dados da tabela foram utilizados para confeccionar a Figura 235.

#### 8.3.3.3 Protótipo experimental do coletor solar

O objetivo principal é substituir e/ou amenizar a utilização da ducha elétrica, usada por mais de 70% da população brasileira e responsável por grande parte do consumo de energia elétrica no horário de pico, utilizando a energia solar – abundante e limpa. O equipamento foi construído com refugos da cons-

Mês	RAD [Kcal/m <sup>2</sup> dia]	RAD 45 [Kcal/m <sup>2</sup> dia]	TM [°C]	TMM [°C]	TAF [°C]	AAR [°C]	TAQ [°C]	EME
Jan	7.065	5.149	25,5	30,7	24,5	5,15	29,65	R\$ 11,69
Fev	6.387	4.838	25,5	30,2	24,3	4,84	29,14	R\$ 10,98
Mar	5.410	4.511	23,5	28,8	22,8	4,51	27,31	R\$ 10,24
Abr	4.203	4.064	20,5	26,1	20,2	4,06	24,26	R\$ 9,22
Mai	3.243	3.725	17,5	22,4	16,3	3,72	20,02	R\$ 8,45
Jun	2.903	3.579	15,7	19,8	14,1	3,58	17,68	R\$ 8,12
Jul	3.243	3.725	15,5	19,9	14,1	3,72	17,82	R\$ 8,45
Ago	4.203	4.064	15,8	21,0	14,9	4,06	18,96	R\$ 9,22
Set	5.410	4.511	17,5	21,8	16,7	4,51	21,21	R\$ 10,24
Out	6.387	4.838	19,8	24,2	18,9	4,84	23,74	R\$ 10,98
Nov	7.065	5.149	21,6	27,1	21,0	5,15	26,15	R\$ 11,69
Dez	7.300	5.242	24,3	29,3	22,9	5,24	28,14	R\$ 11,90
economia no ano								R\$ 121,20

Valores em média mensal de 10 anos:

RAD = radiação solar horizontal / RAD45 = radiação solar superfície 45° / TM = temp. média do ar / TMM = temp. média máxima do ar / TAF = temp. da água fria / AAR = aquecimento de 200 L de água pela radiação solar em 1,0 m<sup>2</sup>  $[(RAD \times (1 - NEB) \times 1,0 \times 0,35) / 200]$  / TAQ = temp. da água quente  $[TAF + AAR]$  / EME = estimativa de economia mensal de energia  $[(AAR \times 160) / (1,163 \times 1000) \times 0,29 \times 30] / 2,85]$

Tabela 13 – Dados climáticos de Porto Alegre, dados de consumo e temperatura da água, estimativa de economia. Fonte: Azoztegui (1987)

trução civil, sucatas e materiais reaproveitados, reduzindo bastante o seu custo (R\$ 135,74 em março de 2005), além de dar um destino mais nobre ao “lixo”. O processo de montagem e instalação é simples e executável por pessoas com baixo nível de instrução. A estimativa é que o equipamento amortize seu custo em um ano.

O critério (e desafio) do projeto foi o de utili-

zar materiais reciclados, de descarte e de baixo impacto ambiental para a construção do sistema de captação de energia e de armazenamento de água. Também foram substituídos ou eliminados os componentes caros dos sistemas tradicionais. A montagem do sistema foi simplificada, para que não exigisse mão-de-obra especializada para a montagem e instalação do sistema.

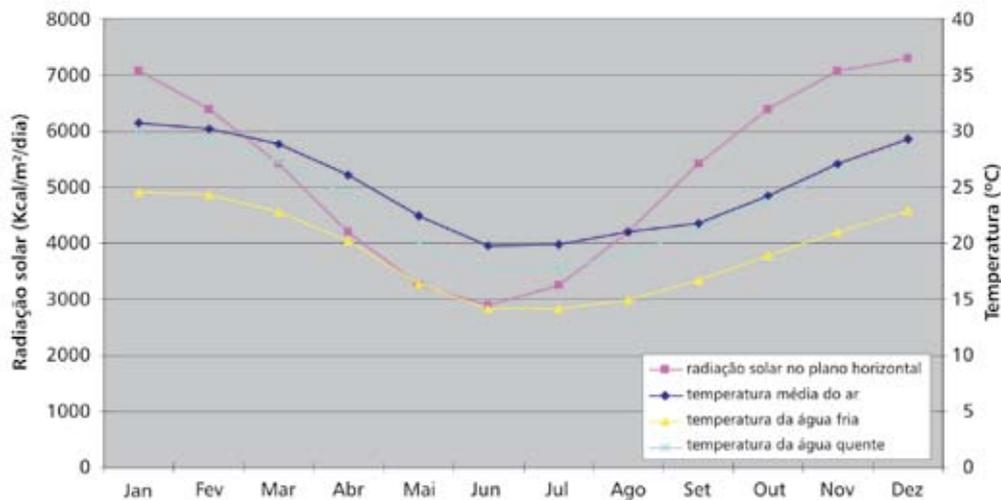


Figura 235 – Curva estimativa de temperatura da água fria e quente, e temperatura do ar

### Material, preparo, montagem e instalação

A lista de todos os produtos utilizados com suas quantidades e preços se encontra na Tabela 14. O tanque acumulador (Figura 236) é um tonel de transporte de óleo metálico, de 220 L, comprado em ferro-velho. Após a lavagem com água e remoção de ferrugem com lixa, recebeu três demãos de zarcão. As instalações hidráulicas são similares a de uma caixa d'água de coletor solar tradicional. É importante observar que não há peças no mercado propícias para a construção de coletores solares, tendo, assim, que ser adaptadas. A entrada de água fria provida é de torneira bóia comum, de descarga. A saída de água quente, na parte inferior da caixa, foi executada com conexões de PVC, compatíveis com dutos de polipropileno, e as duas comunicações com a placa coletora (superior e inferior), com parafusos

de luminária, câmara de pneu de bicicleta e cola de silicone (Figuras 239, 240 e 241). Para aumentar o isolamento do tonel, previu-se o seu revestimento com um cobertor (Figura 242).



Figura 236 – Tanque armazenador de água



Figura 237 – Placa coletora com lona plástica



Figura 238 – Suporte para o tanque



Figura 239 – Torneira bóia



Figura 240 – Conexão de PVC



Figura 241 – Conexão com a placa coletora



Figura 242 – Isolante térmico



Figura 243 – O protótipo Alvorada



Figura 244 – Fixação da mangueira

A placa coletora (Figura 237) foi executada tendo como base meia chapa de compensado naval, refugo da construção civil. Sobre ela foram fixadas, com pregos, duas chapas de *off-set* (chapas de alumínio descartadas por indústrias gráficas) e com braçadeiras de *nylon*, 20 m de tubo de cobre (3/8”), dispostos em serpentina. Embora seja perfeitamente possível de ser executado à mão, foi utilizado um curvador de canos de cobre, para a execução da serpentina, pois facilita o trabalho e melhora a estética da placa a ficar

exposta no protótipo Casa Alvorada. As placas de *off-set* e os tubos de cobre foram pintados de preto, com sobras de tinta esmalte. Para aumentar a eficiência do sistema, foi fixada uma lona plástica transparente, de estufa, cobrindo o sistema e afastada por meio de ripas de madeira dos componentes inferiores. As partes de madeira que ficaram expostas foram pintadas para aumentar a vida útil da placa. A placa coletora deverá ser fixada na parte externa da casa, na fachada norte (Figura 243), com uma inclinação de 45°,

através de dobradiças metálicas e parafusos. O tanque armazenador deve ficar no interior da edificação, dando preferência à maior proximidade com o coletor, em vez do banheiro, uma vez que a tubulação hidráulica da casa é de material isolante. Para fixá-lo, foi construído um suporte que permite sua instalação em uma parede alta. Para a conexão da placa coletora no tanque armazenador, foi utilizada uma mangueira para fluidos, de alta pressão (facilmente, porém, substituível por mangueira de jardim). Ela foi conectada à placa coletora e ao tonel com braçadeiras.

### Custos de montagem e instalação

O custo de montagem e instalação do aquecedor solar de baixo custo consta na Tabela 14. Como a intenção do experimento foi o uso de materiais reciclados, a grande maioria resultou do reúso de materiais, já possuídos pelo autor, o que resultou em um custo total de R\$ 135,74. Caso todas as peças desse mesmo coletor fossem compradas, o custo seria de R\$ 256,54.

O custo do coletor solar simula a possibilidade de sua aquisição e montagem por uma família de baixa renda. Porém, o mais importante é a redução do consumo do chuveiro elétrico. Ele é responsável pelo consumo de 600 Kwh/ano por família e representa um investimento médio de US\$ 600,00, para gerar e distribuir a energia consumida, de cada nova ducha.

### Estimativa de aquecimento

Estimou-se, de forma simplificada, o aquecimento de água pelo sistema, considerando a radiação

solar em um plano a 45°, a área de 1 m<sup>2</sup> da placa coletora e uma eficiência de 20% nas trocas térmicas. Os resultados estão expressos na Tabela 13. É possível observar que, mesmo quando utilizamos baixa eficiência, o sistema apresenta uma boa economia e permite sua amortização em 1 ano.

### 8.3.3.4 Recomendações quanto à construção do coletor solar

Sugere-se o uso de tubulações rígidas para a execução da serpentina da placa coletora e grande cuidado na execução das dobras, para evitar o risco de rompimento. Uma dobra mal executada ou com material flexível poderá acarretar em surgimento de bolhas, o que prejudicaria o fluxo do sistema.

O plástico, correntemente utilizado em estufas (polietileno), pode ser substituído, com muitas vantagens, por vidro (que também poderá ser reciclado). Além de apresentar pior isolamento, o plástico dilata e se degrada facilmente com a exposição à radiação solar e acaba entrando em contato com os tubos, prejudicando o efeito de câmara de ar. A sua durabilidade, portanto, tende a ser baixa.

Não há necessidade de se executarem todos os aquecedores solares com os materiais aqui ilustrados. O ideal é a utilização de materiais disponíveis localmente e usualmente descartados. Apenas como ilustração, a simples colocação de caixas de água de fibrocimento (devidamente tampadas) no exterior da edificação, em um local bastante ensolarado, já é suficiente para aquecer a água em vários graus.

Produto	Quantidade	Valor efetivo	Valor de mercado
<b>Geral</b>			
Parafusos		R\$ 4,80	R\$ 4,80
Pregos		R\$ 5,30	R\$ 5,30
Rolo de pintura	1 un.	-	R\$ 2,20
Pincel	1 un.	-	R\$ 1,20
Aguarraz (900 mL)	900 mL	-	R\$ 4,10
Zarcão	1 L	R\$ 13,10	R\$ 13,10
Tinta velha, selador ou óleo queimado	1 L	-	-
Tinta preta brilho		R\$ 5,80	R\$ 5,80
Curvador tubo mola	1 un.	R\$ 10,09	R\$ 10,09
Cola silicone	15 mL	-	R\$ 4,00
<b>Placa coletora</b>			
Chapa de compensado	1 un.	-	R\$ 22,00
Ripa 2,5 cm x 2,5 cm	1 un.	-	R\$ 4,20
Chapas de alumínio	2 un.	-	
Tubo de cobre	10 m	R\$ 42,50	R\$ 42,50
Braçadeiras do tubo de cobre	23 un.	R\$ 3,45	R\$ 3,45
Tubulação flexível (mangueira de jardim)	4 m	-	R\$ 3,60
Braçadeiras do tubo flexível	4 un.	R\$ 2,00	R\$ 2,00
<b>Tanque armazenador</b>			
Estrutura do tanque	5,5 m	R\$ 9,10	R\$ 9,10
Tambor 220 L, recuperado	1 un.	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Torneira bóia	1 un.	R\$ 2,80	R\$ 2,80
Luva 25x20	1 un.	R\$ 0,75	R\$ 0,75
Redutor de vazão (tampa refrigerante)	1 un.	-	-
Flange de PVC	1 un.	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Flange alumínio	2 un.	R\$ 4,25	R\$ 4,25
Câmara de pneu velha	1 un.	-	-
Cobertor velho	1 un.	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 133,94</b>	<b>R\$ 175,24</b>
<b>Hidráulica</b>			
Fita veda-rosca	10 m	R\$ 1,80	R\$ 1,80
Registro esférico, polipropileno	1 un.	-	R\$ 35,10
Joelho, em polipropileno	6 un.	-	R\$ 21,60
Tubo de polietileno	50 m	-	R\$ 22,30
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 135,74</b>	<b>R\$ 256,04</b>

Tabela 14 – Lista de materiais e custos para a montagem e instalação do coletor solar

## 8.4 O protótipo Casa Alvorada: medições e avaliações *in loco* do protótipo

### 8.4.1. Avaliação das condições de iluminação natural mediante medições e simulações

Na manhã do dia 27 de outubro de 2003, entre 9h30min e 10h30min, um grupo de alunos do NORIE realizou medições dos níveis de iluminação no interior do protótipo Casa Alvorada com o auxílio de um luxímetro. As medições visaram verificar as condições de iluminação natural em pontos internos da edificação, avaliando a necessidade de complementação com iluminação artificial nos diversos compartimentos, assim como apresentar propostas de correção para os problemas de projeto verificados.

Foi observado que, junto às aberturas, a 80 cm do piso, o aparelho chegou a marcar valores entre 500 e 1.000 lux. No entanto, no centro dos compar-

timentos os valores medidos não passaram dos 300 lux (com exceção do dormitório dos fundos, voltado para leste, que estava recebendo insolação diretamente sobre o piso). Isso demonstra a falta de homogeneidade da distribuição da iluminação natural proveniente do exterior (como poderá ser percebido nas simulações adiante realizadas).

Segundo Lamberts, Pereira e Dutra (1997, p. 45), o emprego preferencial da luz natural permite às pessoas maior tolerância à variação do nível de iluminação. Também afirma que, quanto mais complexa a tarefa a ser desenvolvida e quanto maior a idade da pessoa, maior também deverá ser o nível de iluminação. A iluminação insuficiente pode causar cansaço, dores de cabeça e irritação, além de provocar acidentes.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa as iluminâncias mínimas a se-

Classificação	Nível de iluminação a ser obtido	Tarefa desenvolvida
BAIXA	100 a 200 lux	Circulação Reconhecimento facial Leitura casual Armazenamento Refeição Terminais de vídeo
MÉDIA	300 a 500 lux	Leitura/escrita de documentos com alto contraste Participação de conferências
ALTA	500 a 1.000 lux	Leitura/escrita de documentos com fontes pequenas e de baixo contraste Desenho técnico

Quadro 41 – Classificação dos níveis de iluminação, segundo o tipo de tarefa a ser desenvolvida

rem atingidas em função do tipo de tarefa visual, através da NB 57.

De maneira simplificada, Lamberts, Pereira e Dutra (1997) apresentam um quadro com valores do nível de iluminação necessários em um ambiente, de acordo com a tarefa a ser desenvolvida. No entanto, observa-se que para uma verificação mais precisa devem ser seguidos os procedimentos constantes na NBR 5413, apresentados no Quadro 41.

Para melhor entender o desempenho lumínico do PCA e buscando identificar um método de simulação que melhor explicasse os valores medidos, fez-se uso de três métodos preditivos de iluminação natural no interior de edificações, com medições concomitantes.

O **primeiro procedimento** de cálculo utilizado foi o *Método de Fluxo Dividido*, constante no Projeto de Norma do Comitê Brasileiro de Construção Civil (1988). Buscou-se com ele estimar a disponibilidade de luz natural em quatro pontos no interior do Protótipo Alvorada, para o mesmo dia e hora do levantamento.

O **segundo procedimento** de cálculo utilizado foi o *Método do Gráfico de Fator de Luz Diurna* (EVANS; SCHILER, 1989). Este foi utilizado para estimar a disponibilidade de luz natural em cinco pontos no interior do protótipo, para o mesmo dia e hora do levantamento. Os resultados foram comparados com medições realizadas no interior do protótipo no dia 27 de outubro de 2003.

Esses dois procedimentos foram descritos em um dos documentos produzidos pelos alunos (MORELLO; BEVILACQUA; GRIGOLETTI, 2004).

Para associar os valores obtidos com as dimensões das esquadrias existentes no protótipo, foram usadas as especificações da legislação constante no Código de Edificações da cidade de Santa Maria, RS. Assim, na avaliação dos vãos de iluminação e ventilação, segundo o Código de Edificações, foram observadas as dimensões das aberturas em relação às respectivas superfícies de pisos dos compartimentos avaliados. Também foram consideradas as proteções das janelas.

Posteriormente, um novo trabalho foi desenvolvido no local e apresentado por Tavares e Baltar (2005). Esse trabalho buscou avaliar se a iluminação incidente no interior do protótipo correspondia aos requisitos desejáveis e estabelecidos pela NBR 5413, bem como se o nível de iluminamento era suficiente para as atividades propostas. O estudo também envolveu a medição de iluminâncias internas, em um dia parcialmente encoberto (9 de novembro de 2005, entre 15h00 e 16h40) e comparou os resultados obtidos com aqueles simulados no software ECOTECH, constituindo este o **terceiro procedimento** de cálculo. Adicionalmente, esse trabalho simulou algumas possibilidades de alteração das aberturas.

Os resultados obtidos são apresentados a seguir, assim como as dificuldades e limitações de cada método e sua adequação às situações do estudo.

#### 8.4.1.1 Avaliação das condições de iluminação natural mediante o Método de Fluxo Dividido

O Método de Fluxo Dividido para predição de iluminação natural disponível no interior das edificações, descrito no Projeto de Norma do Comitê Bra-

sileiro de Construção Civil (1988)<sup>1</sup>, foi utilizado para estimar a disponibilidade de luz natural em quatro pontos no interior do protótipo, para 27 de outubro, às 8h30 (hora solar).

### Valores encontrados para as simulações

Para o Protótipo Alvorada, foram simulados quatro pontos: dormitório fundos (P1), dormitório frente (P2), cozinha e sala (dois pontos: P3 e P4). Para os dormitórios, esses pontos foram tomados a uma

mesma distância das paredes contendo janela e sobre o eixo delas (no centro do compartimento). Para a sala e cozinha, afastados 1,5 m das paredes norte e sul, que delimitam tal ambiente. Foram simuladas duas situações de céu: céu claro, com altitude solar de 45°, correspondendo, aproximadamente, à altitude solar das 9h30 da manhã do dia 27 de outubro (próximo ao horário em que foi efetuada a medição); e céu encoberto. O Quadro 42, a seguir, apresenta os valores que foram adotados para a simulação.

Parâmetros Condições de céu	Valores adotados Céu claro e céu encoberto
Refletância das superfícies internas	0,30 (considerando: pisos cerâmicos, paredes em alvenaria de tijolos à vista ou argamassa, sem reboco, e forro em madeira cedrinho vermelho)
Altura do plano de trabalho	0,85 m
Coeficiente de transmissividade dos vidros, $K_t$	0,90
Coeficiente de manutenção dos vidros, $K_m$	0,90
Coeficiente de caixilhos, $K_c$	0,60
Refletância de superfícies externas, $\rho_{obs}$	0,30 (copa de vegetação de médio porte, verde escura)
Iluminância sobre uma superfície vertical externa, voltada a leste, em lux, $E_{sv}$	54.500 lux (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p. 307)
Iluminância medida sobre uma superfície horizontal externa, em lux, $E_h$	108.000 lux (medido <i>in loco</i> )

Quadro 42 – Condições adotadas para a simulação através do Método do Fluxo Dividido

Concomitante aos valores adotados acima, consideraram-se as obstruções de céu devido à pérgola, sobre aberturas do dormitório da frente e sala/cozinha, como integrante da CRI.

No Quadro 43 são apresentados os valores encontrados com a aplicação do método (CIN e níveis de iluminância, em lux), para céu encoberto e céu claro, bem como os valores obtidos através das medições *in loco* (em lux).

<sup>1</sup>Para mais informações, ver Parte 1, Parte 2 e Parte 3 do Projeto de Norma de Iluminação Natural.

		Pontos			
		P1 Dormitório de Fundos	P2 Dormitório de Frente	P3 Sala Frente	P4 Sala Fundos
Céu encoberto	CIN (%)	3,2	7,4	4,0	2,1
	Nível de iluminância (lux)	1.659	3.905	2.175	1.102
Céu claro	CIN (%)	11,6	3,7	2,4	2,2
	Nível de iluminância (lux)	6.783	2.164	1.510	1.271
Medições <i>in loco</i>	CIN (%)	2,4	0,26	0,29	0,17
	Nível de iluminância (lux)	2.650	280	310	180

Quadro 43 – Comparação dos resultados encontrados pelo Método do Fluxo Dividido e medições *in loco*

## Considerações sobre o Método do Fluxo Dividido

Embora tenham sido adotados valores um pouco diferentes, referentes à hora da medição (9h30, e não 8h30), e à altura do ponto de simulação (85 cm, e não 80 cm, como no levantamento), os valores apresentados no Quadro 43, para a simulação com o Método do Fluxo Dividido, mostram-se bastante diferentes daqueles medidos *in loco* para os pontos P2, P3 e P4. Essa diferença, inicialmente, foi atribuída a um possível erro na escala do luxímetro no momento da medição, porém essa hipótese foi descartada a partir de um segundo levantamento, realizado no final do mês de novembro. Observou-se, nesse segundo levantamento, que, para a mesma hora da manhã, os valores encontrados ficaram muito próximos dos primeiros.

Com isso, conclui-se que, para o presente estudo de caso, o Método do Fluxo Dividido superesti-

mou os valores de iluminação natural obtida no interior dos compartimentos.

### 8.4.1.2 Avaliação das condições de iluminação natural mediante o gráfico de fator de luz diurna (método dos pontos)

Na avaliação foi utilizada uma tabela com valores de iluminância (Klux) para Porto Alegre, em condições de céu parcialmente encoberto, e um gráfico com pontos, a partir do qual são contabilizados os percentuais de contribuição de luz, proveniente da abóboda celeste, da reflexão externa e da reflexão interna.

#### Valores encontrados para as simulações

O método propõe uma classificação qualitativa das zonas, segundo os valores encontrados para o Fator de Luz Diurna (Quadro 44).

Componente de Luz Diurna	Classificação
> 6%	Luminosas
3% a 6%	Intermediárias
1% a 3%	Escuras
< 1%	Muito escuras

Quadro 44 – Classificação qualitativa de zonas, segundo o valor do Fator de Luz Diurna

A seguir, no Quadro 45, são apresentados os valores encontrados com a aplicação do método para céu encoberto, bem como os valores obtidos através das medições *in loco* (em lux). O valor encontrado é um percentual da luminosidade exterior ou a relação entre a iluminância medida, dentro e fora do local, no mesmo instante, à mesma altura, sob um céu coberto uniforme.

#### Considerações sobre o método do gráfico de Fator de Luz Diurna

O método apresenta algumas limitações no que se refere, por exemplo, ao cálculo de iluminação

durante um dia de céu claro, já que seus valores são dados apenas para céu encoberto (e, portanto, com uma contribuição de iluminação externa mais homogênea). No dormitório dos fundos, deve-se considerar que, no momento da medição, ocorria a incidência de raios solares diretamente no ambiente, acarretando um nível de iluminância mais alto que aquele calculado por esse método. De qualquer forma, mesmo com esses limitantes, os valores apresentados na simulação ficaram muito próximos dos valores encontrados nas medições *in loco*, demonstrando que esse método apresentou resultados bastante coerentes para esse estudo de caso.

De acordo com o Quadro 45, percebe-se que o nível de iluminação de todos os compartimentos do protótipo Casa Alvorada estão enquadrados nas faixas abaixo dos 3% da iluminação externa, ou seja, **escuras ou muito escuras**. Entretanto, em outras medições realizadas no protótipo Casa Alvorada, observou-se que junto às aberturas, a 80 cm do piso, o aparelho chegou a marcar valores entre 500 e 1.000 lux, demonstrando um nível de iluminação bom para

		Pontos				
		P1 Dormitório de Fundos	P2 Dormitório de Frente	P3 Sala Frente	P4 Sala Fundos	P5 Banheiro
Céu encoberto	Percentual de luz interna no ponto calculado, %	1,75	1,49	1,59	1,25	0,17
	Nível de iluminância, lux	912	232	243	151	14
Medições <i>in loco</i>	Nível de iluminância, lux	2.650	280	310	180	10

Quadro 45 – Comparação dos resultados encontrados para o Método do Gráfico de Fator de Luz Diurna

tarefas que exigem certa acuidade visual (leitura, por exemplo). Como solução paliativa, através do posicionamento do mobiliário de forma racional, pode-se induzir o usuário a desenvolver tais atividades (como leitura ou atividades manuais) nas zonas próximas às janelas. De qualquer forma, em projetos futuros, deve-se buscar uma distribuição mais homogênea da iluminação em todos os pontos dos ambientes.

### Considerações finais sobre os dois métodos

Embora os Códigos de Edificações não apresentem estudos específicos mais apurados para a determinação das dimensões mínimas das aberturas de iluminação e ventilação, são eles que norteiam as decisões dos projetistas de edificações (além, é claro, dos aspectos estéticos). Uma das limitações dos Códigos de Edificações é o de estabelecer a área mínima da superfície da abertura sem especificar a área mínima das superfícies transparentes. Verificou-se que, em média, aproximadamente 50% da área das janelas instaladas no protótipo Casa Alvorada é constituída de caixilhos. Para os vãos encontrados, utilizando-se esquadrias de madeira, poderia se chegar a um percentual máximo de superfície transparente igual a 70% (estudo realizado concomitantemente a esse trabalho).

Deve-se destacar, no entanto, que, segundo a análise realizada, o protótipo apresentou problemas, principalmente no que se refere à ausência de proteção contra luminosidade e radiação nas janelas do dormitório voltado para norte. Além disso, também se observou que as janelas do banheiro e do dormitório sul não possuem a área mínima recomendada

pelo Código de Edificações de Santa Maria. Isso é verificado visualmente no banheiro, onde, mesmo durante o dia, os níveis de iluminação medidos mostraram-se muito baixos (10 lux, às 9h00 da manhã), exigindo iluminação artificial para a sua utilização. Já o dormitório sul, embora sua janela (com orientação leste) não possua a área exigida pelo Código de Edificações, apresentou-se como o compartimento mais iluminado do protótipo nas condições e horário da medição (em seu ponto central, a 80 cm de altura em relação ao piso, no dia 27 de outubro de 2003, às 9h00 da manhã). Isso ocorreu devido à entrada de luz solar diretamente sobre o piso do compartimento, aumentando significativamente seu nível de iluminação. Provavelmente, se fosse realizada uma nova medição durante o período da tarde, os níveis de iluminação seriam mais baixos.

Com relação aos níveis de iluminação calculados através da simulação pelo Método do Fluxo Dividido, observou-se uma diferença significativa entre os valores simulados e os valores medidos *in loco*. Conforme já referido, uma das possíveis causas para essa diferença pode ter sido a adoção de valores um pouco diferentes, referentes para a hora da medição (9h30, e não 8h30), para a altura do ponto de simulação (85 cm, e não 80 cm) e para a refletância das superfícies internas (0,30, e não 0,20). No entanto, o valor encontrado por esse método para o ponto localizado no dormitório dos fundos mostrou-se mais próximo daquele medido com o luxímetro.

Por fim, os níveis de iluminação calculados através da simulação pelo Método de Fator de Luz Diur-

na se mostraram bastante próximos àqueles medidos *in loco*. Apesar das considerações e ressalvas feitas no final do capítulo anterior, esse método mostrou-se muito coerente para condições de céu encoberto.

De qualquer maneira, os níveis de iluminação, medidos ou simulados, foram **muito baixos para todos os compartimentos** do protótipo Casa Alvorada (considerando apenas o ponto central calculado, e não os pontos próximos às janelas). Para melhorar essas condições, poder-se-ia pintar as superfícies do forro com cores claras, para aumentar o fator de reflexão e distribuir a luz de forma mais uniforme. Com o mesmo objetivo, as paredes poderiam ser pintadas ou rebocadas, para melhorar a distribuição da iluminação natural, através da reflexão interna.

Adicionalmente, poderiam ser empregadas esquadrias com menos caixilhos (ou com maior superfície envidraçada) e, conforme citado anteriormente, dever-se-ia aumentar as dimensões da esquadria do banheiro, para que esta satisfaça as especificações do Código de Edificações e proporcione um melhor nível de iluminamento no banheiro durante o dia.

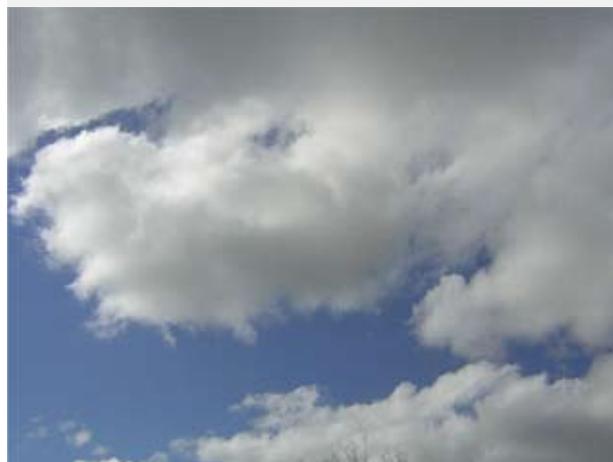
#### 8.4.1.3 Medição das condições de iluminação natural e comparação com valores simulados através do software ECOTECH

A medição dos níveis de iluminamento natural interno ocorreu em um único dia, de céu parcialmente encoberto (TAVARES; BALTAR, 2005). A iluminância medida no exterior foi de 18.600 lux, às 16h10 (horário de verão). Esse nível é relativamente

freqüente para a latitude de Porto Alegre (30°), pois, de acordo com o gráfico da CIE, de disponibilidade de luz natural, com céu homogêneo, a probabilidade de se dispor de um dia com 15.000 lux é de 82%.



(a)



(b)

Figura 245 – Fotografias do céu no dia e horário em foram feitas as medições

O número de pontos de medição foi determinado de acordo com o sugerido pela ABNT (2003), obtendo-se 16 pontos para os dormitórios e para o estar/cozinha, e 9 pontos para o banheiro. Os pontos analisados foram distribuídos conforme consta na Figura 246. As medições foram realizadas com um luxímetro de precisão, da marca Instrutherm, modelo LDR-380. Os pontos 4 e 13, do dormitório 1, e os pontos 4 e 8, do dormitório 2, não puderam ser medidos devido à sua inacessibilidade.

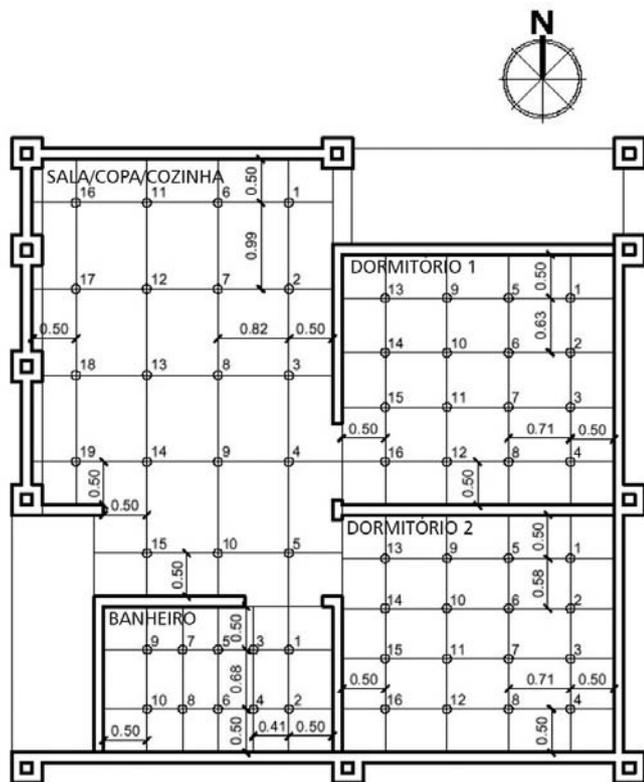


Figura 246 – Distribuição dos pontos medidos

Comparação entre os valores medidos e os exigidos pela NBR 5413

A NBR 5413 estabelece os valores máximos, médios e mínimos, para diversas classes de tarefas visuais e atividades, incluindo-se aquelas ocorrentes em residências. Os valores máximos devem ser utilizados como referência para atividades que ocorram em condições de refletâncias e contrastes baixos, quando erros forem de difícil correção, quando o trabalho visual for crítico, quando alta produtividade ou precisão forem de grande importância ou quando a capacidade visual do observador estiver abaixo da média.

Os valores mínimos podem ser utilizados quando as refletâncias ou contrastes forem relativamente altos, quando a velocidade e/ou precisão não forem importantes ou quando a tarefa for executada ocasionalmente.

Na avaliação do protótipo foram utilizadas as iluminâncias médias (geral e local) estabelecidas pela NBR, já que esta sugere que elas sejam utilizadas para todos os casos não excepcionais, como os descritos acima. O Quadro 46 apresenta os resultados obtidos no local.

### Discussão dos resultados

Os pontos 4 e 13 do dormitório 1 e os pontos 4 e 8 do dormitório 2 não puderam ser medidos devido à sua inacessibilidade.

#### - Quociente de uniformidade

O quociente de uniformidade varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo de 1, mais uniforme é a distribuição de luminosidade no ambiente.

Pontos medidos	Iluminâncias medidas nos ambientes (lux)			
	Sala/cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Banheiro
1	85*	145*	269	2*
2	68*	144*	352	18*
3	30*	72*	351	3*
4	42*	Sem medição	Sem medição	45*
5	48*	469	550	3*
6	580	268	674	32*
7	64*	123*	460	3*
8	88*	115*	Sem medição	7*
9	112*	558	198	3*
10	79*	329	244	4*
11	564	154	237	
12	161	130*	272	
13	160	Sem medição	116*	
14	157	201	216	
15	50*	104*	220	
16	108*	117*	161	
17	166			
18	484			
19	584			
<b>Valores da NBR (lux)</b>	<b>Sala:</b> Geral - 150 Local - 500 (leitura, escrita, bordado...) <b>Cozinha:</b> Geral - 150 Local - 300 (fogão, pia, mesa...)	Geral - 150 Local - 300 (espelho, penteadeira, cama...)		Geral: 150 Local: 300 (espelhos)

Quadro 46 – Valores de iluminância medidos no local e os exigidos pela NBR 5413

Nota: Os valores assinalados com (\*) estão com valores abaixo do mínimo exigido pela NBR 5413.

Para os ambientes analisados foram encontrados os valores a seguir.

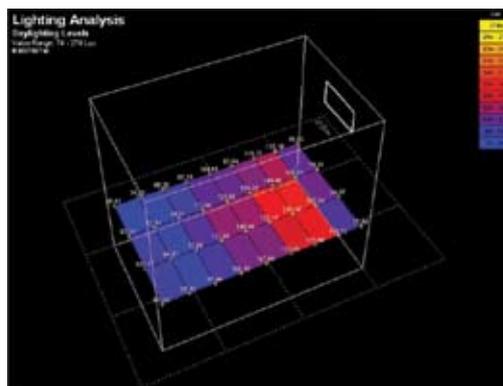
Ambiente	Quociente de uniformidade
Sala/cozinha	0,18
Dormitório 1	0,34
Dormitório 2	0,38
Banheiro	0,17

Quadro 47 – Quocientes de uniformidade para os ambientes avaliados

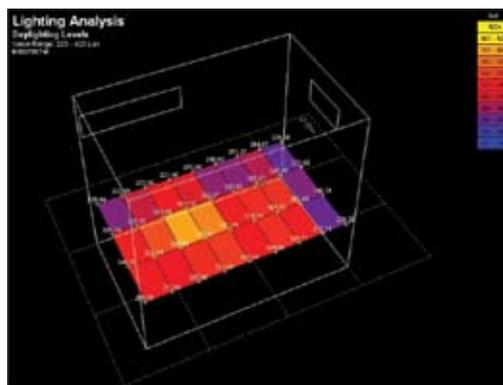
#### - Proposta de modificação para os ambientes mal iluminados

De acordo com a NBR 5413, na cozinha deverá haver iluminação local para a pia e para o fogão. A iluminação natural correspondeu, no horário medido, a 484 lux e 584 lux para os locais previstos para a pia e para o fogão, respectivamente. Dessa forma, a iluminação natural incidente no horário e condição de céu presente nessa data supriu as necessidades, não requerendo, sob tais condições, o uso de iluminação artificial durante o dia.

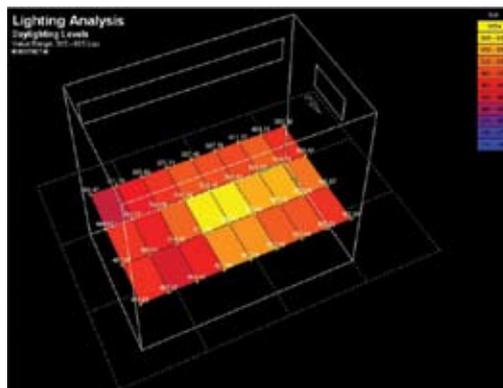
O dormitório 2, com janela voltada para o leste, apresentou apenas um ponto entre os medidos em que a iluminação não atende aos valores estabelecidos pela NBR 5413. Já o dormitório 1, com janelas voltadas para o norte, é menos iluminado, tendo apresentado, no horário medido, 8 dos 14 pontos medidos com valores abaixo do exigido. É interessante observar que o dormitório 2 é mais bem iluminado que o dormitório 1 (que apresenta uma pequena janela superior), apesar de apresentar área de vidros menor.



(a)



(b)



(c)

Figura 247 – Simulações feitas com o software ECOTECH: situação existente (a), proposta de utilização de elemento translúcido rasgando a parede sul em toda sua extensão (b), proposta de utilização de elemento translúcido rasgando a parede sul, sem a área do box (c)

O banheiro apresenta carência de iluminação natural. A área de abertura é pequena, e o vidro é translúcido, mas não transparente, o que reduz a luminosidade do ambiente. Propõe-se para esse dormitório o acréscimo de um vão adicional de iluminação, que poderia resultar da construção parcial, na parede sul, de uma área com tijolos de vidro. Através do software ECOTECH foram feitas simulações de possibilidades de alterações, conforme indicado na Figura 247.

De acordo com a NBR 5413, a situação original (a) está inadequada. A situação (c), com uma linha de tijolos cobrindo metade do vão da parede sul do banheiro, já proporcionaria a iluminância mínima, de 150 lux. A situação (b), com uma linha de tijolos de vidro cobrindo todo o vão da parede sul (o que implicaria estendê-la através da área de box), apresentaria resultados ainda melhores.

#### 8.4.1.4 Conclusão

De forma geral, os valores de iluminância medidos são inferiores ao exigido pela Norma. Isso se deve tanto ao tamanho como aos materiais de revestimento interno utilizados. Como o interior dos ambientes apresenta a alvenaria aparente de tijolos vermelhos, exceto pelo dormitório 2, que possui duas paredes rebocadas, e o dormitório 1, com uma parede revestida, há baixa refletância, o que gera os baixos níveis de iluminação medidos. A existência de duas paredes rebocadas no dormitório 2, apesar de ter área de janelas menor que o outro dormitório, é suficiente para determinar maior refletância.

De acordo com os resultados de cálculo de uniformidade dos ambientes, conclui-se que a sala/

cozinha e o banheiro não possuem uma distribuição de iluminação adequada, o que poderá gerar ofuscamento e desconforto visual. Os índices dos dormitórios também são baixos em relação aos desejáveis.

Com exceção do banheiro, os demais compartimentos apresentaram níveis de iluminação satisfatórios, apesar de alguns pontos não atingirem os valores da Norma. A deficiência é mais marcada na distribuição do que nos níveis encontrados no horário examinado.

### 8.4.2 Monitoramento do desempenho térmico

#### 8.4.2.1 Introdução

Em novembro de 2002, com a aquisição de um equipamento para medições de variáveis higrótérmicas, o grupo de pesquisas em sustentabilidade e conforto ambiental de edificações do NORIE/UFRGS passou a ter condições de realizar monitoramentos em ambientes internos. Com a instalação das esquadrias no início de 2003, surgiu a oportunidade de avaliar o comportamento térmico do Protótipo Casa Alvorada, cujos resultados parciais são apresentados neste trabalho – os trabalhos integrais podem ser encontrados na dissertação de mestrado de Morello (2005) e na tese de doutorado de Grigoletti (2007).

O protótipo habitacional Alvorada possui uma área construída de, aproximadamente, 48 m<sup>2</sup>, na qual estão contemplados os seguintes compartimentos: dois dormitórios, uma sala de estar integrada à cozinha, um banheiro, uma varanda e uma pequena área de serviço aberta (Figura 248).

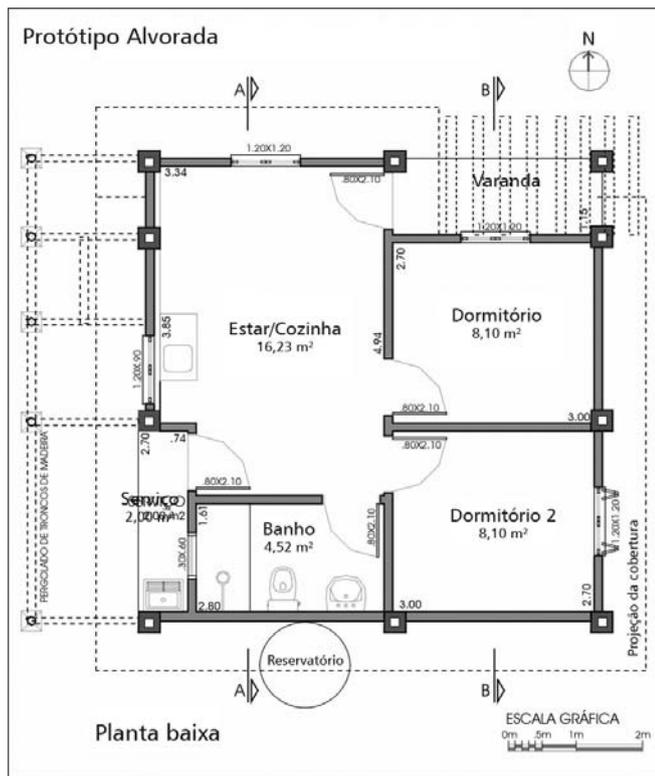


Figura 248 – Planta baixa do protótipo Casa Alvorada

As paredes da edificação foram construídas com tijolos maciços de 11 cm de espessura, e as paredes leste e norte não possuem revestimento. Já na parede oeste, foi aplicado um revestimento externo de argamassa, para aumentar a resistência térmica e a refletividade ante os raios solares incidentes durante o período da tarde. Na parede sul, foi aplicado o mesmo revestimento de argamassa nas superfícies externa e interna, para reduzir perdas térmicas durante o inverno e evitar a ocorrência de patologias associadas à umidade, já que essa face é a mais exposta à ação das intempéries.

Considera-se importante ressaltar alguns aspectos de implantação propostos e executados de forma a beneficiar a edificação com as técnicas passivas de controle térmico. Entre elas, destacam-se a orientação solar da edificação, em que as janelas das áreas de permanência prolongada são voltadas para o norte ou leste, e a manutenção da vegetação existente no entorno, para sombrear e proteger a fachada oeste, que é a face que soma a incidência de radiação solar com as mais elevadas temperaturas externas. Junto a essa fachada foi construído um pergolado com troncos de eucalipto, cuja estrutura foi projetada para servir de sustentação para o reservatório superior e dar sustentação a plantas que contribuam para o seu sombreamento.

Todas as esquadrias do protótipo foram confeccionadas em madeira de eucalipto. Os vidros são do tipo plano, liso, com 3 mm de espessura. A superfície envidraçada das janelas corresponde, em média, a 50% da área total da esquadria. As fotografias da Figura 249 mostram as fachadas leste, norte e oeste da habitação, com suas esquadrias.

Pode ser verificado na Figura 249 que a cobertura é composta de duas águas, onde a maior superfície está voltada para a orientação sul, com a finalidade de redução da densidade de radiação solar. A estrutura da cobertura é constituída por cinco camadas: telha cerâmica, camada de ar, placa metálica reciclada (alumínio), camada de ar e forro de madeira. A placa metálica determina uma barreira à radiação térmica, que contribui para reduzir a transmissão de calor pela cobertura. Adicionalmente, foi projetado um sistema de ventilação da cobertura (Figura 250),

através criação de aberturas de fácil operação, no beiral do lado sul e de aberturas permanentemente descerradas, no ponto mais alto do beiral da face

norte da edificação, que tem por objetivo a extração de ar quente durante o período de verão (através de ventilação convectiva).



Figura 249 – Fotografias do protótipo Alvorada

320



Figura 250 – Detalhes da ventilação de telhado (esquerda: placa metálica; centro: beiral superior; esquerda: beiral inferior)

A Tabela 15 apresenta um grupo de parâmetros térmicos que caracterizam as propriedades térmicas dos fechamentos ou componentes da edificação (GRIGOLETTI, 2007).

micadas dos fechamentos ou componentes da edificação (GRIGOLETTI, 2007).

Fechamentos	Área $S_i$ ( $m^2$ )	$\lambda \times \rho \times c$ ( $\frac{kJ \times W}{m^4 K^2}$ )	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left( \frac{W \times s^{1/2}}{m^2 K} \right)$	$S_i \times ef_i$
<b>Sala e cozinha</b>				
tijolo	31,49	1.449,50	1.203,95	37.909,74
arg. de ver. + tijolo (0,12 m)	6,39	1.449,50	1.203,95	7.693,25
arg. de ver. + tijolo (0,23 m)	3,29	1.449,50	1.203,95	3.961,00
pilares	5,21	1.449,50	1.203,95	6.272,59
vigas	4,99	4.200,00	2.049,39	6.579,99
forro	17,65	120,60	347,28	6.129,41
piso	16,30	1.738,80	1.318,64	21.493,76
$\Sigma S_i =$	85,32		$\Sigma A \times ef_i =$	90.039,74
			$ef_{amb} = \frac{\Sigma_i (S_i \times ef_i)}{\Sigma S_i}$	$1.055,32 \left( \frac{W \times s^{1/2}}{m^2 K} \right)$
<b>Dormitório norte</b>				
tijolo	37,96	1.449,50	1.203,95	45.700,63
pilares	1,70	1.449,50	1.203,95	2.040,82
vigas	3,00	4.200,00	2.049,39	6.148,17
forro	9,00	120,60	347,28	3.125,48
piso	8,10	1.738,80	1.318,64	10.680,95
$\Sigma S_i =$	59,75		$\Sigma A \times ef_i =$	67.696,04
			$ef_{amb} = \frac{\Sigma_i (S_i \times ef_i)}{\Sigma S_i}$	$1.132,91 \left( \frac{W \times s^{1/2}}{m^2 K} \right)$

Tabela 15 – Características físicas das partições internas e fechamentos externos dos cômodos do protótipo Alvorada e sua respectiva efusividade térmica do ambiente  $ef_{amb}$

Fechamentos	Área $S_i$ ( $m^2$ )	$\lambda \times \rho \times c$ ( $\frac{kJ \times W}{m^4 \text{ } ^\circ C^2}$ )	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left( \frac{W \times s^{1/2}}{m^2 K} \right)$	$S_i \times ef_i$
Dormitório leste				
tijolo	23,47	1.449,50	1.203,95	28.258,43
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	7,06	2.300,00	1.516,58	10.670,32
pilares	0,56	1.449,50	1.203,95	672,77
vigas	3,00	4.200,00	2.049,39	6.148,17
forro	9,00	120,60	347,28	3.125,48
piso	8,10	1.738,80	1.318,64	10.680,95
$\Sigma S_i =$	51,17		$\Sigma A \times ef_i =$	59.556,12
			$ef_{amb} = \frac{\Sigma (S_i \times ef_i)}{\Sigma S_i}$	1.163,98 ( $\frac{W \times s^{1/2}}{m^2 K}$ )

Tabela 15 – Continuação

### 8.4.2.2 Materiais e métodos

#### Definição dos limites de conforto

Com a finalidade de avaliar o conforto térmico proporcionado pela edificação estudada, foram utilizados os limites da zona de conforto para países em desenvolvimento e de clima quente (GIVONI, 1992). Os limites de temperatura e umidade, considerados confortáveis por Givoni (1992), são traçados sobre uma carta psicrométrica (ver Figura 251). Em condições de baixa velocidade do ar (0,15 m/s para o inverno, e 0,25 m/s para o verão), o autor recomenda, para o interior das edificações, temperaturas variando entre 18 °C e 29 °C, conforme a estação do ano.

É admissível uma umidade variando de 4 g/kg a 15 g/kg de conteúdo de umidade no inverno, e de 4 g/kg a 17 g/kg no verão, nunca ultrapassando 80% de umidade relativa do ar.

Na Figura 251 é apresentada a zona de conforto de Givoni (1992), com a sua proposta de limites de temperatura e umidade relativa do ar, para países em desenvolvimento e de clima quente. Também sobre a carta psicrométrica, são identificadas outras oito zonas de estratégias, que orientam possibilidades de melhorias nas condições de conforto térmico e de redução no consumo de energia (L, Pereira e Dutra, 1997).

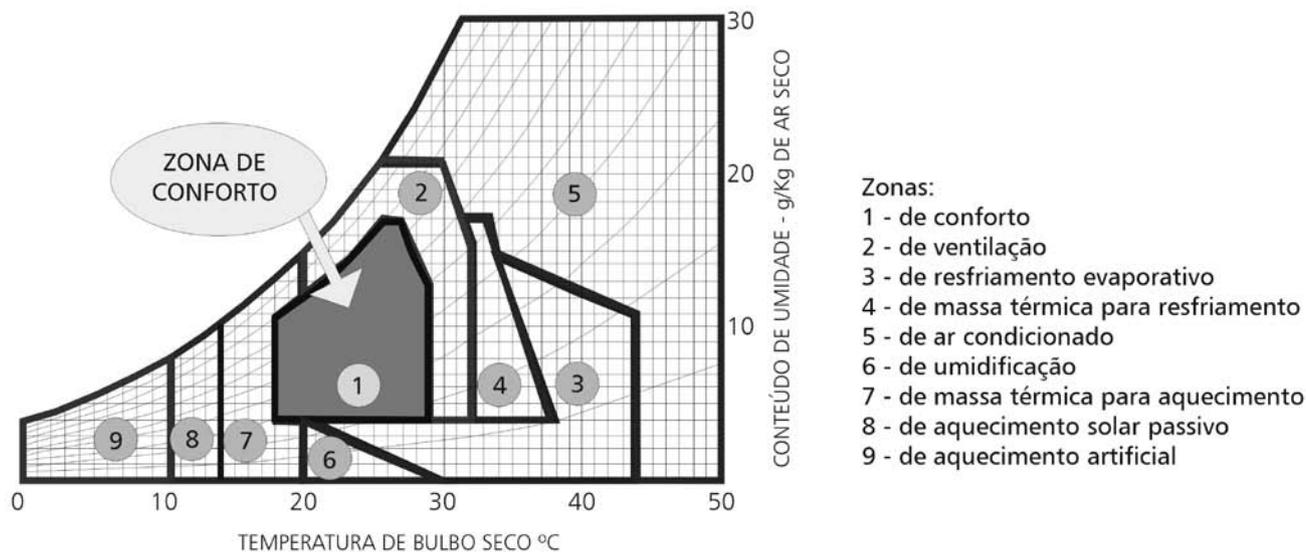


Figura 251 – Diagrama bioclimático proposto por Givoni (1992)

Bogo et al. (1994) realizaram um estudo no qual foram analisadas metodologias de avaliação de conforto, de vários autores, entre eles Watson e Labs, Olgyay, Givoni e Szokolay. Com base nesse estudo, os autores sugerem a adoção da Carta Bioclimática para Edifícios de Givoni, por entenderem que ela é a que melhor se adapta às condições brasileiras.

Lamberts, Pereira e Dutra (1997) propõem o lançamento dos valores horários de umidade relativa e temperatura do ar, do ano climático de referência (TRY), sobre a carta bioclimática, obtendo-se um conjunto de estratégias adequadas a cada período do ano. Tais autores aplicaram a proposta à cidade de Porto Alegre, tendo sido verificada uma ampla variação climática ao longo do ano. Constatou-se, também, que um percentual significativo das horas de descon-

forto é decorrente da alta umidade relativa (acima de 80%) e das baixas temperaturas (menores que 18 °C). Ao se extrair da carta os percentuais relativos a cada zona, observa-se que, em apenas 22,4% das horas do ano, haverá conforto térmico. No restante (77,5%), o desconforto se divide em 25,9% provocado pelo calor, e 51,6%, pelo frio.

### Equipamento de medição

Para as medições *in loco* foi utilizado um analisador de ambientes interiores, da linha instrumental Babuc. Este compreende um conjunto de instrumentos, sensores, acessórios e programas para aquisição, visualização e memorização, que permite a dedução de uma variedade de grandezas físicas. As sondas conectadas ao Babuc/A foram calibradas na fábrica, em

conformidade com a norma ISO 7726 (1996). O equipamento foi recebido em novembro de 2002, e as medições se iniciaram no primeiro semestre de 2003.

#### 8.4.2.3 Medições *in loco* e variáveis de uso

O equipamento de medição foi instalado no centro da sala/cozinha, sobre um tripé, sendo os sensores posicionados a, aproximadamente, 1,10 m de altura em relação ao piso da edificação. As sondas foram programadas para registrar valores em intervalos horários, durante todo o período de estudo.

Devido ao grande risco de roubo do equipamento, decorrente da inexistência de guardas ou seguranças no local, optou-se por manter as janelas fechadas durante todo o período de medição. Com relação às portas internas, elas permaneceram abertas, permitindo a livre circulação do ar entre os compartimentos.

As portinholas de ventilação existentes no beiral sul da cobertura foram abertas no dia 11 de novembro de 2003, quando se observou uma elevação sensível da temperatura do ar externo (neste dia a temperatura do ar interno ultrapassou os 28 °C pela primeira vez). Durante os seis meses seguintes as portinholas foram mantidas abertas, assim permanecendo até o dia 11 de maio de 2004, quando, novamente, foram fechadas até o final do período de medições.

Salienta-se que a edificação foi monitorada sem que houvesse nenhum ocupante em seu interior. Sempre que ocorriam visitas ao protótipo, a seqüência de dados, no período em que os visitantes estavam no interior do protótipo e nas horas subseqüentes, era desconsiderada. O protótipo não dispunha

de nenhum aparelho elétrico, lâmpada ou qualquer outro tipo de equipamento que pudesse caracterizar uma fonte geradora de calor em seu interior (a não ser o próprio equipamento de medição). Observa-se que, em uma situação real de uso, esses equipamentos podem elevar significativamente a temperatura interna (LITTLER; THOMAS, 1984).

#### Dados externos

As medições externas foram realizadas em uma estação meteorológica localizada a, aproximadamente, 500 m do local onde está construído o protótipo. O equipamento efetuou o registro de dados, a cada 15 minutos, durante as 24 horas do dia. A coleta foi realizada, mensalmente, pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), da UFRGS.

Os dados fornecidos pela estação meteorológica da UFRGS incluíam: temperatura do ar; temperatura de orvalho; radiação solar; velocidade e direção do vento; umidade relativa do ar; e precipitação, entre outros. Nesta seção, são apresentados apenas os dados referentes à temperatura do ar e à umidade relativa.

#### Tratamento dos dados

Os dados externos e internos foram organizados em planilhas do software Excel®, nas quais também foram quantificadas as horas de conforto e desconforto, e gerados histogramas. Também foi utilizado o programa Analysis Bio 2.1.1, desenvolvido pela equipe do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da Universidade Federal de Santa Catarina, para plotar os valores de umidade relativa e temperatura do ar sobre a carta psicrométrica.

#### 8.4.2.4 Resultados

O período de medições, considerado neste estudo, teve início às 12h do dia 12 de maio de 2003 e prosseguiu até as 11h do dia 12 de maio de 2004. Esse intervalo corresponde a um total de 366 dias de medições (o ano 2004 foi bissexto), ou 8.784 registros horários. Entretanto, devido a uma falha no equipamento de armazenamento de dados da estação meteorológica do IPH, foram perdidas 352 horas de medição, compreendidas entre 29 de outubro e 13 de novembro de 2003.

No que concerne aos dados internos, em 336 horas do período de medição, deixou-se de registrar ou se desconsideraram os dados de temperatura do ar (seja devido à presença de visitantes no protótipo, a paralisações de manutenção ou a falhas de leitura). Pelos mesmos motivos, só que por um período de 579 horas, não foram registrados dados de umidade relativa do ar.

Com isso, para cada variável ambiental externa, foram registrados 8.432 dados, enquanto nas medições internas foram registrados 8.448 valores de temperatura de bulbo seco e 8.205 valores de umidade relativa do ar. Deve-se salientar que as falhas na leitura da temperatura de bulbo seco foram sempre simultâneas às interrupções das medições de umidade relativa do ar.

#### Resposta da edificação às variações de temperatura externa

No trabalho de doutorado de Grigoletti (2007), a autora realiza uma análise detalhada da resposta térmica da edificação às variações externas de tempera-

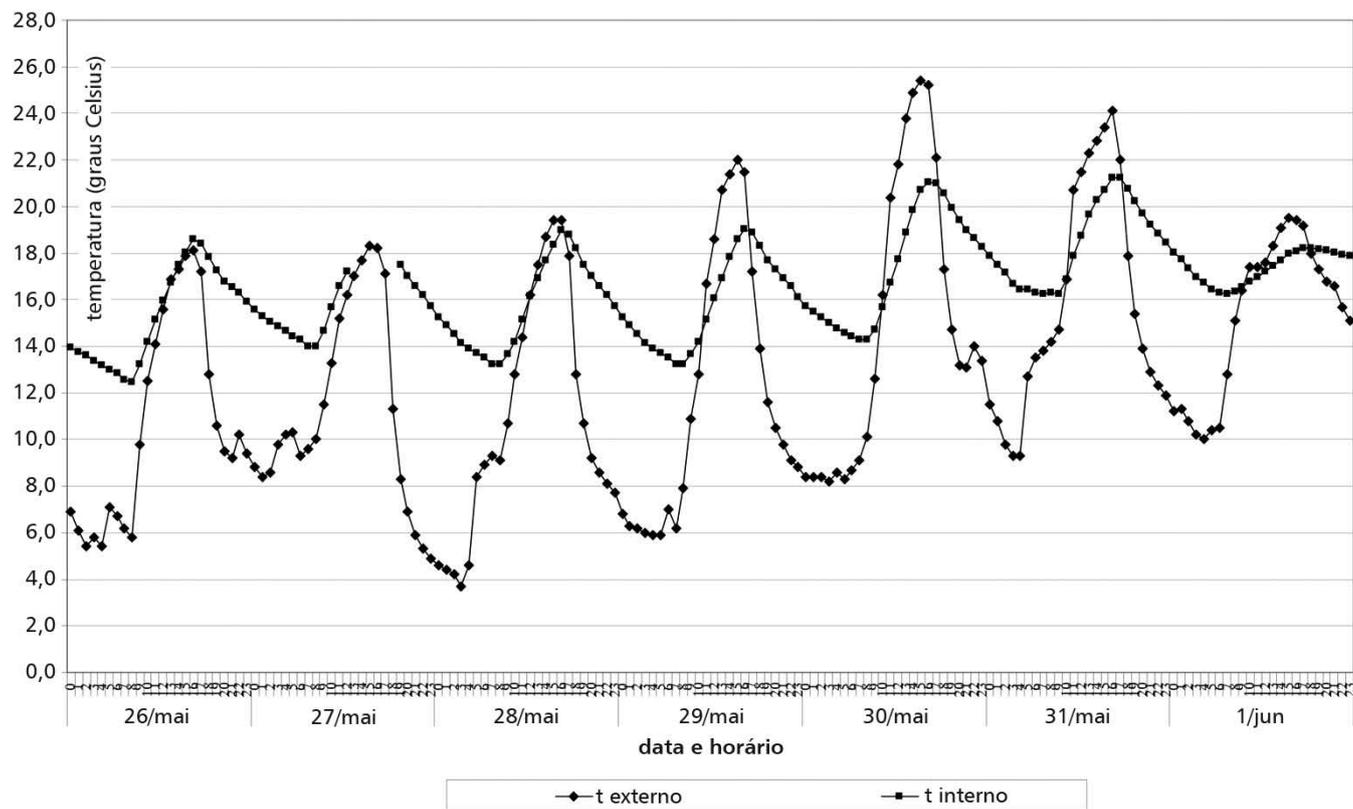
tura, considerando as diferentes estações do ano e as diversas seqüências de temperatura do ar externo.

- Seqüências de dias consecutivos com amplitudes de temperatura do ar externo superiores a 10,0 K

Nos três períodos identificados pelas Figuras 252 a 254 ocorreram dias com variações de amplitude de temperatura do ar externo superiores a 10,0 K, podendo se observar que a temperatura do ar interno, na maior parte dos períodos, mantém-se próxima das máximas registradas no meio exterior.

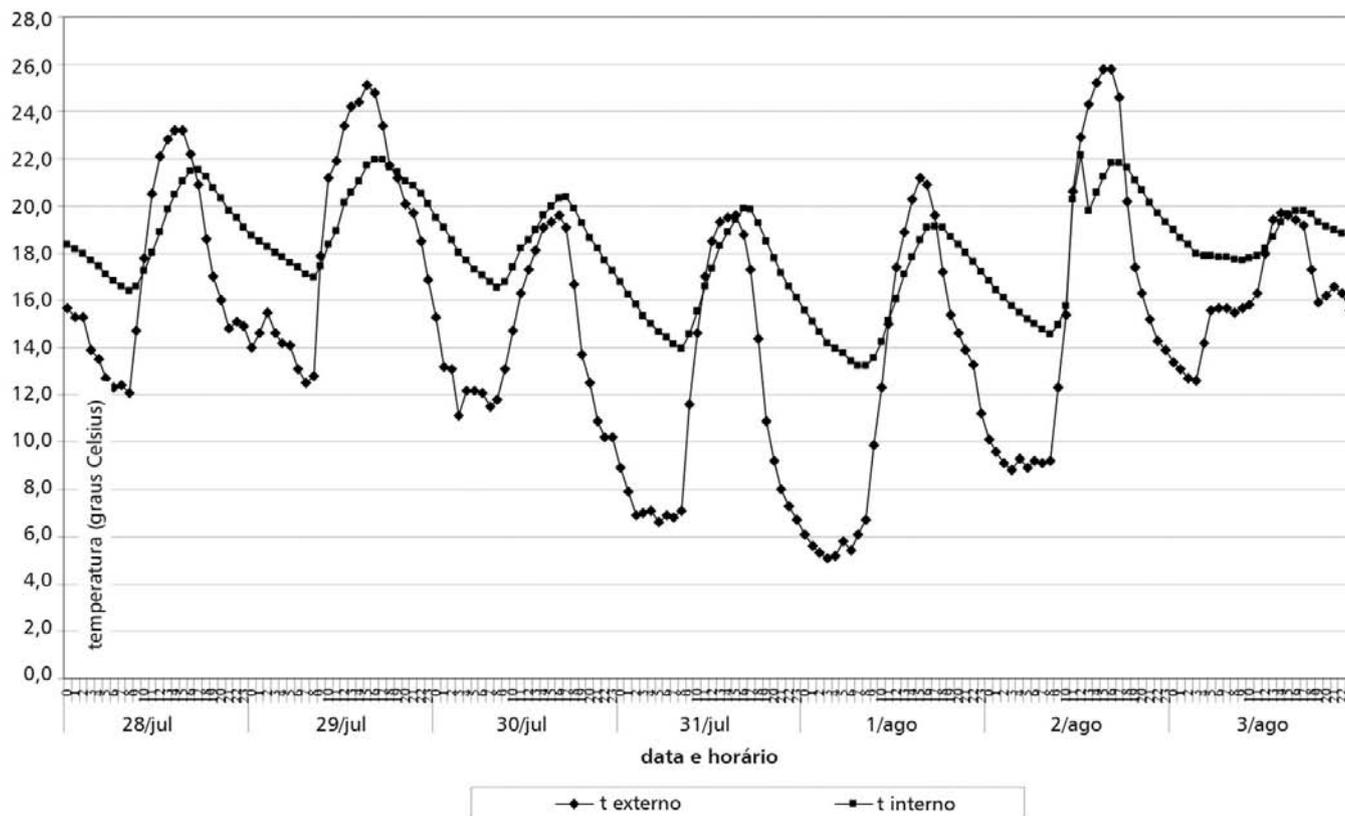
Observa-se, porém, que, à medida que a temperatura do ar externo  $t_e$  aumenta, a temperatura máxima do ar interno se afasta da máxima registrada no meio exterior. A temperatura média mínima do ar externo é de 10,7 °C (correspondente ao dia 26 de maio), enquanto a temperatura média mínima do ar interno é de 15,3 °C. A amplitude máxima de onda de temperatura do ar externo é de 17,2 K, enquanto a amplitude máxima de onda de temperatura do ar interno é de 6,8 K para o mesmo dia (correspondente ao dia 30 de maio). Para os dias 28 e 29 de maio, há amplitudes de onda de temperatura do ar externo de 15,7 K e de 16,1 K, enquanto no meio interior a amplitude atinge 5,8 K. Comportamento similar é verificado nas seqüências ilustradas nas Figuras 253 a 256.

No caso da seqüência apresentada na Figura 253, a temperatura média mínima do ar externo é de 11,6 °C (31 de julho), enquanto a temperatura média mínima do ar interno é de 16,1 °C (1º de agosto). A amplitude máxima de onda de temperatura do ar



Variáveis	27 maio		28 maio		29 maio		30 maio		31 maio	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	18,3	4,9	19,5	3,7	22,0	5,9	25,4	8,2	24,1	9,3
temp. interna (°C)	17,5	14,0	19,0	13,2	19,0	13,2	21,1	14,3	21,2	16,2
atraso térmico (h)	-	8	0	5	1	3	1	4	1	4
amortecimento	0,26		0,32		0,36		0,40		0,34	

Figura 252 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada, entre 26 de maio e 1º de junho de 2003, conforme dados de Morello (2005)



Variáveis	29 julho		30 julho		31 julho		1º agosto		2 agosto	
	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.
temp. externa (°C)	25,1	12,5	19,6	11,5	19,6	6,6	21,2	5,1	25,8	8,8
temp. interna (°C)	22,0	17,0	20,4	16,5	19,9	14,0	19,1	13,3	22,1	14,6
atraso térmico (h)	1	1	5	1	1	3	1	4	1	5
amortecimento	0,40		0,48		0,46		0,37		0,45	

Figura 253 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 28 de julho e 3 de agosto de 2003, conforme dados de Morello (2005)

externo é de 17,0 K, enquanto a amplitude máxima de onda de temperatura do ar interno é de 7,6 K para o mesmo dia (2 de agosto). A temperatura do ar externo  $t_e$  sofre uma queda a partir do terceiro dia da seqüência (dia 30 de julho). A temperatura máxima do ar interno é praticamente igual à temperatura máxima do ar externo no terceiro e quarto dias da seqüência (19,6 °C e 20,4 °C, 19,6 °C e 19,9 °C, respectivamente), indicando um coeficiente de amortecimento maior para as temperaturas mínimas do que para as temperaturas máximas do ar externo. A temperatura máxima do ar interno, no quinto dia (1° de agosto), se afasta da temperatura máxima do ar externo em decorrência da queda registrada para as temperaturas mínimas do ar externo e um aumento da amplitude de onda de temperatura do ar externo (de 13,0 K para 16,1 K nos dias 31 de julho e 1° de agosto, respectivamente).

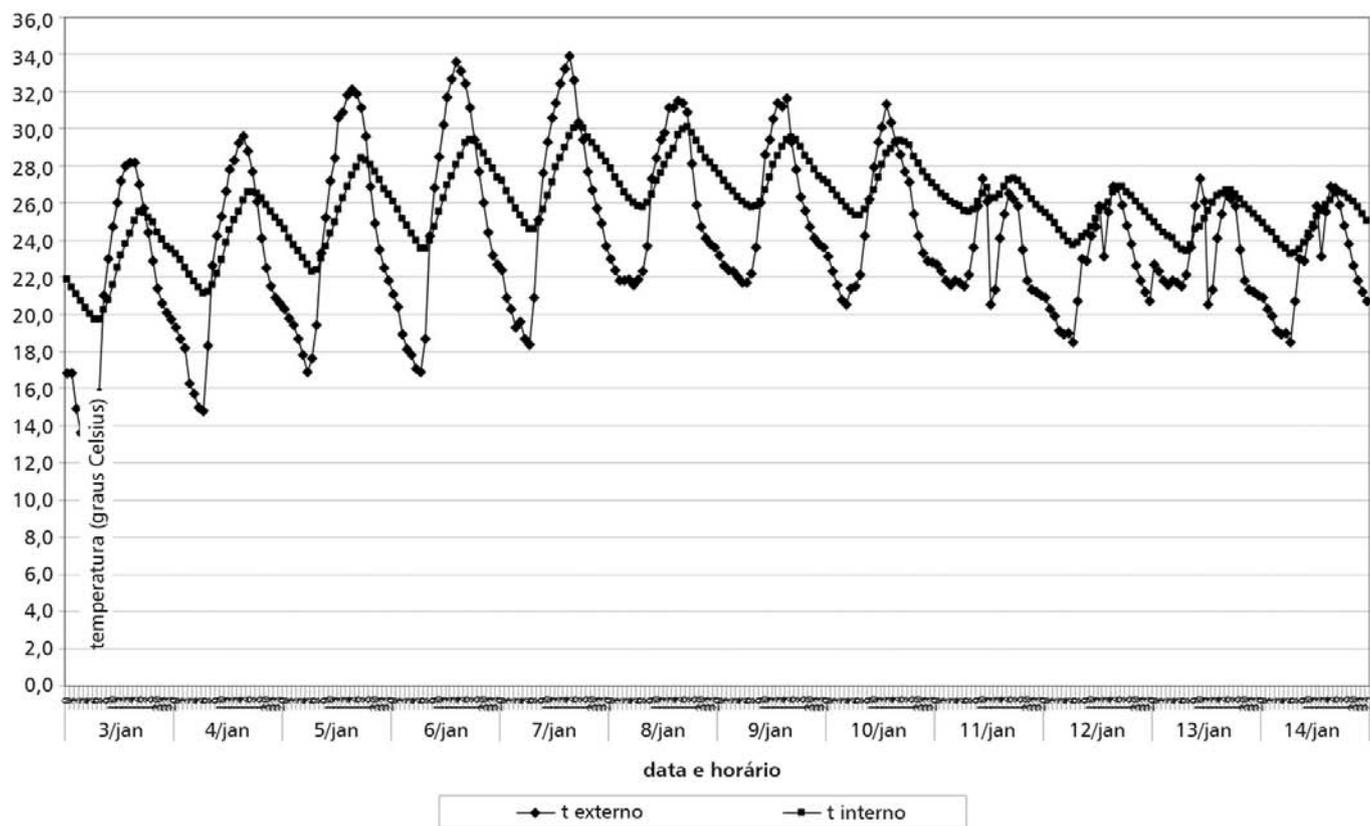
Na Figura 254, verifica-se uma temperatura média máxima do ar externo de 26,0 °C (7 de janeiro). A temperatura média máxima do ar interno é de 27,8 °C (8 de janeiro). A amplitude máxima de onda de temperatura do ar externo é de 16,7 K (6 de janeiro), enquanto a amplitude máxima do ar interno é de 6,1 K (5 de janeiro). Para essa seqüência de dias considerados quentes, a temperatura do ar interno  $t_i$  se mantém praticamente dentro do intervalo de temperaturas da zona de conforto de Givoni (1992).

- Seqüências de dias consecutivos com temperaturas do ar externo  $t_e$  variando de menos de 18,0 °C a mais de 29,0 °C

A seguir, são apresentadas seqüências de dias em

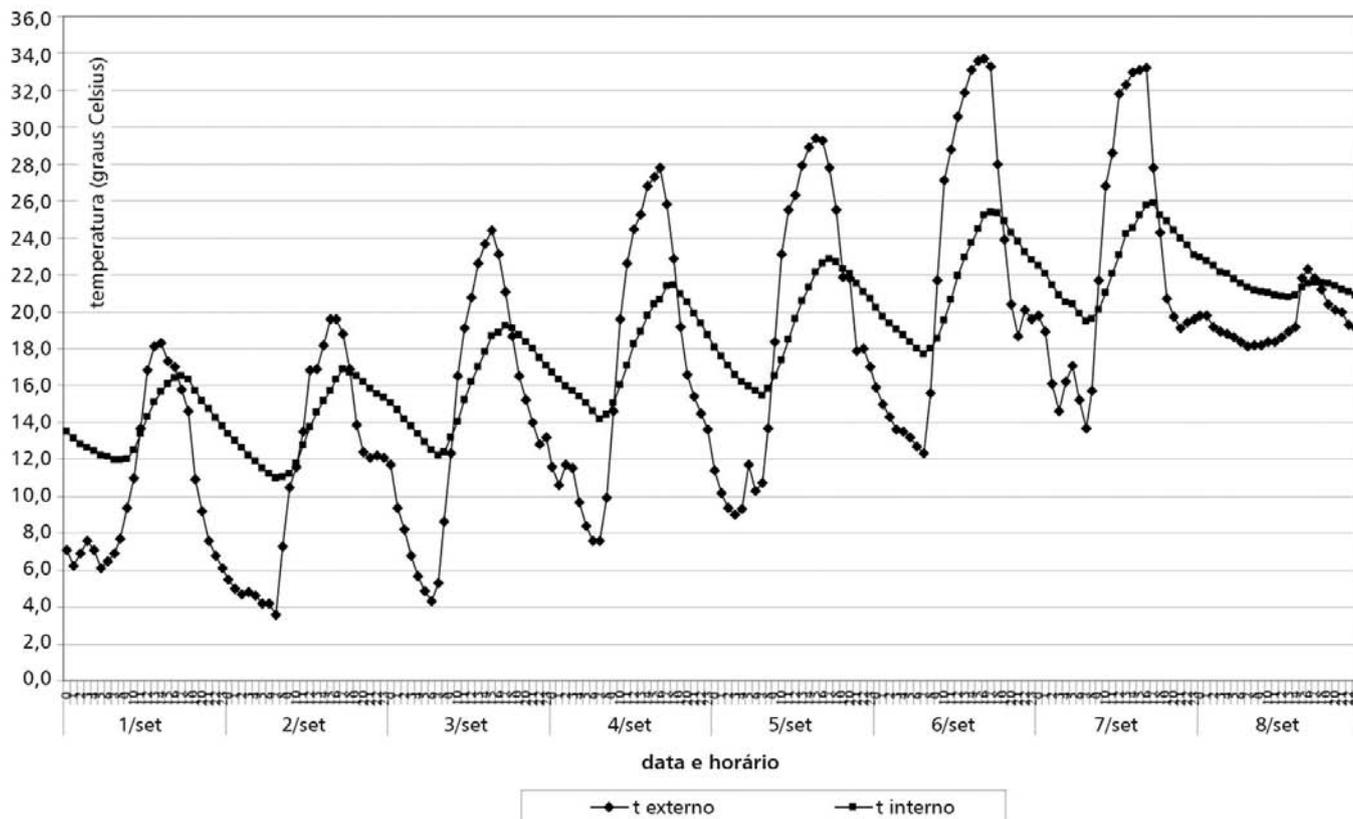
que a temperatura do ar externo  $t_e$  varia de um valor máximo superior a 29,0 °C a um valor mínimo inferior a 18,0 °C, ou seja, há, em um dia, condições de temperatura do ar externo acima e abaixo dos limites superior e inferior da zona de conforto de Givoni (1992), respectivamente. São apresentadas duas seqüências de dias com essas características: 1° de setembro de 2003 a 8 de setembro de 2003 e 8 de outubro de 2003 a 19 de outubro de 2003. Para essas seqüências, é considerado um conjunto de, no mínimo, oito dias consecutivos, embora não tenham se verificado as variações acima descritas em todos os dias selecionados. No entanto, em pelo menos dois dias consecutivos se verificam mudanças diárias de temperatura como as descritas.

A seqüência mostrada na Figura 255 identifica um aumento contínuo de temperatura média do ar externo de 10,6 °C, até alcançar 22,4 °C, no sétimo dia do período, para, a partir de então, cair no sétimo e oitavo dias para 19,5 °C e 21,4 °C, respectivamente. A temperatura média do ar interno varia de 13,9 °C a 22,7 °C ao alcançar o quinto dia, caindo para 21,5 °C nos dois dias subseqüentes. Segundo dados ilustrados na Figura 255, inicialmente a temperatura do ar interno  $t_i$  se mantém próxima à temperatura máxima do ar externo no início da seqüência (condição de frio), gradualmente se aproximando da temperatura mínima do ar externo nos três últimos dias da mesma (condição de calor). A menor temperatura mínima do ar externo para essa seqüência é 3,6 °C, em 2 de setembro, e a maior temperatura mínima do ar externo é 18,1 °C, em 8 de setembro. Para o meio interior, têm-se, respectivamente, 11,0 °C e 20,8 °C. As amplitudes máximas de onda de temperatura do ar



Variáveis	3 janeiro		4 janeiro		5 janeiro		6 janeiro		7 janeiro	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	28,2	12,2	29,6	14,8	32,1	16,9	33,5	16,9	33,9	18,4
temp. interna (°C)	25,5	19,7	29,9	21,1	28,4	22,3	29,4	23,5	30,1	24,6
atraso térmico (h)	1	1	1	0	2	1	3	1	2	0
amortecimento	0,36		0,37		0,40		0,35		0,35	

Figura 254 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 3 de janeiro e 14 de janeiro de 2004, conforme dados de Morello (2005)



Variáveis	3 setembro		4 setembro		5 setembro		6 setembro		7 setembro	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	24,4	4,3	27,8	7,6	29,4	9,0	33,7	12,3	33,2	13,7
temp. interna (°C)	19,3	12,2	21,5	14,2	22,9	15,5	25,4	17,7	25,9	19,5
atraso térmico (h)	1	2	2	1	2	4	1	0	1	0
amortecimento	0,35		0,36		0,36		0,36		0,33	

Figura 255 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 1º de setembro e 8 de setembro de 2003, conforme Morello (2005)

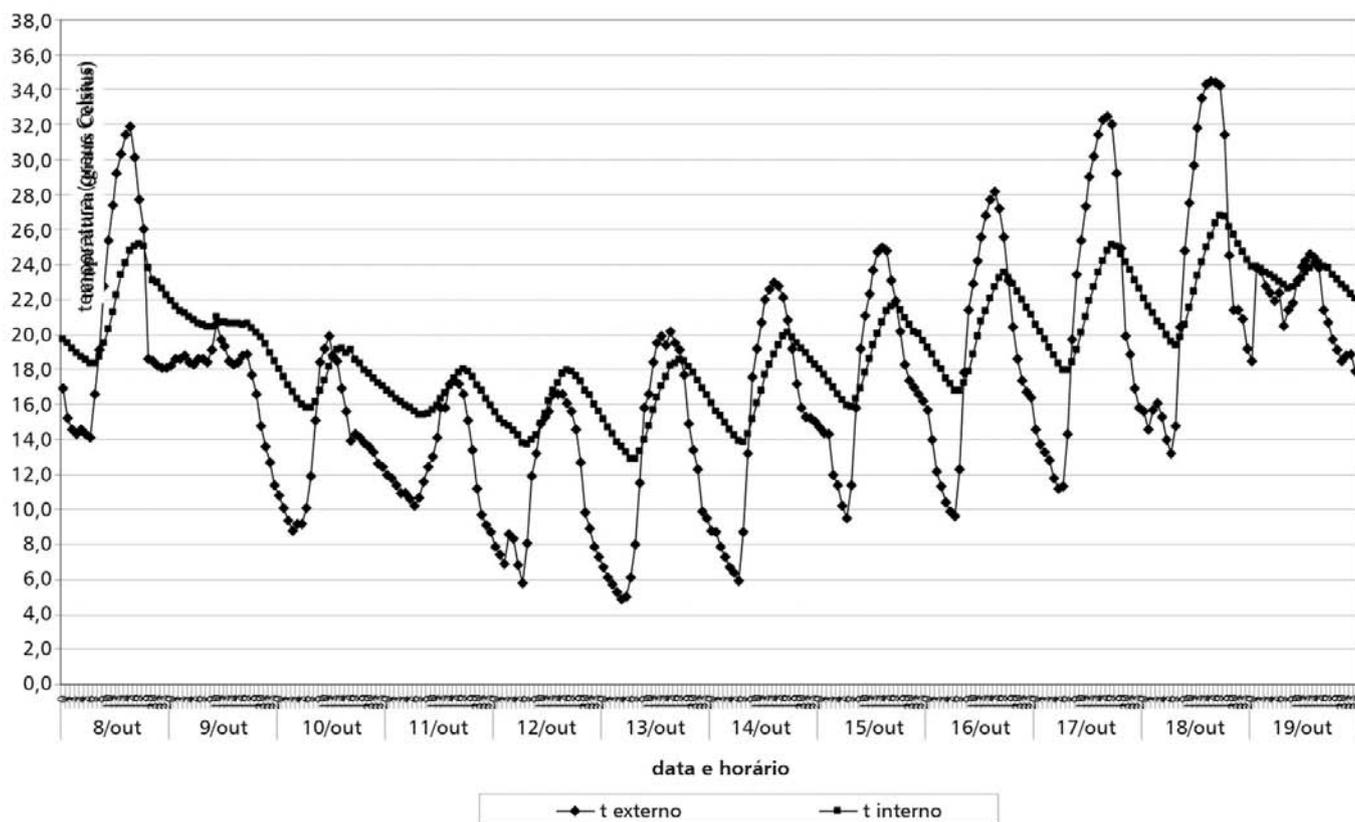
externo e do ar interno ocorrem no mesmo dia (6 de setembro), sendo de 21,4 K e 7,7 K, respectivamente. A temperatura mínima do ar interno se mantém entre 11,0 °C e 19,5 °C entre os dias 1º a 7 de setembro, apresentado-se por seis dias consecutivos abaixo de 18,0 °C, mesmo com a temperatura máxima do ar externo atingindo valores de 30 °C em três dias consecutivos da seqüência (4 a 6 de setembro). A grande capacidade de amortecimento de amplitude de onda de temperatura do ar externo é verificada para todo o conjunto de seqüências analisadas, com valores entre 0,33 e 0,35.

A seqüência mostrada na Figura 256 é caracterizada por um aumento contínuo de temperatura média do ar externo a partir do dia 12 de outubro, variando de 11,4 °C até 23,5 °C, no dia 18 de outubro, no décimo primeiro dia da seqüência. A temperatura média do ar interno varia de 15,8 °C, no dia 12 de outubro, a 23,3 °C, no dia 19 de outubro. De acordo com a Figura 256, inicialmente a temperatura do ar interno  $t_i$  se mantém próxima à temperatura máxima do ar externo no início da seqüência, aproximando-se da temperatura mínima do ar externo nos dias 17 e 18 de outubro. A menor temperatura mínima do ar externo para essa seqüência é de 4,9 °C, em 13 de outubro, e a maior temperatura mínima do ar externo é de 17,9 °C, em 19 de outubro. Para o meio interior, têm-se, respectivamente, 12,9 °C e 22,1 °C. A amplitude máxima de onda de temperatura do ar externo é de 21,3 K (17 e 18 de outubro), enquanto a amplitude máxima de onda de temperatura do ar interno é de 7,4 K (18 de outubro).

- Seqüências de dias caracterizados por ondas de frio ou de calor

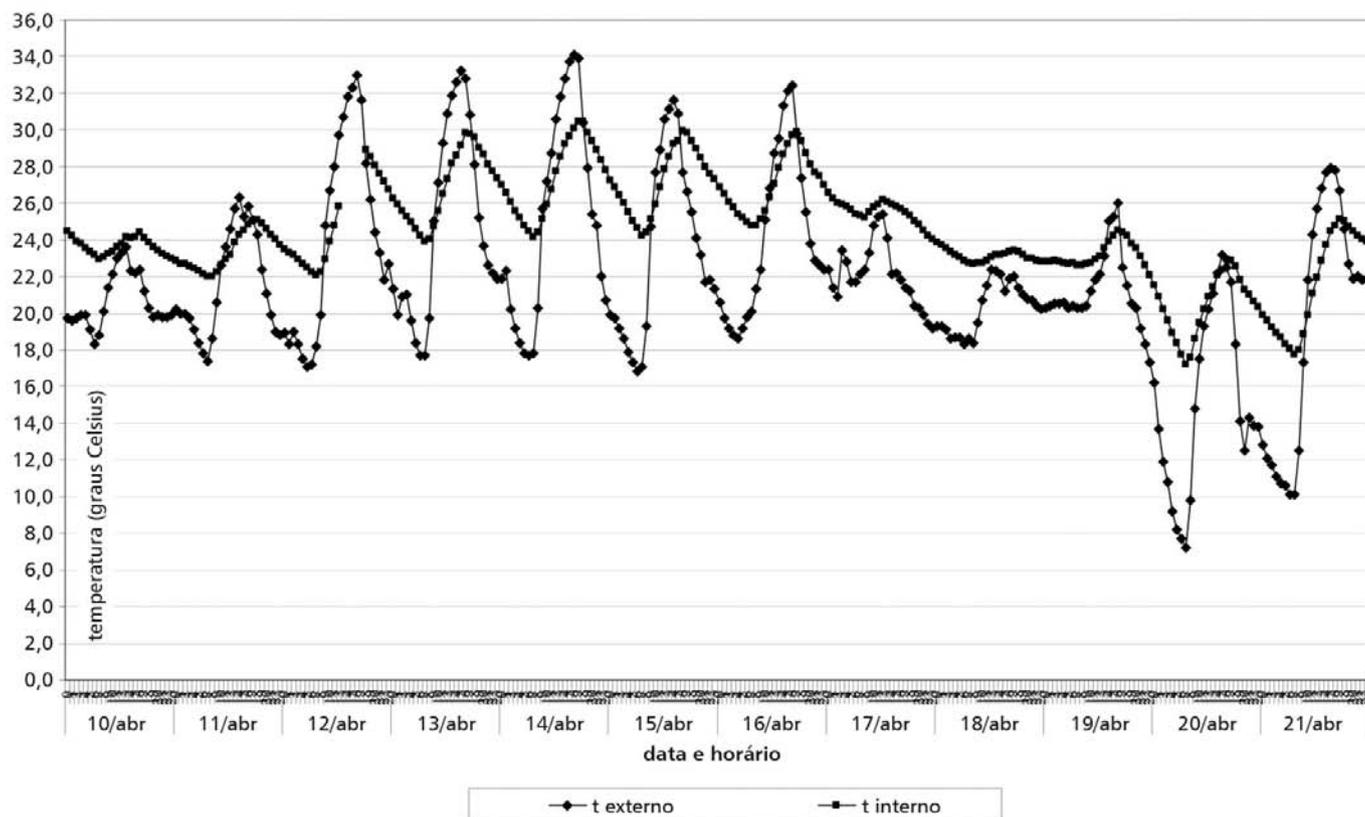
As seqüências que se seguem mostram a resposta da edificação ante as ondas de frio ou de calor. A Figura 257 se refere à seqüência de dias consecutivos de 10 de abril a 21 de abril de 2004 (onda de frio); a Figura 257, à seqüência de 14 de agosto a 28 de agosto de 2003 (onda de calor, seguida de onda de frio); a Figura 259, à seqüência de 28 de agosto a 7 de setembro de 2003 (onda de calor); a Figura 260, à seqüência de 5 de setembro a 11 de setembro de 2003 (onda de frio); a Figura 261 correspondente à seqüência de 19 de outubro a 26 de outubro de 2003; e a Figura 262 correspondente à seqüência de 16 de novembro a 23 de novembro de 2003. Essas figuras ilustram, pois, quedas bruscas nas temperaturas mínimas do ar externo e complementam a análise do comportamento térmico do protótipo Alvorada.

Após cinco dias consecutivos considerados quentes (12 a 16 de abril), a partir do dia 17 de abril, há uma queda da temperatura máxima do ar externo, mantendo-se a temperatura mínima do ar externo aproximadamente estável. A partir do décimo primeiro dia, a temperatura mínima do ar externo sofre uma queda de 10,1 K, enquanto a temperatura máxima se mantém relativamente estável. A temperatura do ar interno  $t_i$ , por sua vez, se mantém próxima das temperaturas máximas externas, assumindo um valor mínimo de 17,2 °C, em 20 de abril. Essa seqüência de dias é caracterizada por amplitudes de onda de temperatura do ar externo significativas, atingindo o valor de 16,4 K em 16 de abril e de 17,8 K em 21 de abril. A amplitude de onda de temperatura do ar



Variáveis	14 outubro		15 outubro		16 outubro		17 outubro		18 outubro	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	23,0	5,9	25,0	9	28,2	9,3	32,5	11,2	34,5	13,2
temp. interna (°C)	20,1	13,9	21,8	15,9	23,6	16,8	25,1	17,9	26,8	19,4
atraso térmico (h)	3	0	3	1	2	0	1	1	2	1
amortecimento	0,36		0,38		0,37		0,34		0,35	

Figura 256 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 8 de outubro e 19 de outubro de 2003, conforme dados de Morello (2005)



Variáveis	16 abril		17 abril		18 abril		19 abril		20 abril	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	32,4	18,6	25,	21,7	22,4	18,3	26,0	20,3	23,2	7,2
temp. interna (°C)	29,9	24,8	26,1	25,2	23,4	22,7	24,6	22,6	23,0	17,2
atraso térmico (h)	1	3	1	3	4	1	0	2	0	1
amortecimento	0,37		0,24		0,17		0,35		0,36	

Figura 257 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 10 de abril e 21 de abril de 2004, conforme dados de Morello (2005)

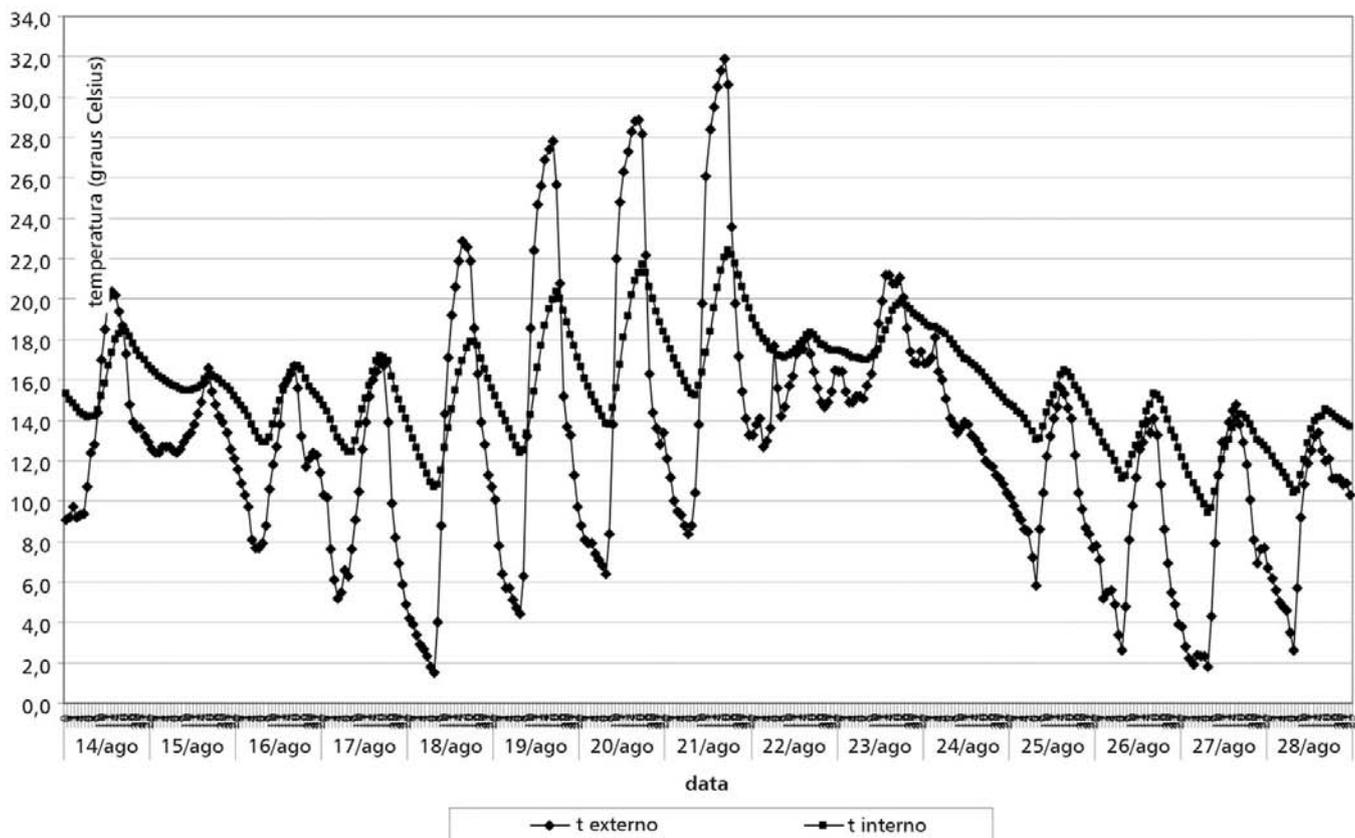
interno atinge, para esses dias, 6,3 K e 7,3 K, respectivamente. Em 24 horas há uma queda na temperatura máxima do ar externo de 32,4 °C para 25,4 °C (16 e 17 de abril) e queda de temperatura mínima do ar externo de 17,6 °C para 7,2 °C (19 a 20 de abril). Há uma resposta rápida da edificação à queda de temperatura. A queda da temperatura mínima do ar externo só se verifica a partir do quarto dia após o início do fenômeno de onda de frio. A partir desse dia, há quedas da temperatura do ar interno  $t_i$ , com temperaturas mínimas atingindo valores abaixo dos 10,0 °C. As temperaturas médias do ar externo variam de 24,4 °C, em 16 de abril, para 15,2 °C, em 20 de abril. As temperaturas médias do ar interno variam de 27,0 °C, em 16 de abril, para 20,4 °C, em 20 de abril.

A seqüência de dias apresentada na Figura 258 se caracteriza por uma elevação gradual da temperatura média do ar externo por cerca de cinco dias (17 a 21 de agosto), seguida de uma queda de temperatura média do ar externo por aproximadamente seis dias consecutivos (22 a 27 de agosto). Nessa seqüência de dias, a temperatura mínima do ar externo atinge valores de 2,6 °C e 1,8 °C nos últimos três dias da seqüência (26, 27 e 28 de agosto). No dia 21 de agosto, a temperatura máxima do ar externo atinge o valor de 31,9 °C, e a temperatura mínima do ar externo é de 8,4 °C, com uma amplitude de onda de temperatura do ar externo de 23,5 K. Valores superiores a 20,0 K de amplitude de onda de temperatura do ar externo também se verificam para os dias 18, 19 e 20 de agosto. A temperatura mínima do ar interno atinge um valor mínimo de 9,4 °C em 27 de agosto e uma amplitude máxima de onda de temperatura do ar interno de 8,0 K em 19 de agosto.

A temperatura máxima do ar interno assume um valor máximo de 22,4 °C em 21 de agosto. A temperatura diária média do ar interno se mantém sempre acima da temperatura diária média do ar externo.

A partir do dia 18 de agosto há uma elevação contínua da temperatura do ar externo  $t_e$ , mínima e máxima. Devido à grande amplitude de onda de temperatura do ar externo dos dias 18, 19, 20 e 21 de agosto, com redução das temperaturas mínimas do ar externo após 17 de agosto, a temperatura do ar interno  $t_i$  não se eleva de maneira significativa (mantém-se, em boa parte dos horários, abaixo dos 18,0 °C, para 18 e 19 de agosto) e apresenta temperatura média inferior à temperatura média do ar externo.

Em 24 horas, ocorre uma queda de temperatura máxima do ar externo de 31,9 °C para 18,1 °C (dias 21 e 22 de agosto). A partir do dia 24 de agosto, há uma queda contínua da temperatura do ar externo, de aproximadamente 18 °C (às 3 horas) a 10 °C (às 23 horas). A temperatura do ar interno também decresce, no entanto a diferença entre esta e a temperatura do ar externo aumenta à medida que se verifica a redução desta última (a diferença cresce de 0,5 K, às 3 horas, para 4,5 K, às 23 horas). A queda da temperatura mínima do ar externo se verifica a partir do quarto dia após o início do fenômeno de onda de frio. A partir desse dia, há quedas da temperatura do ar interno  $t_i$ , com temperaturas mínimas atingindo valores abaixo dos 10,0 °C, em 27 de agosto. As temperaturas médias do ar externo variam de 18,1 °C, em 21 de agosto, a 10,8 °C, em 25 de agosto. As temperaturas médias do ar interno variam de 18,6 °C, em 21 de agosto, a 14,8 °C, em 25 de agosto.



Variáveis	16 agosto		17 agosto		18 agosto		19 agosto		20 agosto	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	16,7	7,7	16,8	5,2	22,9	1,5	27,8	4,4	28,9	6,4
temp. interna (°C)	16,7	12,9	17,2	12,5	17,9	10,7	20,4	12,4	21,7	13,8
atraso térmico (h)	0	1	0	2	2	0	1	0	1	1
amortecimento	0,42		0,41		0,34		0,34		0,35	

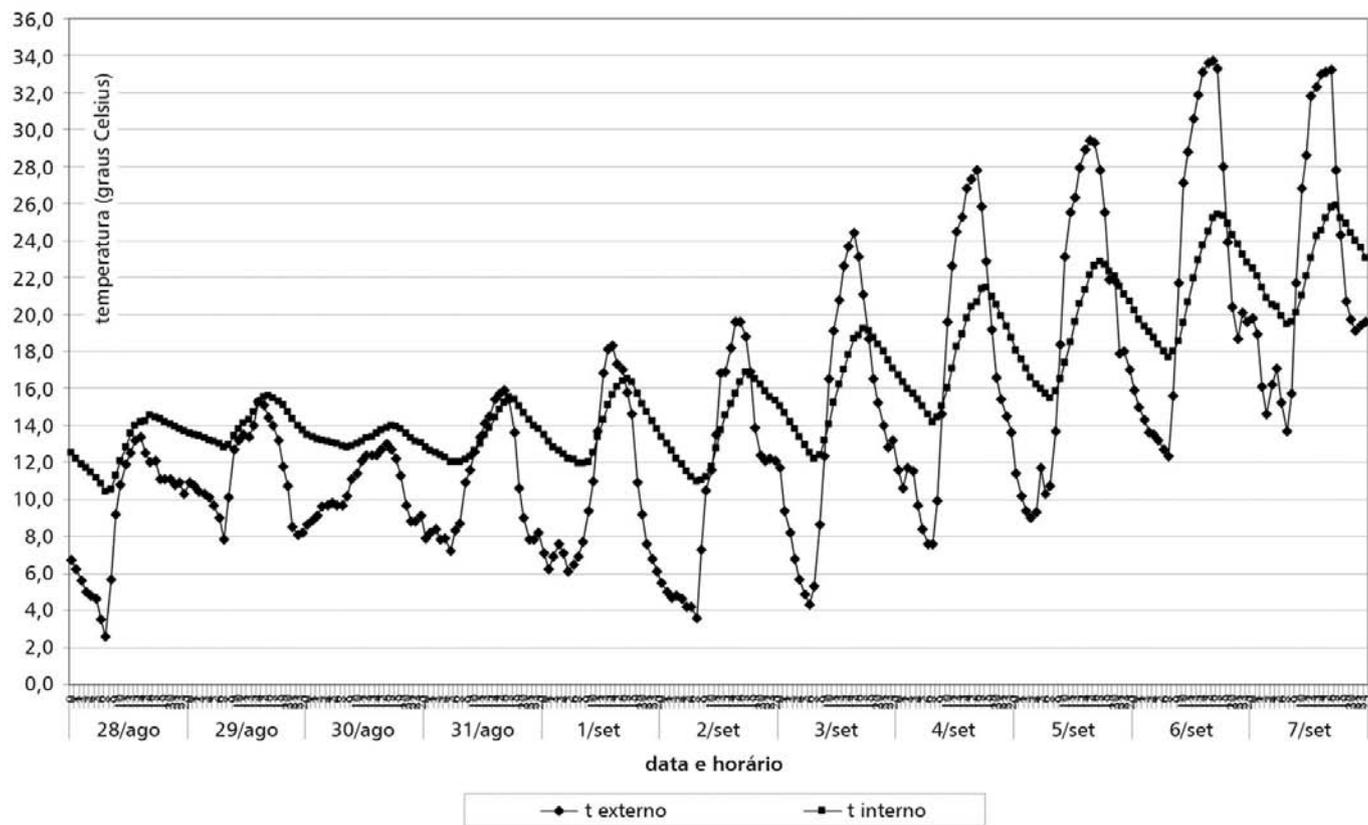
Figura 258 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 14 de agosto e 28 de agosto de 2003, conforme dados de Morello (2005)

Variáveis	21 agosto		22 agosto		23 agosto		25 agosto		26 agosto	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	31,9	8,4	18,1	12,7	21,2	14,9	15,6	5,8	14,1	2,6
temp. interna (°C)	22,4	15,3	18,3	17,1	19,9	17,0	16,5	13,0	15,3	11,1
atraso térmico (h)	1	1	1	6	4	4	1	0	0	0
amortecimento	0,30		0,22		0,44		0,36		0,37	

Figura 258 – Continuação

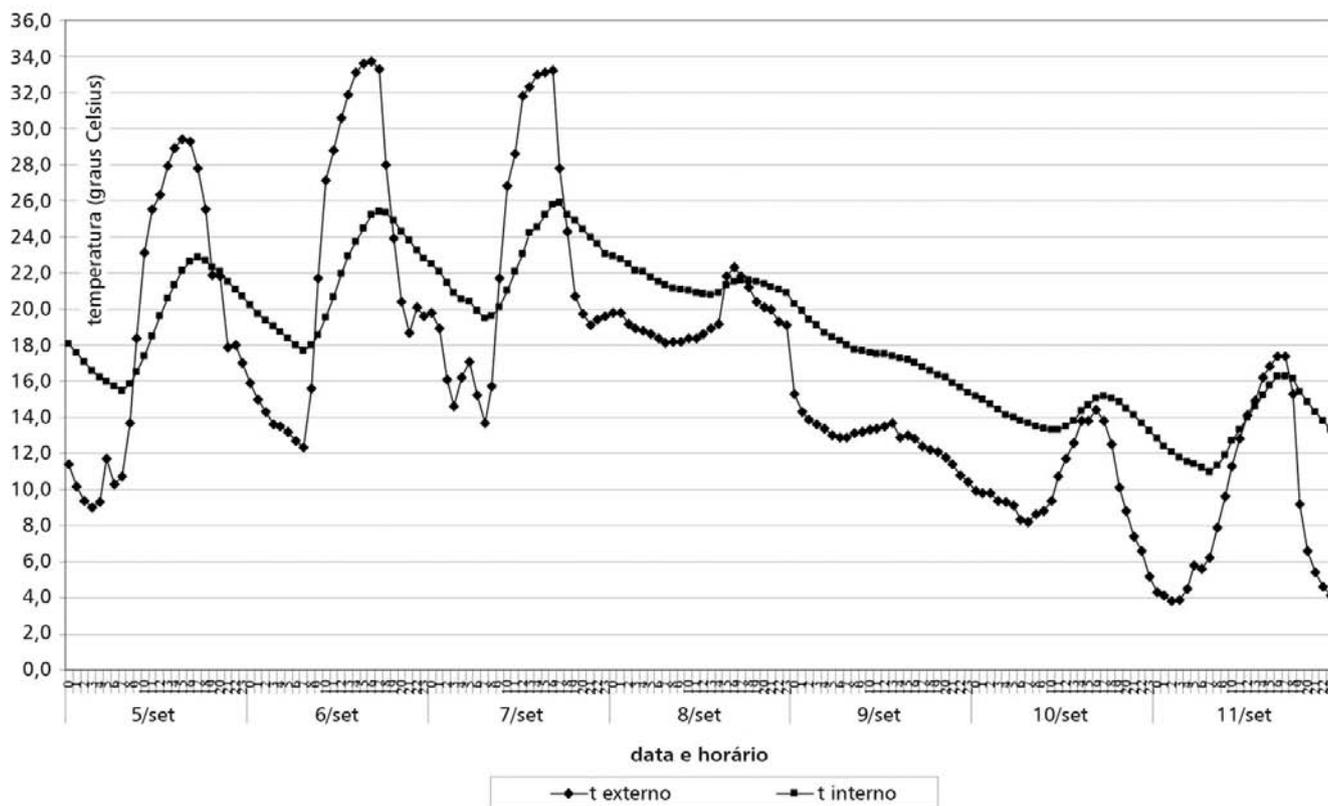
A Figura 259 permite uma análise de uma onda de calor, onde a temperatura média do ar externo varia de 9,1 °C a 22,4 °C, e com a temperatura máxima do ar externo variando de 13,4 °C (28 de agosto) a 33,7 °C (6 de setembro), acompanhada da variação da temperatura mínima do ar externo, de 2,6 °C (28 de agosto) a 13,7 °C (7 de setembro). A temperatura média do ar interno varia de 12,8 °C a 22,7 °C, alcançando a temperatura máxima do ar interno de 25,9 °C, em 7 de setembro, e temperatura mínima do ar interno de 10,4 °C, em 28 de agosto. A amplitude de onda de temperatura do ar externo atinge valores superiores a 20,0 K em quatro dias consecutivos: 3, 4, 5 e 6 de setembro. A temperatura do ar interno  $t_i$  se mantém abaixo dos 18,0 °C por seis dias consecutivos. Apesar da redução das temperaturas mínimas do ar externo registradas, a partir de 31 de agosto, a temperatura do ar interno se mantém mais próxima das máximas do que das mínimas. Mas, à medida que a temperatura do ar externo aumenta, a temperatura do ar interno se afasta das máximas registradas no meio exterior.

A Figura 260 apresenta uma seqüência de dias com temperaturas máximas do ar externo de 33,7 °C, seguidas de uma queda de temperatura por três dias consecutivos (8 a 10 de setembro), com temperaturas máximas atingindo o valor de 14,3 °C (9 de setembro) e temperaturas mínimas caindo a 3,8 °C (11 de setembro). A temperatura mínima do ar interno registrada nessa seqüência de dias é de 11,0 °C, para o dia 11 de setembro, e a temperatura máxima do ar interno é de 25,9 °C, para o dia 7 de setembro. A temperatura média do ar externo varia de 22,4 °C, em 7 de setembro, a 13,7 °C, em 10 de setembro. A temperatura média do ar interno varia de 22,7 °C a 14,2 °C nos dois dias citados. A temperatura do ar interno, nos dias 8, 9 e 10 de setembro se mantém acima dos valores registrados pela temperatura do ar externo em praticamente todos os horários. Em 24 horas, há uma queda de temperatura do ar externo  $t_e$  de 33,2 °C para 22,3 °C (dias 7 e 8 de setembro). A temperatura do ar interno  $t_i$ , após a queda de temperatura do ar externo  $t_e$ , se mantém praticamente sempre acima desta segunda, embora abaixo dos 18,0 °C nos três últimos dias da seqüência.



Variáveis	2 setembro		3 setembro		4 setembro		5 setembro		6 setembro	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	19,6	3,6	24,4	4,3	27,8	7,6	29,4	9	3,7	12,3
temp. interna (°C)	16,9	11,0	19,3	12,2	21,5	14,2	22,9	15,5	25,4	17,7
atraso térmico (h)	1	0	1	2	2	1	2	4	1	0
amortecimento	0,37		0,35		0,36		0,36		0,36	

Figura 259 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada, entre 28 de agosto e 7 de setembro de 2003, conforme dados de Morello (2005)



Variáveis	20 outubro		21 outubro		22 outubro		23 outubro		24 outubro	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	21,3	15,0	23,9	16,7	23,9	17,1	26,7	7,3	31,6	11,6
temp. interna (°C)	22,0	20,0	22,9	19,6	24,2	20,1	22,9	16,7	26,1	18,5
atraso térmico (h)	1	5	0	2	0	2	1	0	1	0
amortecimento	0,32		0,46		0,60		0,31		0,38	

Figura 260 – Temperatura do ar externo  $t_e$  e temperatura do ar interno  $t_i$  entre 5 de setembro de 2003 e 11 de setembro de 2003, conforme dados obtidos de Morello (2005)

A Figura 261 apresenta uma seqüência de dias em que ocorre elevação de temperatura do ar externo  $t_e$ , que varia de um valor de 21,3 °C (20 de outubro) a 31,6 °C (24 de outubro), com aumento significativo da amplitude de onda de temperatura do ar externo de aproximadamente 6 K a 20 K. A amplitude de onda de temperatura do ar interno varia, aproximadamente, de 2 K a 8 K. Também se verifica uma variação significativa entre as temperaturas mínimas do ar externo, que variam em 9,8 °C do dia 22 de outubro ao dia 23 de outubro.

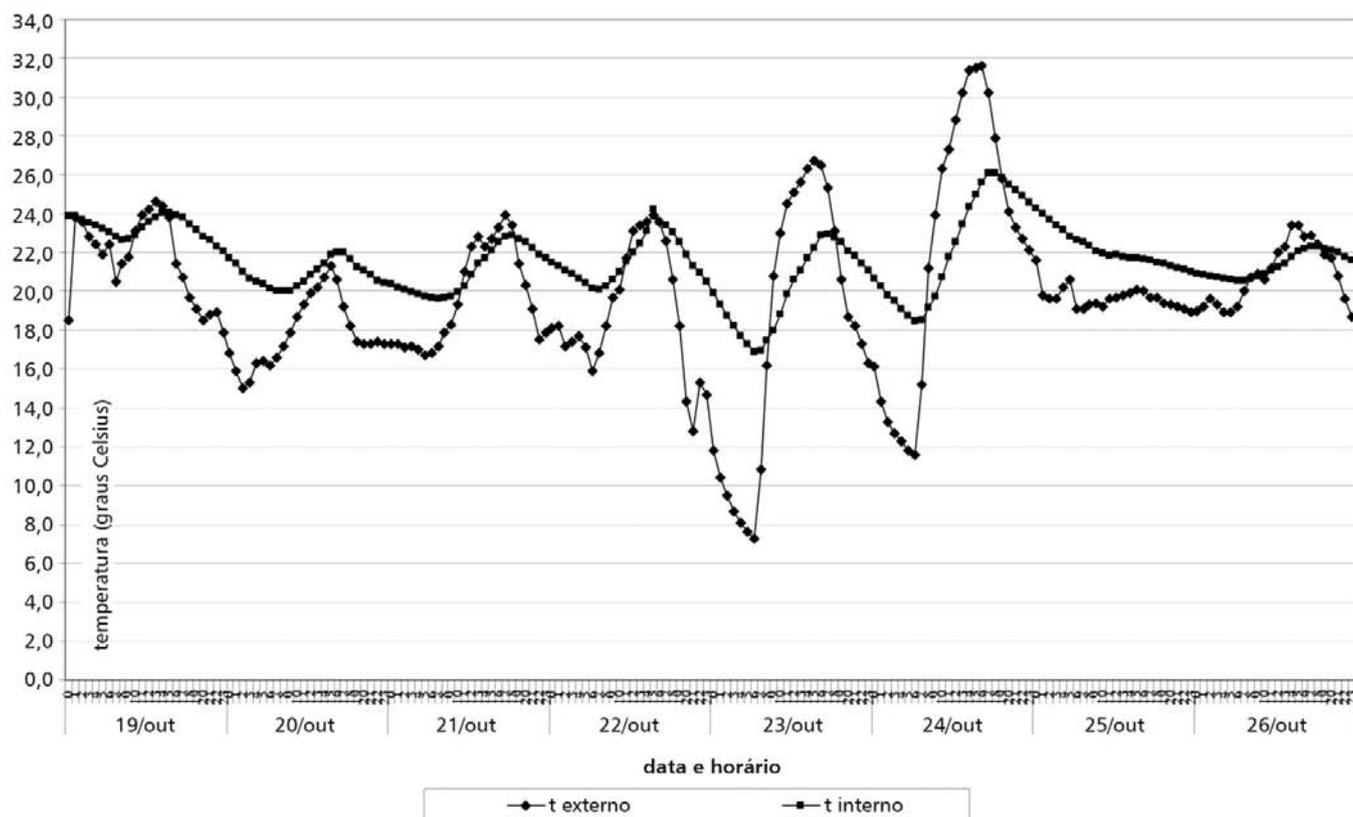
A seqüência apresentada na Figura 262 se caracteriza por uma queda de temperatura mínima do ar externo, verificada entre os dias 19 de novembro e 21 de novembro, que cai de 17,9 °C a 6,7 °C, com uma variação de 11,2 K. O mesmo não acontece com a temperatura máxima do ar externo, que sofre pequena variação entre os dias 19 e 21 de novembro. A temperatura do ar interno,  $t_i$ , mantém-se próxima das máximas temperaturas registradas no meio exterior, atingindo um valor mínimo de 16,5 °C no dia 21 de novembro e um valor máximo de 23,0 °C nos dias 20 e 21 de novembro. A amplitude de onda de temperatura do ar externo atinge um valor máximo de 20,0 K (22 de novembro), enquanto, para o meio interior, a amplitude atinge o máximo de 9,6 K para o mesmo dia.

- Comparação entre a temperatura do ar interno e a temperatura de globo

Morello (2005) realizou a análise comparativa entre a temperatura do ar interno,  $t_i$ , e a temperatura de globo,  $t_{\text{globo}}$ , para o cômodo sala e cozinha, para os quatro períodos em que dividiu o ano das medições

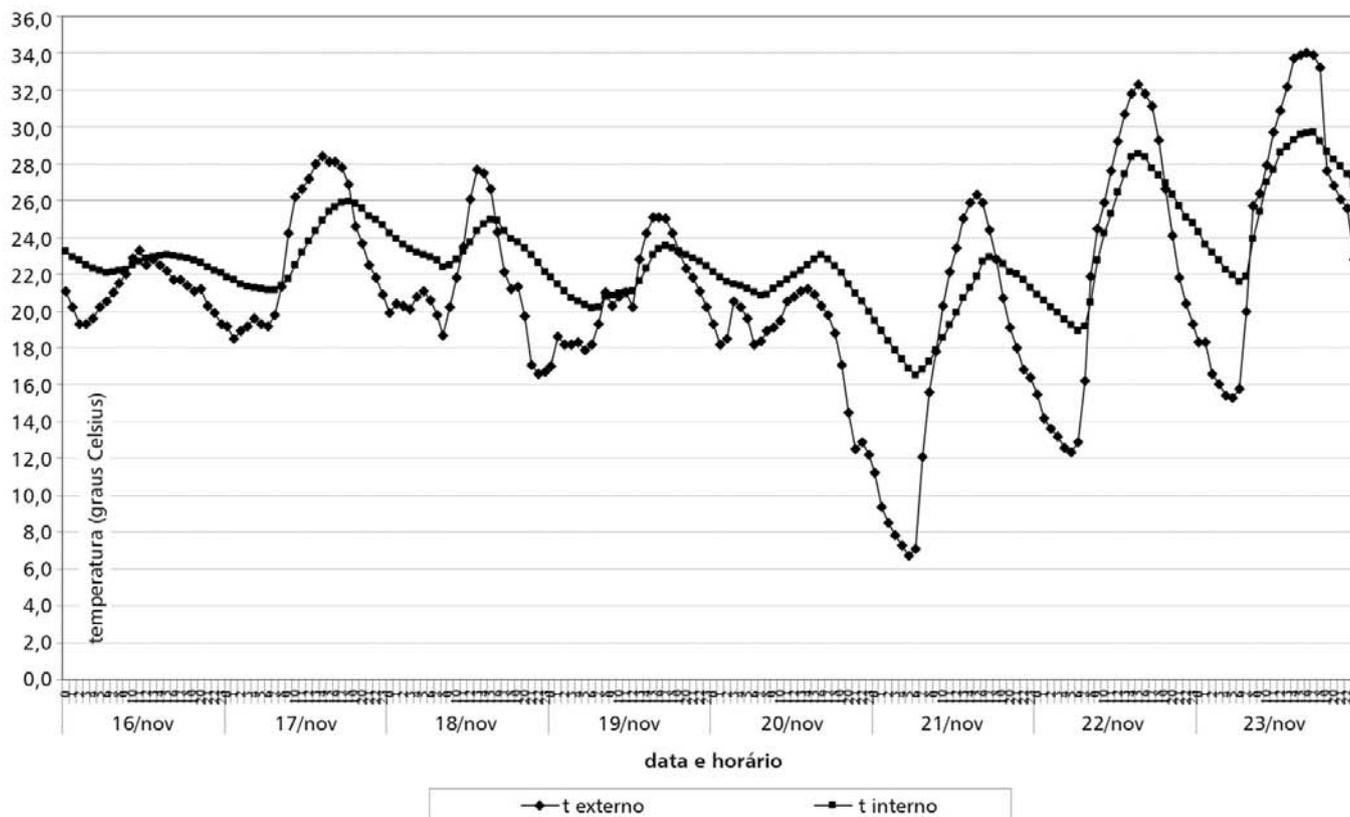
*in loco*: inverno, primavera, verão e outono. Para o inverno, a diferença máxima entre a temperatura de globo,  $t_{\text{globo}}$ , e a temperatura do ar interno,  $t_i$ , é de 1,2 K, com o ar apresentando uma temperatura média de 16,3 °C e o termômetro de globo registrando uma temperatura média de 16,7 °C. Para a primavera, a diferença máxima entre a temperatura de globo,  $t_{\text{globo}}$ , e a temperatura do ar interno,  $t_i$ , é de 1,0 K, com a temperatura de globo,  $t_{\text{globo}}$ , sempre superior à temperatura do ar interno,  $t_i$ , com o ar apresentando uma temperatura média de 21,5 °C e o termômetro de globo registrando uma temperatura média de 21,8 °C. Para o verão, a diferença máxima entre a temperatura de globo,  $t_{\text{globo}}$ , e a temperatura do ar interno,  $t_i$ , é de 1,0 K, com o ar apresentando uma temperatura média de 25,0 °C e o termômetro de globo registrando uma temperatura média de 25,3 °C. Para o outono, a diferença máxima entre a temperatura de globo,  $t_{\text{globo}}$ , e a temperatura do ar interno,  $t_i$ , é de 1,1 K, com o ar apresentando uma temperatura média de 20,8 °C e o termômetro de globo registrando uma temperatura média de 21,3 °C. Como as aberturas do protótipo Alvorada estiveram fechadas durante todo o período das medições (MORELLO, 2005, p. 79), pode-se supor que a velocidade do ar interno é nula, ou próxima disto, com a temperatura de globo,  $t_{\text{globo}}$ , podendo ser considerada aproximadamente igual à temperatura radiante média,  $T_{\text{rm}}$ .

A Figura 263 apresenta os valores de temperatura de globo,  $t_{\text{globo}}$ , e temperatura do ar interno,  $t_i$ , para o protótipo Alvorada para o intervalo de dias entre 15 a 19 de março. A temperatura de globo,  $t_{\text{globo}}$ , é levemente superior à temperatura do ar interno,  $t_i$ , nunca atingindo uma diferença superior a 0,6 K.



Variáveis	20 outubro		21 outubro		22 outubro		23 outubro		24 outubro	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	21,3	15,0	23,9	16,7	23,9	17,1	26,7	7,3	31,6	11,6
temp. interna (°C)	22,0	20,0	22,9	19,6	24,2	20,1	22,9	16,7	26,1	18,5
atraso térmico (h)	1	5	0	2	0	2	1	0	1	0
amortecimento	0,32		0,46		0,60		0,31		0,38	

Figura 261 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 19 de outubro e 26 de outubro de 2003, conforme dados de Morello (2005)



Variáveis	19 novembro		20 novembro		21 novembro		22 novembro		23 novembro	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	25,1	17,9	21,2	18,2	26,3	6,7	32,5	12,3	34,0	15,3
temp. interna (°C)	23,5	20,2	23,0	20,8	23,0	16,5	28,5	19,0	29,7	21,6
atraso térmico (h)	2	1	2	1	2	1	0	1	0	1
amortecimento	0,47		0,73		0,33		0,48		0,43	

Figura 262 – Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 16 de novembro e 23 de novembro de 2003, conforme Morello (2005)

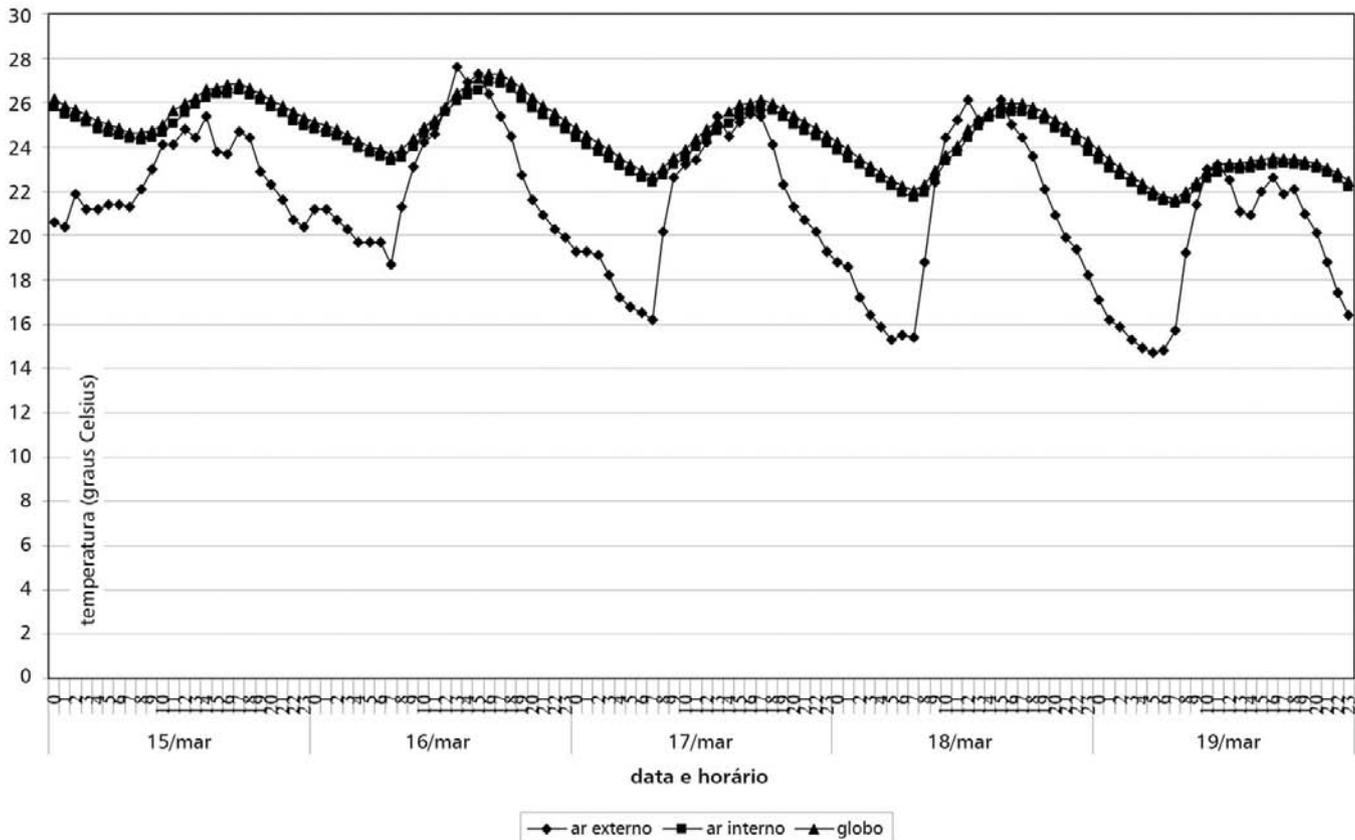


Figura 263 – Temperatura do ar externo,  $t_e$ , temperatura do ar interno,  $t_i$ , e temperatura de globo,  $t_{globo}$ , para sala e cozinha do protótipo Alvorada, entre 15 de março e 19 de março de 2004, conforme Morello (2005)

342

As Figuras 264, 265 e 266 apresentam valores de temperatura de globo,  $t_{globo}$ , e temperatura do ar interno,  $t_i$ , para seqüências de dias em que a diferença entre a temperatura de globo,  $t_{globo}$ , e a temperatura do limite inferior de conforto ( $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ou do limite

superior de conforto ( $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) são as maiores verificadas no conjunto de dados levantados por Morello (2005), correspondendo às seqüências de dias entre 9 de julho a 18 de julho, 6 de março a 10 de março e 13 de abril a 16 de abril.

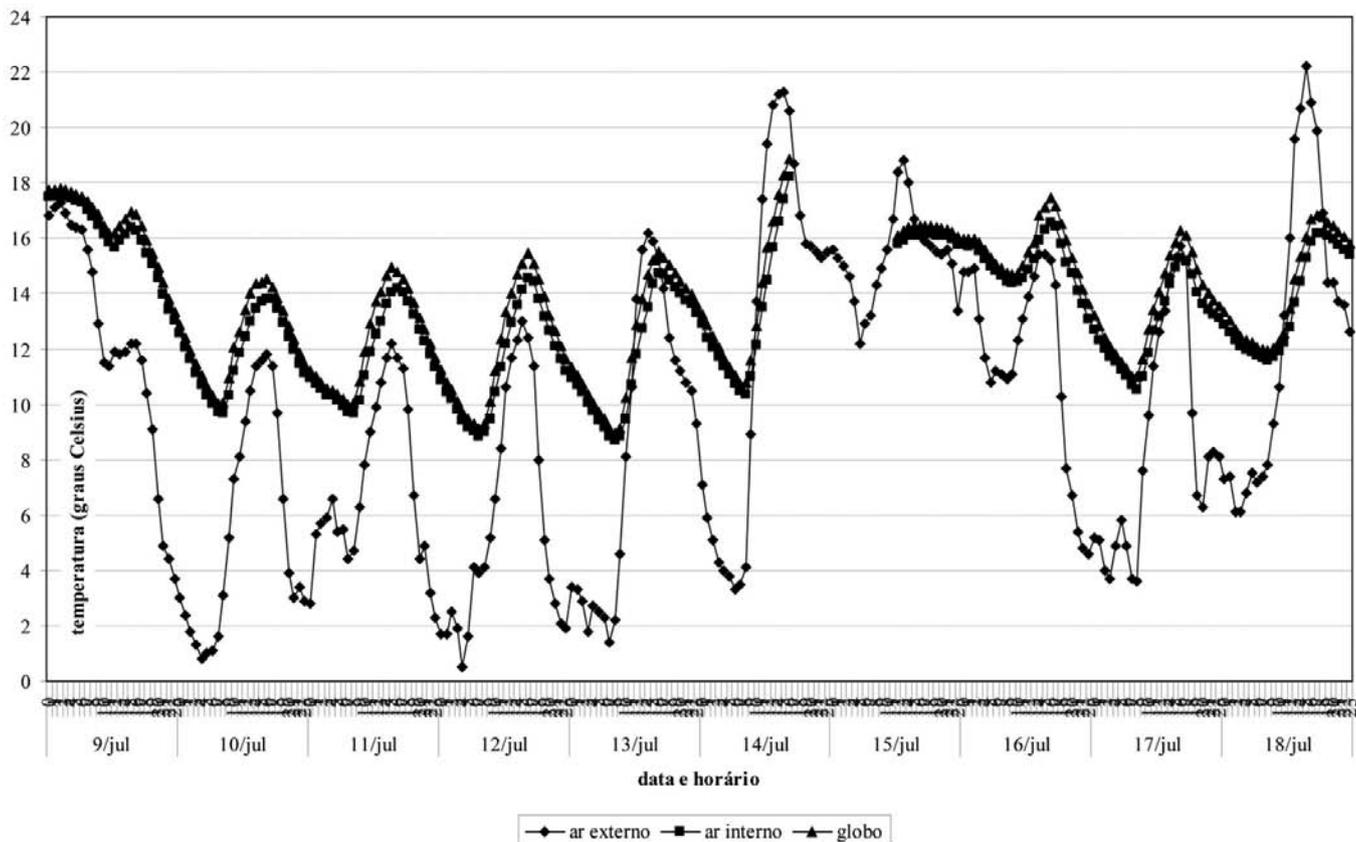


Figura 264 – Temperatura do ar externo,  $t_e$ , temperatura do ar interno,  $t_i$ , e temperatura de globo,  $t_{globo}$ , para sala e cozinha do protótipo Alvorada, entre 9 de julho e 18 de julho de 2003, conforme Morello (2005)

De acordo com os dados apresentados na Figura 264, a temperatura de globo,  $t_{globo}$ , esteve durante dez dias consecutivos abaixo da temperatura do ar do limite inferior da zona de conforto de Givoni (1992), à exceção de algumas horas no dia 15 de julho (com provável exceção de alguns pontos não registrados). A temperatura do ar interno,  $t_i$ , acompa-

nhou o comportamento da temperatura de globo,  $t_{globo}$ . A diferença entre a temperatura de globo e a do ar exterior atinge o valor de 8,0 K para o dia 10 de julho, às 7 horas, e para o dia 11 de julho, às 7 horas; 8,9 K, para o dia 12 de julho, às 7 horas; 9,1 K, para o dia 13 de julho, às 9 horas.

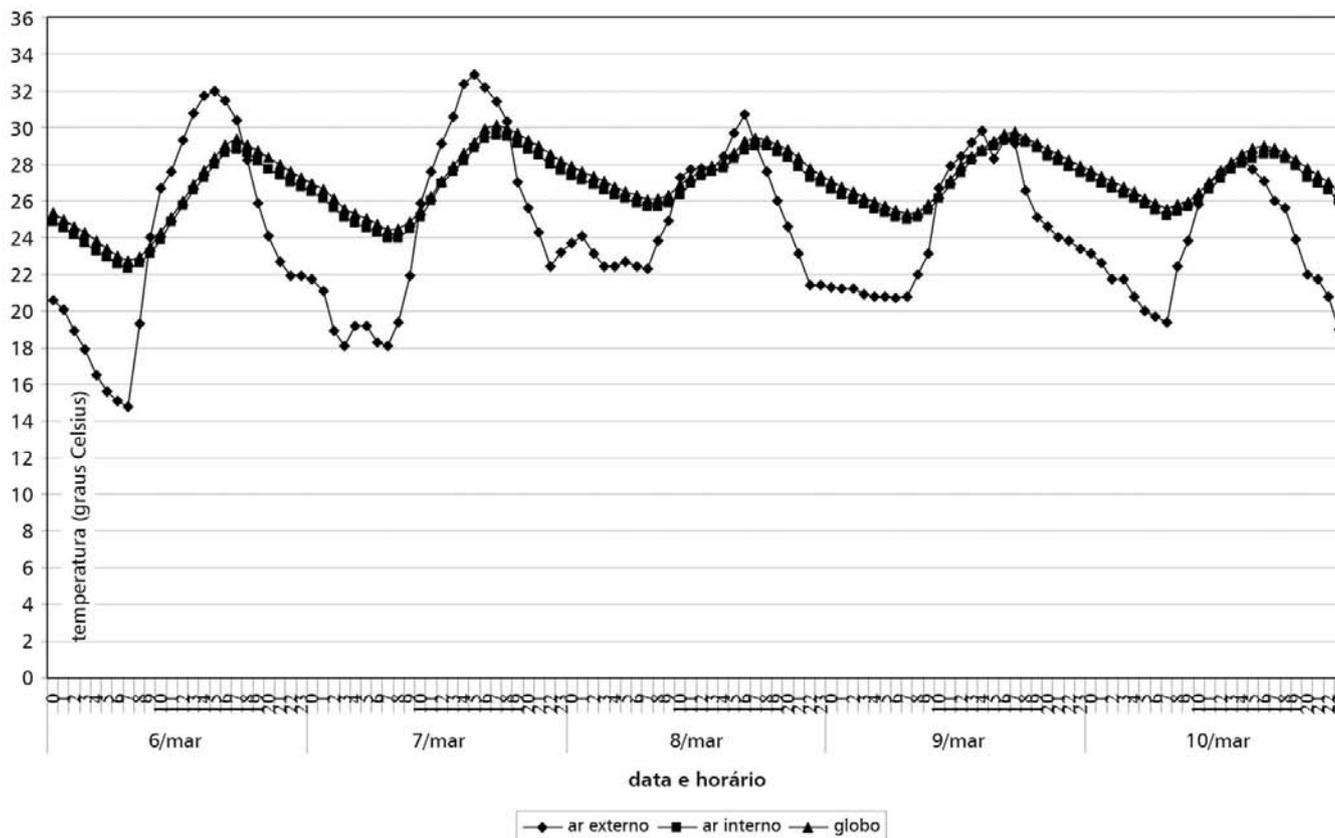


Figura 265 – Temperatura do ar interno,  $t_i$ , e temperatura de globo,  $t_{globo}$ , para sala e cozinha do protótipo Alvorada, entre 6 de março e 10 de março de 2004, conforme Morello (2005)

344

Para as condições de calor, não se verificam diferenças significativas entre a temperatura de globo,  $t_{globo}$ , e a temperatura do limite superior da zona de conforto de Givoni (1992). As seqüências de dias indicadas nas Figuras 265 e 266 são aquelas identificadas dentro do conjunto total de dados em que ocorrem

dias consecutivos (acima de três) com temperaturas de globo,  $t_{globo}$ , em alguns horários do dia acima de 29,0 °C. A diferença máxima verificada atinge 3,1 K para o dia 14 de abril, às 17 horas, 2,5 K, para o dia 15 de abril, às 16 horas, e 2,4 K, para os dias 13 e 16 de abril, às 17 horas.

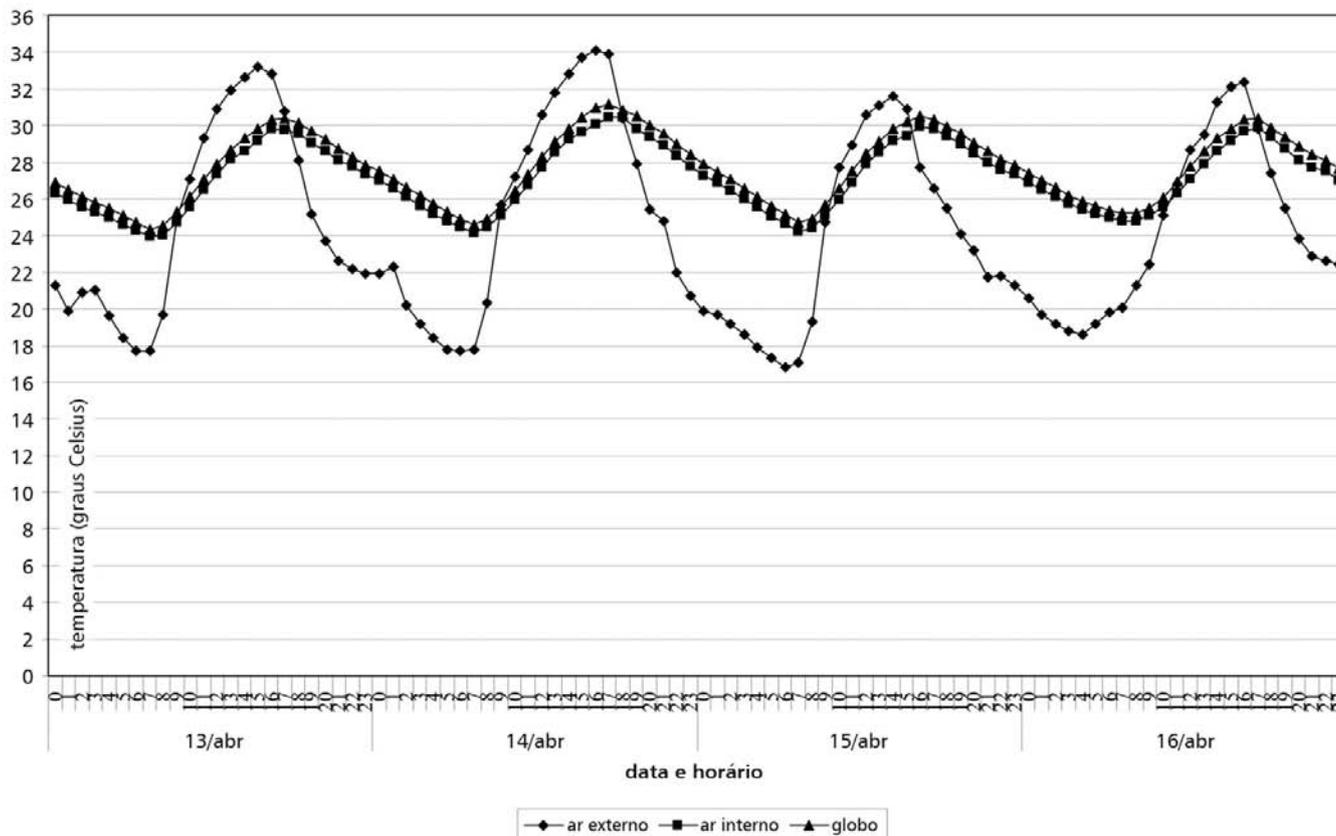
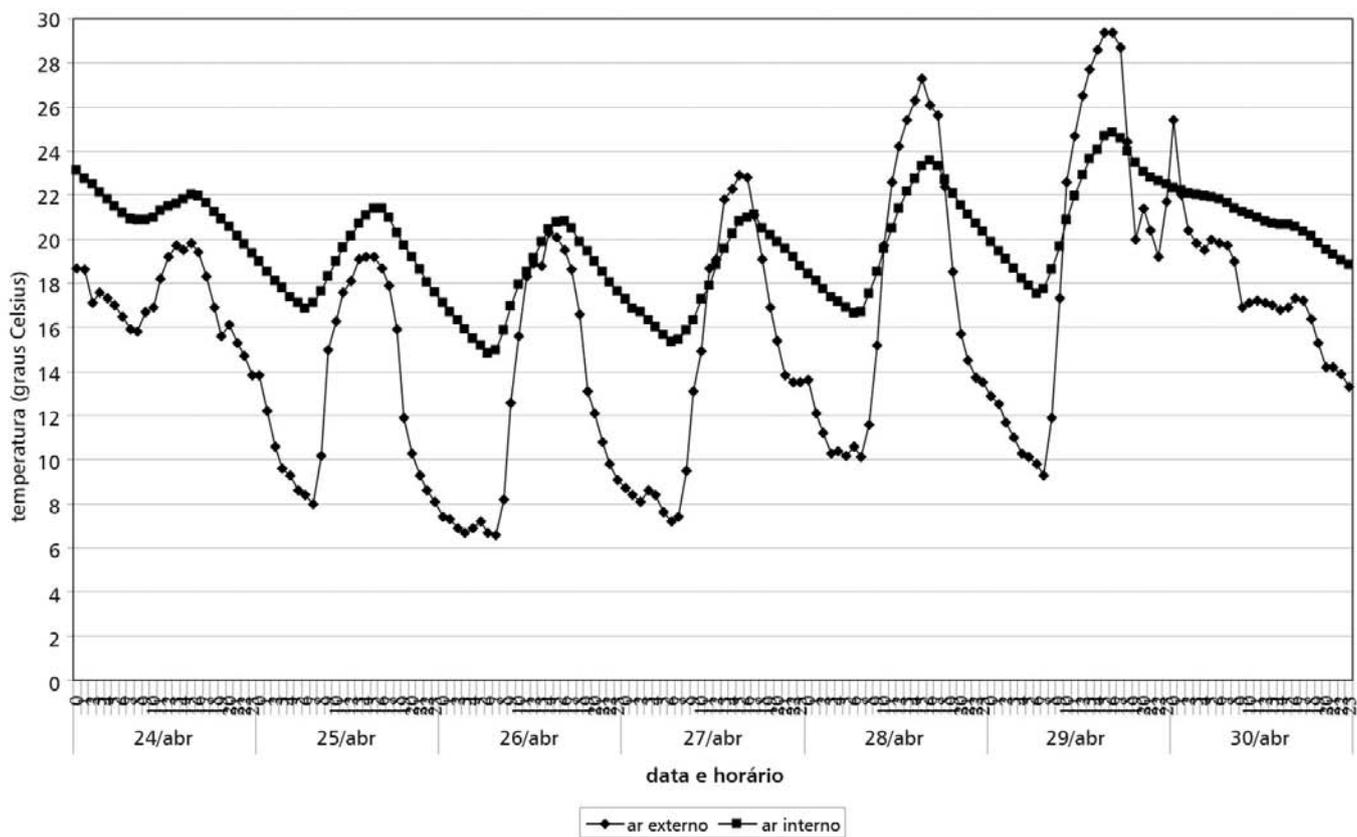


Figura 266 – Temperatura do ar externo,  $t_e$ , temperatura do ar interno,  $t_i$ , e temperatura de globo,  $t_{globo}$ , para sala e cozinha do protótipo Alvorada, entre 13 de abril e 16 de abril de 2004, conforme Morello (2005)

Morello (2005, p. 106, 120, 133, 146) se refere ao atraso térmico e ao coeficiente de amortecimento do protótipo Alvorada. Segundo o autor, a edificação apresenta um atraso térmico variando de 1 a 2 horas em média. Em relação ao coeficiente de amortecimento, este é maior para as temperaturas mínimas do que para as máximas. O coeficiente de amortecimento não é inferior a 0,35, em média. O

autor conclui que o coeficiente de amortecimento apresentado pela configuração do protótipo Alvorada é considerável, o que também pode ser constatado analisando-se as seqüências de dias apresentadas neste estudo. Os coeficientes de amortecimento calculados para os fechamentos do protótipo Alvorada são maiores do que aqueles verificados a partir das medições *in loco*.



346

Variáveis	25 abril		26 abril		27 abril		28 abril		29 abril	
	Máx.	Min.								
temp. externa (°C)	19,2	8,0	20,3	6,6	22,9	7,2	27,3	10,1	29,4	9,3
temp. interna (°C)	21,4	16,8	20,8	14,8	21,1	15,3	23,6	16,7	24,9	17,5
atraso térmico (h)	1	0	1	0	2	0	1	0	1	0
amortecimento	0,41		0,44		0,37		0,40		0,36	

Figura 267 – Temperatura do ar externo,  $t_e$ , e temperatura do ar interno,  $t_i$ , entre 24 de abril e 30 de abril de 2004 para o protótipo Alvorada, de acordo com Morello (2005)

Para complementar a análise encaminhada para o protótipo Alvorada, é incluída uma seqüência de dias em que a temperatura mínima do ar externo,  $t_e$ , esteve próxima aos 7,5 °C, temperatura mínima do ar externo adotada para fins de cálculo. A seqüência de dias corresponde ao intervalo que se estende de 24 de abril de 2004 a 30 de abril de 2004, contendo valores de temperatura do ar externo e do ar interno,  $t_e$  e  $t_i$ , conforme dados obtidos de Morello (2005).

De acordo com a Figura 267, a temperatura do ar interno,  $t_i$ , atinge valores mínimos de 16,8 °C, 14,8 °C e 15,3 °C, para valores mínimos de temperatura do ar externo,  $t_e$ , de 8,0 °C, 6,6 °C e 7,2 °C, respectivamente, para os dias 25, 26 e 27 de abril. A temperatura do ar interno,  $t_i$ , se manteve a aproximadamente

8,0 K, no mínimo, acima da temperatura do ar externo,  $t_e$ .

### Distribuição dos valores de temperatura do ar no ano estudado

Os histogramas das Figuras 268 e 269 permitem a visualização da distribuição dos valores de temperatura ao longo do ano considerado neste estudo.

Nota-se, no histograma da Figura 268, a perceptível concentração de valores de temperatura no intervalo que vai dos 13 °C aos 23 °C, com mais de 400 horas em cada faixa de temperatura. Percebe-se, também, que o desconforto por frio é mais freqüente que o desconforto por calor.

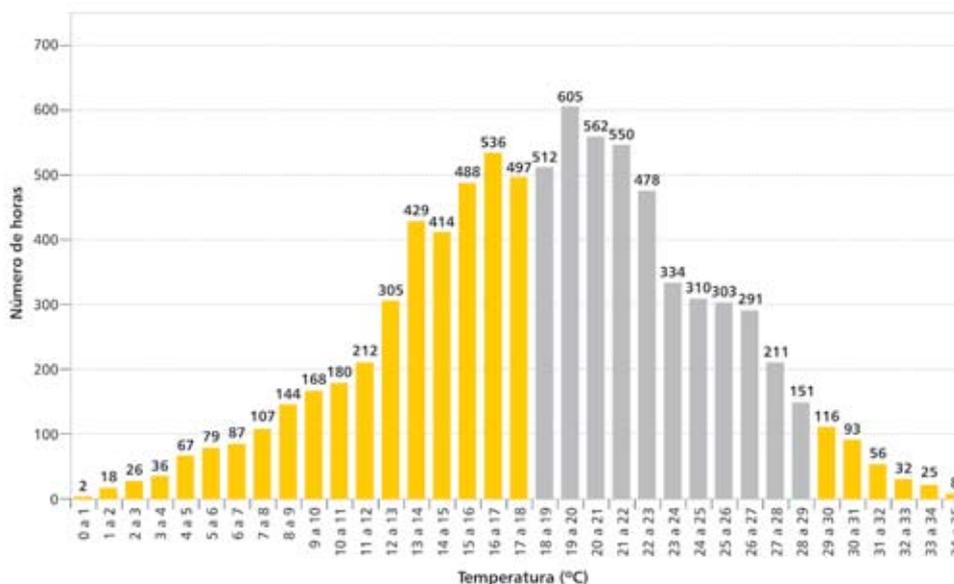


Figura 268 – Histograma anual das temperaturas externas (em cinza) e das temperaturas de conforto

Para a confecção do histograma das temperaturas internas, foram considerados os 8.448 valores de temperatura de bulbo seco (Figura 269). Nota-se que, em relação ao histograma de dados externos, os valores inferiores a 18 °C foram reduzidos, mas ainda representam um número significativo de registros. Certamente, com a edificação em uso e a conseqüente geração de calor no interior da edificação, as temperaturas internas deverão se elevar, reduzindo o número de horas de desconforto por frio. Em contrapartida, pela mesma razão, os valores mais elevados de temperatura interior deverão extrapolar o limite dos 29 °C, entrando na zona de desconforto por calor.

## Cartas bioclimáticas

Para a confecção das cartas bioclimáticas correspondentes ao período completo, os limites de conforto foram simplificados de acordo com a forma de apresentação do programa Analysis Bio, ou seja, com limites de temperatura entre 18 °C e 29 °C, sem diferenciação entre as estações de inverno e verão.

A carta bioclimática da Figura 270 apresenta os 8.432 valores de temperatura e umidade relativa do ar externo durante o período estudado.

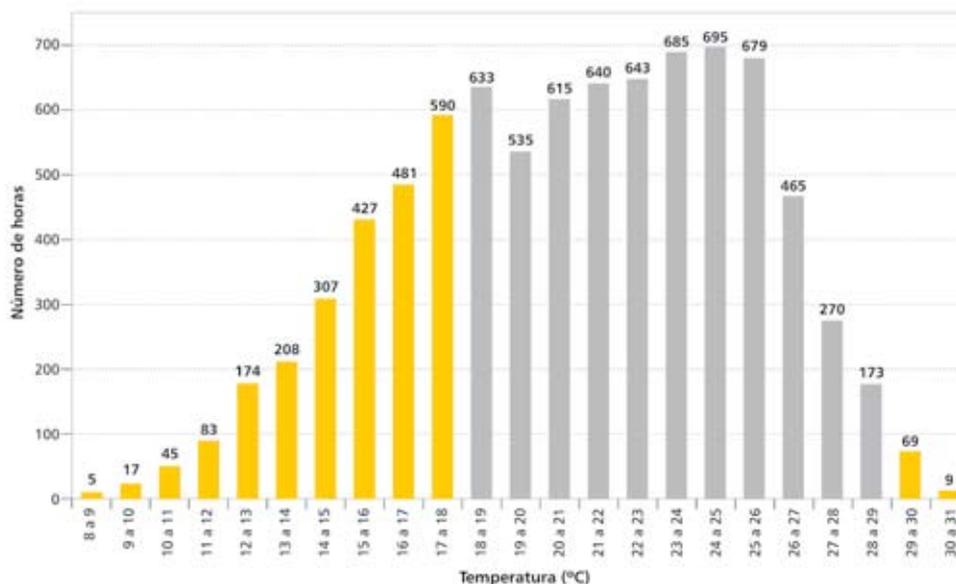


Figura 269 – Histograma anual das temperaturas interiores

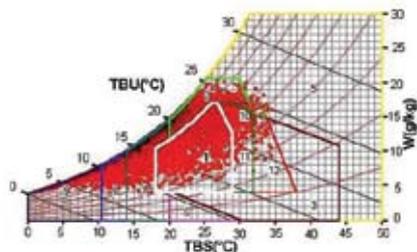


Figura 270 – Carta bioclimática com os valores exteriores para o período estudado

A Tabela 16 mostra o resultado do relatório dos dados externos gerado pelo programa Analysis Bio, com as recomendações das principais estratégias para alcançar o conforto térmico em um projeto bioclimático. O programa considera como geradoras de desconforto por calor as situações em que a umida-

de relativa é superior aos limites da zona de conforto e quando a temperatura se encontra na faixa dos 20 °C aos 29 °C. Já os valores com umidade superior a 80% e temperatura entre 18 °C e 20 °C, assim como valores inferiores a 18°C, são interpretados pelo programa como geradores de desconforto por frio.

Tabela 16 – Resumo do relatório gerado pelo programa Analysis Bio, para os valores externos, no período estudado

Conforto		Estratégias		19,5%
Desconforto	Frio	Massa Térmica/Aquecimento Solar	33,8%	55,9%
		Aquecimento Solar Passivo	12,3%	
		Aquecimento Artificial	9,8%	
		Umidificação	0%	
	Calor	Ventilação	20,1%	24,6%
		Ventilação/Massa	0,2%	
		Ventilação/Massa/Resfr. Evap.	3,4%	
		Massa Térmica p/ Resfriamento	0,2%	
		Massa/Resfriamento Evaporativo	0,5%	
		Resfriamento Evaporativo	0,02%	
Ar Condicionado	0,2%			
				80,5%

A carta bioclimática baseada no ano climático de referência (TRY) para Porto Alegre (LAMBERTS; PEREIRA; DUTRA, 1997) aponta um percentual de conforto de 22,4%, enquanto, no ano estudado, apenas 19,5% das horas medidas no *campus* da UFRGS apresentaram valores dentro da zona de conforto. O percentual de horas de frio intenso, com a temperatura externa inferior a 10,5 °C, também mostrou um percentual maior nos valores medidos em relação àqueles da TRY de Porto Alegre, passando de 6% para 9,8%. Durante essas horas, a condição de conforto térmico só seria alcançada por meio de aquecimento artificial, visto que as estratégias de massa térmica para aquecimento e o aquecimento solar passivo não serão suficientes para proporcionar o conforto interno. Nota-se, ainda, que, em 0,237% das horas, o desconforto por calor somente será atenuado com a utilização de refrigeração artificial (ar condicionado).

Deve ser destacado que os dados lançados nas Figuras 268 e 270 representam os elementos climáticos tal como medidos na estação meteorológica da UFRGS, ou seja, sob uma condição de exposição ao clima ambiental externo. Para que se tenha uma avaliação do efeito de **filtro térmico** determinado pelo envelope da edificação, é importante comparar tais dados com aqueles representativos das condições ambientais **no interior da edificação**. Tais condições são ilustradas nas Figuras 269 e 271.

Para a confecção da carta bioclimática retratando as condições interiores, foram utilizados apenas os registros **simultâneos** de umidade relativa e temperatura do ar, ou seja, a Figura 271 apresenta a distribuição de 8.205 valores horários, medidos entre maio de 2003 e maio de 2004.

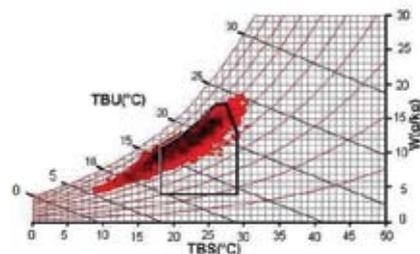


Figura 271 – Carta bioclimática, com os valores internos, para o período estudado

Os percentuais de conforto e desconforto internos, extraídos dos relatórios do programa Analysis Bio, são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resumo do relatório gerado pelo programa Analysis Bio, para os valores interiores

Conforto		66,5%	
Desconforto	Frio	28,2%	33,5%
	Calor	5,3%	

Os dados horários e os percentuais calculados para os valores internos e externos são comparados na Tabela 18. Assim como foi estabelecido para a confecção das cartas bioclimáticas, no cálculo dos percentuais internos foram considerados apenas os valores de temperatura que identificam a leitura simultânea da umidade relativa do ar (8.205 registros).

Observou-se que em 6,4% do tempo (523 registros horários), embora a temperatura do ar interno tenha apresentado valores entre 18 °C e 29 °C, a umidade relativa apresentou valores superiores aos limites da zona de conforto, ou seja, acima de 80%. Salienta-se que o percentual de conforto interno foi triplicado em relação ao do ambiente externo. No interior do protótipo Alvorada, o desconforto por frio foi reduzi-

Tabela 18 – Resumo dos valores horários e percentuais associados, no período estudado

Parâmetros limite de conforto/desconforto	Valores externos		Valores internos	
	Nº de horas	%	Nº de horas	%
Número de horas de leitura	8.432	100	8.205	100
Número de horas com temperatura abaixo de 18 °C	3.795	45,0	2.148	26,2
Número de horas com temperatura acima de 29 °C	327	3,9	78	0,9
Número de horas com umidade relativa igual ou superior a 80%	5.903	70	491	6
Número total de horas dentro da zona de conforto	1.640	19,4	5.456	66,5
Número total de horas fora da zona de conforto	6.792	80,6	2.749	33,5

do quase pela metade, enquanto o desconforto por calor apresentou uma redução superior a 75% em relação às horas de desconforto verificadas no exterior.

#### 8.4.2.5 Discussão dos resultados e conclusões

As medições indicam que a temperatura do ar externo,  $t_e$ , no período de verão (meses de dezembro, janeiro e fevereiro), se mantém relativamente estável no que tange à sua variação diária. Já para o restante do ano, existem grande variações de temperatura, com períodos de calor seguidos por períodos de frio, muitas das mudanças ocorrendo repentinamente, ou seja, a edificação parece ser mais exigida para condições de outono, inverno e primavera, por estas se apresentarem altamente mutáveis, do que para condições de verão. Torna-se difícil encontrar uma solução arquitetônica que responda a tamanha instabilidade de condições climáticas em curto espaço de tempo. Se no verão há necessidade de uma edificação protegida da radiação solar, com entorno arborizado para diminuir a temperatura do ar externo,  $t_e$ , antes de ela penetrar na edificação, no inverno é desejável o má-

ximo aproveitamento da radiação solar, inclusive a captação por vias indiretas (absorção através de superfícies externas e a posterior emissão por radiação de onda longa).

Segundo as medições *in loco* efetuadas, o protótipo Alvorada apresenta um comportamento térmico mais desfavorável para a situação de inverno do que para a situação de verão. Verificou-se que, em 9,8% das horas do período analisado, as temperaturas exteriores foram inferiores a 10,5 °C, identificando, segundo Givoni (1992), uma condição de frio intenso, o que requer um projeto mais efetivo da envolvente construtiva. A correção desse comportamento, sem comprometer o bom comportamento térmico verificado para a situação de verão, implica aumentar ganhos de calor através da radiação solar direta sobre fechamentos e partições internas no inverno, e proteger tais fechamentos e partições no verão. Essa estratégia é prevista no projeto do protótipo pelo sombreamento da parede voltada a oeste com o uso de uma pérgula e beirais mais amplos na orientação norte. Assim, sem essa envolvente atenuadora do frio

exterior, ou seja, em condições de exposição direta a tais temperaturas, seria necessária a utilização de aquecimento artificial em 827 horas (zona 9). Além disso, em 0,2% do período considerado (20 horas), seria necessária a utilização de ar-condicionado para refrigeração. De acordo com as medições *in loco*, há um significativo coeficiente de amortecimento de amplitude de onda de temperatura do ar externo apresentado pelo protótipo Alvorada, que pode estar associado ao fato de ele ser mantido fechado durante as medições e à sua geometria compacta, que aumenta sua inércia térmica. O bom desempenho apresentado pelo protótipo Alvorada, em relação ao amortecimento da amplitude de onda de temperatura do ar externo, indica que ele pode ser usado como uma referência para avaliação de outras soluções.

Deve-se lembrar que o conforto térmico é determinado por **fatores ambientais** (temperatura, umidade relativa, velocidade relativa do ar, radiação, etc.) e **fatores humanos** (nível de vestimenta e nível de atividade), e que diagramas bioclimáticos, como os das Figuras 269 e 271, são construídos sobre cartas psicrométricas que pressupõem parâmetros ambientais preestabelecidos (no caso, taxas de ventilação fixas, de 0,15 m/s para o inverno e de 0,25 m/s para o verão, temperaturas entre 18 °C e 29 °C, e conteúdo de umidade entre 4 g/kg e 17 g/kg de ar seco), assim como níveis de atividade e de vestimenta também fixos. É claro que no interior do protótipo Casa Alvorada, em uma **condição de frio**, o usuário também poderia alcançar uma condição de conforto por meio de uma atividade que ativasse o seu metabolismo, ou por um maior nível de vestimenta.

Desse modo, se atentarmos para as condições ambientais do interior da edificação e, em particular, para as temperaturas ali registradas, observa-se que, das 2.148 horas em que a temperatura do ar interno apresentou valores inferiores a 18 °C, 823 desses registros ocorreram entre a meia-noite e às 6h, isto é, em horário durante o qual os usuários têm grande chance de estar dormindo e com um nível de vestimenta maior, portanto menos diretamente expostos ao frio ocorrente no interior da casa.

Considera-se muito importante, no entanto, a construção de um fogão à lenha (previsto no projeto original da Casa Alvorada), para proporcionar o aporte de calor necessário durante as horas de frio mais intenso. Com isso, certamente haverá um abrandamento significativo das condições de desconforto por frio não só no período mais frio, mas também durante as horas subsequentes.

Deve-se frisar que, para as condições de frio, outros ganhos internos de calor (lâmpadas, eletrodomésticos, calor humano) poderão proporcionar um aumento significativo das horas de conforto no interior do protótipo. No entanto, com a ocupação da edificação, as condições de desconforto por calor, no verão, deverão ser acentuadas, considerando tanto o aumento da temperatura interior como do conteúdo de vapor interno, assim ultrapassando os valores máximos estabelecidos na zona de conforto. Para melhor entender ambas as situações, pois, serão necessários estudos experimentais que envolvam o uso da edificação, para melhor estimar a sua resposta a diferentes condições de uso.

## 8.4.3 Avaliação do desempenho acústico

### 8.4.3.1 Introdução

O isolamento sonoro das fachadas e elementos divisórios internos de edificações é resultado de todos os elementos de fachada (portas externas e janelas) e de acesso aos ambientes (portas internas), assim como do modo com que esses elementos estão ligados entre si. É sabido que existe uma grande diferenciação de componentes em uma edificação e que diferentes componentes, normalmente, apresentam diferenças em sua capacidade de isolamento. No caso do isolamento sonoro das fachadas, por exemplo, é sabido que a janela (vidro e caixilharia) é o ponto mais fraco. Buscando aprofundar o desempenho ambiental do protótipo Casa Alvorada, Nabinger (2006) realizou um estudo com o intuito de verificar *in situ* o desempenho acústico do protótipo.

A análise buscou caracterizar as perdas de transmissão acústica das paredes internas entre ambientes e aquelas determinadas pelas paredes externas. Foram analisadas alvenarias com e sem aberturas. Ao todo, foram efetuadas quatro medições acústicas, sendo em duas verificado o desempenho de **fachadas** e em outras duas o desempenho das **paredes divisórias** entre ambientes, no interior da casa (Figura 272). O autor verificou os componentes a seguir.

Paredes divisórias (internas):

- **Parede A**, entre dormitórios (tijolo à vista, rebocada no lado do dormitório 01)
- **Parede B**, entre dormitório 01 e sala de estar (tijolo à vista, sem reboco, com porta)

Paredes de fachada (externas):

- **Parede D**, do dormitório 01, com uma janela, mantida fechada (parede de tijolo à vista, sem reboco)
- **Parede C**, do dormitório 01, sem aberturas (parede de tijolo à vista, sem reboco)

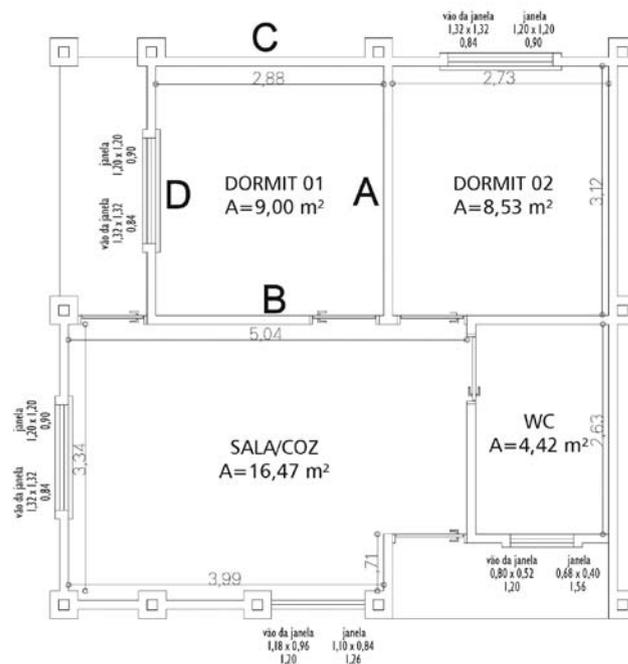


Figura 272 – Divisórias avaliadas e áreas úteis internas

### 8.4.3.2 Medições acústicas

Equipamento

As medições foram realizadas utilizando-se um analisador de som, em tempo real, e um calibrador externo de precisão, todos do tipo 1 (atende às normas IEC 651/804, IEC 942 e ANSI S.1.4). Instalou-se,

no medidor acústico, a aplicação BZ7204, versão 2.0, da Brüel & Kjaer, para efetuar as medições, conforme as normas ISO 140-4 (CEN, 1998a) e ISO 717 (CEN, 1996), indicadas pela ABNT, projeto 02:136.01-001/1 (2005). Assim, para efetuar as medições, foram utilizados os equipamentos que se seguem, todos da empresa Brüel & Kjaer.

- Investigator™ Type 2260 D (Software BZ 7204 de Acústica de Construções);
- Investigator™ Type 2260 G (Software BZ 7207 de Acústica de Salas);
- Observer™ Type 2260 J (Software BZ 7220 de Tempo de Reverberação);
- Amplificador de Potência Type 2716;
- Fonte Sonora, Dodecaédrica, OmniPower Tipo 4296;
- Calibrador externo Type 4231; e
- Software Qualifier Type 7830.

Para a visualização e análise dos resultados obtidos nas medições acústicas, foi utilizado o programa Qualifier, type 7830, também da B&K (2003). A Figura 274 mostra a janela do programa utilizado, com uma medição de Tempo de Reverberação (TR), efetuada dentro do dormitório 01. Nesse estudo foram realizadas 96 medições acústicas.

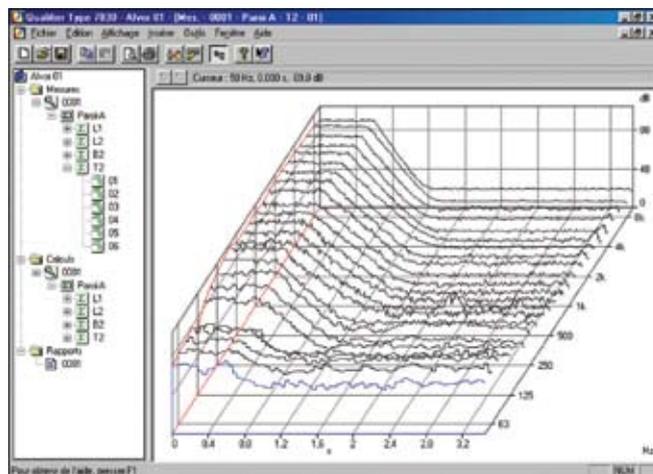


Figura 274 – Software 7830 utilizado, da B&K

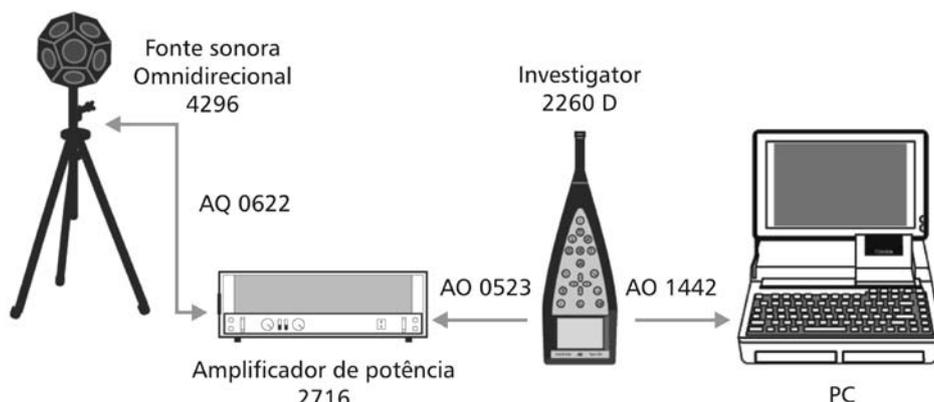


Figura 273 – Sistema utilizado, Investigator, da empresa B&K

## Registros efetuados

Para cada uma das quatro paredes analisadas (A, B, C e D) foram efetuados os seguintes registros, seguindo metodologia semelhante à ilustrada no croqui abaixo, conforme indicações da ISO 140-4 (CEN, 1998a) e ISO 140-5 (CEN, 1998b), para análise de ruídos aéreos (Figura 275):

- ruídos gerados internamente: níveis de ruído **L1, em sala da fonte** (*source room*), com um total de seis registros por sala, sendo o analisador posicionado em três distintos locais da sala e a fonte, em dois diferentes locais da mesma sala;
- ruídos gerados no exterior: níveis **L1**, a 2 m da **fonte sonora**, com um total de três registros, em três pontos distintos;
- níveis de ruído **L2**, nas salas receptoras (*receiving room*), com um total de seis registros por

sala, posicionando o microfone em três distintos locais da sala de recepção, para cada posição da fonte sonora, na sala da fonte, e posicionando o microfone em três pontos, quando os ruídos são gerados pela fonte sonora no exterior.

- níveis de **B2**, para ruído de fundo, em uma sala de recepção, com um total de seis registros por sala (para o ruído gerado no interior) e três registros por sala (para ruídos gerados externamente), com o microfone posicionado em três distintos locais da mesma sala;

- níveis de **T2**, para tempo de reverberação (TR), em cada sala, com a fonte sonora posicionada dentro da mesma sala, em dois locais distintos, com um total de três registros por ponto de medição, num total de 18 medições de TR.

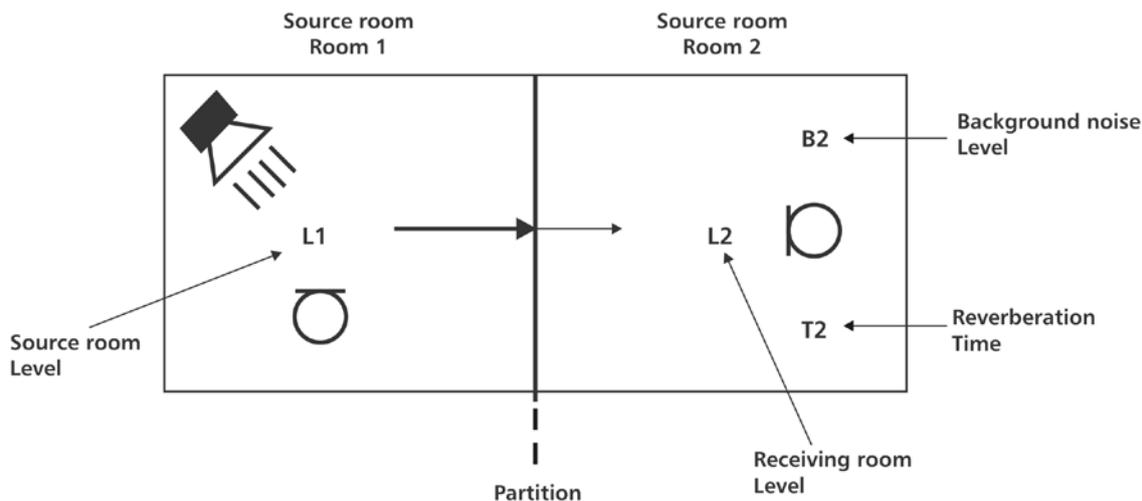


Figura 275 – Identificação dos diferentes parâmetros medidos, na análise da transmissão interna





## Parede externa D

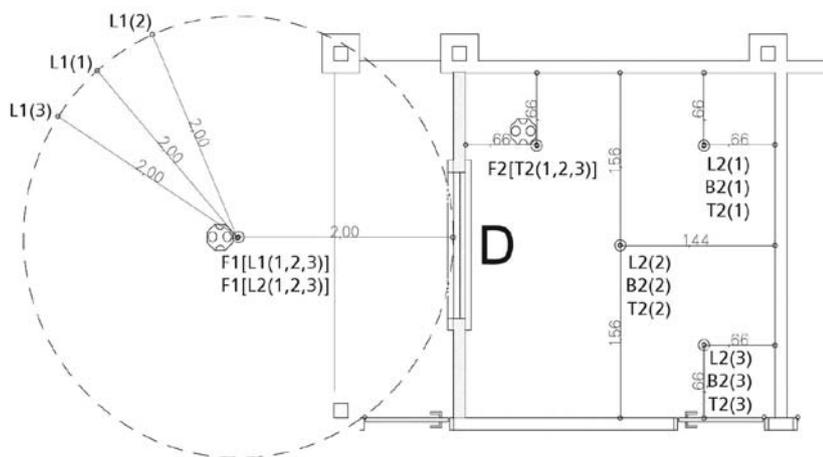


Figura 280 – Localização dos diferentes parâmetros medidos e fonte sonora, para a parede D

### 8.4.3.3 Metodologia

#### ISO 140-4: Paredes internas

- **Parede A:** ISO 140-4 (CEN, 1998a)
- **Parede B:** ISO 140-4 (CEN, 1998a)

#### Índices empregados

**DnT,w** - Índice de isolamento sonoro normalizado, entre dois locais 1 e 2 (dormitório 01 e dormitório 02), obtido a partir de um diagrama do tipo  $D_n = \alpha f$ , onde, para cada banda de frequências  $f$ :

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log(T/T_0)$$

Analogamente, nessa expressão, **L1** e **L2** representam, respectivamente, os níveis de pressão sonora medidos nos compartimentos 1 e 2 (emissão e recepção), **T** o tempo de reverberação do espaço de recepção, e **To** o tempo de reverberação de referência, tomado igual a 0,5 s.

#### ISO 140-5: Paredes externas

- **Parede C:** ISO 140-5 (CEN, 1998b)
- **Parede D:** ISO 140-5 (CEN, 1998b)

#### Índices empregados

**Dls,2m,nT,w** (fachada) - Índice de isolamento sonoro de fachada, obtido a partir de um diagrama do tipo  $D_n = \alpha f$ , onde, para cada banda de frequências  $f$ :

$$D_{ls,2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log(T/T_0)$$

Nesta expressão, **L1,2m** representa o nível de pressão sonora medido com a fonte sonora a 2 m da fachada, e **L2**, o nível de pressão sonora medido no interior, quando o ruído utilizado para a medição for produzido por uma fonte sonora (*loudspeaker*).

## Correções

- **C:** Ruído Rosa
- **Ctr:** Ruído de tráfego urbano

O termo **C** ou **Ctr** representa um termo de correção que deve ser aplicado ao índice de Redução Sonora Aparente **R'**, obtendo-se o índice corrigido **R'w**. O índice **C** ou **Ctr** depende exclusivamente da fonte sonora utilizada na medição efetuada *in situ*. Assim, emprega-se **C** quando da utilização de uma fonte sonora gerando um ruído rosa ou branco. Utiliza-se **Ctr** quando a fonte sonora a ser considerada é o

ruído proveniente de tráfego urbano. Neste trabalho as correções foram efetuadas com a curva de referência **C**, devido ao uso de uma fonte sonora *in situ*, gerando um ruído rosa.

Os índices de isolamento sonoro, correspondentes aos níveis de pressão sonora, no domínio da frequência, foram obtidos em conformidade com os procedimentos descritos nas normas acima referidas. São determinados por comparação com a descrição convencional de referência, constante na norma ISO 717-1 (1996), abrangendo as frequências em terços de oitavas, compreendidas entre 100 e 3.150 Hz.

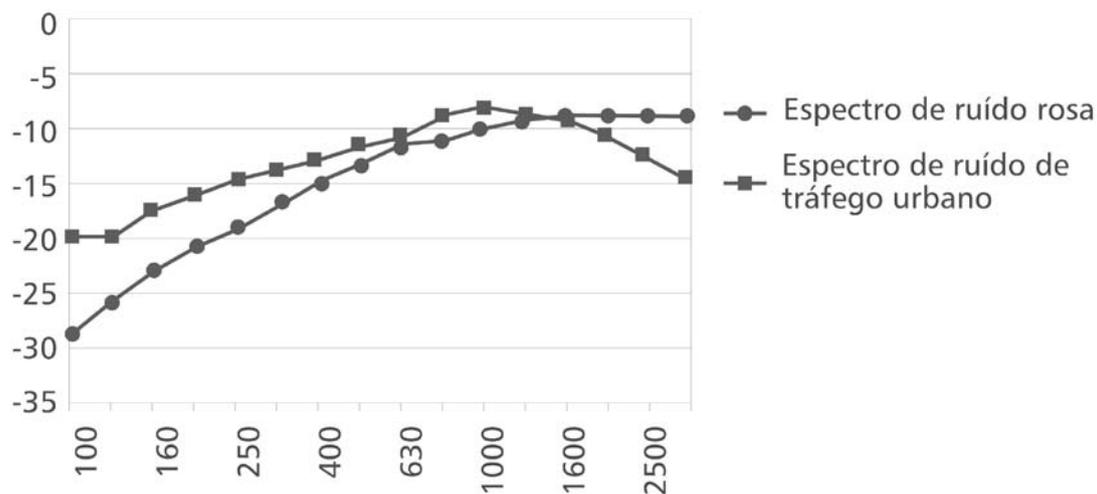


Figura 281 – Espectros de ruído rosa e de ruído de tráfego rodoviário em tecido urbano, ponderados em A

### 8.4.3.4 Resultados

#### L1 - Parede interna A

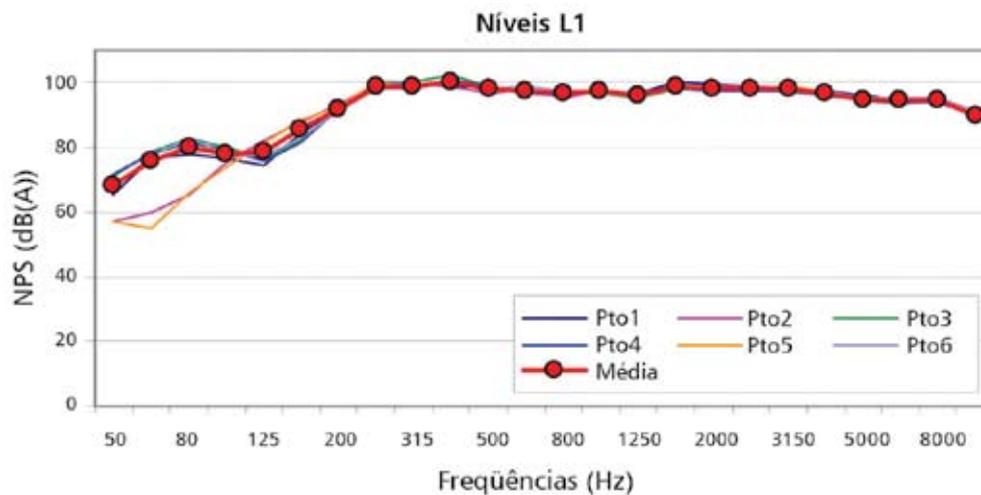


Figura 282 – Níveis L1 medidos e curva média, para a parede A

#### L2 - Parede interna A

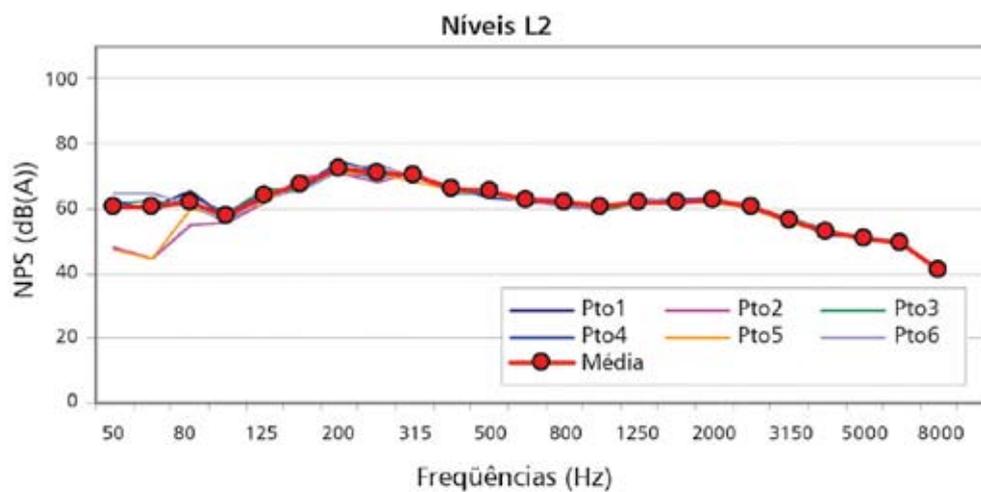


Figura 283 – Níveis L2 medidos e curva média, para a parede A

## B2 - Parede interna A

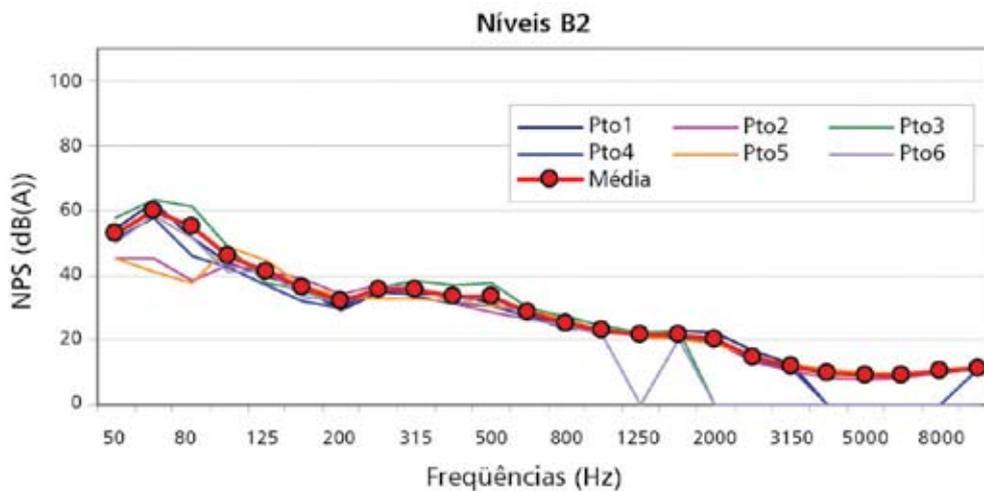


Figura 284 – Níveis medidos de ruído de fundo, B2, e curva média, para a parede A

## T2 - Parede interna A

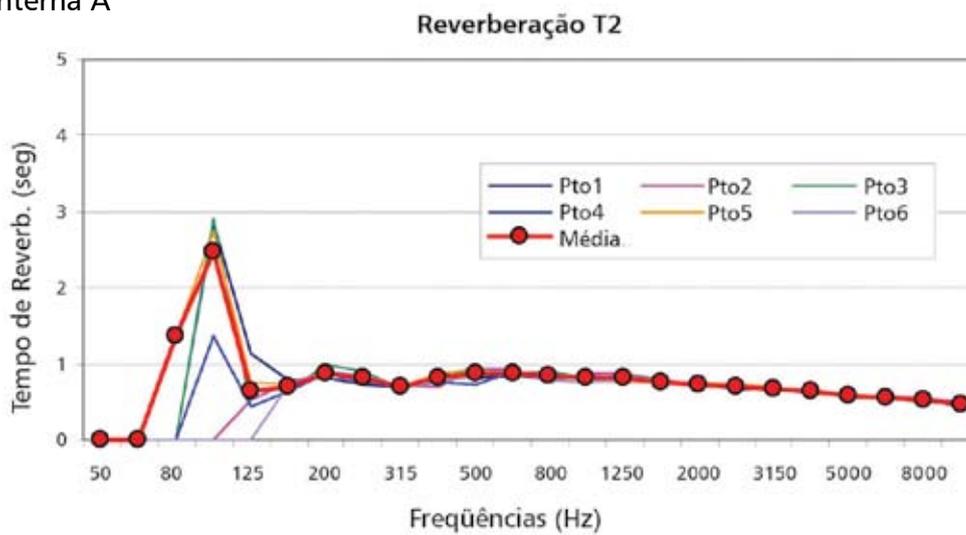
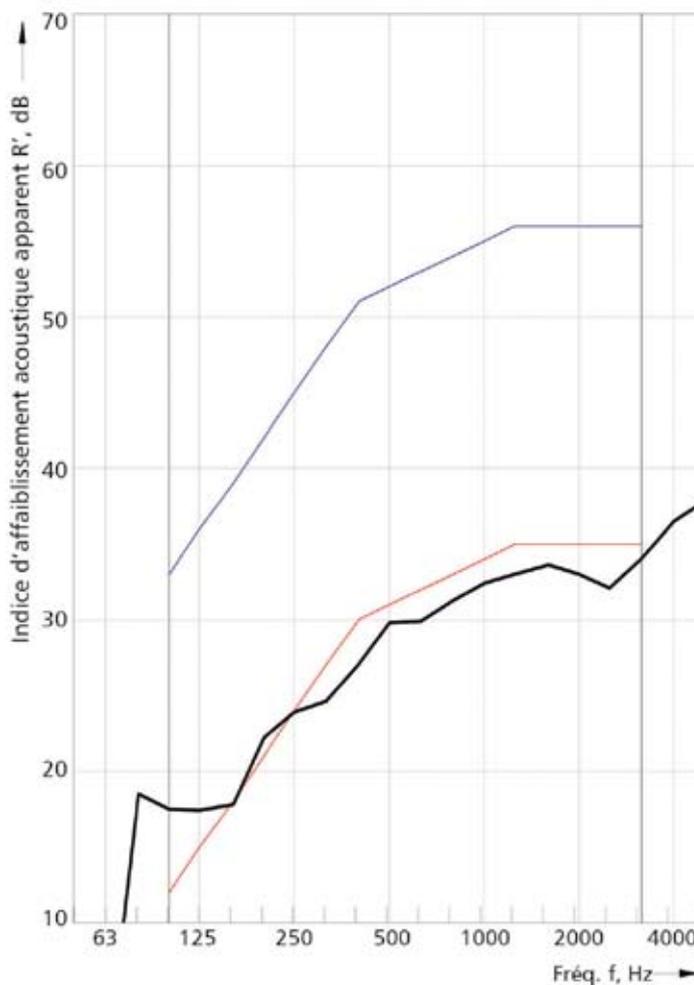


Figura 285 – Tempos de reverberação medidos, T2, e curva média, para a parede A

## ÍNDICE R'w - Parede interna A

Fréq. f Hz	R' 1/3 Octave dB
50	0,0
63	0,0
80	18,5
100	17,5
125	17,4
160	17,8
200	22,2
250	23,9
315	24,6
400	27,1
500	29,8
630	29,9
800	31,3
1000	32,4
1250	33,0
1600	33,6
2000	33,0
2500	32,1
3150	34,0
4000	36,5
5000	37,8



Evaluation selon SO 717-1

$R'_w (C; C_{tr}) = 31 (-1; -3) \text{ dB}$

Evaluation basée sur des mesures  
insitu en bandes de tiers d'octave par  
méthode e'expertise

$C_{50-3150} = \text{N/AdB}; C_{50-5000} = \text{N/AdB}; C_{100-5000} = 0\text{dB};$

$C_{tr, 50-3150} = \text{N/AdB}; C_{tr, 50-5000} = \text{N/AdB}; C_{tr, 100-5000} = -3\text{dB};$

Figura 286 – Resultados da parede A, conforme a ISO 717-1

## L1 - Parede interna B

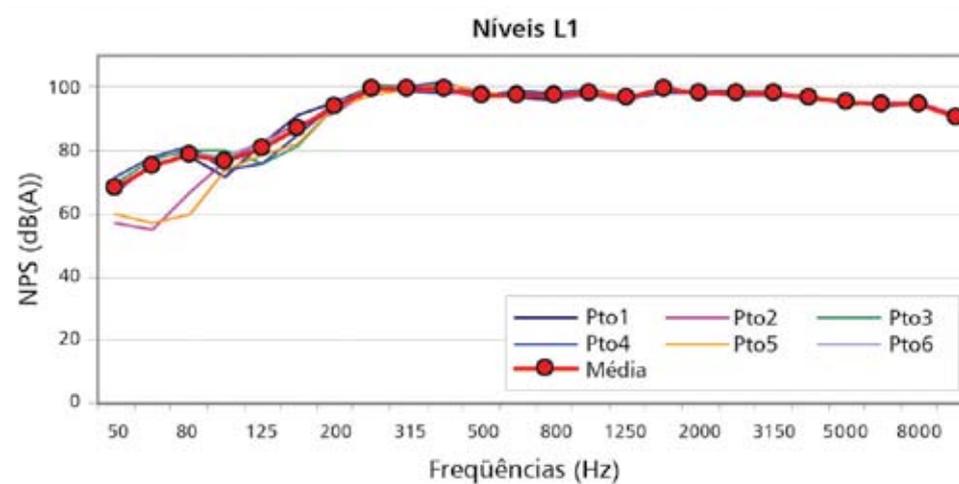


Figura 287 – Níveis L1 medidos e curva média, para a parede B

## L2 - Parede interna B

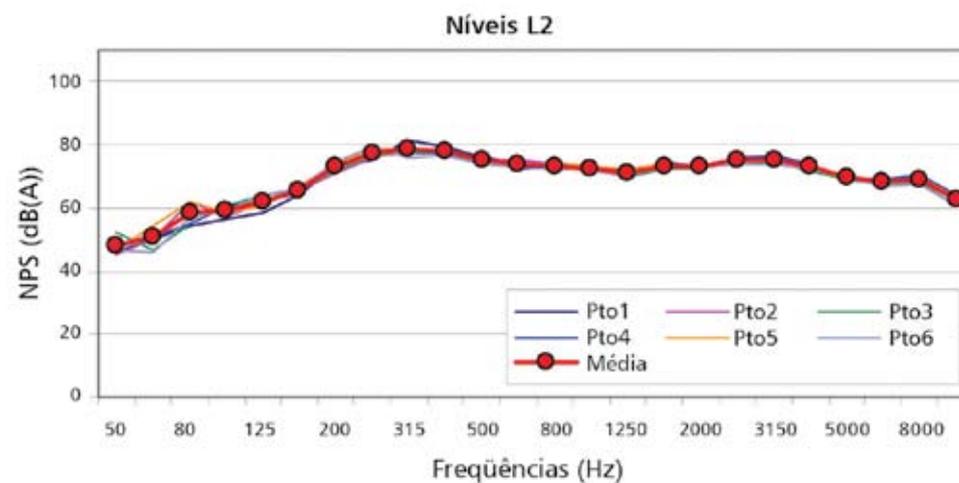


Figura 288 – Níveis L2 medidos e curva média, para a parede B

## B2 - Parede interna B

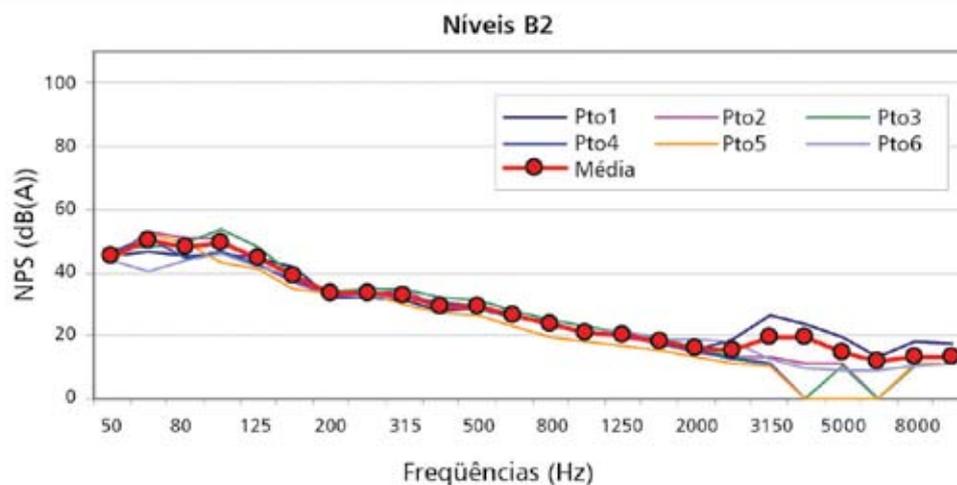


Figura 289 – Níveis medidos de ruído de fundo, B2, e curva média, para a parede B

## T2 - Parede interna B

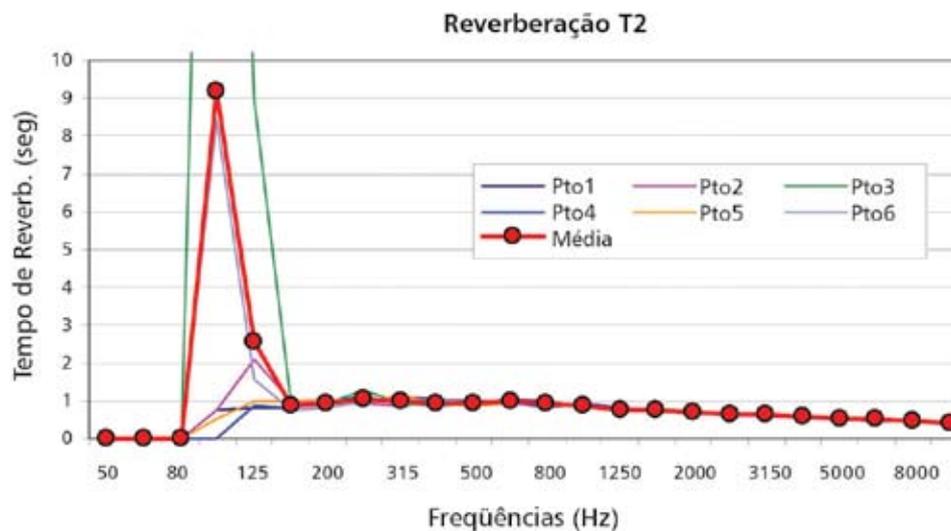


Figura 290 – Tempos de reverberação medidos, T2, e curva média, para a parede B

## ÍNDICE R'w - Parede interna B

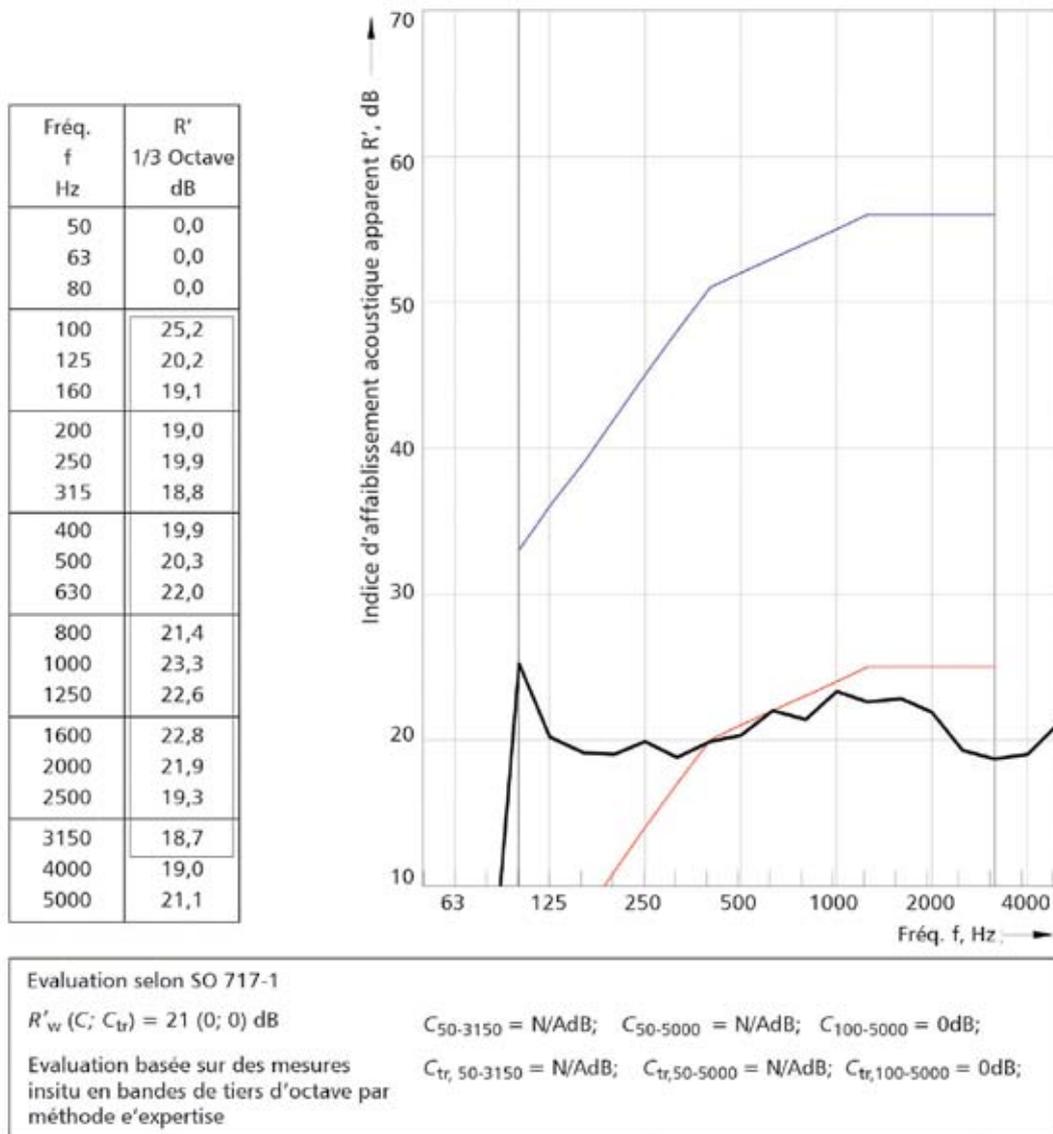


Figura 291 – Resultados da parede B, conforme a ISO 717-1

## L1 - Parede externa C

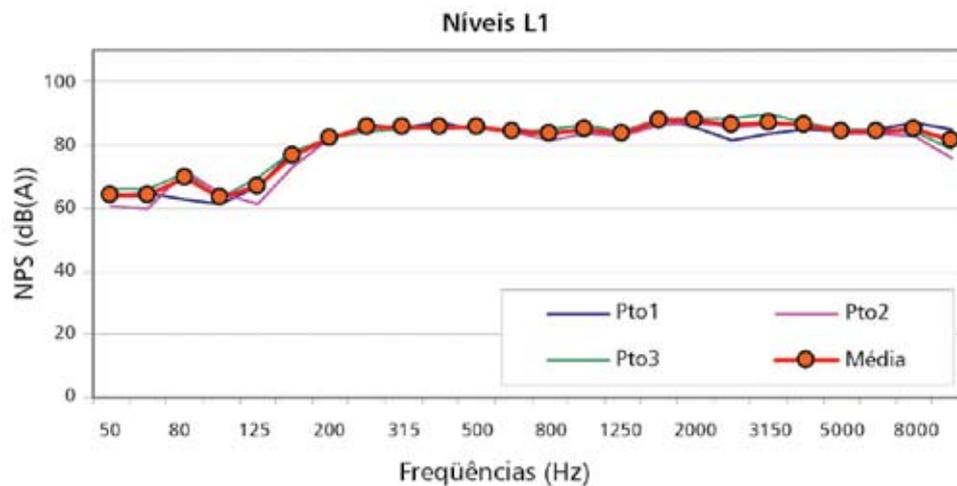


Figura 292 – Níveis L1 medidos e curva média, para a parede C

## L2 - Parede externa C

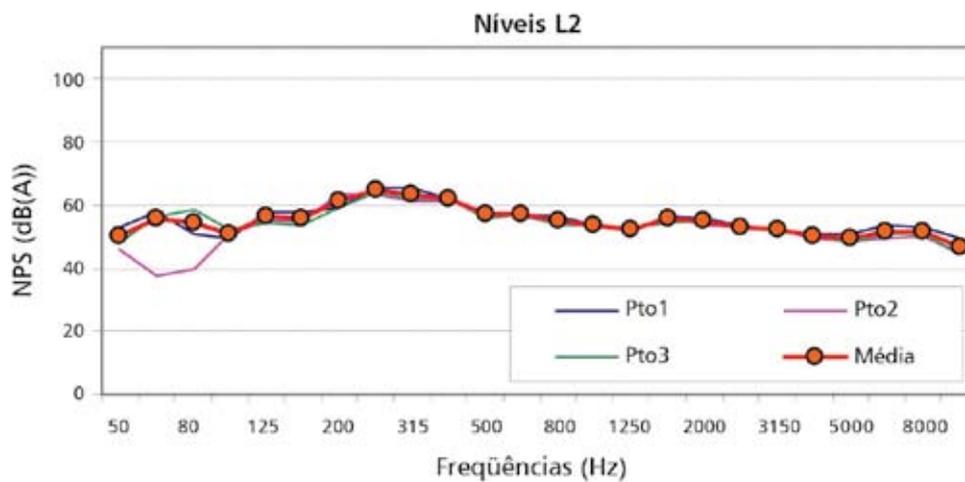


Figura 293 – Níveis L2 medidos e curva média, para a parede C

## B2 - Parede externa C

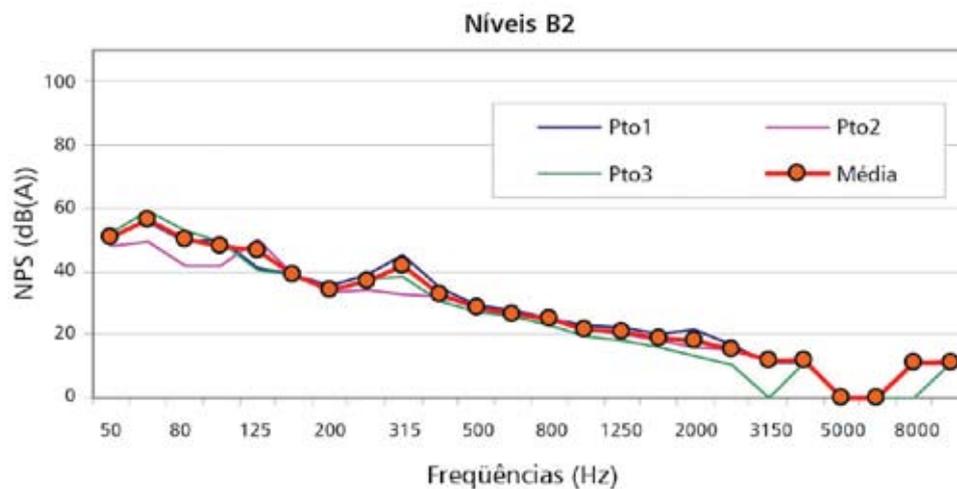


Figura 294 – Níveis medidos de ruído de fundo, B2, e curva média, para a parede C

## T2 - Parede externa C

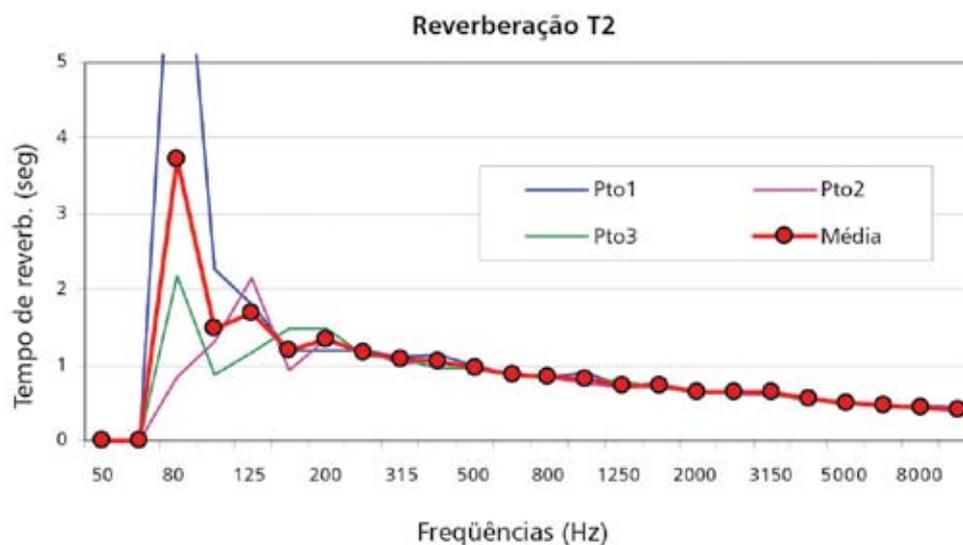


Figura 295 – Tempos de reverberação medidos, T2, e curva média, para a parede C

## ÍNDICE R'w - Parede externa C

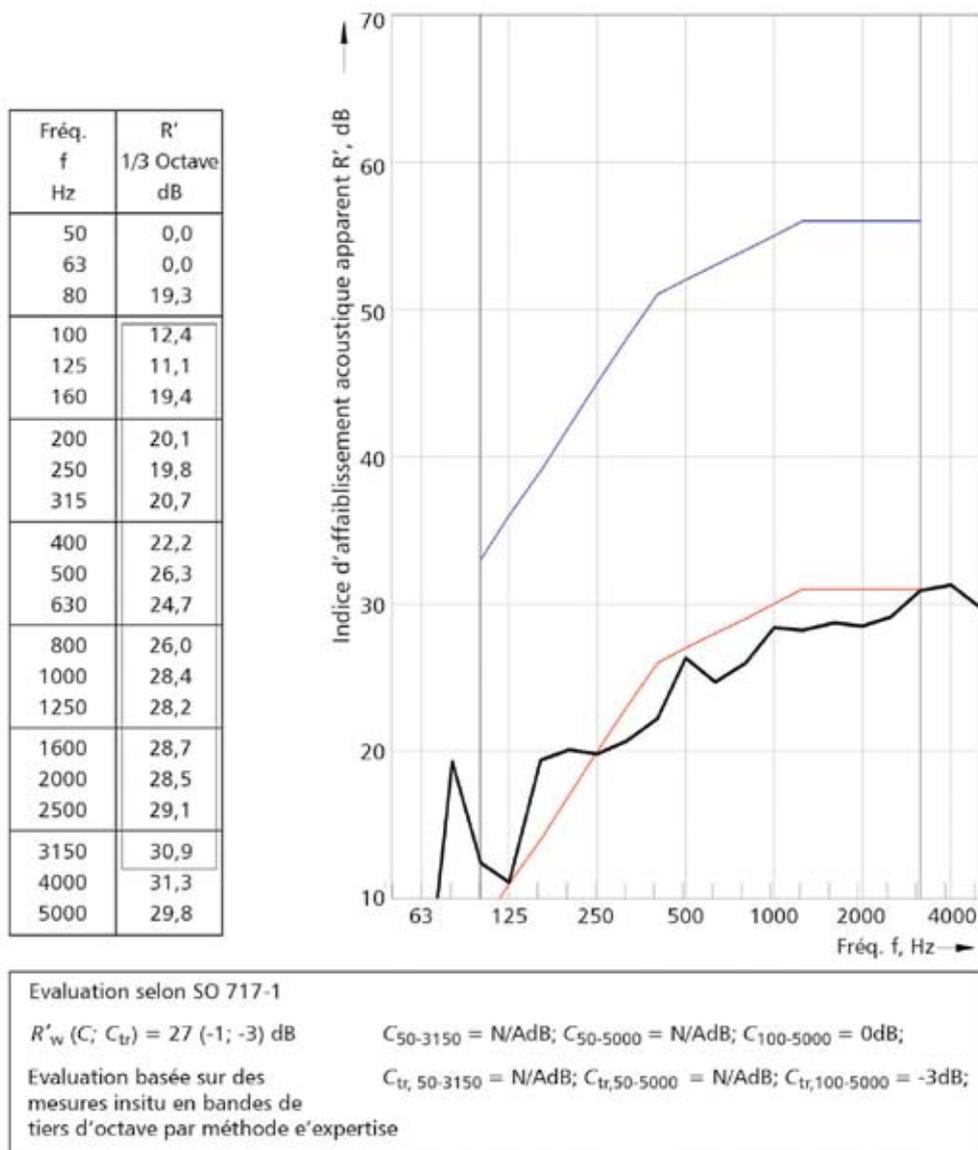


Figura 296 – Resultados da parede C, conforme a ISO 717-1

## L1 - Parede externa D

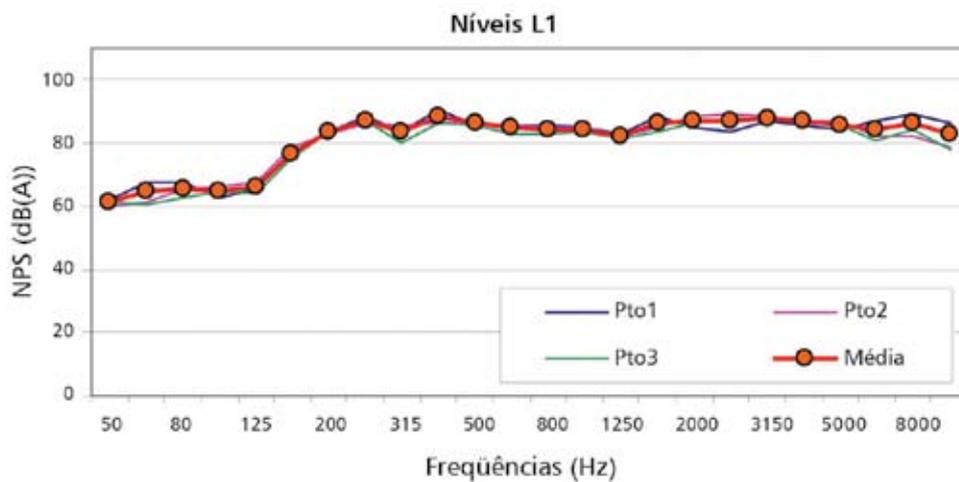


Figura 297 – Níveis L1 medidos e curva média, para a parede D

## L2 - Parede externa D

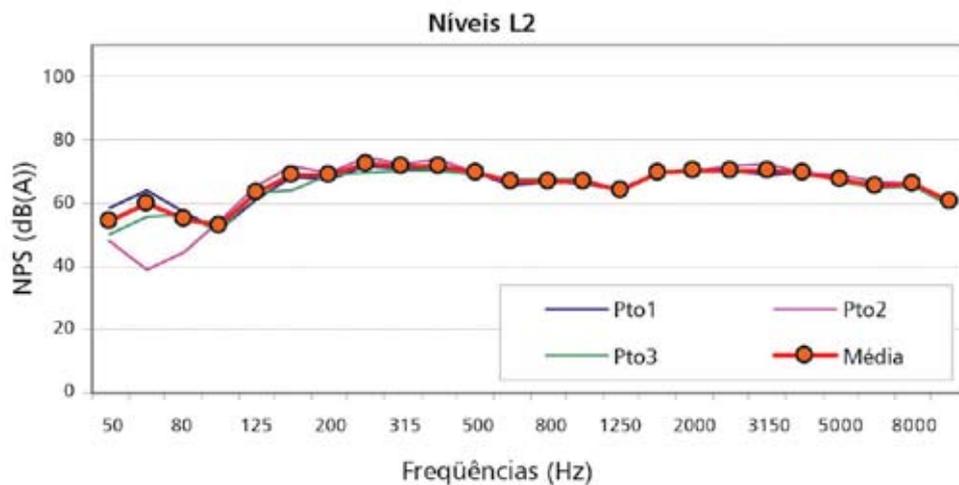


Figura 298 – Níveis L2 medidos e curva média, para a parede D

## B2 - Parede externa D

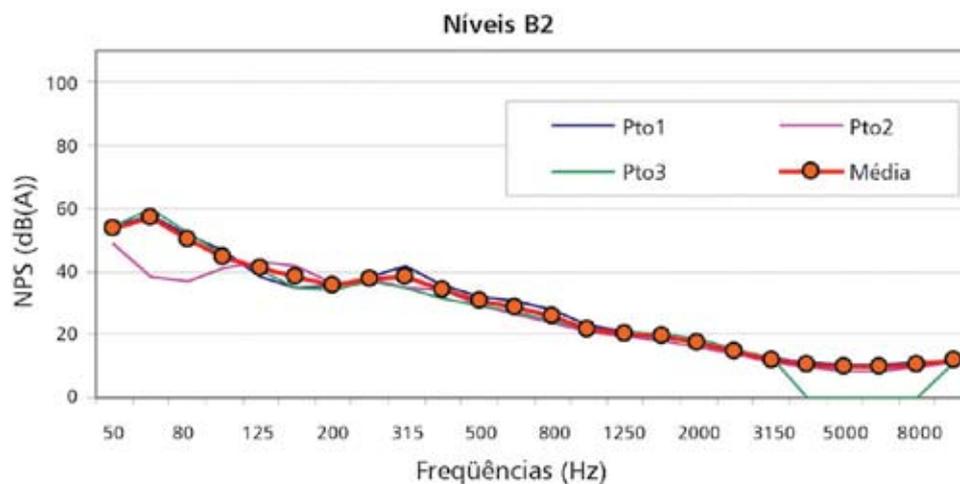


Figura 299 – Níveis medidos de ruído de fundo, B2, e curva média, para a parede D

## T2 - Parede externa D

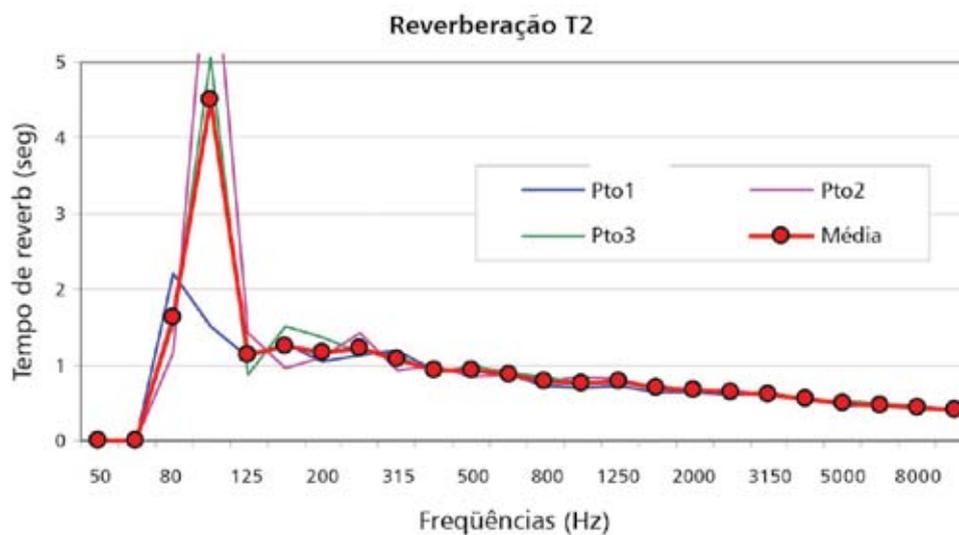


Figura 300 – Tempos de reverberação medidos, T2, e curva média, para a parede D

## ÍNDICE R'w - Parede externa D

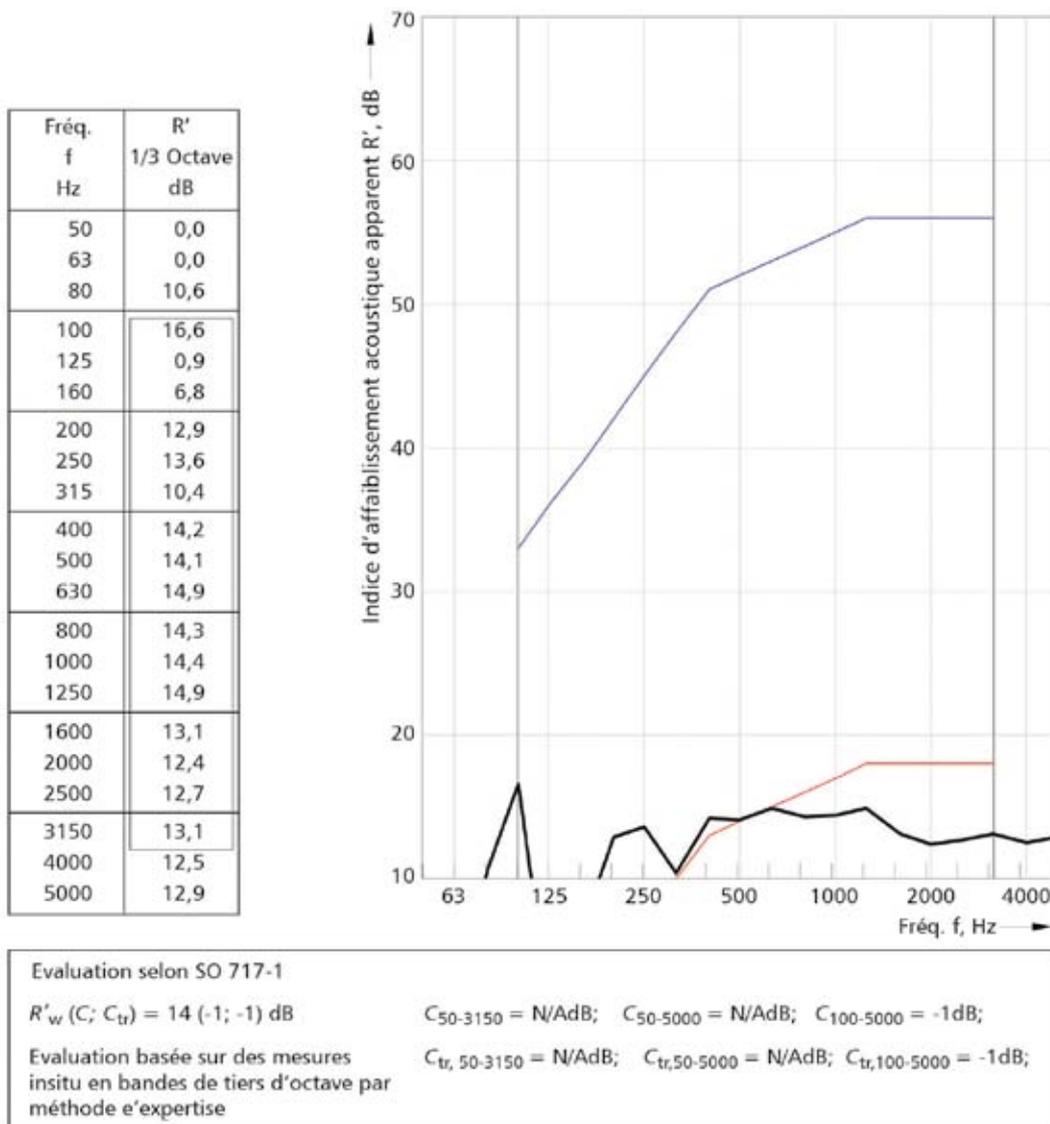


Figura 301 – Resultados da parede D, conforme a ISO 717-1

### 8.4.3.4.1 Resumo dos resultados

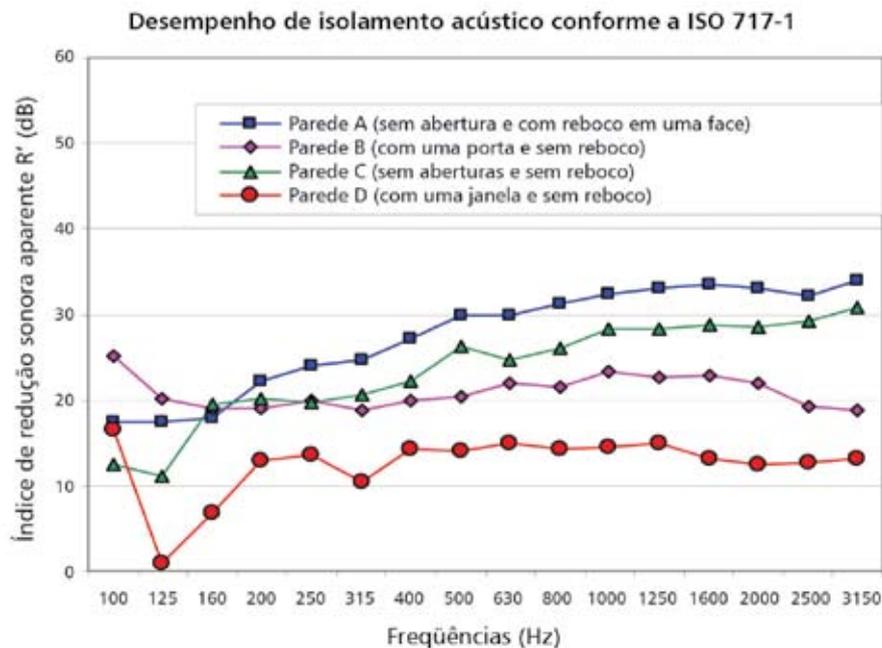


Figura 302 – Resumo comparativo dos resultados obtidos para cada parede

Índice de Redução Sonora $D_nT_w$						
	$R'$	Correção C	$D_nT_w$	Norma	Aberturas	Espec. de paredes
Parede A	31	-1 dB	30	140-4	0	reboco em 1 face
Parede B	27	-1 dB	26	140-5	0	0
Parede C	21	0 dB	21	140-4	1 porta	0
Parede D	14	-1 dB	13	140-5	1 janela	0

Quadro 48 – Índices de Redução Sonora,  $D_nT_w$

### 8.4.3.5 Avaliação conforme a ABNT (projeto 02:136.01-001/1)

#### Paredes internas

O Quadro 49 apresenta, conforme a norma ABNT (2005), projeto 02:136.01-001/1, em fase de aprovação à época de realização do presente estudo, a classificação dos níveis de desempenho (Mínimo - M, Intermediário - I e Satisfatório - S), para paredes internas de edificações de até cinco pavimentos. Assim, pode-se classificar os resultados

Elemento	DnTw [dB]	Nível de desempenho
Parede entre ambientes de uma mesma unidade habitacional	25 a 29	M
	30 a 34	I
	≥ 35	S

Quadro 49 – Níveis DnTw, segundo a norma ABNT, para paredes internas

#### Paredes externas

O Quadro 50 apresenta, conforme a norma da ABNT (2005), projeto 02:136.01-001/1 a classificação dos níveis de desempenho (Mínimo - M, Intermediário - I e Satisfatório - S), para fachadas mais coberturas de edificações de até cinco pavimentos. Assim, pode-se classificar os resultados obtidos para as paredes internas C e D. Nessa tabela utilizou-se a coluna (D2m,nT,w), e não a coluna (D2m,nT,w+5), visto que a segunda deve ser utilizada no caso de habitações localizadas junto a vias de tráfego intenso (rodoviário,

obtidos para as paredes internas A e B:

- Parede A: DnTw = **30 dB** - Nível de Desempenho - **Intermediário**; e
- Parede B: DnTw = **21 dB** - Nível de Desempenho - **Insuficiente** (4 dB abaixo do nível mínimo de desempenho estipulado na norma citada).

rio, ferroviário ou aéreo), o que não foi o caso.

- Parede C: D2m,nT,w = **26 dB** - Nível de Desempenho - **Insuficiente** (4 dB abaixo do nível mínimo de desempenho estipulado na norma citada).
- Parede D: D2m,nT,w = **13 dB** - Nível de Desempenho - **Insuficiente** (7 dB abaixo do nível mínimo de desempenho estipulado na norma citada).

Elemento	DnTw [dB]	DnTw+5 [dB]	Nível de desempenho
Vedação externa (fachada + cobertura)	30 a 34	35 a 39	M
	35 a 39	40 a 44	I
	≥ 40	≥ 45	S

Quadro 50 – Níveis D2m,nT,w, segundo a norma ABNT, para paredes externas

#### 8.4.3.6 Avaliação conforme a NBR 10152 (ABNT, 2000a): níveis de ruído para conforto acústico

A NBR 10152:2000 fixa os valores de ruído compatíveis com o conforto acústico, em dB(A) e curvas NC, em ambientes diversos. O Quadro 51 apresenta o valor inferior da faixa representando o nível sonoro para conforto acústico, em ambientes residenciais, enquanto o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. Os níveis superiores aos estabelecidos são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar riscos à saúde.

A Figura 303 apresenta o desempenho dos ambientes internos do protótipo, diante dos valores de ruído de fundo, comparando-os com as Curvas NC, segundo a Norma NBR 10152.

- Dormitório 01: **NC 30 (proporciona conforto, conforme a norma NBR 10152)**
- Dormitório 02: **NC 35 (proporciona conforto, conforme a norma NBR 10152)**
- Sala de estar: **NC 25 (proporciona conforto, conforme a norma NBR 10152)**

#### 8.4.3.7 Conclusões

Conforme a nova norma de desempenho (projeto 02:136.01-001/1), o PCA apresenta déficit de

Níveis para conforto acústico - NBR 10152	
Residências	NC
Dormitórios	30-40
Salas de estar	35-45

Quadro 51 – Níveis de ruído para conforto acústico, segundo a NBR 10152

isolamento em suas alvenarias voltadas para a rua (fachada). O desempenho insuficiente, no quesito “isolamento acústico”, deveria proporcionar desconforto aos usuários do PCA. Ao ser verificado o ruído de fundo, dentro dos ambientes internos, conforme a norma NBR 10152 (ABNT, 2000a), constatou-se que os ambientes atingem o conforto acústico necessário. Logicamente, a implantação de uma residência em local afastado de trânsito urbano, como é o caso do Protótipo Casa Alvorada, no *campus* da UFRGS, necessita de menores índices de desempenho de isolamento acústico de fachadas do que os índices estipulados na nova norma de desempenho proposta (projeto 02:136.01-001/1); no entanto, em outras condições de implantação, há que se observar suas limitações e necessidade de melhorias, principalmente por meio da redução de frestas em suas esquadrias.

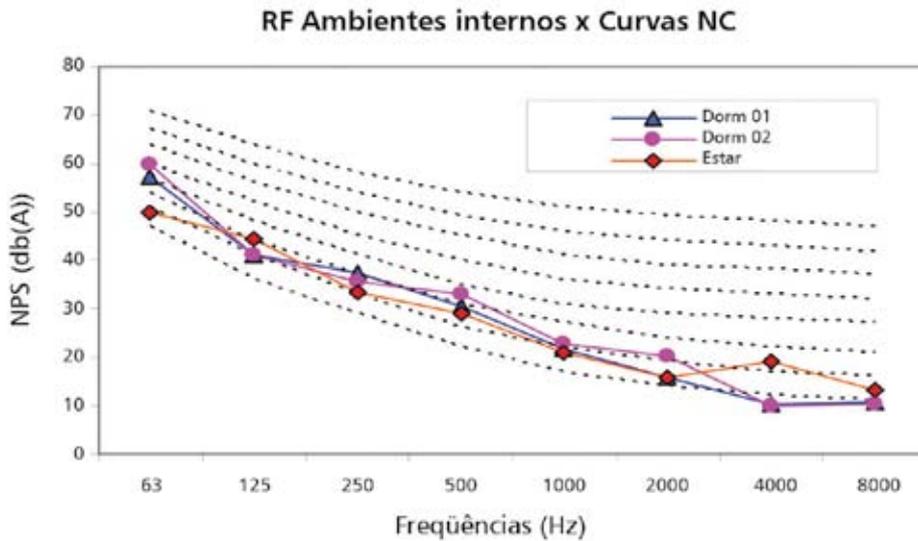


Figura 303 – Comparação entre os níveis de ruído de fundo e as curvas NC

Quanto às paredes internas do PCA, identificou-se um desempenho diferenciado para as duas paredes analisadas. A parede que separa os dormitórios (parede A) atingiu um desempenho intermediário, conforme o estipulado na norma (projeto 02:136.01-001/1). A parede que separa o dormitório da sala (parede B) não atingiu o desempenho mínimo requerido no mesmo projeto de norma. A diferença construtiva entre as duas paredes é que uma é rebocada de um lado e não apresenta nenhuma abertura diretamente voltada para o dormitório onde foi avaliada a recepção de ruído, enquanto a outra parede (B) não possui reboco em nenhuma das faces. Além da falta de reboco, o dormitório possui uma porta que o liga com a sala de estar. Verificou-se que a porta se apresenta com frestas, junto aos batentes, sendo essa semi-oculta e leve. Assim, pode-se admitir que esse

elemento juntamente com a falta de reboco em uma das faces sejam itens determinantes do baixo desempenho da parede B.

Nabinger (2006) sugere que todas as alvenarias internas, que separam ambientes, sejam rebocadas em, pelo menos, uma de suas faces, e que as aberturas sejam trocadas (portas e janelas) por aberturas com melhor desempenho de isolamento acústico, garantindo, assim, a privacidade acústica necessária entre ambientes de uma mesma unidade habitacional.

Enquanto o ruído de fundo (RF), no exterior da residência, permanecer com baixos níveis sonoros, as alvenarias externas poderão permanecer do modo que se encontram, visto que, no interior do PCA, o conforto acústico é alcançado, conforme os parâmetros estabelecidos pela NBR 10152.

## 8.4.4 Avaliação de desempenho ambiental

### 8.4.4.1 Introdução

Considerando-se que o Protótipo Casa Alvorada foi concebido e construído segundo princípios da sustentabilidade, este estudo, resultado do trabalho de pesquisa de Kuhn (2006), busca avaliar a edificação como um todo, através da caracterização e análise dos principais impactos ambientais relacionados aos seus subsistemas e materiais. Para a elaboração da metodologia, buscou-se, através da revisão bibliográfica, embasamento nos sistemas de avaliação ambiental existentes. A estrutura de avaliação aplicada foi composta de critérios ambientais, e os resultados apontam os benefícios e as desvantagens das soluções adotadas, permitindo tanto a identificação das alternativas mais adequadas como daquelas que podem ser aprimoradas. Os resultados obtidos com a avaliação do Protótipo Casa Alvorada estabelecem um referencial de comparação para novas propostas de habitações de interesse social que busquem maior sustentabilidade.

### 8.4.4.2 Metodologia

#### Objeto de estudo

O PCA se caracteriza por apresentar uma tipologia de edificação térrea e isolada, com 50,51 m<sup>2</sup> de área construída, de planta aproximadamente quadrada e com cobertura voltada predominantemente para o sul (Figura 304). Não foram considerados no estudo os subsistemas de instalações elétricas e hidráulicas, por não haver, até a realização dele, projeto definitivo para os mesmos. Logo, os subsistemas ava-

liados correspondem àqueles construídos até a data de realização deste estudo, que foram subdivididos e nomeados da maneira a seguir.

1. **Fundações:** executadas em pedras de granito (parcialmente originárias de sobras de substituição de pavimentos do *campus* Central da UFRGS e da demolição de uma pequena edificação, em desuso, no Laboratório de Energia Solar da UFRGS), sobre camada compactada de solo cimento e coroadas por vigas de concreto, que foram impermeabilizadas com emulsão asfáltica elastomérica.

2. **Pisos:** a este subsistema correspondem, além dos pisos propriamente ditos, o lastro de pedra britada e o contrapiso assentado sobre eles. As placas cerâmicas esmaltadas, aplicadas no banheiro, foram assentadas com argamassa adesiva pré-fabricada, e aquelas não esmaltadas, aplicadas no restante da habitação, com argamassa de cimento e areia. A argamassa de rejuntamento foi produzida *in loco*.

3. **Alvenarias:** constituídas por fiadas simples de tijolos maciços de cerâmica vermelha, com espessura total de 11 cm. Àquelas externas, orientadas a sul e a oeste, foram aplicados chapisco e massa única, como forma de aumentar a resistência térmica e a durabilidade das fachadas, que se encontram em situação mais crítica de exposição.

4. **Esquadrias:** de madeira de eucalipto, de diversas espécies, construídas segundo os modelos de fábrica, porém com dimensões e alguns

detalhes específicos. Totalizam 7 janelas e 5 portas, com um volume útil de madeira aproximado de 0,60 m<sup>3</sup>. Para preservação da madeira das esquadrias foi testado um tratamento alternativo, composto de dois tipos de mistura.

5. **Cobertura:** a estrutura de sustentação é composta de vigas de concreto e caibros de madeira de cedrinho e pínus. Um incremento no isolamento térmico do subsistema é proporcionado por folhas de alumínio, reaproveitadas do processo de *off-set* de indústrias gráficas. As telhas de recobrimento são cerâmicas, não esmaltadas, e o forro é constituído por lambris de cedrinho.

6. **Pergolados:** são dois os pergolados presentes na habitação: um orientado a norte, e outro, a oeste da edificação. São de troncos roliços

de eucalipto, não tratados, de duas espécies (*Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*). As peças apoiadas sobre o piso fazem-no através de paralelepípedos de granito, em parte reutilizados, e pequenos blocos de fundação, em concreto, que os mantêm distanciados do solo, para restringir o acesso pela umidade do solo.

Mais informações sobre o protótipo Casa Alvorada podem ser encontradas nas dissertações de Fernandes (2004), Morello (2005) e Oliveira (2005), e nos trabalhos publicados por Rosa, Sedrez e Sattler (2001) e Costa Filho, Bonin e Sattler (2000).

#### Síntese dos procedimentos adotados

A revisão bibliográfica foi o principal instrumento para o desenvolvimento deste trabalho. Através dela se procurou compreender os principais mecanismos ambientais geradores de impactos ao longo do ciclo

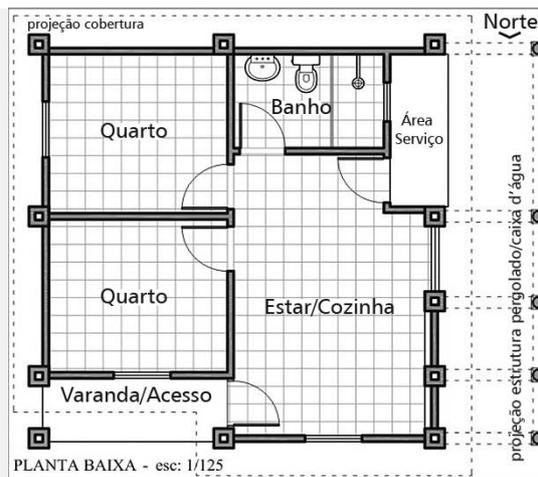


Figura 304 – Vista norte e planta baixa do protótipo Casa Alvorada

de vida das edificações e obter fontes de dados específicas para a avaliação. Para a elaboração da metodologia também se buscou, na literatura, embasamento nas ferramentas de avaliação ambiental existentes. A estrutura de avaliação resultante, aplicada, foi composta de critérios ambientais, e os procedimentos adotados, desde a seleção até sua caracterização final, são sinteticamente descritos a seguir. A autora destacou que não foi intenção de seu trabalho, através da definição dos procedimentos de caracterização de impactos ambientais, criar um método reaplicável.

#### - Seleção preliminar de critérios ambientais de avaliação

Através da análise das principais ferramentas de avaliação ambiental de edificações existentes, levantou-se uma lista preliminar de critérios ambientais, pertinentes à avaliação ambiental de uma habitação de interesse social no contexto brasileiro. A possibilidade e a forma de caracterização de cada critério selecionado passaram, então, a ser avaliadas no decorrer da etapa seguinte à de levantamento de dados. Isso ocorreu porque se partiu do pressuposto de que a estrutura de avaliação deveria ser baseada em dados disponíveis, fazendo com que a coleta de dados e a definição dos critérios e forma de caracterização dos mesmos ocorressem como processos interativos.

#### - Levantamento de dados e cálculos de consumo de materiais

O levantamento de dados não ocorreu em um único período, e sim ao longo de todo o trabalho. À medida que era verificada a existência de dados relevantes, considerava-se a adequação desses aos critérios

previamente selecionados. Os dados levantados pertencem a duas categorias distintas. Na primeira categoria se inserem as informações específicas relativas ao protótipo Alvorada; na segunda, estão aquelas sobre as características e propriedades dos materiais utilizados e seus processos de manufatura, no contexto nacional.

#### a. Relativos à habitação

O levantamento de dados da edificação incluiu a identificação e a quantificação dos subsistemas e materiais que a compõem. A caracterização física foi realizada a partir de dados do projeto (tais como plantas baixas, cortes e elevações) e levantamentos no local. Isso permitiu identificar as alterações do edifício construído em relação ao projeto original. Já as informações referentes à etapa de construção foram obtidas mediante entrevistas com os construtores, documentos, relatórios e planilhas de construção, tais como fotos e planilhas de controle de materiais adquiridos e de identificação de fornecedores.

A partir da identificação da composição dos subsistemas, partiu-se para o cálculo das quantidades úteis dos materiais incorporados. Aos consumos úteis ou de referência, calculados para os diferentes materiais, agregaram-se valores relativos a perdas. Esses valores foram obtidos por meio de comparações entre os quantitativos de referência calculados e o consumo real de materiais, registrado nas planilhas de controle de compras, durante a etapa de construção.

#### b. Relativos a características dos materiais e seus processos de manufatura, no contexto brasileiro

A limitada disponibilidade desse tipo de fonte de informação foi determinante para a definição da

possibilidade de caracterização dos critérios de avaliação levantados inicialmente. Foram utilizados dados genéricos e específicos, obtidos de diversas fontes na literatura. Por isso, freqüentemente, não foram representativos dos setores de produção como um todo, nem apresentavam, originalmente, padronização da comunicação das informações. Esses aspectos conferem imprecisões à avaliação, mas essa forma de obtenção de dados foi aquela identificada como possível quando da realização do trabalho, considerando-se as limitações de recursos financeiros e de tempo então existentes.

#### - Definição dos critérios de avaliação e caracterização dos impactos ambientais

Os critérios de caracterização definidos buscaram abranger todas as etapas do ciclo de vida que pudessem ser quantificadas ou qualificadas. Os critérios fixados estão classificados em dois grupos: primeiro, o consumo de recursos; e segundo, as emissões e geração de resíduos, de acordo com o tipo de carga ambiental exercida. Não são contemplados critérios relativos ao conforto do ambiente interno, uma vez que esses aspectos de desempenho já foram bem explorados em outros dois trabalhos focados no protótipo Alvorada. Os resultados de todos os critérios estipulados correspondem a impactos negativos ao meio ambiente, e a forma de caracterização para cada um deles é explicitada individualmente.

#### a. Emissão de resíduos tóxicos

A caracterização desse critério se baseia na identificação dos materiais incorporados nos subsistemas, cujos processos de manufatura, uso ou dispo-

sição final possam emitir resíduos tóxicos. Não são quantificados, especificamente, os resíduos tóxicos emitidos, mas apenas as massas dos materiais que os emitem, em alguma dessas etapas do ciclo de vida. Também não é especificado o grau de periculosidade das diferentes emissões.

#### b. Consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas a transportes

Para a caracterização do consumo de energia e emissões relacionadas a transportes foram adotados os mesmos procedimentos definidos nos trabalhos de Sperb (2000) e Oliveira (2005). O cálculo da energia consumida foi feito através do produto da massa do material, pelo índice energético para transporte e pela distância transportada. Ao resultado, em MJ, se aplica o índice de emissões de CO<sub>2</sub> gerado pela queima de óleo diesel em veículos europeus pesados, de transporte de carga, que, segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC, 1996), corresponde a 74 g/MJ. As distâncias transportadas correspondem àquelas entre as cidades produtoras dos materiais e Porto Alegre. Foram extraídas do portal MSN Maps & Directions (2005) e considerados os percursos mais diretos entre os centros das cidades.

#### c. Consumo de energia para processos

O cálculo do consumo de energia para processos é realizado a partir do produto dos índices energéticos dos diferentes materiais, pelas suas respectivas massas. Os índices energéticos adotados não correspondem àqueles específicos às indústrias de origem dos materiais empregados. Foram obtidos na literatura, o que confere certa limitação à caracteriza-

ção desse critério, já que, muitas vezes, os índices disponíveis se referem a grupos pequenos de indústrias ou, até mesmo, a uma única indústria, não representando o desempenho do setor como um todo.

#### d. Incorporação de recursos não reaproveitados

Esse critério caracteriza a quantidade de recursos reaproveitados em relação à de recursos novos, incorporados na edificação. Foi feita uma distinção dos materiais em função do tipo de reaproveitamento de recursos empregados. Materiais residuais oriundos de outros processos ou da demolição de edificações, que não sofrem nenhum novo processo para serem incorporados à edificação, são denominados reutilizados. Esses materiais têm 100% da sua massa caracterizada como recursos reaproveitados. Materiais com conteúdo reciclado, em contraste, freqüentemente apresentam apenas parte de sua composição formada por recursos reaproveitados; além disso, caracterizam-se por exigirem novos processos de manufatura. Esses materiais são identificados como aqueles cujos processos de fabricação adotam, como prática corrente, a incorporação de resíduos gerados por outros processos produtivos. Tais práticas foram identificadas a partir de informações disponibilizadas pelos fabricantes ou por trabalhos específicos sobre materiais. Salienta-se, no entanto, que não foi estimada quantitativamente a massa de resíduos incorporados; o critério se baseia, apenas, na quantificação das massas de materiais que não foram reutilizados ou que não possuam insumos reciclados.

#### e. Incorporação de recursos sem potencial de reaproveitamento

Esse critério se fundamenta na identificação

dos materiais incorporados na edificação que apresentem baixo potencial para reutilização ou restrições para reciclagem. A caracterização é feita mediante a quantificação das massas de materiais que possuam baixo ou nulo potencial para reaproveitamento em relação àqueles que apresentem médio ou alto potencial.

#### f. Perdas de recursos

A caracterização desse critério é feita através da relação entre o consumo de referência (ou útil) calculado e o consumo real de recursos, determinados por meio das planilhas de controle de compras de materiais, durante a etapa de construção. É considerado como perda o consumo de recursos excedentes aos valores de referência, incluindo tanto aqueles que se converteram em resíduos quanto aqueles incorporados à edificação, durante a etapa de construção, ou devido à não-otimização de projetos específicos.

#### g. Uso de madeira nativa não certificada

A caracterização desse critério está atrelada à consideração de que, até o presente momento, há disponibilidade restrita de madeira nativa brasileira certificada no mercado nacional. Além disso, como algumas espécies tradicionalmente utilizadas na construção civil encontram-se ameaçadas, considera-se, neste trabalho, um impacto ambiental negativo o uso da madeira proveniente de florestas nativas. Assim, como alternativa, propõe-se o uso de madeira de reflorestamento, de espécies não nativas, e caracteriza-se esse critério através da relação entre as massas de madeiras nativas e não nativas empregadas na edi-

ficação. Salienta-se que foram quantificadas, além das madeiras incorporadas, também aquelas utilizadas para a confecção das formas para concreto.

#### 8.4.4.3 Análise dos resultados

Optou-se por estabelecer uma forma de visualização dos resultados através de gráficos que caracte-

terizassem os impactos da edificação em duas escalas: global e por subsistema. O Quadro 52 sintetiza os quantitativos gerais (em massa) de materiais incorporados nos subsistemas. Os resultados da caracterização de impactos ambientais estão resumidos no item seguinte. Considerações gerais são feitas na seção 8.4.4.4.

Subsistema	Massa de materiais reaproveitados (kg)	Massa de materiais não reaproveitados (kg)	Massa total incorporada no subsistema (kg)
Fundações	8.363,92	40.858,46	49.222,39
Piso	0,00	14.169,34	14.169,34
Alvenarias	5,41	32.082,31	32.087,72
Esquadrias	0,00	984,88	984,88
Cobertura	578,55	11.313,40	11.891,95
Pergolado	192,81	2.260,95	2.453,76
<b>Total</b>	<b>9.140,69</b>	<b>101.669,35</b>	<b>110.810,04</b>

Quadro 52 – Quantitativos gerais de materiais incorporados no PCA, discriminados por subsistema

#### Aplicação dos critérios ambientais

Os únicos materiais responsáveis por **emissões tóxicas** são o aço e a essência de terebentina (utilizada na preservação das esquadrias e pergolados). A quantidade de aço utilizada nas vigas de co-roamento e de baldrame foi responsável pelo desempenho – significativamente inferior aos dos demais subsistemas (Figura 305) – obtido pelos subsistemas de cobertura e fundações. O aço, no entanto, é res-

ponsável por emissões apenas durante o processo de fabricação. Quanto a emissões no ambiente interno, a essência de terebentina, utilizada para diluir o óleo de linhaça, usada no tratamento alternativo para madeira das esquadrias, foi a única substância identificada. A esse respeito, deve-se fazer uma análise mais profunda da periculosidade de seus efeitos, comparando-os com aqueles resultantes de alternativas tradicionais de tratamento da madeira.



Figura 305 – Emissão de resíduos tóxicos

Os resultados dos critérios de **consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub>** relacionados ao transporte (Figuras 306 e 307) estão diretamente vinculados entre si. O subsistema de cobertura foi o que atingiu o pior desempenho em ambos os critérios, já que 90,5% do consumo de energia e das emissões associados a este subsistema são decorrentes do emprego da madeira de cedrinho, que é proveniente do Mato Grosso do Sul. Esta madeira foi utilizada tanto na estrutura de cobertura como na confecção de formas para vigas de

concreto. Esse material de construção é aquele cuja origem de produção é a mais distante da cidade de Porto Alegre, e o único, além do vidro (utilizado em pequena quantidade), não fabricado no Estado do Rio Grande do Sul. Ainda assim, esses valores de consumo podem ser considerados baixos, se comparados aos obtidos por Sperb (2000), na caracterização dos gastos energéticos para transportes dos subsistemas de cobertura e paredes de cinco tipologias de habitações de interesse social implantadas na Vila Tecnológica de Porto Alegre.

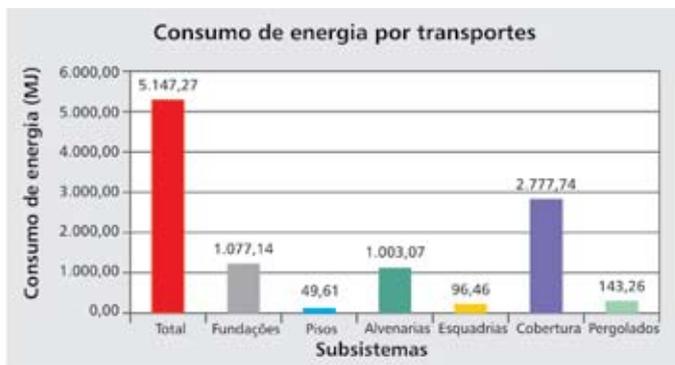
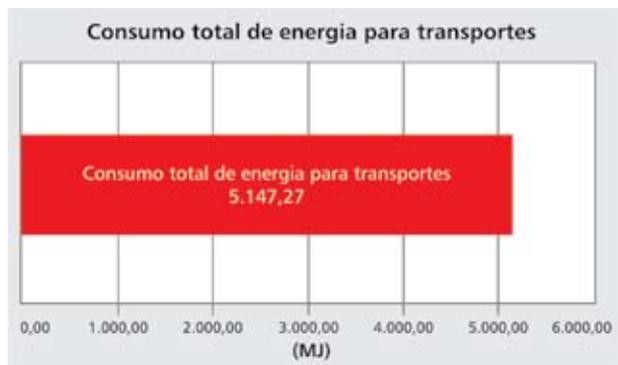


Figura 306 – Consumo de energia para transportes

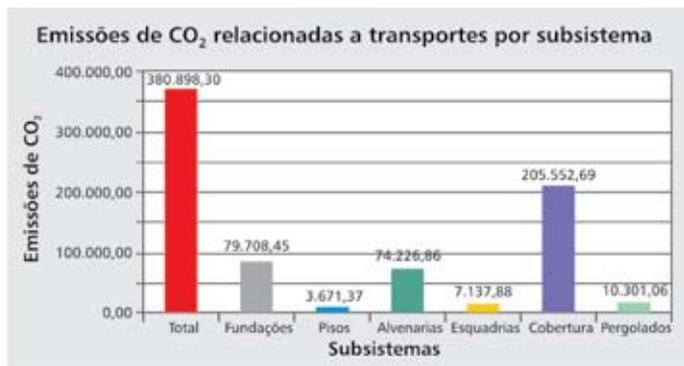
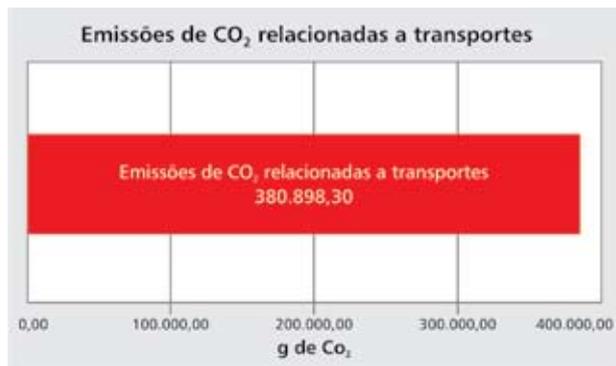


Figura 307 – Emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas a transportes

Quanto ao **consumo de energia para processos de fabricação**, o valor total corresponde à energia operacional acumulada despendida ao longo de 18 anos de uso de uma edificação de mesmo padrão, segundo dados do estudo de Hansen (2000). Destacam-se os impactos gerados pelos subsistemas de alvenarias e cobertura (Figura 308). O consumo de energia das primeiras, por metro quadrado de área construída, embora não explicitado no gráfico,

correspondeu a 1.104,90 MJ; enquanto o da segunda, a 811,56 MJ. Esses valores são um pouco elevados, se comparados aos obtidos por Sperb (2000), e intermediários, se comparados aos obtidos por Krüger e Dumke (2001), que realizaram caracterizações de gastos energéticos para esses dois tipos de subsistemas em estudos nas Vilas Tecnológicas, respectivamente, de Porto Alegre e de Curitiba.

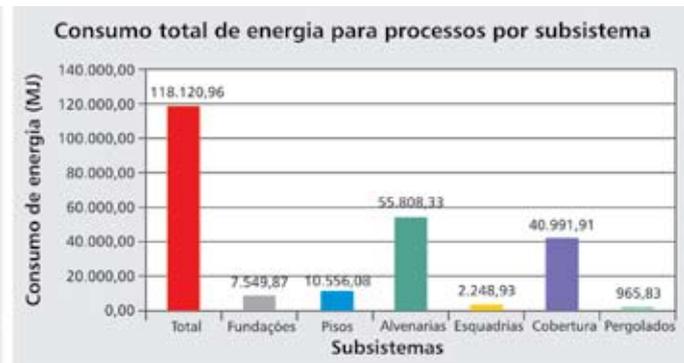
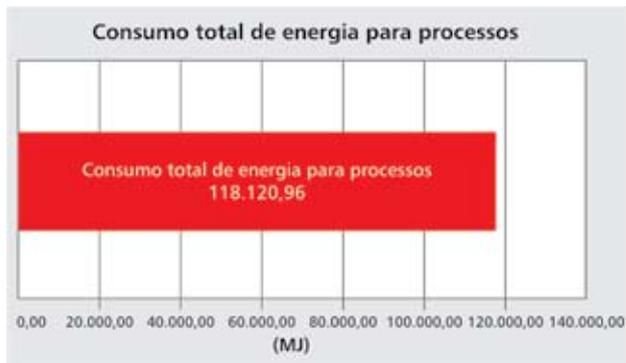


Figura 308 – Consumo de energia para processos de fabricação de materiais

Os resultados obtidos no critério de **incorporação de recursos não reaproveitados** (Figura 309) indicam que apenas um pequeno percentual dos materiais incorporados no PCA é oriundo de reaproveitamentos. No entanto, não sendo prática

corrente no Brasil a reutilização de estruturas preexistentes ou de materiais residuais de demolições de edificações, o mérito dessa iniciativa está na demonstração das vantagens de sua adoção.

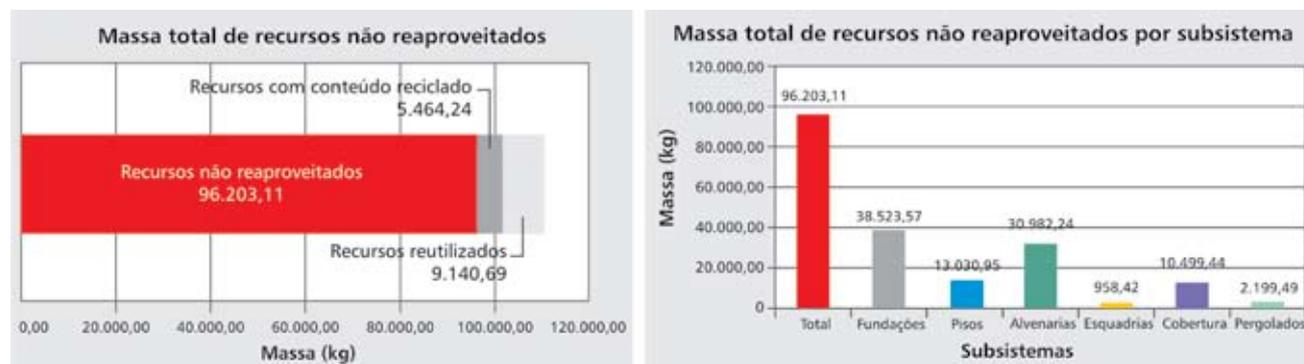


Figura 309 – Incorporação de recursos não reaproveitados

Ocorre, para o critério de **incorporação de recursos sem potencial de reaproveitamento** (Figura 310), que os subsistemas com desempenho inferiores são aqueles que apresentam maiores massas de recursos incorporados, embora esses também contenham grande massa de recursos com alto potencial de reaproveitamento. Subsistemas com grandes quantidades de concreto e de argamassas tendem a apresentar potenciais de reaproveitamento inferiores.

Verifica-se, através do critério de caracterização de **perdas**, que essas estão entre as médias constatadas em estudos da área. No entanto, para muitos materiais, as quantidades consumidas ultrapassaram as quantidades calculadas úteis, ou de referência, de-

vido à falta de planejamento e controle na compra de materiais, durante a execução da obra, o que resultou na aquisição de materiais excedentes, não utilizados.

No critério **consumo de madeira nativa não certificada**, o subsistema de cobertura apresentou desempenho negativo, contrastante em relação aos demais (Figura 312), devido ao consumo da madeira de cedrinho. Além disso, pode-se considerar que mesmo o uso de madeira não nativa de reflorestamento poderia ter sido reduzido. Embora parte das tábuas utilizadas para a confecção das formas das vigas de concreto da cobertura tenha sido reutilizada como caibros, as demais madeiras destinadas às formas para concretos não foram reaproveitadas, o que, se tivesse sido feito, reduziria o consumo delas à metade.



Figura 310 – Incorporação de recursos sem potencial de reaproveitamento



Figura 311 – Perdas de recursos



Figura 312 – Consumo de madeira nativa não certificada

#### 8.4.4 Considerações gerais

Uma análise geral do processo e das dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho permite, também, que sejam feitas certas considerações, não expressas diretamente nos resultados obtidos. Constatou-se - o que também já foi apontado em outros trabalhos desenvolvidos na área (OLIVEIRA, 2005; SILVA, 2003; SPERB, 2000) - uma carência de dados atuais e precisos relativos a materiais de construção no contexto nacional, o que traz imprecisões ou exige o dispêndio de consideráveis recursos financeiros e de tempo para a realização de avaliações de edificações como essas.

No entanto, verificou-se aqui que, para a realidade brasileira, a solução desse problema não está apenas relacionada à criação de banco de dados genéricos, representativos de setores como um todo. As indústrias brasileiras apresentam uma heterogeneidade de processos produtivos, que se reflete na geração de impactos ambientais muitos diferentes para a fabricação de produtos similares. Assim, a seleção de fornecedores se torna um aspecto crítico para o desempenho ambiental da edificação como um todo. Essa questão, que foi priorizada na etapa de projeto e construção do Protótipo Alvorada, acabou por ter seus benefícios diluídos nesta avaliação, devido à necessidade de utilização de dados não específicos. Igualmente crítica foi a obtenção de dados de referência para comparação dos resultados de desempenho do PCA. Verificou-se a indisponibilidade de estudos no Brasil relacionados à avaliação ambiental de habitações de interesse social como um todo. Os trabalhos encontrados se limitam à análise de sub-

sistemas isolados, e alguns avaliam apenas aspectos relacionados ao consumo de energia.

Apesar das limitações apontadas, os resultados obtidos permitiram identificar quais subsistemas apresentam pior desempenho ambiental e, por sua vez, quais os pontos ambientalmente críticos neles, determinantes para essa condição. Essas informações podem ser referenciais para o desenvolvimento de novas propostas para habitações mais sustentáveis de interesse social. Adicionalmente, fornecem dados para comparações com novas avaliações ambientais a serem desenvolvidas e permitem que comecem a ser estabelecidos valores de referência quanto ao desempenho de habitações desse gênero.

#### 8.4.5 Avaliação de custos associados às soluções construtivas

##### 8.4.5.1 Introdução

Este estudo, também resultado do trabalho de pesquisa de Kuhn (2006), realiza uma análise dos custos dos materiais empregados na construção do protótipo Casa Alvorada, comparando-os aos de outros sistemas construtivos regionalmente empregados para o atendimento da demanda por habitações de baixo custo. Como o protótipo foi concebido para ser construído pelos próprios usuários, e contou com a participação de vários alunos e professores em sua construção, não foram especificados os gastos referentes à mão-de-obra. A metodologia de pesquisa incluiu o levantamento de dados e identificação dos materiais constituintes da edificação; organização dos dados e cálculo das quantidades úteis de materiais para a construção de cada subsistema; quantifi-

cação das perdas, com base nas planilhas de obra e notas de compra; levantamento dos custos unitários de mercado para os materiais de construção empregados; e comparação de seu custo com o de sistemas construtivos tradicionais.



Figura 313 – Vista norte do protótipo Alvorada

O estudo não considerou os custos dos subsistemas de instalações elétricas e hidráulicas, pois, até a conclusão do trabalho de Kuhn, tais subsistemas ainda não haviam sido implementados.

#### 8.4.5.2 Síntese dos procedimentos adotados

A metodologia da pesquisa incluiu o levantamento de dados e identificação dos materiais constituintes da edificação; organização dos dados e cálculo das quantidades úteis de materiais para a construção de cada subsistema; quantificação das perdas de materiais; levantamento dos custos unitários atualizados

para materiais; e quantificação dos custos totais. Os procedimentos adotados são sinteticamente descritos nos itens a seguir, em ordem cronológica.

#### Levantamento de dados e identificação dos materiais constituintes da edificação

O levantamento de dados da edificação foi a primeira atividade realizada e contemplou a identificação dos subsistemas e materiais que a compõem. A caracterização física foi realizada a partir de dados do projeto (tais como plantas baixas, cortes e elevações) e levantamento no local, o que permitiu identificar as alterações do edifício construído em relação ao projeto original. Já as informações referentes à etapa de construção foram obtidas através de entrevistas com os construtores, documentos, relatórios e planilhas de construção, tais como fotos e planilhas de controle de materiais adquiridos e de identificação de fornecedores.

#### Organização dos dados e cálculo das quantidades úteis de materiais

A partir da identificação da composição dos subsistemas, efetuou-se o cálculo das quantidades úteis, ou de referência, dos materiais incorporados. Para argamassas e concretos, de posse dos traços (em volume) utilizados, o cálculo dos diferentes insumos foi feito através de fórmula que permite calcular o consumo teórico de cimento, conforme Alves (1987). Para tijolos, telhas e placas cerâmicas, a massa útil consumida foi estimada por meio das fórmulas apresentadas em Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO 12, 2003), além de observações no local. Aditivos modificadores de argamassas e concretos, impermeabilizantes e produtos para tra-

tamento e proteção de materiais, em geral, tiveram seu consumo calculado a partir das indicações de uso apontadas pelos respectivos fabricantes. Os demais materiais, tais como madeiras, blocos de granito e aço, foram quantificados a partir das informações de projeto, fotos de execução e observações no local.

#### Quantificação das perdas

Às quantidades úteis, ou de referência, calculadas para os diferentes materiais, agregaram-se valores relativos a perdas. Esses valores foram obtidos através de comparações entre os quantitativos de referência calculados e o consumo real de materiais, registrado nas planilhas de controle de compras, durante a etapa de construção e notas de aquisição de materiais.

#### Atualização dos custos unitários para materiais individuais e quantificação dos custos totais

As notas e planilhas de compra de materiais, utilizadas para a quantificação do consumo, apresentam preços correspondentes ao período de construção do PCA, ou seja, a diversos períodos entre os anos de 2001 e 2002. A atualização desses valores, para este artigo, considerou custos unitários de materiais referentes a janeiro de 2006. Optou-se por atualizar os preços através de contato direto com os fornecedores. Desconsiderou-se a possibilidade de conversão pelo Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB), devido às imprecisões intrínsecas ao procedimento. Optou-se, também, por contatar os fornecedores específicos de cada material, já que alguns destes não são tradicionalmente encontrados no mercado, como, por exemplo, a madeira de eucalipto sem tratamento. Além disso, do ponto de vista do de-

sempenho ambiental, a seleção dos produtores é um aspecto crítico e foi priorizada na etapa de projeto e construção do protótipo Casa Alvorada. De posse dos custos unitários e das quantidades de materiais consumidos, foram quantificados, individualmente, os custos relacionados a cada subsistema.

#### 8.4.5.3 Análise dos resultados

A Tabela 19 sintetiza os custos totais de materiais incorporados em cada um dos subsistemas e na edificação como um todo. Implicações econômicas das soluções construtivas e práticas adotadas são resumidamente analisadas no item seguinte, além de serem feitas comparações com custos de outras habitações do mesmo gênero, construídas no mesmo período. Posteriormente, considerações gerais são apresentadas no item 8.4.5.4.

#### Repercussões das soluções e práticas adotadas nos custos

Foram identificadas soluções construtivas e práticas adotadas durante a etapa de execução do protótipo, nas quais poderia ter sido evitado o consumo de recursos desnecessários. Falhas de planejamento e controle na aquisição de materiais, durante alguns períodos da execução da obra, foram alguns desses aspectos observados. Para muitos materiais, as quantidades adquiridas ultrapassaram significativamente as quantidades úteis calculadas, ou de referência, resultando na compra de materiais excedentes, não utilizados. São exemplos disso as peças em madeira de cedrinho, para o rodaforno, cuja compra excedeu em 30% a quantidade de referência calculada.

Tabela 19 – Custos de materiais incorporados no PA discriminados por subsistema

Subsistema	Custo dos materiais incorporados <sup>1</sup> (R\$)	Custo das formas para concretos (R\$)	Custo total (R\$)	Custo total, por m <sup>2</sup> de área construída (R\$/m <sup>2</sup> )
Fundações	3.177,66	190,38	3.368,04	66,68
Piso	1.770,85	-	1.770,85	35,06
Alvenarias	3.054,74	-	3.054,74	60,48
Esquadrias	2.887,03	-	2.887,03	57,16
Cobertura	4.711,93	866,38	5.578,31	110,44
Pergolados	758,88	42,05	800,73	15,85
Total	16.360,90	1.098,81	17.459,71	345,67

<sup>1</sup> Incluindo-se perdas e excluídas as formas.

Ainda, quanto à possibilidades de economia de recursos, embora parte das tábuas utilizadas para confecção das formas das vigas de concreto da cobertura tenha sido reutilizada como caibros, as demais madeiras destinadas a formas não foram reaproveitadas, sendo, segundo as Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO 12, 2003), possível reaproveitá-las até quatro vezes. Considera-se que, embora esse número de reaproveitamentos apontado por TCPO 12 (2003) não pudesse ser realizado na construção de uma única habitação, o reaproveitamento das formas, uma vez, seria tecnicamente viável e contribuiria significativamente para a redução do custo total delas, já que este foi expressivo em relação ao todo (correspondendo a 6,29% do custo global do protótipo), como se pode observar na Tabela 19.

Em contrapartida, aponta-se como sendo positiva, do ponto de vista econômico, a prática de reaproveitamento de materiais, tanto provenientes da reutilização

de estruturas preexistentes no terreno como da incorporação de resíduos de processos de outros setores. No protótipo Casa Alvorada, constituem exemplos dessas práticas a incorporação de pedras de granito, residuais de uma edificação demolida e de substituição de pavimentos no *campus* Central da UFRGS, nas fundações, assim como de chapas de *off-set*, material residual de gráficas, para o isolamento térmico da cobertura. A economia obtida, ao todo, correspondeu a R\$ 656,38, desconsiderando-se os investimentos que seriam necessários para a substituição do *off-set* por outro material isolante, com o mesmo desempenho. Também há que considerar que a calça, resultante das perdas no processo de construção das alvenarias, foi empregada na construção do leito filtrante do sistema de tratamento de esgotos (leito de raízes), implantado para atender ao protótipo, em substituição à brita, usualmente utilizada. Esse procedimento possibilitou, além da minimização dos resíduos gerados, a economia de recursos

para construção do sistema. No entanto, o valor dessa economia não foi contabilizado, pois o referido sistema não foi incluído entre aqueles considerados como integrando o custo de construção do protótipo.

Quanto à participação de cada subsistema no consumo de recursos financeiros, pode ser observado na Tabela 19 que o subsistema de **cobertura** foi aquele que demandou maiores investimentos, representando 31,95% do custo total do protótipo. Entre os materiais com maior contribuição estão o forro de madeira, de cedrinho, e as formas para concretagem das vigas de concreto, com custos correspondentes a R\$ 1.283,10 e R\$ 866,38, respectivamente.

O segundo subsistema, em termos de custo, foi o de **fundações**, cujo custo foi próximo ao das alvenarias. A execução das fundações demandou um consumo de materiais e, conseqüentemente, de investimentos financeiros significativamente elevados, se comparados àqueles de outras habitações, de porte semelhante, implantadas em outras localidades. Isso, no entanto, pode ser explicado se considerarmos as características do solo local, de baixa capacidade de suporte. Como referência de custos correntes, pode-se citar aqueles orçados para modelos semelhantes ao PCA, construídos no Município de Nova Hartz, onde o solo apresentou características mais favoráveis. Os custos estimados para tais fundações corresponderam a R\$ 2.284,72, ou seja, apenas 67% do total de recursos despendidos para a execução das fundações do protótipo em estudo.

Quanto às **paredes**, 71,18% dos custos estão relacionados às alvenarias propriamente ditas, enquanto 28,82%, aos revestimentos delas. O material de custo mais significativo foi o tijolo cerâmico, responsável

por mais da metade dos investimentos financeiros consumidos para a construção desse subsistema.

Com relação ao subsistema de **pisos**, há que se considerar que a maior parte dos recursos econômicos despendido está associada às placas cerâmicas de revestimento. Ressalta-se que estas são de fabricação artesanal e, por isso, apresentaram custos bastante elevados, se comparados a outras, comumente encontradas no mercado. Assim, sua utilização só foi possível porque esse material foi doado pela indústria produtora. Optou-se, aqui, por considerar o custo de mercado das placas utilizadas, o que aumentou substancialmente o custo do subsistema como um todo.

Tabela 20 – Custos de materiais incorporados em cinco tipologias construídas na Vila Tecnológica de Curitiba

Sistemas construtivos	Custo total (R\$)	Custo total, por m <sup>2</sup> de área construída (R\$/m <sup>2</sup> )
Tipologia 1	13.539,89	336,39
Tipologia 2	11.931,33	320,48
Tipologia 3	15.335,05	265,68
Tipologia 4	9.245,51	230,39
Tipologia 5	25.244,98	473,99

Para que pudessem ser estabelecidos referenciais, foram levantadas informações sobre custos de materiais para construção de habitações de interesse social, construídas durante o mesmo período de construção do protótipo, ou seja, entre 2001 e 2002. No contexto nacional, Krüger e Dumke (2001) realizaram um estudo de cinco tipologias habitacionais implantadas na Vila Tecnológica de Curitiba. Os aspectos priorizados no estudo foram o conteúdo energético dos

materiais e o desempenho térmico das habitações, mas, adicionalmente, também foi feita uma avaliação de custos. Embora não seja possível se estabelecer uma comparação detalhada com os custos do protótipo, pois o estudo da Vila Tecnológica de Curitiba não apresenta valores discriminados para cada subsistema, podem ser feitas algumas constatações quanto aos custos despendidos para ambos. Observa-se, através da Tabela 20, que, à exceção da tipologia 5, todas as alternativas apresentam custos sensivelmente mais baixos que o do protótipo Casa Alvorada. As tipologias 1 e 2, embora apresentem custos por metro quadrado de área construída bastante semelhantes às do protótipo, contemplam, também, aqueles referentes às instalações hidráulicas e elétricas, o que significa que, considerando-se o todo, são alternativas de menor custo.

Especificamente em Porto Alegre, entre os anos

de 2001 e 2002, dois modelos padrão de habitações de interesse social eram implantados pelo Departamento Municipal de Habitação (DEMHAB)<sup>2</sup> da Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Os modelos apresentam materiais e técnicas construtivas comuns, porém se diferenciam significativamente em relação à área construída. Aquele de maior área, aqui denominado Modelo A, foi concebido com 40,40 m<sup>2</sup>, para abrigar quatro moradores. Aquele denominado Modelo B apresenta área de 23,37 m<sup>2</sup> e possui apenas 1 dormitório, tendo sido projetado para ocupação por duas pessoas. Os custos totais, convertidos para o CUB de janeiro de 2006, incluindo mão-de-obra, movimentos de terra e todas as instalações necessárias, representaram, respectivamente, R\$ 24.650,63 e R\$ 19.643,08, e os custos apenas de materiais, discriminados por subsistema, estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Custos de materiais, discriminados por subsistema, incorporados em habitações padrão construídas pelo DEMHAB, em Porto Alegre, entre os anos de 2001 e 2002

Subsistema	Modelo A Área: 40,40 m <sup>2</sup>		Modelo B Área: 23,37 m <sup>2</sup>	
	Custo total (R\$)	Por m <sup>2</sup> de área construída (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo Total (R\$)	Por m <sup>2</sup> de área construída (R\$/m <sup>2</sup> )
Fundações	1.179,79	29,20	843,35	36,09
Piso	762,20	18,87	559,05	23,92
Alvenarias	3.619,40	89,59	3.647,28	156,07
Esquadrias	3.784,63	93,68	2.195,82	93,96
Cobertura	2.957,72	73,21	2.297,23	98,30
<b>Total</b>	<b>12.303,74</b>	<b>304,55</b>	<b>9.542,73</b>	<b>408,33</b>

<sup>2</sup>Informação oral obtida no dia 7 de fevereiro de 2006 de engenheiro civil do DEMHAB.

Verifica-se que o custo total do protótipo Alvorada é superior ao de ambas as alternativas apresentadas. No entanto, o custo atingido por metro quadrado de área construída, correspondente a R\$ 345,67, é intermediário àqueles obtidos pelos dois modelos do DEMHAB. Enquanto o modelo A apresenta um custo por metro quadrado de área construída 12% inferior ao do protótipo, o modelo B apresenta um custo 18% superior.

Os subsistemas de fundações e pisos do protótipo apresentaram custos bastante elevados, se comparados aos das habitações construídas pela Prefeitura de Porto Alegre. Pode-se dizer que essas discrepâncias estão relacionadas a dois fatores já apontados. Para as fundações, essas diferenças se devem às características do solo local, e para os pisos, às placas cerâmicas empregadas.

Uma análise comparativa individual, para os demais subsistemas, mostra que apenas as alvenarias e esquadrias das habitações do DEMHAB apresentaram custos mais elevados que aqueles do protótipo. Os custos dos materiais de assentamento das alvenarias resultaram equivalentes, fazendo com que a diferença constatada entre os subsistemas de alvenarias estivesse relacionada, principalmente, à aplicação de revestimentos. Enquanto todas as paredes do protótipo foram executadas em fiadas simples de tijolos maciços, as habitações do DEMHAB utilizaram blocos cerâmicos de 21 furos, com paredes externas duplas e internas, simples. Quanto às características de acabamento, as primeiras receberam revestimento apenas naquelas fachadas cujas condições de exposição eram mais severas, enquan-

to as segundas exigiram a aplicação de reboco e pintura em todas as superfícies.

Quanto às esquadrias, deduz-se que as diferenças de custos se devam ao material empregado, já que, inclusive, um número maior de aberturas foi empregado no protótipo Casa Alvorada. Tanto as portas como as janelas externas presentes nas habitações do DEMHAB são de aço e exigiram, complementarmente, a aplicação de pintura. As esquadrias do protótipo, em contraste, são de madeira de eucalipto, de diversas espécies, e receberam apenas um tratamento alternativo de proteção.

#### 8.4.5.4 Considerações gerais

Os resultados obtidos permitiram identificar os recursos financeiros associados aos diversos subsistemas. Verificou-se que, em geral, as soluções adotadas **na etapa de projeto**, para aumentar o desempenho ambiental e de conforto da edificação, não representaram um aumento significativo nos custos, se comparadas às alternativas adotadas pelas demais habitações de interesse social analisadas. São exemplos dessas soluções a concepção de ambientes com pé-direito elevado e janelas altas, para proporcionar ventilação natural por “efeito chaminé”, que implicaram a construção de superfícies maiores de paredes, e a implementação de um número maior de esquadrias.

Em contraste à etapa de projeto, o que se constata é que, **na etapa de construção**, aspectos relacionados à economia de recursos, que têm implicações tanto ambientais como econômicas, receberam menor atenção. Dificuldades no planejamento de **reutilização** e no **controle na aquisição de materiais**, durante a execução da obra, foram aspectos

observados que tiveram representatividade no total dos custos quantificados.

Adicionalmente, a análise dos resultados apresenta as soluções e práticas adotadas que tiveram boas conseqüências e aquelas que poderiam ter sido aprimoradas. Essas informações podem servir de base para o desenvolvimento de novas propostas para habitações de interesse social, mais sustentáveis e com custos admissíveis. Concluiu-se, também, que os custos referentes aos materiais foram considerados elevados em relação a outras tipologias de habitação de interesse social com área semelhante. No entanto, salienta-se, também, que os valores apresentados são referentes a uma unidade prototípica e tendem a ser superiores àqueles de soluções consolidadas e de implantação em grande escala. Assim, também, há que se considerar que alguns materiais (de qualidade bem superior à de materiais usualmente empregados – como pisos e azulejos) foram doados por parceiros, mas foi considerado, no custo da construção, o seu valor de mercado. Outra ressalva é feita em relação às dimensões das fundações, que, devido às características do solo local, demandaram investimentos significativamente superiores aos correntes.

## 8.5 Esquadrias em madeira

### 8.5.1 Introdução

Fernandes (2004), em sua dissertação de mestrado, realizou uma análise detalhada das esquadrias do protótipo e propõe uma reformulação de seu projeto. O autor estrutura a sua análise dentro de um contexto de estudos relativos à caracterização e otimização das esquadrias em madeira de reflorestamento,

que foram utilizadas nessa proposta de habitação popular. Em sua contextualização, Fernandes considera: o **meio ambiente**, com suas variáveis climáticas e locais; a **constituição física e tecnológica** de materiais, sistemas e componentes da esquadria; o perfil de **desempenho técnico, funcional e utilitário**, propiciado pela esquadria; e os **processos técnicos de projeto**, produção e instalação. Como instrumentos metodológicos aplicados em seu estudo, fez uso de entrevistas, levantamentos dimensionais, representações gráficas e observações para análise de processos de projeto, produção e instalação.

### 8.5.2 Mapa contextual de variáveis

A esquadria residencial pode ser considerada como o componente da edificação que apresenta o maior número de funções. Além do aspecto funcional, as portas e as janelas adaptam-se a soluções técnicas compatíveis com cada edificação, atendendo às exigências ambientais, climáticas, da legislação e das próprias limitações da matéria-prima. Essas e outras variáveis intervêm no desenvolvimento de um projeto otimizado de esquadrias, que visa qualificar tecnicamente esses componentes, isto é, apresentar um perfil de desempenho que garanta a satisfação humana no ambiente construído, com um custo adequado.

Para a sistematização do processo de projeto das esquadrias, Fernandes (2004) elaborou um esquema demonstrativo que recebeu a denominação de **mapa contextual de variáveis**, que intervêm no projeto das esquadrias residenciais em madeira, conforme a Figura 314. Nesse mapa, constam diversas variáveis, organizadas em quatro grupos distin-



tos, enfatizando: o ambiente onde serão instaladas as esquadrias; os elementos físicos que compõem cada esquadria; os aspectos funcionais e comportamentais; e as questões técnicas dos processos de desenvolvimento de qualquer produto para a construção civil. A variável econômica faz parte de diversas variáveis. Pode estar presente nos componentes da esquadria, nas suas dimensões, no processo de produção, que envolve o manejo florestal, corte e desdobro, nas demais variáveis desse processo e no processo de instalação, etc. Por isso, optou-se por não colocar um conteúdo de ordem econômica isolado. Os projetos de esquadrias mais otimizados, provavelmente, serão aqueles que visam atender à compatibilização e exigências de um maior número de variáveis, porém com soluções mais econômicas, considerando todos os processos envolvidos.

A principal função desse mapa é relacionar as variáveis de forma organizada, para facilitar a busca de conhecimento das potencialidades e limitações de cada variável, com seu respectivo valor dentro de um contexto, e, assim, justificar as decisões adotadas no projeto. Entre outras funções, o mapa contextual poderá auxiliar:

- a) na sistematização para análise de esquadrias, em avaliações pós-ocupação;
- b) no desenvolvimento de projetos de esquadrias residenciais, incluindo representação gráfica, memoriais descritivos e especificações técnicas;
- c) na visualização das principais variáveis que intervêm na escolha de determinada tipologia funcional; e

d) como suporte para reformulação de legislação (código de edificações) e normas técnicas.

Para a utilização desse mapa contextual em projetos de esquadrias confeccionadas com outras matérias-primas (aço, alumínio e PVC), seria necessário adequar os itens dos quatro conteúdos, pois esses materiais apresentam sistemas diferenciados de instalação, emendas, drenagem, pintura de proteção, maquinaria, etc. Essas matérias-primas industrializadas apresentam menor quantidade de perfis diferenciados, e as dimensões das esquadrias são resultantes de menores perdas de matéria-prima, pois os perfis apresentam comprimentos padrão (geralmente com 3 m ou 6 m).

A contextualização das esquadrias residenciais em madeira foi organizada de forma a abranger, basicamente, quatro grandes aspectos, descritos como **conteúdos de ordem ambiental, física, comportamental e utilitária e técnica**.

#### Conteúdo de ordem ambiental

Neste aspecto é enfocada a região onde está situada a edificação, caracterizando o ambiente externo e a edificação e suas dependências, e o ambiente interno. As principais **variáveis ambientais externas**, que intervêm nas esquadrias, são o meio ambiente, com suas características climáticas e agentes agressivos. As **principais variáveis ambientais internas** estão relacionadas com o tipo de dependência onde será instalada a esquadria, as suas influências espaciais de ocupação e os agentes agressivos gerados internamente. A importância do conhecimento das variáveis ambientais pode auxiliar na definição dos materiais

necessários a serem empregados, com suas respectivas proteções. Verifica-se, por meio do Quadro 53, que ocorrem interações entre as variáveis do conteúdo de ordem ambiental e o projeto das esquadrias.

### Conteúdo de ordem física

As principais variáveis físicas que intervêm nas esquadrias em madeira são as características da matéria-prima, com sistemas construtivos e acabamento superficial, acessórios, ferragens e complementos, tais como vidro, venezianas, grades, etc. A importân-

cia do conhecimento das variáveis sobre os materiais e componentes pode resultar na melhor adequação da esquadria ao perfil de desempenho e redução de custo para produção, e conseqüente preço final do produto. Verifica-se, através do Quadro 54, que ocorrem interações entre as variáveis do conteúdo de ordem física e o projeto das esquadrias.

### Conteúdo de ordem comportamental e utilitária

As principais variáveis de desempenho técnico e funcional que intervêm nas esquadrias são a dura-

Conteúdo de ordem ambiental x projeto das esquadrias	
Variáveis (conhecer)	Principais interações com o projeto das esquadrias (para)
Meio ambiente (urbano, marítimo, rural, industrial, etc.)	Escolha dos materiais e acabamentos das ferragens Escolha do acabamento superficial (pintura) Escolha da funcionalidade relacionada à manutenção
Clima (ventos, umidade, radiação solar, etc.)	Escolha dos acessórios de vedação (borrachas, escovas, selantes) Escolha do acabamento superficial (pintura) Escolha dos complementos e tipo de vidro
Agentes agressivos internos (condensação, gordura, etc.)	Relacionado com o sistema de drenagem Escolha dos materiais de acabamento Orientação para o desenho da esquadria
Destino do compartimento (sala, dormitório, cozinha, banheiro, etc.)	Escolha da funcionalidade mais adequada Escolha dos complementos (veneziana, grade, persiana, tela mosquiteiro) Escolha do tipo de vidro Dimensionamento das esquadrias relacionado com a iluminação e ventilação, para atender à legislação
Ocupação de espaço ao funcionar	Adequação aos equipamentos e mobiliário Verificação da possibilidade de gerar acidente com os usuários Verificação de interação com os complementos

Quadro 53 – Relação entre as variáveis do conteúdo de ordem ambiental com o projeto de esquadrias

bilidade, a resistência estrutural, as características de iluminação, ventilação, isolamento térmico, acústico e acessibilidade gerada pela funcionalidade, a estanqueidade ao ar e à água, e as exigências econômicas e de interesse ecológico. A importância do conhecimento dessas variáveis que intervêm no perfil de desempe-

nho das esquadrias pode resultar num maior conforto dos usuários, gerado pelas funções básicas de ventilação, iluminação e proteção do ambiente construído. Verifica-se, através do Quadro 55, que ocorrem interações entre as variáveis do conteúdo de ordem comportamental e utilitária e o projeto das esquadrias.

Conteúdo de ordem física x projeto das esquadrias	
Variáveis (conhecer)	Principais interações com o projeto das esquadrias (para)
Matéria-prima (madeira)	Especificação da espécie de madeira mais adequada à função (marco, folha, alizar) Determinação do custo final
Detalhes construtivos (sistemas de emendas, drenagem e vedação)	Especificação da funcionalidade Aumento da eficiência da esquadria, reduzindo infiltrações de ar e água Orientação para o desenho da esquadria Determinação do custo final
Acessórios e ferragens	Posicionamento adequado dos comandos atendendo à acessibilidade Facilitar a movimentação e manutenção Determinação do custo final
Complementos (veneziana, persiana, grade, tela mosquiteiro)	Qualificar e proteger o ambiente interno Adequação ao compartimento e interação com a funcionalidade Determinação do custo final
Vídeos	Dimensionar a espessura dos perfis Habitabilidade interna Determinação da área de iluminação natural (exigências da legislação) com redução de gasto com energia elétrica Determinação do custo final
Pintura (acabamento superficial)	Proteção e aumento na durabilidade da matéria-prima Reduzir períodos de manutenção Determinação do custo final

Quadro 54 – Relação entre as variáveis do conteúdo de ordem física e o projeto de esquadrias

Conteúdo de ordem comportamental e utilitária x projeto das esquadrias	
Variáveis (conhecer)	Principais interações com o projeto das esquadrias (para)
Resistência (durabilidade, estrutural, ao fogo)	Atender às exigências ambientais, climáticas e da legislação Dimensionar os perfis
Técnico-funcional e habitabilidade (funcionalidade, iluminação, ventilação, isolamento térmico e acústico)	Propiciar habitabilidade e conforto interno Gerar economia ao usuário Atender a exigências da legislação
Estanqueidade (à água, ao ar, a insetos)	Propiciar conforto e proteção do ambiente interno Adotar sistemas de vedação e drenagem Especificar acessórios
Acessibilidade e ergonomia	Propiciar conforto e segurança Optar por determinada funcionalidade Definir posição dos comandos funcionais Atender a exigências da legislação e normas técnicas
Estético	Escolher o acabamento superficial Adequação ao conjunto arquitetônico
Econômico para manutenção	Posicionamento da esquadria na parede Escolha da funcionalidade Verificar custo no médio prazo
Interesse ecológico	Definir os processos de tratamento da matéria-prima menos agressivos Definir os processos de produção com menores desperdícios de energia elétrica Atender tecnologia menos complexa para utilizar mão-de-obra local

Quadro 55 – Relação entre as variáveis do conteúdo de ordem comportamental e utilitária e o projeto de esquadrias

### Conteúdo de ordem técnica

As principais variáveis técnicas que intervêm nas esquadrias são a legislação vigente, o processo de elaboração do projeto das esquadrias, o processo de produção e os procedimentos e técnicas de instalação. A importância do conhecimento das variáveis

técnicas pode resultar em atendimento às exigências da legislação, que exige dimensões e condições mínimas, e, conseqüentemente, ao conforto dos usuários. Verifica-se, através do Quadro 56, que ocorrem interações entre as variáveis do conteúdo de ordem técnica e o projeto das esquadrias.

Conteúdo de ordem técnica x projeto das esquadrias	
Variáveis (conhecer)	Principais interações com o projeto das esquadrias (para)
Legislação (normas técnicas, códigos de edificação)	Definir dimensões mínimas das esquadrias Adequar os comandos e funcionalidade à acessibilidade
Processo de projeto (representação gráfica, memorial descritivo)	Facilitar a representação gráfica ideal Dimensionar adequadamente a esquadria Definir diretrizes do produto (simplicidade, padronização, modularização, etc.) Facilitar instalação Determinação do custo final
Processo de fabricação	Evitar projetos inviáveis Determinação do custo final
Processo de instalação	Definir o sistema mais seguro e econômico Adequação às técnicas construtivas e de gerência da obra Determinação do custo final

Quadro 56 – Relação entre as variáveis do conteúdo de ordem técnica e o projeto de esquadrias

O processo de fabricação de esquadrias em madeira será abordado a partir da madeira cortada em pranchas e depositada nas fábricas, apesar de esse processo ser influenciado pelo plantio da matéria-prima, manejo de florestas, corte nas serrarias, transporte, etc.

### 8.5.3 Mapa contextual aplicado ao protótipo

#### Descrição da concepção arquitetônica

A edificação (Figura 315) foi concebida com o formato, em planta baixa, praticamente de um quadrado. Está subdividida internamente em quatro dependências, sendo uma sala com cozinha conjugada, dois dormitórios e um banheiro. No perímetro da edificação existem duas reentrâncias, sendo uma coberta, destinada à área de serviço, e outra parcialmente coberta com pérgolas, junto à entrada principal da

habitação. Constata-se a opção pelo emprego predominante da face rústica dos tijolos para as fachadas e, conseqüentemente, da face lisa para o interior da edificação. Internamente, o forro inclinado acompanha o caimento do telhado, aumentando o volume de ar interno das dependências.

Os vãos destinados à instalação das janelas foram confeccionados através de moldura em tijolo aparente, perpendicular às paredes. Verifica-se a presença de uma janela e de uma porta orientadas para leste, quatro janelas voltadas para o norte e duas janelas e uma porta para o oeste. A fachada sul não possui esquadrias ou vãos; entretanto, no beiral, constata-se a presença de aberturas para ventilação do telhado. Na fachada oeste, destacam-se três faixas verticais rebocadas, com função de refletir a radiação solar.



Figura 315 – Vista noroeste do protótipo de habitação mais sustentável

### As esquadrias do protótipo

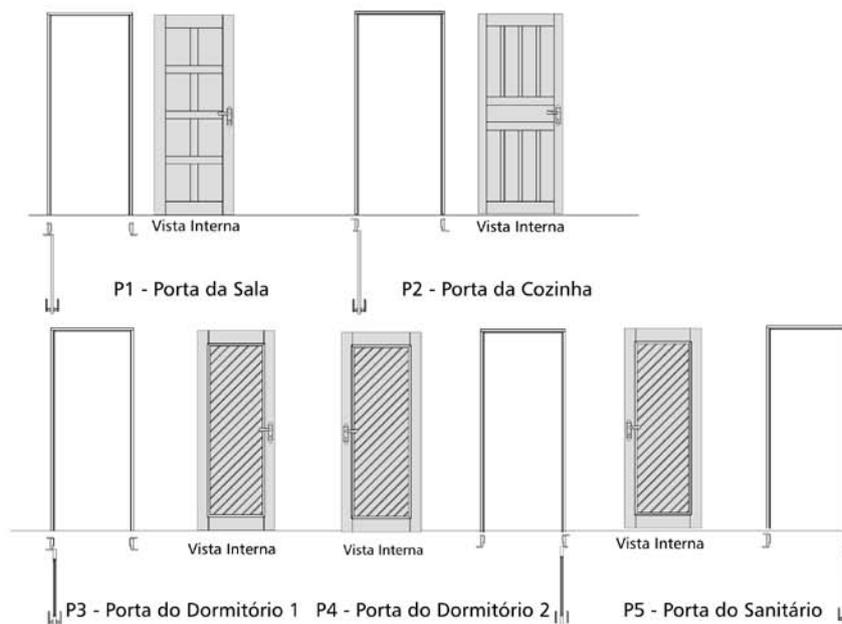
As esquadrias do protótipo, em madeira de eucalipto, atenderam aos padrões da fábrica, porém com dimensões e alguns detalhes específicos. Foram empregadas cinco portas, conforme a Figura 316, sendo duas (P1 e P2) consideradas portas maciças, subdivididas em travessas centrais, pinázios e almo-fadas, porém com desenhos diferenciados, e três (P3, P4 e P5) com couceiras e travessa superior e inferior, em madeira maciça, e parte central preenchida com lambris, colocados em diagonal. Foram empregadas nessa habitação sete janelas, conforme a Figura 317, sendo concebidas com folhas envidraçadas subdivididas com pinázios, especificadas como caixilho quadriculado pelo fabricante.

Para sistematizar a análise das esquadrias do protótipo descrito neste capítulo, é obedecida a sequência de conteúdos ambiental, físico, comportamental e técnico.

De acordo com o mapa contextual de variáveis (Figura 314), as principais variáveis ambientais que intervêm nas esquadrias estão descritas no Quadro 57.

Em função de o protótipo estar localizado em **ambiente mais acentuadamente rural do que urbano**, as esquadrias do protótipo atendem satisfatoriamente às condições do meio ambiente rural. Porém, se esse protótipo for construído em ambiente urbano ou industrial, será necessário rever os tipos de acabamento superficial das esquadrias e das ferragens, especificando, por exemplo, quatro demãos de pintura da esquadria ou a camada de 21 a 25 micras, para anodização dos componentes em alumínio. Mas caso o protótipo seja construído em ambiente marítimo, a matéria-prima das ferragens das esquadrias deverá ser alterada para latão, aço inoxidável ou alumínio, com pintura eletrostática.

Em função da **orientação solar** do protótipo, com fachadas perpendiculares às orientações norte, sul, leste e oeste, constata-se que todas as esquadrias externas recebem radiação solar direta. A sala, com cozinha integrada, possui três janelas e uma porta em paredes adjacentes, o que possibilita ventilação cruzada, radiação solar que favorece o aquecimento da dependência no inverno e intensidade de iluminação natural, praticamente constante durante todo o dia.



#### PERFIS EM MADEIRA UTILIZADOS NAS PORTAS

PARTE	TIPO / DESCR.	DESENHO	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (cm)
MARCO	P1, P2, P3 e P4 A / Superior e Laterais		31,70	28,4
	P5 B / Superior e Laterais		36,50	31,4
FOLHA P3, P4 e P5	C / Superior		47,65	35,2
	D / Lambris central		11,93	21,5
	E / Arremate		2,50	7,0
	F / Inferior		44,20	36,2
	G / Laterais		33,35	29,2
	H / Superior e Inferior		41,85	33,2
FOLHA P1	I / Laterais		35,65	29,2
	J / Almofada		61,89	56,5
	K / Travessa		24,80	22,2
	L / Laterais		26,35	23,2
FOLHA P2	M / Travessa		12,40	14,2
	N / Almofada		24,59	32,7
	Q / Almofada central		29,90	38,6
	P / Superior e Inferior		38,75	31,2
ALIZAR	Q / Superior (int+ext.) Laterais (int + ext.) Inferior (interno)		7,09	13,9
	R / Laterais cortados		4,74	10,1

Figura 316 – Portas do protótipo

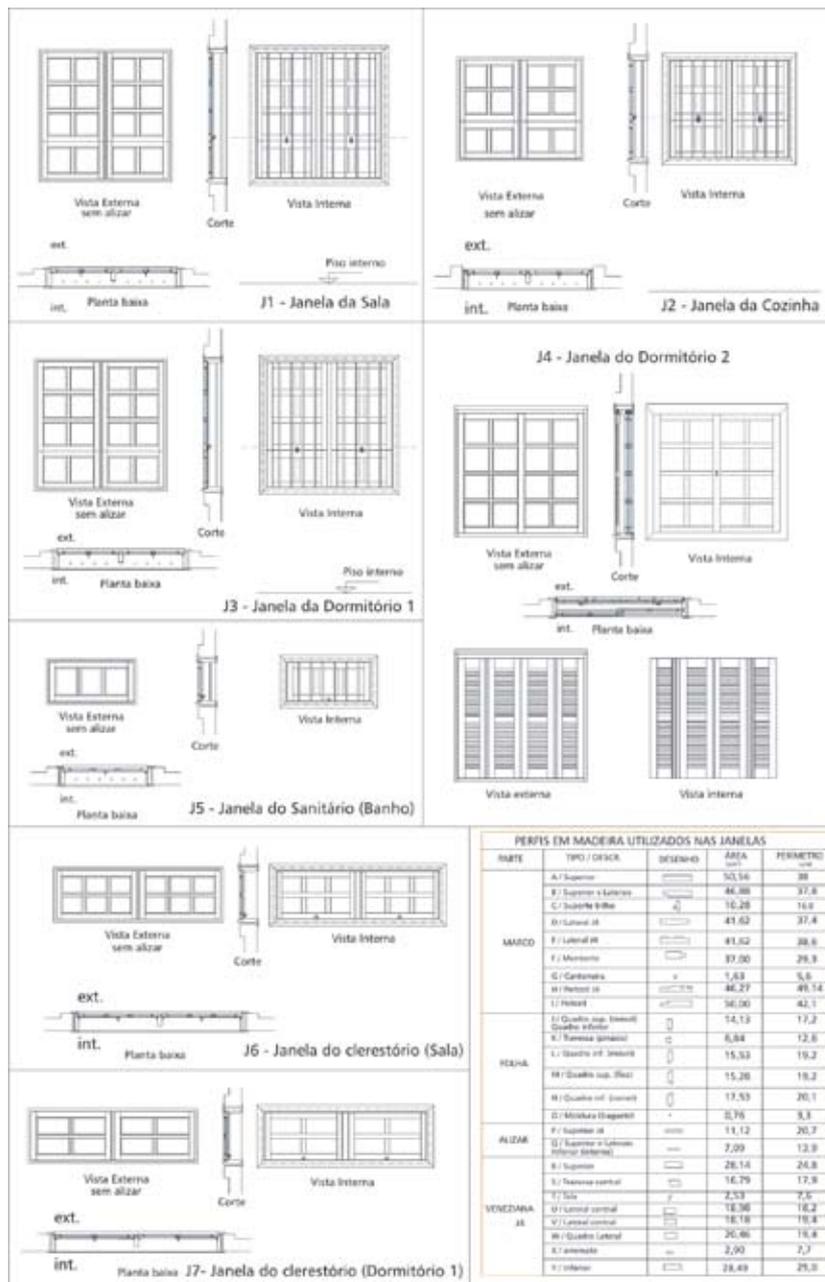


Figura 317 – Janelas do protótipo

Conteúdo de ordem	Variáveis ambientais	Descrição
Ambiental	Meio ambiente	Urbano / urbano-industrial / urbano-marítimo
		Rural / rural-industrial / rural-marítimo
	Clima	Orientação solar
		Radiação solar
		Topografia
		Ventos dominantes
		Umidade relativa do ar
		Variação de temperatura
		Incidência de chuva
	Agentes agressivos	Poluição do ar / poluição sonora
		Condensação / umidade
		Gordura
	Destinação do compartimento	Sala
		Cozinha
		Dormitório
		Banheiro
Área de serviço		
Ocupação espacial ao funcionar	Interna / externa / embutida no vão / junto à parede	

Quadro 57 – Variáveis ambientais que influenciam na escolha de uma esquadria



Figura 318 – Janela J4, à esquerda (orientação leste) e janelas J1, J3, J6 e J7 (orientação norte)

No protótipo, as janelas J4, J6 e J7 são as que recebem **radiação solar** em praticamente toda a superfície externa, visto que o término dos beirais está localizado muito acima das vergas. No verão, as janelas J1 e J3, com orientação norte, recebem menos radiação solar que no inverno, em função da menor inclinação do sol com relação ao plano vertical das esquadrias.



Figura 319 – Janela J2 (cozinha), acima, e janela J5 (banheiro), abaixo, ambas de orientação oeste

Por outro lado, as portas P1 e P2 e a janela J5 apresentam-se parcialmente protegidas da radiação solar, em função da existência dos beirais e pérgolas.

A janela do protótipo, de orientação leste (J4), favorece a **ventilação** através dos ventos dominantes de verão. As janelas de orientação norte (J1, J3, J6 e J7) auxiliam na ventilação predominantemente nordeste, no mês de agosto. Entretanto, as janelas J6 e J7, dos clerestórios, favorecem a retirada do ar quente do interior da edificação. No dormitório 1, para melhor atender às variáveis de radiação solar e ventos dominantes, a janela J3 poderia ter sua localização alterada para a fachada leste e manter a mesma posição da janela do clerestório J7. As janelas J2 e J5, voltadas para oeste, podem ser afetadas, no inverno, pelo vento Minuano. Essas duas janelas poderiam apresentar acessórios que garantissem maior estanqueidade ao ar, adotando gaxetas de borracha, escovas de vedação e silicone, para o envidraçamento.

Porto Alegre, em função de enormes massas de água na região, apresenta umidade relativa média anual de 75,9%, ocorrendo as médias mensais mais elevadas durante o inverno, e as mais baixas durante o verão (SATTLER, 1989). A **umidade relativa** do ar faz com que a madeira altere suas propriedades mecânicas (ZENID, 2002), propiciando, em alguns casos, o travamento das esquadrias. Portanto, as juntas ou folgas necessárias entre as folhas e marcos das esquadrias deverá variar entre 3 mm<sup>3</sup> e 4 mm<sup>4</sup>. Caso a

<sup>3</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>4</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

produção das esquadrias ocorra em período úmido, no outono ou inverno, deixam-se menos folgas, e se a produção ocorrer em período seco, na primavera ou verão, deixam-se mais folgas<sup>5</sup>.

O conhecimento da variação de **temperatura** local se faz necessário para dimensionar e localizar as esquadrias, propor elementos de proteção, tais como beirais e varandas, e especificar os acessórios e vidros mais adequados. Quando a temperatura se mantém alta durante o ano todo, como é o caso de muitas regiões do Nordeste brasileiro, provavelmente o projeto arquitetônico de uma edificação buscará soluções de proteção e sombreamento das esquadrias, que poderão ter funcionalidades que propiciem maiores áreas de ventilação e, em alguns casos, permanentes.

Para as janelas J1, J2, J3, J5, J6 e J7 do protótipo, a **incidência de chuva** com pouco vento não prejudica a funcionalidade do tipo maxim-ar, podendo ser mantidas parcialmente abertas. Para a janela J4 permanecer aberta em período de chuva, é necessário fechar uma parte das folhas com veneziana e deslocar as folhas envidraçadas para o lado oposto, a fim de propiciar parcialmente ventilação e iluminação natural. A moldura ao redor dos vãos das janelas e a presença de beirais na edificação auxiliam na redução da incidência de chuva e escoamento das águas pluviais.

#### 8.5.4 Agentes agressivos

O ser humano, quando intervém no meio externo ou interno das edificações, pode criar diversos agentes agressivos às esquadrias, gerando patologias nesses componentes e desconforto aos usuários.

O protótipo está situado a, aproximadamente, 500 m de distância de uma rodovia de tráfego intenso, constatando-se barreiras como árvores, vegetação rasteira e muro entre a edificação e rodovia. Por esse motivo e em função da inexistência de indústrias nas proximidades dessa habitação, pode-se caracterizar o ambiente como de baixa agressividade para a **poluição do ar** e branda para a **poluição sonora**.

As janelas do protótipo não apresentam dispositivos para captação da **água de condensação**. Entretanto, segundo Pol (1996), pela inexistência de acessórios que garantam uma vedação hermética, essas esquadrias permitem a troca de ar com o exterior, o que pode minimizar os problemas de condensação, mofo e microorganismos, nocivos à saúde humana. Nas portas internas do protótipo, os lambris inclinados favorecem o escoamento e o acúmulo da água de condensação junto à couceira, podendo, nesses pontos, ocorrer efeitos patogênicos, principalmente no tardós da porta P5, do banheiro.

A **gordura**, produzida devido a frituras ou pelo próprio usuário, pode afetar o acabamento dos componentes e das superfícies das esquadrias. O contato

<sup>5</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Harpa .

da mão do usuário com as fechaduras, fechos e vidros gera pontos de aderência de partículas de sujeira e pó. Esse tipo de agente agressivo exige procedimentos de higiene e limpeza doméstica, porém, antes de se efetuar uma pintura de manutenção, torna-se obrigatória a sua remoção, conforme recomendações e especificações dos fabricantes de tintas.

#### 8.5.5 Tipo de edificação: habitação de interesse social

O protótipo de habitação sustentável deste estudo de caso foi idealizado para ser uma habitação de interesse social, com a finalidade de resgatar o valor humano, qualificando o ambiente construído, e adotar esquadrias e demais componentes com princípios e diretrizes relacionados à sustentabilidade.

Para a satisfação das exigências médias dos usuários de uma habitação de interesse social, a **área útil por habitante** deve estar compreendida no intervalo entre 11 m<sup>2</sup> e 14 m<sup>2</sup>. Entre 8 m<sup>2</sup> e 11 m<sup>2</sup>/habitante, pode ser considerada uma situação crítica, porém abaixo de 8 m<sup>2</sup>/habitante gera-se um contexto potencialmente patogênico (SILVA, 1982). O protótipo do estudo de caso possui área útil total igual a 38,08 m<sup>2</sup>. Para quatro moradores, a área útil por habitante será igual a 9,52 m<sup>2</sup>, caracterizando-se uma situação crítica, mas não patogênica.

As esquadrias do protótipo podem ser consideradas adequadas às funções das **dependências**, exceto a janela J3 (Figura 316), que não possui veneziana ou persiana externa, conforme exige a legislação municipal (PORTO ALEGRE, 1999). A área do sanitário, maior do que as de outras habitações se-



Figura 320 – Vista desde o interior, das janelas J3 (dormitório norte), acima, e J5 (banheiro)

melhantes, atende satisfatoriamente às exigências da norma técnica sobre acessibilidade, porém a janela J5 apresenta deficiências de operacionalidade. Como alternativa de aprimoramento, as dimensões do dormitório 2, destinado ao casal, poderiam ser alteradas para 3,20 m x 3,20 m. Esse formato favorece a disposição dos móveis, sem prejudicar o acesso à janela.

### 8.5.6 Ocupação de espaço ao funcionar

As folhas das janelas do protótipo não ocupam área interna, o que pode ser considerado uma vantagem, pela reduzida área das dependências, porém as folhas da janela J3, conforme a Figura 321, ocupam parcialmente a área semicoberta, podendo gerar acidentes aos usuários.



Figura 321 – Vista externa da janela J3, com as folhas abertas

### 8.5.7 Análise das variáveis físicas das esquadrias

Atualmente, no Brasil, o setor de esquadrias dispõe de quatro matérias-primas, sendo duas tradicionais, como a madeira e o aço, e duas recentes, como o alumínio e o PVC (RUMO, 1990). Independentemente da matéria-prima dos perfis, a facilidade de movimentação das esquadrias, com redução de ruídos, e a estanqueidade estão diretamente relacionadas às técnicas de instalação e à qualidade dos

acessórios, ferragens e materiais de vedação, como escovas, com felpas de polipropileno, selantes e gaxetas de borracha. As principais características dos materiais e sistemas, que constituem as esquadrias residenciais, estão descritas no Quadro 58.

#### Madeira: matéria-prima da estrutura das esquadrias

A madeira é um recurso natural que proporcionou ao homem, desde os primórdios, combustível, ferramentas, alimentos e proteção (JOHNSON, 1994). Como material de construção, é um dos poucos materiais renováveis, cujo processamento exige baixo consumo de energia. Apresenta resistência e rigidez em relação ao peso e facilidade de modelagem, pois exige ferramentas simples (MADEIRA, 2001). A madeira pode ser considerada a primeira matéria-prima utilizada na fabricação de esquadrias (ABCI, 1991).

De acordo com o IPT (1989), entre 200 madeiras nativas brasileiras, 70 são apropriadas para a confecção de esquadrias, sendo estas descritas na dissertação de Fernandes (2004). Entretanto, o reflorestamento é uma alternativa viável, no médio prazo, pois poderá gerar diversas vantagens, tais como: menor custo; aproveitamento racional da floresta; plano de corte mais adequado, por ter um maior volume de madeira em menor área de campo; racionalização do corte na serraria, com menores perdas, pois se pode partir de um padrão de árvore adequado à necessidade; e diminuição do fluxo de transporte<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Harpa.

Conteúdo de ordem	Variáveis físicas	Descrição	
Física (materiais, componentes e sistemas)	Material dos perfis	Madeira do contramarco	
		Madeira do marco / peitoril / soleira	
		Madeira da folha	
		Madeira do alizar	
	Detalhes construtivos	Sistema de emendas	Espiga / cavilha
			Cola / prego / tarugo de madeira
		Sistema de drenagem	Canaleta / furo de dreno
			Perfil de PVC
		Sistema de vedação de juntas	Encaixe entre perfis
			Gaxeta de borracha
			Escova de polipropileno
			Selantes: silicone / massa de calafetar
	Acessórios Ferragens	Comando funcional	
		Articulações	
	Complementos	Vidro	Simples / múltiplo (duplo; triplo)
			Transparente / translúcido
			Envidraçamento (massa de vidraceiro; silicone)
Proteção		Veneziana / persiana / tampão	
		Grade	
		Tela mosquiteiro	
		Impregnação / película	
Pintura de acabamento	Transparente / colorido		

Quadro 58 - Variáveis físicas dos materiais e sistemas construtivos que influenciam na escolha de uma esquadria

O eucalipto possui diversas restrições de uso em esquadrias, tais como a aceitação do mercado e a adequação das ferramentas, pois a maioria das espécies de eucalipto é classificada como madeira pesada, o que pode gerar problemas na trabalhabili-

dade. Entretanto, na confecção de qualquer parte das esquadrias, podem ser empregadas madeiras de espécies diferentes, desde que tenham características semelhantes de densidade<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Piano.

As esquadrias do protótipo foram produzidas em eucalipto. Porém, constata-se o emprego de diversas espécies de eucalipto, em função da coloração, desenhos variados nos perfis e informação do próprio fabricante<sup>8</sup>, salientando que a própria fábrica adquire a matéria-prima de pequenos reflorestadores, fazendo o corte, o transporte e o desdobro em pranchas. Segundo o mesmo autor, a fábrica utiliza, aproximadamente, 20 espécies de eucalipto para a produção de esquadrias.

A seção do tronco de uma árvore permite distinguir, da casca para o miolo, as seguintes partes: casca (subdividida em ritidoma, cortiça e floema ou líber), câmbio, lenho (subdividido em alburno e cerne) e medula (URIARTT, 1999), sendo cada parte dotada de funções diversificadas.

Todos os perfis das esquadrias do protótipo foram confeccionados utilizando-se o cerne da madeira<sup>9</sup>, porém, como foram empregadas várias espécies de eucalipto, torna-se difícil a identificação da presença de alburno nesses perfis.

Os principais componentes químicos da madeira são a celulose (60% do volume) e a lignina (25% do volume). Os 15% restantes correspondem aos óle-

os, resinas, açúcares, amido, tanino, substâncias nitrogenadas, sais inorgânicos e ácidos orgânicos.

O eucalipto, utilizado como matéria-prima para a confecção das esquadrias do protótipo, apresenta uma elevada concentração de resinas e óleos, que podem prejudicar o lixamento das peças. Porém, após a secagem adequada, a madeira apresenta melhor desempenho para esse procedimento.

De acordo com o IPT (1989), a escolha e a identificação da espécie de madeira a ser utilizada devem visar a sua adequação ao uso e agressividade do meio onde será instalada. Para o emprego de madeira destinada a Porto Alegre, o teor de umidade de equilíbrio da madeira deveria ser de, aproximadamente, 14,8%. Conforme estimativa do fabricante das esquadrias do protótipo<sup>10</sup>, a umidade do eucalipto utilizado nas esquadrias variou entre 11% e 15%, pelo tempo de armazenagem das pranchas.

Os processos de endurecimento das madeiras, através da utilização do CCA, são muito caros e podem trazer problemas ambientais<sup>11</sup>. Por exigência do contratante dos serviços, para as esquadrias do protótipo não foram aplicados preservativos e produtos químicos na madeira<sup>12</sup>. Porém, o tratamento

<sup>8</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>9</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>10</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>11</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Harpa.

<sup>12</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

superficial das esquadrias, com produtos de menores impactos ambientais, ocorreu após a instalação, ocasionando ausência de proteção em diversas faces não aparentes.

Para aprimorar o projeto de esquadrias em madeira, pode-se especificar, além da espécie de madeira adequada à função (contramarco, marco, folha, alizar e veneziana), a espessura mínima de cada componente. Para as esquadrias do protótipo, as espessuras dos componentes foram definidas pela padronização da fábrica, sendo: 3,2 cm nos marcos; 2,7 cm a 3,2 cm nas folhas; 1,0 cm a 1,8 cm nos alizares; e 0,8 cm nas palhetas de veneziana<sup>13</sup>. Os alizares fixados externamente nas ombreiras e verga do marco das portas P1 e P2 e das janelas do protótipo foram utilizados como arremate, ocultando a espuma de poliuretano empregada na fixação das esquadrias.

O volume de madeira a ser utilizado em cada esquadria depende das características especificadas no projeto e do processo de produção. Segundo os fabricantes de esquadrias<sup>14</sup>, o volume de resíduos e a perda de material representam, aproximadamente, 40%, para confecção de produtos desde que não necessitem uma seleção de perfis pela coloração e desenho, e 50%, para produtos classificados como produtos de primeira linha.

Para as esquadrias do protótipo, o volume, em toras de madeira, necessário para a fabricação das sete janelas e cinco portas foi estimado em 1,81 m<sup>3</sup> (10% da área total das esquadrias, de 18,10 m<sup>2</sup>)<sup>15</sup>. Porém, ao efetuar a quantificação do volume, conforme os Quadros 59 e 60, constatou-se um volume total de madeira de, aproximadamente, 0,6 m<sup>3</sup>. Estima-se, portanto, que o volume total de pranchas em madeira bruta necessário para a produção das cinco portas e sete janelas do protótipo seja de 1,00 m<sup>3</sup>.

Considerando que, para a produção das 12 esquadrias do protótipo, foi gasto, aproximadamente, 1 m<sup>3</sup> de madeira em pranchas, pode-se concluir que é necessário cortar uma árvore de eucalipto, com rendimento equivalente a 1,5 m<sup>3</sup>/20 anos<sup>16</sup>, para suprir a produção das esquadrias desse protótipo.

Conforme o Quadro 59, embora as janelas J1 e J4 apresentem áreas semelhantes, constata-se que a janela J4 (duas folhas envidraçadas de correr com veneziana) apresenta um volume de madeira (0,0729 m<sup>3</sup>) 50,6% maior do que a janela J1 (0,0484 m<sup>3</sup>). Para a janela J1, 55,8% da madeira empregada está destinada ao marco; 31,8%, às folhas; e 12,4%, aos alizares. Para a janela J4, 30,3% da madeira foi destinada ao marco; 59,5%, às folhas; e 10,2%, aos alizares. O volume de madeira dos quadros com venezianas corresponde a 63,6% de madeira das folhas e, com relação

<sup>13</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>14</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissionais de cognome Piano, Harpa e Pandeiro.

<sup>15</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>16</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

ao volume total de madeira empregado na janela, corresponde a 37,86%. Como consequência da subdivisão das folhas das janelas do protótipo com pinázios,

constataram-se aumentos na quantidade de matéria-prima e na mão-de-obra dos processos de instalação e produção; enfim, no preço final do produto.

Dependência	Código da Janela	Volume de madeira das janelas			Volume Total (m <sup>3</sup> )	Peso (kg) (Densidade estimada: 900 kg/m <sup>3</sup> )
		Marco (m <sup>3</sup> )	Folha (m <sup>3</sup> )	Alizar (m <sup>3</sup> )		
Sala/Cozinha	J1	0,0270	0,0154	0,0060	0,0484	43,56
	J2	0,0231	0,0124	0,0047	0,0402	36,18
	J6	0,0207	0,0084	0,0047	0,0338	30,42
Dormitório 1	J3	0,0270	0,0154	0,0060	0,0484	43,56
	J7	0,0207	0,0079	0,0047	0,0333	29,97
Dormitório 2	J4	0,0221	0,0434 (0,0158 f + 0,0276 v)	0,0074	0,0729	65,61
Sanitário	J5	0,0111	0,0035	0,0029	0,0175	15,75
<b>TOTAL</b>		<b>0,1517</b>	<b>0,1064</b>	<b>0,0364</b>	<b>0,2945 m<sup>3</sup></b>	<b>265,05 kg</b>
<b>%</b>		<b>51,5%</b>	<b>36,1%</b>	<b>12,4%</b>	<b>100%</b>	<b>*</b>

Quadro 59 - Volume e peso de madeira das janelas do protótipo

Dependência	Código da Porta	Volume de madeira das portas			Volume Total (m <sup>3</sup> )	Peso (kg) (Densidade estimada: 900 kg/m <sup>3</sup> )
		Marco (m <sup>3</sup> )	Folha (m <sup>3</sup> )	Alizar (m <sup>3</sup> )		
Sala/Cozinha	P1	0,0159	0,0473	0,0062	0,0694	62,46
	P2	0,0161	0,0419	0,0063	0,0643	57,87
Dormitório 1	P3	0,0158	0,0340	0,0072	0,057	51,30
Dormitório 2	P4	0,0159	0,0347	0,0067	0,0573	51,57
Sanitário	P5	0,0183	0,0338	0,0073	0,0594	53,46
<b>TOTAL</b>		<b>0,082</b>	<b>0,1917</b>	<b>0,0337</b>	<b>0,3074 m<sup>3</sup></b>	<b>276,66 kg</b>
<b>%</b>		<b>26,7%</b>	<b>62,4%</b>	<b>10,9%</b>	<b>100%</b>	<b>*</b>

Quadro 60 - Volume e peso de madeira das portas do protótipo

Comparando-se o volume de madeira empregado nas janelas com o volume de madeira empregado nas portas das esquadrias do protótipo, constata-se que o percentual de volume de madeira dos marcos das janelas (51,5%) é praticamente o dobro dos das portas (26,7%). Os prováveis motivos para a grande quantidade de madeira dos marcos das janelas são a largura exagerada (aproximadamente 16 cm, enquanto nas portas é de 11 cm) e a inclusão dos mainéis, acrescidos no cálculo de volume do marco. O percentual de volume de madeira das folhas nas janelas (36,1%) é praticamente a metade das portas (62,4%), e para o volume de madeira dos alizares das janelas (12,4%) é semelhante ao das portas (10,9%). Cabe salientar que alguns alizares das portas P1, P2 e P4 foram cortados em função da inexistência de golas.

Em função da variedade de espécies de eucalipto, com suas respectivas densidades, empregados nas 12 esquadrias do protótipo, não é possível quantificar o peso total. Porém, ao estimar-se como densidade média de 900 kg/m<sup>3</sup>, obtém-se um peso total de 541 kg. A importância de se quantificar o peso de cada esquadria está relacionada com a carga total para transporte, através de rodovias, e o deslocamento manual em obra.

### 8.5.8 Detalhes construtivos e sistemas de montagem

A durabilidade e a resistência das esquadrias

em madeira dependem, entre outros fatores, das características dos materiais e técnicas construtivas para montagem entre perfis. Os sistemas construtivos das esquadrias podem ser subdivididos em sistemas de emendas, drenagem e vedação.

#### Sistemas de emendas

Para união dos perfis dos marcos, são feitos entalhes e encaixes pregados (AYUSO, 1990). Para a união de perfis do quadro das folhas, utiliza-se espiga de madeira colada e embutida à pressão. Em função da cola de base vinílica nas emendas de esquadrias externas, utilizava-se um tarugo de madeira transpassado no eixo da união. Porém, hoje, em função da melhor qualidade da cola resorcina-formol, esse procedimento foi descartado<sup>17</sup>. O sistema de emendas através de cavilha pode ser empregado em esquadrias, porém esse procedimento não é adotado pelas fábricas brasileiras de esquadrias em madeira<sup>18</sup>.

Em esquadrias, não se utiliza o encaixe de meia-esquadria (45°) entre perfis dos marcos e do quadro das folhas, pois a espiga seria muito pequena, não absorvendo os esforços devido às variações climáticas<sup>19</sup>. Entretanto, nos alizares e baguetes de fixação dos vidros, os encontros entre perfis ocorrem, preferencialmente, em meia-esquadria. Geralmente, essas peças são fixadas nos marcos e quadros das folhas com pregos sem cabeça.

<sup>17</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Piano.

<sup>18</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com os profissionais de cognome Oboé e Harpa.

<sup>19</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Pandeiro.

Nas esquadrias do protótipo, o sistema de emenda adotado entre os perfis das folhas das portas é do tipo espiga, porém as espigas das travessas, inferior e superior, transpassaram as couceiras, conforme a Figura 322 (detalhe da porta P1). Esse procedimento pode ser considerado deficiente, pois exige serviços de acabamento dessas superfícies, o que aumenta o custo de produção.



Figura 322 – Detalhe do sistema de emenda através de espiga na porta P1

## Materiais para emendas

Segundo Ribeiro (1992), os adesivos utilizados em colagem de madeira disponíveis no mercado brasileiro pertencem a cinco tipos: adesivo do tipo uréia-formol, fenol-formol, resorcina-formol, acetato de polivinila e adesivos à base de policloropreno. Nas esquadrias do protótipo, a cola utilizada em todas as emendas entre os perfis dos quadros e as travessas das folhas foi o adesivo vinílico (referência Cascorez Extra)<sup>20</sup>. Mas, segundo Ribeiro (1992), os adesivos vinílicos não são indicados para produtos externos, sujeitos às intempéries, pois podem descolar caso não recebam proteção impermeabilizante.

O sistema de junção entre perfis, adotados nos marcos das esquadrias do protótipo, foi de rebaixo com encaixe, fixados com pregos<sup>21</sup>. As junções entre os alizares e os marcos das esquadrias foram feitas com pregos, que, ao oxidarem, produziram manchas escuras na madeira, principalmente nos alizares externos. Segundo o fabricante das esquadrias, a distância máxima usual entre pregos para a fixação dos alizares é de 30 cm; porém, nas esquadrias do protótipo, constatam-se espaçamentos maiores que esse valor. Outro aspecto de destaque está relacionado com a grande quantidade de pregos necessários para a fixação dos 332 baguetes das janelas do protótipo.

<sup>20</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>21</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

## Sistemas de drenagem

Os sistemas de drenagem das janelas dependem da funcionalidade e da interface, podendo ser de várias formas. O sistema de drenagem se modifica conforme o modelo da janela<sup>22</sup>. O sistema tradicional de drenagem para janela com folhas de correr é a execução de alhetes no peitoril, com posterior furação ortogonal e inclinada<sup>23</sup>. Porém, esse tipo de sistema tem que receber a colocação de um elemento que barre a pressão do vento no furo, que impede a saída da água acumulada na canaleta<sup>24</sup>. Mas, atualmente, algumas fábricas de esquadrias estão utilizando perfis em PVC, colocados abaixo da folha de correr, mais externa<sup>25</sup>.

Nos peitoris dos marcos das janelas J1, J2, J3, J5 e J7 do protótipo foram feitos furos para escoamento d'água, desnecessários em janelas maxim-ar. O sistema de drenagem da janela J4 foi executado mediante rasgos no peitoril com furos perpendiculares e inclinados, com diâmetro de 10 mm<sup>26</sup>; porém, deve ser verificado se os dois furos são suficientes para o escoamento d'água. Em função desse sistema de drenagem, e pela falta de estanqueidade total das esquadrias, desaconselha-se a lavagem das esquadrias em madeira com jato d'água.

## Sistemas de vedação de juntas

Para a instalação de uma esquadria no vão é necessário que existam folgas entre esses componentes. Essas folgas possuem dimensões adequadas para o seu preenchimento com material selante e podem ser denominadas de juntas cheias (fechadas ou seladas). Por outro lado, para que a esquadria tenha movimentação das folhas, sem desgaste dos materiais, é necessário que existam folgas entre as folhas e marcos. Essas folgas podem ser denominadas de juntas abertas. Nessa situação, a especificação da vedação depende da pressão de contato que a folha exerce contra o marco, da elasticidade da gaxeta de borracha e do paralelismo entre os elementos (ABCI, 1991). Nas esquadrias em madeira, para minimizar as infiltrações de ar ou água, são adotados encaixes entre os componentes, executando-se reentrâncias e saliências. Os principais componentes de vedação de juntas utilizados nas esquadrias residenciais em madeira são a gaxeta de borracha, a escova com felpas de polipropileno e os silicones, como selantes.

As portas e janelas do protótipo não apresentam gaxetas de borracha, escovas ou selante como sistemas de vedação das juntas abertas. Entretanto, constata-se em todas as janelas maxim-ar a presença

<sup>22</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Harpa.

<sup>23</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Pandeiro.

<sup>24</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Oboé.

<sup>25</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Pandeiro.

<sup>26</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

de peças de arremate, a fim de minimizar frestas e melhorar a estanqueidade.

Conforme o Quadro 61, as portas do protótipo apresentam o mesmo tipo e quantidade de ferragens e fechaduras. Nesse mesmo quadro, constata-se a semelhança na quantidade de ferragens das

janelas J1, J2, J3, J6 e J7. Porém, na janela J4, devido à sua característica funcional diferenciada das demais, verifica-se um aumento significativo de acessórios e ferragens. As maçanetas são do tipo alavanca e atendem às prescrições de acessibilidade da norma NBR 9050 (ABNT, 1994).

Tipo	Código das Esquadrias	Relação de ferragens e acessórios das esquadrias Dados: * J1, J2, J3 e J5 com grade de aço (diâmetro 1/2")
Janela	J1; J2; J3	4 braços de reversão pantográficos em duralumínio c/ 16 parafusos; 2 fechos c/ 8 parafusos; 8 barras de aço (L=1,19 m); 128 pregos 16 mm (6x7); 21 pregos 27 mm (10x12)
	J6 e J7	4 braços de reversão pantográficos em duralumínio c/ 16 parafusos; 2 fechos c/ 8 parafusos; 96 pregos 16 mm (6x7); 21 pregos 27 mm (10x12)
	J4	1,13 m de perfil "H" em alumínio c/ 6 parafusos; 1,13 m de perfil "J" c/ 4 parafusos; 2 roldanas com rodízios em aço; 8 dobradiças de 3" c/ 48 parafusos; 2 cremonas c/ 16 parafusos e vareta de 1,10 m; 4 roldanas com rodízio em náilon; 1 pino-bola c/ 4 parafusos; 128 pregos 16 mm (6x7); 12 pregos (17x27); 21 pregos 27 mm (10x12)
	J5	2 braços de reversão pantográficos em duralumínio c/ 8 parafusos; 1 fecho c/ 4 parafusos; 6 barras de aço (L=0,41 m); 24 pregos 16 mm (6x7); 21 pregos 27 mm (10x12)
Porta	P1; P2; P3; P4; P5	Fechadura com maçaneta de alavanca completa, referência: colonial Soprano; 4 dobradiças 3"x3" c/ 24 parafusos; 4 pregos 17x27 (marcos); 22 pregos 27 mm (10x12)

Quadro 61 - Relação de ferragens e acessórios para as esquadrias do protótipo

### 8.5.9 Complementos

As principais variáveis que podem alterar o aporte de calor pela abertura em uma edificação são, além da orientação e do tamanho da abertura, o tipo de vidro e o uso de proteções solares internas e externas (LAMBERTS; PEREIRA; DUTRA, 1997).

### Vidros

Para o cálculo da espessura de uma chapa de vidro, consideram-se os seguintes esforços: pressão do vento; peso próprio por unidade de área; e pressão de cálculo. O Quadro 62 relaciona as dimensões máximas das chapas de vidro recozido, relacionadas à espessura nominal.

Espessura nominal (mm)	Largura máxima: menor dimensão da chapa (m)	Comprimento máximo: maior dimensão da chapa (m)
2,2	0,30	0,50
3,0	0,60	1,30
4,0	1,00	1,80
5,0	1,40	2,30
6,0	1,80	2,80

Quadro 62 - Dimensões máximas de chapa de vidro recozido (baseado em ABNT, 1988)

Apesar das dimensões dos vidros das janelas do protótipo terem dimensões próximas de 0,20 m x 0,20 m, foram empregados vidros com espessura de 3 mm, atendendo exigência da norma NBR 7199 (ABNT, 1988), que determina, para pressão de cálculo acima de 1 kPa, espessura nominal mínima de vidro recozido igual a 3 mm, mesmo que os resultados da fórmula ou do quadro indiquem espessura menor. A norma NBR 7210 (ABNT, 1988) tem como finalidade definir, entre outros, os termos técnicos relacionados com o vidro em chapa e com os defeitos comuns dos vidros.

Para o envidraçamento das sete janelas, foram utilizadas 83 placas de vidro, sendo 80 de vidro transparente, com 3 mm de espessura, e três placas de vidro translúcido pontilhado, com 4 mm de espessura, para

a janela do sanitário. Os vidros translúcidos, como o miniboreal e o pontilhado, devem ser colocados nas esquadrias com a face lisa voltada para o exterior, a fim de evitar a impregnação excessiva de poeira<sup>27</sup>.

O Quadro 63 demonstra uma diferença de 1,56 m<sup>2</sup> entre a área real dos vidros instalados e a área orçada pela vidraçaria. Essa diferença pode ser considerada como uma perda econômica no processo de envidraçamento. O orçamento das vidraçarias, de qualquer placa de vidro transparente ou translúcido, considera as medidas múltiplas de 5 cm<sup>28</sup>.

### Envidraçamento

A fixação dos vidros nas janelas do protótipo foi feita com massa de vidraceiro com baguetes em

<sup>27</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Alaúde.

<sup>28</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Alaúde.

Dependência	Código da Janela	Quantificação e preço dos vidros das janelas do protótipo					
		Dados: Preço do vidro transparente 3 mm = R\$ 41,12/m <sup>2</sup> colocado Preço do vidro pontilhado 3 mm = R\$ 41,12/m <sup>2</sup> colocado CUB/RS fev. 2003 = R\$ 664,31 (Fonte: Jornal do CREA, nº 5, 2003)					
		Quantidade (pç)	Dimensões (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vidraçaria		Preço CUB/RS
Área (m <sup>2</sup> )	Preço (R\$)						
Sala/Cozinha	J1	12	0,213x0,213	0,746	5,35	220,00	0,331
		4	0,215x0,235				
	J2	8	0,213x0,223	0,576			
4		0,215x0,229					
J6	12	0,191x0,157	0,360				
Dormitório 1	J3	12	0,213x0,213	0,746			
		4	0,215x0,235				
	J7	8	0,299x0,157	0,376			
Dormitório 2	J4	16	0,233x0,223	0,831			
Sanitário	J5	3	0,200x0,255	0,153			
TOTAL		83		3,788	5,35	R\$ 220,00	0,331 CUB/RS

Quadro 63 - Dimensões e preço dos vidros das janelas do protótipo

madeira, pregados. O serviço de colocação dos vidros foi efetuado por um funcionário, sendo o tempo total estimado para a colocação das 83 peças de vidro de aproximadamente 3 horas e 30 minutos, isto é, 210 minutos<sup>29</sup>. Nesse caso específico, consta-

ta-se um tempo médio de 2 minutos e 30 segundos para a retirada dos baguetes, colocação de massa de vidraceiro, colocação da placa de vidro, recolocação dos baguetes e retirada do excesso de massa de vidraceiro.

<sup>29</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Alaúde.

Se as folhas das janelas do protótipo não possuísem subdivisões com pinázios, ocorreria uma redução de 92,9% na medida linear das juntas. Com isso, poderia ocorrer redução no consumo de selante. Segundo a ABCI (1991), o rendimento do tubo de silicone, com 300 mL, é de 33 m, para largura e espessura de junta igual a 3 mm. O rendimento de massa de vidraceiro é estimado, pelos vidraceiros, em 1 kg/m<sup>2</sup> de vidro.



Figura 323 - Janela do dormitório norte

## Veneziana

Segundo a maioria dos fabricantes de esquadrias em madeira, as esquadrias com veneziana custam o dobro das esquadrias sem esse complemento. O preço de uma janela, por exemplo, com duas folhas de correr com vidro e quadros de venezianas de sanfonar, com palheta tradicional, é o dobro em comparação com uma janela com as mesmas dimensões, mas sem veneziana<sup>30</sup>. Entretanto, o fabricante das esquadrias do protótipo, afirma que o acréscimo no custo de uma esquadria com veneziana (Figura 324) é de, aproximadamente, 40%<sup>31</sup>.



Figura 324 - Veneziana no dormitório sul

<sup>30</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Pandeiro.

<sup>31</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

## Grade

O comprimento de fabricação das barras em aço é de 6,00 m, segundo lojas especializadas desse produto. Para se evitarem desperdícios, as alturas das janelas e os cortes das barras deverão ser planejados de forma a se obter um melhor rendimento desses materiais. As barras de aço cortadas são colocadas após a montagem das janelas, furando-se os marcos e embutindo as barras de um extremo ao outro. O acréscimo no custo de uma esquadria, para a colocação de grade em aço, varia de 20% a 25%<sup>32</sup>. Em alguns casos, a proteção da esquadria envidraçada pode ser atendida pela subdivisão dos vidros com pinázios, porém esse complemento às esquadrias acrescenta, no mínimo, 10% no custo, além de aumentar a quantidade de baguetes e de materiais de envidraçamento.

Nas janelas J1, J2, J3 e J5 do protótipo foram instaladas, internamente, como grade de proteção, barras de aço verticais, sem pintura (Figura 325). Para essas janelas foi necessário utilizar cinco barras inteiras de aço, resultando em 75 cm de sobra. Essas barras são de seção circular lisa, com diâmetro de  $\frac{1}{2}$ " , e estão espaçadas entre si em, aproximadamente, 10 cm, o que confere uma proteção adequada, pois estão adequadamente ajustadas aos marcos das janelas. Porém, na abertura total das janelas, essas barras geram barreiras para a manipulação dos comandos, assim como dificultam o fechamento da folha da janela.



Figura 325 - Grade na janela da sala/cozinha

### 8.5.10 Complementos

Geralmente, as esquadrias em madeira são entregues nas obras *in natura*, sem qualquer proteção superficial (ABCI, 1991). Entretanto, de acordo com Zeh (1976), as esquadrias produzidas em série e com tamanhos normalizados podem ser fornecidas com impregnação ou pintura de fundo. Conforme o IPT (1998), o bom desempenho do processo de pintura está baseado em cinco fatores: conhecimento do ambiente; seleção correta das tintas em função do meio; preparo da superfície; e aplicação e controle de qualidade. De acordo com Zeh (1976), os produtos e o tratamento superficial da madeira são, geralmente, determinados pelas características da madeira e exigências relativas à superfície pronta, podendo ser transparente ou pigmentado. O acabamento trans-

<sup>32</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

parente, por exemplo, é empregado em madeiras de poros abertos, para dar realce à estrutura das veias e desenhos, e o acabamento pigmentado, em madeiras de poros fechados, para o atendimento de necessidades específicas.

Os procedimentos e produtos empregados na proteção da madeira das esquadrias do protótipo foram sugeridos pelo fabricante das esquadrias<sup>33</sup>. Os materiais empregados<sup>34</sup> na proteção das esquadrias do protótipo são:

a) emX Multiuso - composição: aditivo bioquímico; fabricante: Oxigênio da Amazônia; conteúdo: 100 mL; preço: R\$ 7,50 (fev. 2003); quantidade: 2 tubos (sobraram aproximadamente 50 mL);

b) TEDOX - óleo de linhaça; fabricante: I. B. Schild; conteúdo: 900 mL; preço: R\$ 12,88 (fev. 2003);

c) CLARIM - óleo de linhaça; fabricante: Klein; conteúdo: 900 mL;

d) AGUARRÁS - essência de terebentina; fabricante: Farma Química; conteúdo: 1.000 mL; e

e) borrifador de jardim; pincel; estopa; balde; escada.

Os procedimentos adotados no tratamento superficial das esquadrias do protótipo ocorreram de duas formas:

a) 1ª mistura: diluição do conteúdo de seis tampas do produto emX Multiuso em 500 mL de água; aplicação da primeira demão, através de borrifador de jardim; aguardado o tempo de absorção da madeira, foi aplicada a segunda demão dessa mistura; e

b) 2ª mistura: diluição do óleo de linhaça (900 mL) em 330 mL de essência de terebentina; tentativa de aplicação da mistura com saco de linhagem e estopa (procedimento descartado); aplicação de uma primeira demão com pincel; após a madeira absorver a primeira demão, foi aplicada a última demão.

Esse tratamento superficial das esquadrias do protótipo ainda não pode ser considerado como pintura de acabamento eficiente, pois seria necessário verificar a durabilidade e o comportamento do tratamento ante as intempéries e agentes naturais agressivos, o custo final do tratamento, a toxicidade do produto terebentina, o nível de impermeabilização gerado pelo produto e os materiais de limpeza adequados ao produto.

A soma das áreas das superfícies destinadas à pintura ou tratamento das esquadrias do protótipo é de 48,74 m<sup>2</sup>, sendo, aproximadamente, 50% para as portas e 50% para as janelas, conforme indicam os Quadros 64 e 65. As folhas das portas e janelas

<sup>33</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Banjo.

<sup>34</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Marimba.

são responsáveis por mais de 50% da superfície total destinados à pintura, sendo destacada, em relação às demais janelas, a quantidade maior de área de

pintura para as folhas da janela J4, pelo acréscimo de venezianas.

Dependência	Código da Janela	Superfície para pintura das janelas			Superfície Total (m <sup>2</sup> )
		Marco (m <sup>3</sup> )	Folha (m <sup>3</sup> )	Alizar (m <sup>3</sup> )	
Sala/Cozinha	J1	1,316	1,786	0,679	3,781
	J2	1,040	1,772	0,456	3,268
	J6	0,756	1,312	0,473	2,541
Dormitório 1	J3	1,316	1,786	0,679	3,781
	J7	0,756	1,289	0,473	2,518
Dormitório 2	J4	1,055	5,627	0,704	7,386
Sanitário	J5	0,411	0,434	0,339	1,184
<b>TOTAL</b>		<b>6,650</b>	<b>14,006</b>	<b>3,803</b>	<b>24,459m<sup>2</sup></b>
<b>%</b>		<b>27,2%</b>	<b>57,3%</b>	<b>13,4%</b>	<b>100%</b>

Quadro 64 - Superfícies para pintura das janelas do protótipo

Dependência	Código da Porta	Superfície para pintura das portas			Superfície Total (m <sup>2</sup> )
		Marco (m <sup>2</sup> )	Folha (m <sup>2</sup> )	Alizar (m <sup>2</sup> )	
Sala/Cozinha	P1	0,621	3,586	0,575	4,782
	P2	0,622	3,732	0,594	4,948
Dormitório 1	P3	0,618	3,496	0,711	4,825
Dormitório 2	P4	0,621	3,592	0,654	4,867
Sanitário	P5	0,691	3,462	0,711	4,864
<b>TOTAL (m<sup>2</sup>)</b>		<b>3,173</b>	<b>17,868</b>	<b>3,245</b>	<b>24,286 m<sup>2</sup></b>
<b>%</b>		<b>13%</b>	<b>73,6%</b>	<b>13,4%</b>	<b>100%</b>

Quadro 65 - Superfícies para pintura das portas do protótipo

### 8.5.11 Análise das variáveis comportamental e utilitária das esquadrias

O principal objetivo da definição do perfil de desempenho de uma esquadria é o de sistematizar a

análise das diversas exigências funcionais, sem hierarquia de importância. Essa análise de desempenho apresenta dificuldades devido à simultaneidade de funções que as esquadrias apresentam (ABCI, 1991).

CONTEÚDO DE ORDEM	VARIÁVEIS DE DESEMPENHO	DESCRIÇÃO
COMPORTAMENTAL E UTILITÁRIO (PERFIL DE DESEMPENHO)	RESISTÊNCIA	Durabilidade
		Estrutural: à deformação / à carga de vento / ao uso / contra roubo e vandalismo
		Ao fogo
	TÉCNICO-FUNCIONAL HABITABILIDADE	Funcionalidade
		Iluminação natural
		Ventilação natural
		Isolamento térmico
		Isolamento acústico
	ESTANQUEIDADE	À água de chuva
		Ao ar / à poeira
		A insetos
	ACESSIBILIDADE E ERGONÔMICO	Acessibilidade aos comandos
		Facilidade de movimentação e manutenção
	ESTÉTICO	Adequação ao conjunto arquitetônico
		Ordem / complexidade
		Forma / superfície / cor
	ECONÔMICO (MANUTENÇÃO)	Custo de limpeza
		Custo de reposição de peças
Economia de energia elétrica		
Economia de uso de inseticidas		
EXIGÊNCIAS DE INTERESSE ECOLÓGICO	Sustentável	
	Reciclável	

Quadro 66 - Variáveis que intervêm no perfil de desempenho técnico e funcional de uma esquadria

As principais variáveis de desempenho que afetam a qualificação de uma esquadria estão descritas no Quadro 66.

### Resistência

As esquadrias do protótipo não apresentam deformações visíveis, pois utilizam matéria-prima resistente e espessuras tradicionais dos perfis. Nas janelas maxim-ar, a colocação de mainel é estruturalmente benéfica, pois impede a flexão da verga do marco. Os alizares externos das janelas J1, J2, J3, J6 e J7 poderão apresentar deformações devido ao número reduzido de pontos de fixação nos marcos, pela falta de proteção superficial impermeável e pela incidência de radiação solar. O alizar externo superior, da janela J4, poderá apresentar deformações, devido à largura (9,5 cm) e à pequena espessura (1,2 cm).

As portas internas P3, P4 e P5 do protótipo apresentam menor resistência a impactos em comparação com as portas externas, pois as primeiras não apresentam reforços de travessas centrais, além de os lambris inclinados terem espessura igual a 16 mm. Já as portas externas apresentam maior resistência a impactos ou vandalismo. As folhas das janelas do protótipo apresentam boa resistência estrutural ao vandalismo, em função das subdivisões com pinázios e pela dimensão dos quadros e perfis, além das grades de proteção.

### Desempenho técnico-funcional e habitabilidade

Segundo Pol (1996), isolar bem e ventilar corretamente sintetizam o desempenho de conforto ambiental que um edifício moderno deve oferecer. O controle de temperatura, quando corretamente pra-

ticado pela abertura ou fechamento de uma janela, contribui tanto no sentido de melhorar as condições de conforto térmico quanto para a redução de consumo energético, decorrente do uso de sistemas de ventilação forçada nos ambientes (ABCI, 1991).

### Funcionalidade

A funcionalidade das esquadrias do protótipo está descrita no Quadro 67. Todas as cinco portas do protótipo são de bater - movimentadas mediante a rotação em torno de eixo vertical fixo, coincidente com a lateral das folhas. A funcionalidade adotada para seis janelas é projetante/deslizante (maxim-ar), sendo as janelas J1, J2 e J3 acrescidas de partes fixas. A funcionalidade da janela J4 é de duas folhas de correr com veneziana em quatro folhas de sanfonar.

As janelas J2 e J5 do protótipo, em função da funcionalidade do tipo maxim-ar e da largura do marco, poderão ser utilizadas como suporte de produtos de limpeza, higiene ou de adornos.

### Iluminação natural

Nas esquadrias do protótipo, a área mínima para iluminação, propiciada pelas janelas, é confrontada com as exigências da legislação municipal (PORTO ALEGRE, 1999), conforme demonstra o Quadro 68. Constata-se que o somatório das áreas das janelas de cada dependência atende à legislação. Com relação à área das dependências prevista no projeto, constatou-se que a área útil total da edificação aumentou 1,13 m<sup>2</sup>, distribuído entre as dependências, porém esse aspecto não afetou diretamente o dimensionamento das janelas.

Dependência	Esquadria	Código da Esquadria	Descrição funcional das esquadrias Dados: * folhas das janelas subdivididas em pinázios; * J1, J2, J3 e J5 com grade de aço (diâmetro 1/2")
Sala/Cozinha	JANELA	J1	2 folhas inferiores fixas + 2 folhas superiores maxim-ar
		J2	2 folhas inferiores fixas + 2 folhas superiores maxim-ar
		J6	2 folhas maxim-ar
Dormitório 1		J3	2 folhas inferiores fixas + 2 folhas superiores maxim-ar
		J7	2 folhas maxim-ar
Dormitório 2		J4	2 folhas de correr + 4 folhas com veneziana de sanfonar
Sanitário		J5	1 folha maxim-ar
Sala / Cozinha	PORTA	P1	1 folha de abrir direita, almofadada
		P2	1 folha de abrir direita, almofadada
Dormitório 1		P3	1 folha de abrir direita, com lambris central em diagonal
Dormitório 2		P4	1 folha de abrir esquerda, com lambris central em diagonal
Sanitário		P5	1 folha de abrir esquerda, com lambris central em diagonal

Quadro 67 - Descrição funcional das esquadrias do protótipo

Dependência		Janelas do protótipo					Previsto na Legislação LC nº 284	
Descrição	Área (m²)	Código	Dimensões (marco incluído)		Área		Fração área do piso	Área mínima (m²)
			Largura (m)	Altura (m)	Parcial (m²)	Total (m²)		
Sala/Cozinha	16,12	J1	1,194	1,184	1,414	3,224	1/6 ilum.	2,686
		J2	1,144	0,934	1,068			
		J6	1,534	0,484	0,742			
Dormitório 1 (filhos)	9,01	J3	1,194	1,184	1,414	2,156	1/6 ilum.	1,501
		J7	1,534	0,484	0,742			
Dormitório 2	8,54	J4	1,196	1,19	1,423	1,423	1/6 ilum	1,423
Sanitário	4,41	J5	0,814	0,404	0,329	0,329	Zero	0,0
<b>TOTAL (m²)</b>	<b>38,08</b>		*			<b>7,132</b>	Iluminação	<b>5,61</b>

Quadro 68 - Confronto entre as janelas do protótipo e as exigências da legislação municipal sobre iluminação natural

Por outro lado, considerando-se a área efetiva de iluminação, propiciada pelos vidros das janelas e desconsiderando os marcos, quadros das folhas, mai-

nel e pinázios, conforme demonstra o Quadro 69, supõe-se que todas as dependências (exceto sanitário) não estariam suficientemente iluminadas.

Dependências		Janelas do protótipo			Previsto na Legislação LC nº 284 Área de iluminação (m²)
		Código	Área efetiva de Iluminação Natural (m²)		
Descrição	Área (m²)			Parcial	Total
Sala/Cozinha	16,23	J1	0,646	1,446	2,705
		J2	0,500		
		J6	0,300		
Dormitório 1	8,10	J3	0,646	0,969	1,35
		J7	0,323		
Dormitório 2	8,10	J4	0,725	0,725	1,35
Sanitário	4,52	J5	0,133	0,133	0
<b>TOTAL (m²)</b>	<b>36,95</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>3,273</b>	<b>5,405</b>

Quadro 69 - Confronto entre a área efetiva de iluminação natural das janelas do protótipo e a legislação municipal

Supondo que as folhas das janelas do protótipo não fossem subdivididas com pinázios, a área efetiva

de iluminação natural aumentaria, aproximadamente, 20%, conforme o Quadro 70.

Código da janela	Área de iluminação efetiva (m²)	Suposição: área de iluminação para folha das janelas sem pinázios (m²)
J1	0,646	0,786
J2	0,500	0,531
J3	0,646	0,786
J4	0,725	0,901
J5	0,133	0,154
J6	0,300	0,384
J7	0,323	0,384
<b>TOTAL</b>	<b>3,273</b>	<b>3,926</b>
<b>%</b>	<b>100%</b>	<b>~ 20% a mais de iluminação</b>

Quadro 70 - Área efetiva de iluminação das janelas do protótipo para folhas sem pinázios

## Ventilação natural

Entre os vários objetivos da ventilação nas habitações, destacam-se a substituição do ar impuro ou viciado por outro limpo e fresco, e a promoção da ventilação natural, como recurso para o controle da temperatura dos ambientes (ABCI, 1991). Para isso, as esquadrias, principalmente janelas, devem propiciar uma ventilação que atenda às exigências humanas, que variam de 8 m<sup>3</sup> a 25 m<sup>3</sup> por hora para uma pessoa, em condições de repouso ou de atividade leve (POL, 1996). O Quadro 71 delimita a ventilação necessária por pessoa para algumas situações relacionadas ao espaço interno.

VENTILAÇÃO MÍNIMA NECESSÁRIA			
Espaço disponível por pessoa (m <sup>3</sup> )	Ar requerido por pessoa (m <sup>3</sup> /h)		
	Mínimo	Valores recomendados	
		Sem fumar	Fumando
3	40,7	61,2	81,4
6	25,6	38,5	51,1
9	18,7	28,1	37,4
12	14,4	21,6	28,8

Quadro 71 - Ventilação mínima necessária (baseado em ICE, 1988b)

Dependência		Janelas do protótipo					Previsto na Legislação LC nº 284	
		Código	Dimensões (marco incluído)		Área		Fração área do piso	Área mínima de ventilação (m <sup>2</sup> )
Descrição	Área (m <sup>2</sup> )		Largura (m)	Altura (m)	Parcial (m <sup>2</sup> )	Total (m <sup>2</sup> )		
Sala/Cozinha	16,12	J1	1,194	1,184	1,414	3,224	1/12	1,343 vent.
		J2	1,144	0,934	1,068			
		J6	1,534	0,484	0,742			
Dormitório 1 (filhos)	9,01	J3	1,194	1,184	1,414	2,156	1/12	0,75 vent.
		J7	1,534	0,484	0,742			
Dormitório 2	8,54	J4	1,196	1,19	1,423	1,423	1/12	0,711 vent.
Sanitário	4,41	J5	0,814	0,404	0,329	0,329	1/12	0,367 vent. Obs.: mín > 0,4
<b>TOTAL (m<sup>2</sup>)</b>	<b>38,08</b>		*			<b>7,132</b>	Ventilação	<b>3,204</b>

Quadro 72 - Confronto entre as janelas do protótipo e as exigências da legislação municipal sobre ventilação natural

Os códigos de edificação exigem uma área mínima de ventilação para as janelas residenciais, de acordo com uma fração da área do piso das dependências, embora esta represente 50% do previsto para a iluminação. O Quadro 72 relaciona as janelas do protótipo com as exigências da legislação. Consta-se que a área de ventilação, propiciada pelas janelas do protótipo, atende plenamente às exigências da legislação, exceto no banheiro, para o qual a legislação prevê, independentemente da área, um mínimo de 0,40 m<sup>2</sup>.

Por outro lado, considerando-se a área efetiva para ventilação natural das dependências, conforme demonstra o Quadro 73, somente as janelas da sala/cozinha e do dormitório (1) atenderiam à legislação. Consta-se, então, que a área efetiva de ventilação é insuficiente nas janelas do dormitório (2) e sanitário. Outro aspecto a salientar é sobre a comparação entre as janelas J1 e J4: apesar de terem praticamente a mesma área, a primeira propicia 58% a mais de ventilação, em função da característica funcional.

Dependência		Janelas do protótipo			Previsto na Legislação LC nº 284 Ventilação (m <sup>2</sup> )
		Código	Área efetiva de Ventilação Natural (m <sup>2</sup> )		
Descrição	Área (m <sup>2</sup> )			Parcial	Total
Sala/Cozinha	16,23	J1	0,796	1,856	1,3525
		J2	0,507		
		J6	0,553		
Dormitório 1	8,10	J3	0,796	1,349	0,675
		J7	0,553		
Dormitório 2	8,10	J4	0,503	0,503	0,675
Sanitário	4,52	J5	0,232	0,232	0,40
<b>TOTAL (m<sup>2</sup>)</b>	<b>36,95</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>3,940</b>	<b>3,1025</b>

Quadro 73 - Confronto entre a área efetiva de ventilação natural das janelas do protótipo com a legislação municipal

## Estanqueidade

A estanqueidade das esquadrias é uma variável que pode estar relacionada com as condições ambientais, características da edificação, dos sistemas construtivos e funcionais, e com os elementos de

vedação. A penetração de água ou ar ocorre, sobretudo, pela pressão do vento, fluindo através de frestas ou juntas mal vedadas (TRIKEM, 2000). Os pontos vulneráveis das esquadrias podem ocorrer nas juntas do marco da esquadria com o vão da alvenaria, nas

juntas do marco com a folha móvel, entre o pano de vidro e as travessas e montantes da folha da janela, e pelas frestas entre perfis do marco e o material de interface (ABCI, 1991). Para uma maior estanqueidade das esquadrias com as interfaces, deve-se adotar ancoragens resistentes, para evitar movimentos produzidos por pressões de vento, e aplicar um selador perimetral no contorno da abertura que evite as infiltrações (ICE, 1988b).

### Estanqueidade à água de chuva

As folhas das janelas do protótipo, por serem subdivididas com pinázios, têm maior probabilidade de apresentar frestas em comparação com as folhas simples. Conforme descreve o Quadro 74, as janelas teriam, aproximadamente, 50% menos juntas de envidraçamento, se sem pinázios.

### Estanqueidade ao ar e à poeira

Os ventos de inverno poderão afetar o conforto interno do protótipo, pois se constata que as janelas J2 e J5 não apresentam elementos de vedação, como gaxetas de borracha, o que pode gerar deficiências de estanqueidade ao ar. Entretanto, segundo a ABCI (1991), as janelas com funcionalidade projetante/deslizante (maxim-ar) apresentam boa estanqueidade, pois a pressão do vento sobre a folha pressiona-a contra o marco. Por outro lado, a porta P2, que não possui elemento de vedação com gaxeta de borracha, junto ao batente do marco e entre a borda inferior da folha e o piso, também poderá gerar infiltração de ar. Nesse caso, como providências alternativas, coloca-se rodapé automático ou a varredura - peça flexível de borracha, presa na parte inferior da porta (CHING, 1999).

Código da janela	Comprimento dos baguetes <i>as built</i> (m)	Comprimento dos baguetes para folhas sem pinázios (m)
J1	13,52	7,26
J2	10,22	6,04
J3	13,52	7,26
J4	14,27	5,84
J5	2,67	1,80
J6	7,98	3,84
J7	7,04	3,84
<b>TOTAL</b>	<b>69,22 m</b>	<b>35,88 m</b>

Quadro 74 - Comparação entre o comprimento dos baguetes das janelas do protótipo e as folhas sem pinázios

## Estanqueidade a insetos

A estanqueidade a insetos é uma variável que está relacionada com o meio ambiente e com os complementos de proteção associados à funcionalidade da esquadria. Geralmente, os insetos entram nas edificações quando as folhas das esquadrias estão abertas para ventilar. A presença de insetos - moscas, baratas, cupins, mosquitos, etc. - nas edificações não se deve à existência de esquadrias, mas dos atrativos básicos para sua sobrevivência. Telas, repelentes naturais e, especialmente, limpezas periódicas podem reduzir (sem extinguir) esses insetos (MONTENEGRO, 1984). As janelas do protótipo não possuem tela mosquiteiro, e as portas externas, P1 e P2, não foram dotadas de varredura ou outro dispositivo entre a borda inferior da folha e o piso que pudesse evitar a entrada de insetos. As esquadrias do protótipo não oferecem uma vedação eficiente no perímetro de interface, o que poderá propiciar a entrada de insetos pelas juntas rebaixadas dos tijolos.

## Exigências de acessibilidade e ergonomia

De acordo com a norma NBR 9050 (ABNT, 1994), o nível dos olhos de um usuário de cadeira de rodas encontra-se, em média, a 1,15 m de altura. Por isso, deve-se posicionar os peitoris das janelas em nível inferior a essa altura, de forma a permitir uma melhor visualização do exterior. Por outro lado, o posicionamento dos comandos deve estar no máximo a 1,35 m do piso, para evitar que estes fiquem em posição superior à faixa de alcance manual de um usuário de cadeira de rodas.

A posição dos comandos das esquadrias do protótipo apresenta divergências em relação ao

preconizado pela norma NBR 9050 (ABNT, 1994). O Quadro 75 descreve essas informações de forma comparativa, constatando-se que:

- a) todas as maçanetas das portas estão posicionadas a aproximadamente 5 cm acima do prescrito pela norma;
- b) a posição dos comandos das janelas J2, J4, J5, J6 e J7 não atendem às prescrições da norma;
- c) as janelas J6 e J7 do clerestório da sala e dormitório 1 só poderão ser acessadas mediante a colocação de escada ou se for construído um mezanino;
- d) a altura máxima dos peitoris das janelas, segundo a norma, é atendida nas janelas J1, J3 e J4; e
- e) o peitoril da janela J5 (1,71 m) gera dificuldade e desconforto para sua abertura e fechamento.

## Desempenho estético

A satisfação estética pode ocorrer quando o homem reconhece, no entorno material, princípios que regem o seu próprio corpo e na relação do sistema horizontal/vertical. Esses princípios estão fundamentados no ritmo, no movimento e no ordenamento que se repetem de forma uniforme (LÖBACH, 2001). Löbach (2001) acrescenta que todo o processo de design é tanto um processo criativo como um processo de solução de problemas. Com isso, além da fabricação econômica e o emprego econômico de determinados materiais, as preferências estéticas dos usuários podem ser fatores imprescindíveis para a configuração dos produtos.

Dependência	Acessibilidade das janelas do protótipo			Acessibilidade das portas do protótipo	
	Código	Peitoril (m)	Posição do comando ao piso (m)	Código	Posição do comando ao piso (m)
Sala/Cozinha	J1	0,925	1,31	P1	1,055
	J2	1,18	1,57		
	J6	3,37	3,42	P2	1,055
Dormitório 1	J3	0,925	1,31	P3	1,05
	J7	3,37	3,42		
Dormitório 2	J4	0,925	1,50	P4	1,05
Sanitário	J5	1,71	1,76	P5	1,05
Previsto na NBR 9050		< 1,15 m	Entre 0,40 m e 1,35 m	*	1,00 m
Preferencialmente, segundo Qualharini e Anjos (1997)		Entre 0,80 m e 1,00 m	Entre 0,40 m e 1,20 m	*	Entre 0,80 m e 0,90 m

Quadro 75 - Posicionamento dos comandos das esquadrias do protótipo

Para esquadrias, a variável estética pode estar associada às suas dimensões e proporções, à sua adequação ao conjunto arquitetônico e aos acabamentos superficiais, tanto nas questões de textura quanto de cor. A utilidade das cores não se restringe à aparência, mas adentra os conceitos físicos de controle térmico e visual. A pintura de cores claras nas superfícies aumenta a reflexão à radiação solar, reduzindo os ganhos de calor. No interior das edificações, cores claras refletem mais luz, podendo ser empregadas em conjunto com sistemas de iluminação natural ou artificial (LAMBERTS; PEREIRA; DUTRA, 1997). De acordo com Löbach (2001), os principais aspectos estéticos de um

produto, descritos no Quadro 76, são a ordem, a complexidade, a forma, a superfície e a cor.

As esquadrias do protótipo se apresentam com coloração variável, incluindo tons amarelados, avermelhados, castanho-claros e tons de marrom, através da matéria-prima, e superfície fosca. As portas P1 e P2 apresentam abundância de informação, pela variedade e quantidade de almofadas, e as portas internas P3, P4 e P5 apresentam complexidade pelos elementos em diagonal. Apesar de as portas P3 e P4, dos dormitórios, apresentarem sentidos opostos de abertura (direita e esquerda), os lambris centrais, em diagonal,

Variáveis estéticas de um produto	
Tipo	Descrição e caracterização
Ordem	Determinada pelo número de elementos de configuração e pela quantidade de características de ordenação. Quanto menor o esforço perceptivo, tanto maior o grau de ordem, mas também a impressão de monotonia. Ordem elevada significa uma oferta de percepção com baixo conteúdo de informação, isto é, tem um baixo valor na captação da atenção e são compreendidos rapidamente, com pouco esforço perceptivo. O princípio de ordenação ocorre no quadro horizontal/vertical, na simetria, na imagem refletida e na uniformidade. A simetria de um produto pode ser horizontal ou vertical, mas os produtos simétricos horizontalmente são preferidos aos simétricos verticalmente.
Complexidade	Determinada pelo número de elementos de configuração e pela quantidade de características de ordenamento. Alta complexidade significa um produto com grande conteúdo de informação. Por exemplo, os desvios da relação horizontal/vertical (diagonais, formas livres) aumentam a complexidade do produto, transformando a figura estática em dinâmica e em desequilíbrio. Os contrastes são adequados para elevar a complexidade de um produto. Esses podem ser produzidos mediante o emprego simultâneo de formas grandes e pequenas, superfícies lisas e rugosas, cores ativas e passivas, etc.
Forma	A forma pode ser espacial (forma tridimensional de um produto) ou plana (obtida pela projeção de um produto sobre um plano, sendo determinada pelo seu contorno).
Superfície	A natureza da superfície depende da escolha dos materiais. Pode ser brilhante, fosca, polida ou rugosa, e pode produzir sensações de limpeza, calor, frio, etc. Por exemplo, os produtos industriais com superfície polidas, reluzentes e sem falhas lhe sugerem ordem, limpeza e perfeição das suas características de uso.
Cor	Elemento essencial de um produto, sendo empregada para criar contrastes e indicada para atingir a psique do usuário do produto.

Quadro 76 - Variáveis estéticas de um produto (baseado em LÖBACH, 2001)

foram dispostos no mesmo sentido, constatando-se uma homogeneidade aparente. Por outro lado, todas as janelas do protótipo apresentam alta complexidade em função do elevado número de componentes, tais como pinázios, vidros, grades e folhas. Entretanto, a simetria das janelas resulta em maior ordenação horizontal/vertical e, conseqüentemente, menor esforço perceptivo.

### Desempenho econômico (manutenção)

As variáveis econômicas para manutenção das esquadrias estão associadas ao custo de limpeza e reposição de peças. Para as janelas, o custo de limpeza interna e externa pode estar relacionado ao tempo necessário para a manutenção, à quantidade e dimensão dos panos de vidro, e à posição da janela na

parede. Por outro lado, quanto menor a quantidade de componentes e ferragens, mais econômicas serão a manutenção e a reposição de peças. As esquadrias com sistemas funcionais muito complexos podem exigir mão-de-obra especializada para sua manutenção preventiva, o que pode ocasionar custos elevados para manutenção corretiva.

Tanto as portas como as janelas do protótipo são dotadas de ferragens simples, o que pode amenizar o custo de manutenção para reposição de peças. Porém, pelo elevado número de componentes e vidros das janelas, o custo de manutenção, para conservação e limpeza, poderá ser maior em comparação com janelas com menos folhas e quadros sem pinázios.

#### Exigências de interesse ecológico

As variáveis de interesse ecológico estão vinculadas à matéria-prima e materiais menos impactantes. Ampliando essa ótica, o projeto das esquadrias pode ter como diretriz a busca de soluções técnicas e funcionais mais sustentáveis, visando economia de energia elétrica, transporte, mão-de-obra local, etc.

As esquadrias em madeira do protótipo podem ser consideradas como produtos elaborados com matéria-prima sustentável, pois o eucalipto é oriundo de reflorestamento. O tipo de secagem natural da madeira gerou economia de energia elétrica, assim como a inexistência de preservativos químicos e tratamento superficial de proteção, com produtos menos impactantes, agregaram valor ecológico a essas esquadrias. A fábrica que confeccionou as esquadrias

está situada a menos de 100 km da obra e utilizou mão-de-obra local, o que complementa a caracterização social de sustentabilidade.

#### 8.5.12 Análise das variáveis técnicas das esquadrias

As principais variáveis técnicas diretamente relacionadas com a qualidade de uma esquadria estão descritas no Quadro 77.

#### Legislação

Os instrumentos legais que incidem sobre o projeto das edificações especificam dimensões e requisitos mínimos, como parâmetros de segurança e habitabilidade (SILVA, 1982). Esses instrumentos, por meio de códigos de edificações e normas técnicas, solidificam a qualificação das edificações, pois disciplinam regras gerais e específicas a serem obedecidas nos projetos, nas construções, na utilização e na manutenção das edificações (YAZIGI, 1997).

#### Código de edificações

Uma avaliação legal das portas do protótipo está descrita no Quadro 78, que sintetiza algumas exigências da legislação municipal e da norma sobre acessibilidade, comparando com os dados obtidos, constatando-se que somente a porta P1 não atende às exigências da legislação, que determina para a porta principal largura mínima de 90 cm. Na porta P3, faltou 1 cm na largura do vão (79 cm) para atender à legislação, e na porta P5 o vão livre atende à legislação municipal, porém se apresenta 2 cm menor com relação ao estabelecido na norma.

CONTEÚDO DE ORDEM	VARIÁVEIS TÉCNICAS	DESCRIÇÃO	
TÉCNICA	LEGISLAÇÃO Regras de dimensionamento	Código de obra	
		Normas técnicas	
	PROCESSO DE PROJETO	Projetista / designer	
		Procedimentos de projeto	
		Representação gráfica / descritiva / protótipo	
	PROCESSO DE FABRICAÇÃO	Padronizado / sob medida	
		Máquinas / ferramentas	
		Controle de qualidade	
		Mão-de-obra	
		Custo	
	PROCESSO DE INSTALAÇÃO	INTERFACE	Esquadria x laterais
			Esquadria x peitoril
			Esquadria x verga
		POSIÇÃO NA PAREDE	Com ou sem gola
			Face interna / centralizada / igual espessura parede
		FORMAS DE FIXAÇÃO	Taco de madeira com parafuso
			Contramarco com parafuso
			Bucha e parafuso
			Poliuretano expansível
		ARREMATE	Acabamentos internos e externos / limpeza

Dependência	Portas do protótipo		Previsto no Código de Edificações LC nº 284		NBR 9050 (ABNT, 1994) Requisitos mín.	
	Código	Dimensões (vão entre marcos)		Dimensões (vão entre marcos)		Largura (m) (vão entre marcos)
		Largura (m)	Altura (m)	Largura (m)	Altura (m)	
Sala / Cozinha	P1	0,81	2,07	0,90	2,00	0,80
	P2	0,86	2,07	0,80	2,00	0,80
Dormitório 1	P3	0,79	2,07	0,80	2,00	0,80
Dormitório 2	P4	0,81	2,07	0,80	2,00	0,80
Sanitário	P5	0,78	2,07	0,60	2,00	0,80

Quadro 78 - Exigências legais em comparação com as portas do protótipo

### Normas técnicas

As exigências das normas técnicas sobre esquadrias dão suporte a diversas necessidades de projetistas e fabricantes. Os parâmetros, definidos pela norma NBR 10821 (ABNT, 2000b), por exemplo, garantem que as funções básicas de resistência mecânica, durabilidade, estanqueidade à água, controle de luz e ventilação de uma janela sejam obtidas independentemente da matéria-prima. A norma técnica NBR 9050 (ABNT, 1994) determina parâmetros que devem ser utilizados nos projetos de portas e janelas para atender à acessibilidade de usuários portadores de deficiências. Porém, ainda não existem normas para todas as variáveis que intervêm num projeto de esquadria, como, por exemplo, normas sobre vedação e acessórios.

As esquadrias do protótipo atendem parcialmente às exigências das normas técnicas brasileiras

e da legislação municipal de Porto Alegre, provavelmente pela inexistência de um projeto específico e detalhado das esquadrias, em função de o contato com o fabricante ocorrer após a colocação do telhado, isto é, os vãos já estavam definidos, e da deficiência na troca de informações entre cliente e fabricante ou vice-versa.

### Processo de projeto

Projeto pode ser considerado uma atividade que produz uma descrição de algo que ainda não existe, porém capaz de viabilizar a construção desse artefato em criação. Porém, a maioria dos projetos não tem conteúdo inovador, são pequenas melhorias, que vão se agregando aos produtos (NAVEIRO; OLIVEIRA, 2001). Segundo os mesmos autores, as atividades de projetar são realizadas exigindo do profissional, além da especialidade, conhecimentos sobre ergonomia, forma geométrica, materiais, custos,

processo produtivo, simulação, dimensionamento e testes. Exigem, também, uma visão mais abrangente, incorporando fatores como ciclo de vida, manutenção, confiança e qualidade do produto.

Um projeto de esquadrias residenciais em madeira pode ocorrer em duas situações distintas. Na primeira situação (objeto desta pesquisa), o projeto de esquadrias pode ser considerado externo à fábrica, pois está relacionado com as informações do projetista da edificação ao fabricante. Esse projeto pode ser constituído de desenhos (representação gráfica) e informações escritas (memoriais descritivos). A segunda situação está relacionada com as informações do setor de projetos da fábrica destinado à produção. O projeto para produção pode ser constituído de de-

senhos individualizados dos perfis e dos conjuntos (quadro, marco, alizar) separadamente. Esse tipo de projeto geralmente é utilizado quando se pretende produzir esquadrias padronizadas e em série. Para que ocorra uma padronização no processo de produção, o setor de projetos das fábricas observa alguns requisitos, descritos no Quadro 79.

Dificilmente os profissionais das edificações elaboram projetos de esquadrias com todas as informações necessárias para a produção<sup>35</sup>. As principais deficiências de informação estão relacionadas às características do projeto arquitetônico (orientação solar, beirais, dependências), aos detalhes da obra (dimensionamento de vãos em osso cotados, se terá contramarco, características dos materiais de

REQUISITOS PARA ELABORAÇÃO DE PRODUTO		
POSSIBILITAR	FACILITAR	CONSIDERAR
Fabricação em série Fabricação simples Montagem fácil Colocação de acessórios Redução dos ruídos de regulação Simplicidade de limpeza Construção estável Diminuição do peso total	Intercâmbio de elementos Transporte e despacho Capacidade de manobra	Possibilidades de armazenagem Custos dos materiais Custos de fabricação Condições de higiene Cores adequadas Funções mais evidentes Acessórios que estorvem Segurança de funcionamento

Quadro 79 - Requisitos para elaboração de produto (baseado em LÖBACH, 2001)

<sup>35</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Pandeiro.

interface e sistemas de fixação) e às características das esquadrias (dimensionamento, funcionamento, quantidade, largura e espessura dos perfis, se terá tela, grade, etc.)<sup>36</sup>. Os principais erros de informação dos projetos podem estar relacionados com as características da esquadria (dimensionamento de peças, tipo de madeira inadequado para o local de instalação, folhas com dimensões muito acima do ideal, etc.) e com a obra (vãos com dimensões acima do ideal, vãos estreitos, definição tardia sobre o uso de persiana, pouca espessura de alvenaria, falta de gola, espessura do contrapiso insuficiente para a soleira, pouca diferença de nível entre o piso interno e o piso externo nas sacadas, caimento errado no piso das sacadas, etc.)<sup>37</sup>.

Esses erros, muitas vezes, ocorrem pela falta de projeto específico para a obra e para a fabricação. Por exemplo, para uma porta o arquiteto dimensiona o vão de 80 cm x 210 cm; o fabricante lê 86 cm x 213 cm; e o mestre-de-obras executa 90 cm x 215 cm<sup>38</sup>. Muitas dessas deficiências poderiam ser sanadas se o profissional fizesse consultas com os fabricantes antes de concluir o projeto, podendo, assim, reduzir o custo final para o cliente.

De acordo com o responsável pelo protótipo foi elaborada a representação gráfica somente do dimensionamento dos vãos, entretanto não foi elaborado um projeto de detalhamento das esquadrias, embora existissem memoriais descritivos de outros projetos semelhantes (Projeto Casa Alvorada e Projeto Nova Hartz)<sup>39</sup>. O projeto de produção das esquadrias do protótipo e seus perfis seguiram os padrões específicos da fábrica, atendendo às requisições do contratante, tais como a matéria-prima com isenção de preservativos, as funcionalidades e a instalação de grades internas<sup>40</sup>.

## Dimensionamento

Apesar de o projeto arquitetônico do protótipo prever todas as portas com vão luz de 80 cm, constatou-se que as larguras das folhas das portas apresentaram dimensões diferentes em função das larguras variadas dos vãos. As larguras dos marcos das portas apresentam dimensões iguais, exceto o marco da porta P5, que é mais largo, em função do revestimento interno de azulejo do sanitário. A padronização dimensional das janelas pode ser verificada nos vãos adotados para as janelas J1, J3 e J4 e entre as janelas J6 e J7.

<sup>36</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissionais de cognome Oboé, Harpa e Piano.

<sup>37</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissionais de cognome Oboé, Harpa e Piano.

<sup>38</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Piano.

<sup>39</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Banjo.

<sup>40</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

## Representação gráfica

Uma das linguagens utilizadas para representar os aspectos particulares do projeto das esquadrias é a gráfica, isto é, os esboços, desenhos em perspectiva e desenhos técnicos (NAVEIRO; OLIVEIRA, 2001). Segundo Borges (2001), as representações gráficas são baseadas no conceito de projetividade, que pressupõe a existência de três elementos: o centro de projeção, que representa a posição ou o ponto de vista do observador; o objeto a ser representado; e um plano, onde se realiza a projeção.

A representação gráfica é uma variável do projeto de esquadrias em madeira que pode trazer informações necessárias à compreensão dos elementos da esquadria. Deveria conter vista interna, vista externa, planta baixa, cortes e detalhes especiais. O sentido de movimento poderá ser demonstrado através de linha contínua, se a esquadria estiver desenhada na vista interna, e em linha tracejada, se a esquadria estiver desenhada na vista externa (ICE, 1988a).

Uma forma de representação gráfica de um projeto de esquadrias poderia ser por meio de uma planilha. Segundo Santiago (1996), essa planilha poderia auxiliar o construtor e o fabricante, contendo informações como: numeração (código) da esquadria; quantidade de cada tipo de esquadria; local onde a esquadria será colocada; características funcionais da esquadria; características dos materiais de interface com a esquadria (pingadeira, soleira); características do vidro ou material transparente; características do marco e guarnições; características do caixilho; tipo da madeira; características das ferragens com referências; acabamento da esquadria; desenho da esquadria.

Como complementação dessa planilha poderiam ser fornecidos ao fabricante das esquadrias alguns documentos, que podem auxiliar na compreensão das características da edificação. Podem ser: planta baixa; cortes; fachadas; perspectivas; fotografias; etc. A planta baixa da edificação pode ser esquemática e em escala reduzida (1:100; 1:150; 1:200), desde que as informações sejam legíveis. Mas é importante indicar o código de localização das esquadrias (por exemplo, P1, P2, J1, J2, etc.); orientação solar (norte); projeção do beiral; descrição das dependências; área das dependências; esquadrias em projeção (quando houver esquadrias acima do nível de corte da planta baixa); e demais informações que sejam necessárias à produção e à instalação.

## Memorial descritivo

Outra linguagem utilizada para representar os aspectos particulares do projeto das esquadrias é a semântica, isto é, a descrição verbal ou textual do objeto (NAVEIRO; OLIVEIRA, 2001). Essa variável do projeto pode ser representada por planilhas de memoriais descritivos contendo informações sucintas e objetivas. Deve permitir a especificação dos materiais, com suas características importantes, para a produção e instalação das esquadrias.

Complementando a representação gráfica, o memorial descritivo fornece, além das características da esquadria, informações sobre as características técnicas da edificação, onde será fixada a esquadria, as dimensões dos vãos existentes na obra sem os acabamentos, materiais internos e externos de interface, tais como pingadeira, revestimentos e vergas, e o tipo

de acabamento superficial previsto para a esquadria. A importância da informação escrita no projeto é tão primordial quanto o projeto gráfico (SCARDOELLI et al., 1994). A fábrica que confeccionou as esquadrias do protótipo não solicitou nem recebeu qualquer documento escrito que descrevesse as características da obra e das esquadrias.

### Processo de fabricação

As principais variáveis do processo de fabricação das esquadrias estão relacionadas ao processo de produção, incluindo máquinas, mão-de-obra e tempo para produção de cada tipo de esquadria, ao controle de qualidade, às perdas de material e ao custo de produção. Após a retirada do depósito de armazenagem, a prancha de madeira, bruta e seca, segue o processo de produção artesanal, que pode ser dividido em quatro etapas básicas<sup>41</sup>. São elas:

- a) máquinas I (corte, desempenho e aplainamento), resultando em madeira aparelhada;
- b) máquinas II (rebaixos, espigas, furos, rasgos), resultando em perfis lixados e prontos;
- c) pré-montagem (colagem, prensa), resultando em componentes prontos; e
- d) montagem (execução dos marcos, colocação das ferragens, montagem geral), resultando na esquadria pronta.

Após a montagem, a esquadria é testada e recebe o travamento dos marcos e folhas, para a armazenagem e transporte. O processo de produção artesanal adotado pela fábrica que confeccionou as esquadrias do protótipo teve as seguintes etapas: desdobro em pranchas; secagem da madeira; pré-corte; corte final; desempenamento; aplainamento; fresamento; furação; lixamento; pré-montagem; colocação de ferragens; montagem; travamento; e inspeção<sup>42</sup>.

Independentemente dos modelos ou características funcionais das esquadrias em madeira, para sua produção são empregadas, no mínimo, 11 máquinas diferentes<sup>43</sup>.

Porém, o tempo de produção varia conforme as características de cada esquadria. Para as esquadrias do protótipo, o tempo de produção não foi quantificado, porém a estimativa de tempo pode ser determinada em função da área de esquadria por homem, variando de 2,5 m<sup>2</sup>/h a 3,5 m<sup>2</sup>/h para um dia de trabalho<sup>44</sup>.

### Custo de produção

De acordo com Della Noce et al. (1998), as etapas de produção das esquadrias em madeira representam 50% do custo total; a matéria-prima representa 29%; e as ferragens, os acessórios e outros custos representam 21%. Mas esse percentual varia

<sup>41</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Piano.

<sup>42</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>43</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Harpa.

<sup>44</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

conforme o tipo, dimensões e desenho da esquadria. Por exemplo, o acréscimo no custo de produção de esquadria com folha subdividida com pinázios (quadriculado) pode atingir de 10% a 25% em comparação com a de folhas simples (somente o quadro)<sup>45</sup>.

A fábrica efetuou o orçamento de dez esquadrias e, após a execução delas, confeccionou mais duas, totalizando 5 portas e 7 janelas. O orçamento, após visita ao local da obra, incluiu ferragens e instalação, conforme os padrões da fábrica<sup>46</sup>. O Quadro 80 descreve o preço de cada esquadria, porém são constatadas algumas divergências e questões relativas ao preço, tais como:

a) ocorreu diferença de preço entre as janelas J1 e J3 (idênticas), porém contratadas separadamente;

b) cobrou-se preço menor da janela J4 em comparação com a janela J1, embora a primeira apresente maior quantidade de matéria-prima e ferragens;

c) o preço total das 7 janelas (1,697 CUB/RS) correspondeu a 61% do preço total das esquadrias, enquanto o preço das 5 portas correspondeu a 39%;

Dependência	Preço das janelas do protótipo			Preço das portas do protótipo		
	Código	R\$	CUB/RS (jan.)	Código	R\$	CUB/RS (jan.)
Sala/Cozinha	J1	203,83	0,3116	P1	156,55	0,2393
	J2	159,60	0,2440			
	J6	100,28	0,1533	P2	122,60	0,1874
Dormitório 1	J3	248,83	0,3804	P3	142,26	0,2175
	J7	144,54	0,2210			
Dormitório 2	J4	180,83	0,2764	P4	142,26	0,2175
Sanitário	J5	72,57	0,1109	P5	142,26	0,2175
TOTAL		R\$ 1.110,48	1,697 CUB/RS	TOTAL	R\$ 705,93	1,079 CUB/RS
TOTAL GERAL: R\$ 1.816,41 = ~ 2,77 CUB/RS						

Quadro 80 - Relação de preços das esquadrias do protótipo<sup>47</sup>

<sup>45</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Pandeiro.

<sup>46</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>47</sup> Dados: obtidos através da nota fiscal; 1,00 CUB/RS jan. 2003 = R\$ 654,01 (fonte: Jornal do CREA-RS Ano XXIX nº 5 set. 2003).

d) o preço total das esquadrias (2,77 CUB/RS) apresentou-se 20% menor que o orçamento elaborado no Projeto Casa Alvorada (3,46 CUB/RS) (SATTLER et al., 1999).

O controle ocorre na chegada da madeira, quando são separadas as peças brutas em largura, comprimento, espessura e tonalidade, para permanecer em estoque durante seis meses. Outro controle ocorre quando a madeira bruta vai para a plaina moldureira, que é onde se consegue ver as quatro faces da peça. Em cada etapa no processo de produção existe um controle de qualidade<sup>48</sup>. Entretanto, o controle de qualidade depende da qualificação da mão-de-obra, pois a falha humana pode acontecer em qualquer etapa do processo. A mão-de-obra que trabalha com esquadrias artesanais em madeira necessita, no mínimo, de oito anos de experiência para minimizar erros de produção e possibilidades de acidente<sup>49</sup>.

O controle de qualidade adotado na produção das esquadrias do protótipo foi visual, com medição por trena. A qualificação da mão-de-obra pode ser considerada uma das únicas deficiências na produção de esquadrias em madeira<sup>50</sup>.

## Resíduos

As perdas com resíduos na produção das esquadrias em madeira variam de 40% a 50%, o que praticamente duplica o custo da matéria-prima adquirida em pranchas brutas<sup>51</sup>. A geração de resíduos de material ocorre no corte e aplainamento das pranchas. A serragem é vendida para as olarias ou doada para produtores de aves. Entretanto, os retalhos curtos, finos ou estreitos podem ser aproveitados como baguete, palheta de veneziana ou miolo para porta semioca<sup>52</sup>.

## Transporte e armazenagem

Para o transporte das esquadrias em madeira, as folhas devem ser travadas, e os fechos, protegidos. Devem ser estocadas na vertical, sobre piso nivelado, em ambientes protegidos das intempéries, sem proximidade de fontes de calor ou de outros materiais de construção que possam prejudicar o acabamento final da madeira, tais como óleos, cimento, cal, tintas e outros materiais comumente encontrados nas obras (ABCI, 1991). Ohnuma et al. (1998) acrescentam, ainda, que as janelas não devem permanecer por muito tempo nas obras e que seja aplicada uma demão de verniz fosco (dependendo da espécie da

<sup>48</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Harpa.

<sup>49</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Piano.

<sup>50</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>51</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Flauta.

<sup>52</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2002 com profissional de cognome Piano.

madeira), para proteger a madeira; e para maior proteção e durabilidade às esquadrias, estas devem estar embaladas.

As esquadrias do protótipo foram transportadas por aproximadamente 80 km e instaladas no mesmo dia<sup>53</sup>, não permanecendo estocadas na obra.

#### Embalagem contendo etiquetas e manuais

As principais características de uma embalagem, segundo Acar Filho (1997), são proteger adequadamente o produto, ser econômica e não agredir o meio ambiente, quando de seu descarte. As embalagens devem seguir as normas construtivas do país ou do mercado a que se destinam, nos aspectos relativos à segurança, manuseio e empilhamento (MORAES, 1999). De acordo com a norma NBR 10821 (ABNT, 2000b), cabe ao fabricante de esquadrias informar, por meio de catálogos ou etiquetas (fixadas no caixilho), o número da norma, a pressão máxima de carga de vento a que o caixilho resiste e as classes de utilização de estanqueidade à água e ao ar. Ohnuma et al. (1998) acrescentam que as etiquetas podem conter informações sobre o tipo, modelo, acabamento, medidas, data de fabricação e altura (em pavimentos) máxima de instalação no prédio.

Além disso, as garantias e manuais de uso e manutenção das esquadrias devem estar disponíveis aos usuários, estabelecendo critérios para inspeção dos

materiais. Esses documentos complementares devem ser desenvolvidos com base nas normas técnicas, na bibliografia pertinente ao assunto e na experiência dos fabricantes (SOUZA; MEKBEKIAN, 1996). A fábrica das esquadrias do protótipo não forneceu manuais de uso e manutenção, porém a garantia de funcionalidade e instalação é de 5 anos<sup>54</sup>.

#### Processo de projeto

Os procedimentos corretos de instalação de esquadrias são fundamentais para se obter o bom funcionamento desses componentes, com nível de desempenho adequado (ABCI, 1991). De acordo com Iizuka e Hachich (2002), os processos de instalação das esquadrias continuam vinculados aos métodos construtivos tradicionais, mas a técnica correta de instalação das esquadrias exige: o correto posicionamento e alinhamento da esquadria; a garantia dimensional do vão na alvenaria para a instalação da esquadria; a qualidade da fixação e vedação na interface da esquadria e alvenaria; e a preservação funcional e estética da esquadria no decorrer da obra.

O procedimento de contratação da produção das esquadrias do protótipo ocorreu durante a execução da obra, buscando-se no mercado fabricantes de esquadrias que utilizassem como matéria-prima madeira de eucalipto. Contatou-se apenas uma fábrica para que fosse feito o orçamento das esquadrias,

<sup>53</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

<sup>54</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Clarineta.

de acordo com seus padrões de produção, considerando a utilização de madeira sem tratamento com preservativos, a funcionalidade das portas, conforme planta baixa, e maximizar para as janelas, com a colocação de grade interna<sup>55</sup>.

No projeto arquitetônico, incluir as golas de alvenaria, como interface das esquadrias, melhora o acabamento e pode evitar ajustes dos alizares laterais. A inexistência de gola nas portas P1, P2 e P4 do protótipo propiciou o recorte longitudinal nos alizares laterais. Os vãos destinados à instalação das esquadrias do protótipo apresentaram diferenças

de dimensões, conforme o Quadro 81, além de ângulos internos não ortogonais.

O sistema de instalação das esquadrias do protótipo, por opção do fabricante, foi o uso de espuma de poliuretano, sem parafusos. Porém, a inexistência de parafusos nesse sistema de instalação poderá ocasionar o emperramento das folhas das portas junto ao piso, devido ao peso das folhas e pela movimentação das ombreiras dos marcos e das folhas da janela J4, visto que a verga do marco não foi fixada com parafusos.

Dependência	Janelas do protótipo			Portas do protótipo		
	Código	Dimensões dos vãos		Código	Dimensões dos vãos	
		Largura (m)	Altura (m)		Largura (m)	Altura (m)
Sala/Cozinha	J1	1,225	1,22	P1	0,895	2,125
	J2	1,16	0,95			
	J6	1,55	52,5	P2	0,94	2,125
Dormitório 1	J3	1,23	1,225	P3	0,88	2,125
	J7	1,555	0,505			
Dormitório 2	J4	1,23	1,235	P4	0,88	2,125
Sanitário	J5	0,845	0,44	P5	0,88	2,125

Quadro 81 - Dimensão dos vãos para instalação das esquadrias

<sup>55</sup> Informação oral obtida em entrevista realizada em 2003 com profissional de cognome Banjo.

## 8.5.13 Considerações finais

### Sobre o mapa contextual

A elaboração do mapa contextual de variáveis utilizado como suporte para a estruturação do trabalho resultou em algumas constatações:

a) o mapa reuniu uma síntese de variáveis pre-julgadas como as mais significativas. Para cada variável descrita, ele possibilitou identificar outras que intervêm nos processos e, conseqüentemente, na otimização do projeto das esquadrias;

b) ocorreu ampliação dos enfoques, comumente adotados nos projetos, bibliografias e códigos de edificações, específicos sobre esse tema, nos quais são estabelecidas diretrizes básicas funcionais, como ventilação, iluminação e dimensionamento;

c) uma das dificuldades para a tomada de decisões na otimização dos projetos de esquadrias pode resultar do inter-relacionamento das variáveis, pois cada uma está vinculada a outros fatores e, conseqüentemente, aos diversos elementos das esquadrias;

d) cada variável apresenta pesos diferenciados para a tomada de decisões, não delimitando as opções de projeto. Entretanto, o conhecimento dessas variáveis é imprescindível para atender às exigências de cada projeto específico;

e) esse mapa elucidou o amplo conjunto de variáveis que projetistas devem considerar em seus projetos, podendo ser considerado como

um suporte preliminar, mas básico para a otimização dos projetos de esquadrias residenciais em madeira; e

f) o mapa, redesenhado através de quadros, facilitou a sistematização de análise do estudo de caso e favoreceu a elaboração dos memoriais descritivos - ilustrados em apêndice da dissertação de Fernandes (2004) -, que também adotaram a forma de quadro, contendo informações claras e objetivas.

### Sobre o estudo de caso

O estudo de caso, utilizado como uma amostra para exemplificação da pesquisa, teve uma função primordial na verificação das variáveis consideradas e, conseqüentemente, na avaliação das deficiências e vantagens adotadas na produção das esquadrias.

Na proposição de soluções e ao detectar dificuldades no reprojeto das esquadrias, Fernandes (2004) necessitou adotar algumas diretrizes e optar por alternativas de forma unilateral, resultando em soluções de projeto que necessitam ser aperfeiçoadas. As alternativas de aprimoramento podem estar vinculadas ao emprego de esquadrias com mais de uma característica funcional e obter áreas adequadas de iluminação e ventilação, com segurança e proteção contra insetos, porém com baixo custo e reduzido número de perfis. A redução do número de perfis das esquadrias, para reduzir o custo de produção, não ocorre quando se adota mais de uma funcionalidade para uma mesma esquadria.

O custo inicial mais baixo de acessórios, ferra-

gens, pinturas, componentes e dimensões mínimas das esquadrias pode não ser a melhor alternativa de projeto, pois é necessário analisar a economia gerada em médio prazo, confrontando gastos com energia elétrica e manutenções preventivas e corretivas. Apesar do custo baixo das peças de vidro, constatou-se a viabilidade de se dimensionarem as janelas, tendo como princípio o emprego de peças de vidro sem perda na chapa. Entretanto, esse procedimento só será vantajoso para a produção em grande escala, visto que as vidraçarias ainda quantificam seus preços por dimensões múltiplas de 5 cm.

Os aprimoramentos adotados no reprojeto, tais como emprego de tintas com alto desempenho, porém com reduzidos elementos poluentes e tóxicos, pintura das esquadrias elaborada em ambiente fabril, substituição dos pregos por parafusos e adoção de marcos ajustáveis, poderão gerar produtos mais duráveis, flexíveis e econômicos em médio e longo prazos.

Mediante essa pesquisa, conclui-se que os projetistas de edificações residenciais têm um papel fundamental na otimização das esquadrias em madeira, na medida em que começarem a dominar os intervenientes desse componente, estabelecendo regras e orientações imprescindíveis aos fabricantes e construtores. Para isso ocorrer, é de fundamental importância que os projetistas procedam:

- a) à valorização adequada a esse projeto específico;
- b) à prática de estabelecer contato inicial com os fabricantes antes da elaboração do projeto executivo; e

- c) ao fornecimento de informações detalhadas ao fabricante sobre o projeto, materiais, sistemas de vedação, sistemas funcionais e processos de instalação.

### Outras considerações

Para a madeira continuar sendo empregada na confecção de esquadrias, torna-se primordial a racionalização de todo o processo de produção, para se atingir uma qualidade competitiva com as demais matérias-primas. A madeira oriunda de matas nativas está sendo paulatinamente protegida pela legislação, deixando como opção futura às fábricas de esquadrias a utilização de madeiras de reflorestamento. Porém, será necessário gerar políticas públicas para uso múltiplo de florestas plantadas e incentivar a produção de reflorestamentos de outras espécies de árvores, como, por exemplo, a teca (*Tectona grandis*), de densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup>, madeira com excelentes propriedades físicas e mecânicas, a fim de viabilizar seu emprego e agregar valor ao produto e ao ambiente construído.

Para se desenvolverem projetos padrão de esquadrias residenciais em madeira, seria necessário ocorrer uma integração de vários especialistas em diversas áreas do conhecimento, incluindo, no mínimo, arquiteto, desenhista industrial, especialista em ergonomia, engenheiro florestal, engenheiros civil, químico e de produção, construtor e fabricante de esquadrias. Porém, o resultado desses projetos não poderia ser padronizado para todo o Brasil em função da variabilidade climática, do meio ambiente e, conseqüentemente, das tipologias arquitetônicas.

A falta de informações, estudos, pesquisas e normas sobre os limites dimensionais das esquadrias relacionados às características funcionais faz com que os profissionais repassem sua responsabilidade de projeto às fábricas de esquadrias. O projeto das esquadrias em madeira carece, ainda, de estudos e normas sobre acessórios e ferragens vinculados à acessibilidade e ergonomia. Os códigos de edificação municipais estabelecem valores mínimos para a dimensão das esquadrias, porém outros aspectos e exigências poderiam ser disponibilizados nas normas, códigos e manuais, tais como a característica funcional de cada esquadria associada aos equipamentos e mobiliário, de cada dependência, e a posição do comando das esquadrias, relacionada à acessibilidade.

## 8.6 Captação de água de chuva

### 8.6.1 Introdução

Apesar de o projeto do Protótipo Casa Alvorada contar com especificações para o sistema de captação e aproveitamento de água da chuva, Mano (2004) realizou, em sua dissertação de mestrado, um dimensionamento independente, baseado na fundamentação fornecida pelo referencial bibliográfico, na direção de uma especificação ideal.

Assim, o dimensionamento do reservatório foi orientado para se obter a máxima cobertura temporal possível, buscando, ao mesmo tempo, minimizar o seu volume, sempre tendo presente que não se pretendia que a água da chuva coletada cobrisse o consumo total da edificação e que ela fosse a única fonte

de suprimento de água para o edifício. Foi realizado um cálculo da otimização do reservatório de modo a subsidiar decisões técnicas, mas com consideração simultânea de aspectos econômicos.

O estudo foi realizado considerando que o uso da água da chuva ocorreria somente para uso no vaso sanitário, por ser o ponto hidráulico que oferece menos risco de utilização potável eventual, além de não envolver questões de legislação e regulação da adequabilidade, como, ainda, por sua expressiva contribuição no consumo total. O vaso sanitário não requer a utilização de água potável, além de representar um elevado consumo. O uso dado à água requer baixo nível de tratamento, dispensando, assim, o rigoroso tratamento que a água fornecida pela rede recebe. Outros pontos como a torneira de jardim e o tanque, por exemplo, foram, também, considerados aptos para ser abastecidos pela água coletada, porém o risco de um usuário utilizá-la para beber foi considerado elevado.

Para o estudo realizado por Mano (2004), foram utilizados os valores de consumo doméstico de água apresentados por UFRGS (1998), por serem representativos do consumo em Porto Alegre, além de se situarem dentro dos patamares apresentados por diversos autores por ele revisados em sua dissertação de mestrado.

### 8.6.2 Definição de demandas

A demanda diária de água é regulada pelo Código de Edificações de Porto Alegre na Lei Complementar nº 284 (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1992), conforme o Quadro 82.

PADRÕES PARA DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE CONSUMO		
OCUPAÇÃO	CONSUMO DIÁRIO	CÁLCULO DA POUPANÇA
Residencial	200 L / pessoa	2 pessoas / dormitório até 12,00 m <sup>2</sup> 3 pessoas / dormitório acima de 12,00 m <sup>2</sup>
Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	50 L / pessoa	1 pessoa a cada 7,00 m <sup>2</sup> de sala
Demais ocupações	Conforme legislação específica	

Quadro 82 - Dimensionamento do reservatório de consumo (baseado em PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1992)

Aplicando o Quadro 82 à edificação e considerando uma população de quatro pessoas e os dados de distribuição de UFRGS (1998), conclui-se que 32% do consumo diário se destina às descargas dos vasos sanitários. Isso implica um consumo para esse fim de um volume de água da chuva de 64 L por pessoa, totalizando 256 L por dia, considerando, com a média de 30,43 dias por mês, um consumo total de 7.790,2 L por mês.

A edificação em estudo, protótipo Casa Alvorada, possui uma área de projeção horizontal de telhado equivalente a 58,2 m<sup>2</sup>, ficando o potencial de captação média da edificação, sem considerar o coeficiente de escoamento, em 6.162,6 L por mês. O período sem chuva, ou período de seca, é considerado no dimensionamento do reservatório. No caso da edificação estudada, que tem o potencial de captação abaixo do consumo total estimado, esse cálculo se presta a uma estimativa de percentual do abastecimento do reservatório de água da chuva, ou seja, o quanto ele cobrirá da demanda em função de seu dimensionamento.

### 8.6.3 Dados pluviométricos de Porto Alegre

Todos os dados de pluviometria utilizados neste trabalho são provenientes da Estação Pluviométrica do Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre, localizada na avenida Icarai, bairro Cristal. Foram medidos em um pluviômetro mecânico, desde o ano de 1991, ininterruptamente, até 2002, estando disponíveis em DEP (2003). A precipitação mensal média para a cidade de Porto Alegre, calculada sobre esses dados, é de 105,9 mm.

A quantidade de dias sem chuva pode ser determinada pelo método apresentado por Kobiyama e Hansen (2002), com a observação de que a sua análise é montada sobre uma série parcial, no papel ou gráfico da distribuição de Gumbel. Para tanto, são contados os eventos de dias consecutivos sem chuva, medidos ao longo de doze anos na estação pluviométrica do

DEP, citada acima. Esses dados foram organizados e apresentados na coluna **DS** do Quadro 83. A coluna **N** traz a quantidade de ocorrências de tais períodos, e a coluna **FA**, o número de frequências absolutas totais. A coluna **T** é o período de retorno de série parcial, calculado a partir da fórmula de Weibull, que é, neste caso, corrigida, sendo dividida pelo número de anos da amostragem. Dessa maneira, a variável reduzida de Gumbel é calculada segundo a equação 1 e representada na coluna **X** do Quadro 83.

$$X = -\ln [-\ln (1 - 1/12T)] \quad (\text{equação 1})$$

Os pontos amostrais não tiveram a tendência de reta no papel de Gumbel, significando que os dias secos não seguem essa lei estatística. Porém, segundo Silveira (2003), isso se torna irrelevante para períodos de retorno curtos, conforme o utilizado por Kobiyama e Hansen (2002), sendo suficiente um ajuste empírico da mesma lei. Para tanto, é realizada a interpolação de uma equação que se ajuste aos pontos amostrais, resultando em um polinômio do segundo grau. É gerada, então, uma estimativa para períodos de retorno entre 1 e 10 anos, usando essa equação não linear da variável de Gumbel **X**, segundo a equação 2. A Figura 326 demonstra tais relações. O coeficiente de determinação que mede o grau de ajuste da função aos dados observados é representado por  $R^2$  e tem seu valor em 0,9941.

$$y = 0,5018x^2 + 1,8145x + 2,9044 \quad (\text{equação 2})$$

DS	N	FA	T	X
1	170	700	0,0835	-1,8798
2	128	530	0,1102	-0,3442
3	95	402	0,1453	0,1601
4	71	307	0,1903	0,5514
5	55	236	0,2475	0,8905
6	36	181	0,3227	1,2084
7	32	149	0,3921	1,4315
8	20	113	0,5170	1,7385
9	19	93	0,6281	1,9496
10	14	74	0,7894	2,1932
11	14	60	0,9736	2,4138
12	14	46	1,2699	2,6901
13	8	32	1,8255	3,0635
14	5	24	2,4340	3,3571
15	3	21	2,7817	3,4928
16	2	16	3,6510	3,7684
17	2	14	4,1726	3,9034
18	2	12	4,8681	4,0590
19	2	10	5,8417	4,2427
20	2	8	7,3021	4,4673
22	2	6	9,7361	4,7565
24	1	5	11,6833	4,9395
27	1	4	14,6042	5,1634
29	1	3	19,4722	5,4518
31	1	2	29,2083	5,8579

Quadro 83 - Análise estatística dos dias secos em Porto Alegre de 1991 a 2002

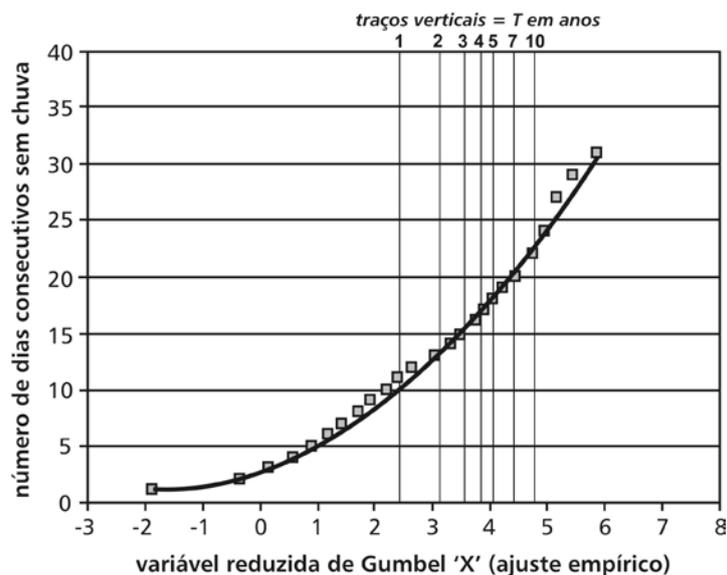


Figura 326 - Quantidade de dias sem chuva na cidade de Porto Alegre, para diferentes períodos de retorno

Os resultados para cálculo do volume do reservatório são assim considerados, segundo os períodos de retorno de 1, 5 e 10 anos, com seus valores de cálculo sendo respectivamente 10,3 dias, 18,7 dias e 23,1 dias.

#### 8.6.4 Cálculo do volume do reservatório

Para os cálculos preliminares de potencial de captação do telhado da edificação, utiliza-se uma média de todas as precipitações anuais, ou dos totais mensais, obtidas em, no mínimo, dez anos, conforme recomendam Kobiyama e Hansen (2002). Em sua pesquisa, Mano (2004) utilizou a média mensal para o cálculo preliminar, pois considerou essa unidade de tempo em todos os demais cálculos.

O potencial de captação do telhado, dado pelo item anterior, deve, então, ser multiplicado pelo coeficiente de escoamento, que, neste caso, fica definido como de 0,85. Utiliza-se esse valor de coeficiente porque, além ser o valor recomendado por Ruskin (2001), se situa exatamente na faixa dos números apresentados por outros autores, ficando também um pouco acima do recomendado por Bernat, Courcier e Sabourin (1993), para telhas de barro no árido brasileiro, que é seco, apresentando maior evaporação.

Tem-se, do estudo experimental, para potencial real de captação do telhado da edificação **o volume de 5.238,2 L por mês**, segundo média aritmética. Preliminarmente, tal volume não supre o total da de-

manda para o mesmo período, aproximando-se de 67,2% de sua provisão, devendo ser completado por água da rede.

O volume ótimo do reservatório é calculado mediante a multiplicação do número de dias consecutivos sem chuva pela demanda total, tendo-se como resultado o volume que o reservatório deve ter para atender à cobertura de 67,2% da demanda do ponto de consumo. Conforme visto anteriormente, tem-se números de dias sem chuva para três períodos de retorno diferentes, que, reduzidos a valores inteiros, ficam definidos em 11 dias para 1 ano de período de retorno, 19 dias para 5 anos e 24 dias para ocorrências com frequência provável de 10 anos.

Multiplicando-se a demanda diária por esses números, tem-se:

- a) 2.816 L, para 1 ano de período de retorno;
- b) 4.864 L, para 5 anos de período de retorno; e
- c) 6.164 L, para 10 anos de período de retorno.

Diante de tais valores, em uma análise mais superficial, seria possível concluir que um reservatório que atenda a secas com período de retorno de, por exemplo, 10 anos estaria superdimensionado, considerando que o potencial de captação mensal da edificação é menor que o volume requerido. No entanto, é importante considerar a distribuição das chuvas, a fim de aproximar-se, ao máximo, do ótimo tamanho para o reservatório. As médias mensais são o produto da divisão do total pluviométrico medido pelo número de meses do período de medição. É um número que uniformiza a distribuição dos volumes pluvio-

métricos no tempo, facilitando a sua relação com os números de cálculo do consumo, que possuem uma distribuição uniforme. No entanto, os acúmulos de volume de chuva geram a possibilidade de extravasamento do reservatório por ocasião das diferenças quantitativas entre entradas e saídas d'água nele.

Dessa maneira, cálculos de balanço hídrico que considerem a distribuição das chuvas podem minimizar erros de dimensionamento do reservatório, fornecendo um panorama mais preciso a respeito de seu comportamento. Os pontos de extravasamento e seu volume, em função do consumo e do tamanho do reservatório, são explicitados em análises desse tipo. Oliveira (2003) apresenta um método para determinação da disponibilidade hídrica de um reservatório (Figura 327), que é chamado pelo autor de balanço hídrico seriado, sendo representado pela equação 3.

$$(S_{t+1}) = S_1 + (P \times A) - (Q) - (Ex), \quad (\text{equação 3})$$

onde:

$S_{t+1}$  = total de água disponível no reservatório no dia considerado, em  $m^3$ ;

$S_1$  = total de água disponível no reservatório no dia anterior, em  $m^3$ ;

$P$  = precipitação acumulada no dia considerado, em mm;

$A$  = área de captação, em  $m^2$ ;

$Q$  = consumo total diário, em  $m^3$ ; e

$Ex$  = água extravasada, em  $m^3$ .

Oliveira (2003) toma um período demonstrativo de 10 dias e aplica a equação acima sobre os dados diários de chuva de Florianópolis, resultando no gráfico da Figura 327. Essa figura apresenta o balanço de um reservatório experimental, de volume reduzido, concebido para fins de pesquisa e dimensionado para atender a uma demanda de 20 L diários, em um período seco de 26 dias, sendo a área de captação de 12 m<sup>2</sup>. Oliveira (2003) objetiva nesse estudo a determinação da relação entre a área de captação e o volume do reservatório, sendo o consumo e o período seco determinados.



Figura 327 - Variação diária do volume do reservatório segundo balanço hídrico seriado (OLIVEIRA, 2003)

Para o estudo realizado, a área de captação deixa de ser uma variável na análise, servindo o balanço hídrico como subsídio a considerações em torno do volume do reservatório em função, principalmente, de seu aspecto econômico. Portanto, uma análise comparativa entre os volumes de reservatórios, que se aproximam o máximo possível dos calculados são apresentados, posteriormente, na análise dos benefícios gerados pelo sistema. Em um apêndice de sua dissertação, Mano (2004) apresenta quadros que contêm partes da planilha utilizada para o cálculo de balanço

hídrico do reservatório de 5.000 L, aplicado ao estudo experimental, sobre dados diários das chuvas de 12 anos, na cidade de Porto Alegre. A partir dessa planilha, desenvolvida em Microsoft Excel, um gráfico ilustrativo do comportamento do reservatório é desenhado e apresentado na íntegra, no mesmo apêndice.

#### 8.6.5 Especificações dos componentes do sistema

Além do reservatório, fazem-se necessários a especificação e o dimensionamento de outros componentes do sistema, que seguirão os padrões de dimensionamento, sendo eles:

- a) seção da calha coletora;
- b) seção do condutor vertical;
- c) volume do sistema de descarte de primeiro fluxo de chuva ou *first-flush diverter*;
- d) seção dos canos de abastecimento;
- e) sistema controlador da entrada de água da rede para o ponto hidráulico do WC; e
- f) base de apoio do reservatório.

#### Seção da calha coletora

Segundo quadro de seu estudo (MANO, 2004, p.87), a calha para a edificação do estudo experimental fica especificada com seção circular de **14 cm** de diâmetro, ou com área da seção de, no mínimo, **80 cm<sup>2</sup>**, utilizando-se inclinação de 0,5% para a calha.

#### Seção do condutor vertical

Macintyre (1996) apresenta três possíveis pa-

râmetros de referência para dimensionamento, tendo sido adotado no estudo aquele que corresponde à maior seção por área de cobertura. A importância de que não haja perdas, para esse caso, é maior do que nos sistemas convencionais de recolhimento d'água. Dessa forma, considerando 1 cm<sup>2</sup> por metro quadrado de área a esgotar, tem-se para o estudo experimental um cano de seção de 4 polegadas, ou **100 mm**.

### Volume do *first-flush diverter*

Aplicando a proporção recomendada por Macomber (2001), foi obtido 0,41 L para cada metro quadrado de telhado. Dessa forma, para esse estudo, ficou estabelecido o volume de **23,78 L**, que, aplicado a um tubo de diâmetro de 100 mm, confere um comprimento de, aproximadamente, **3,03 m**, após a derivação de entrada no reservatório.

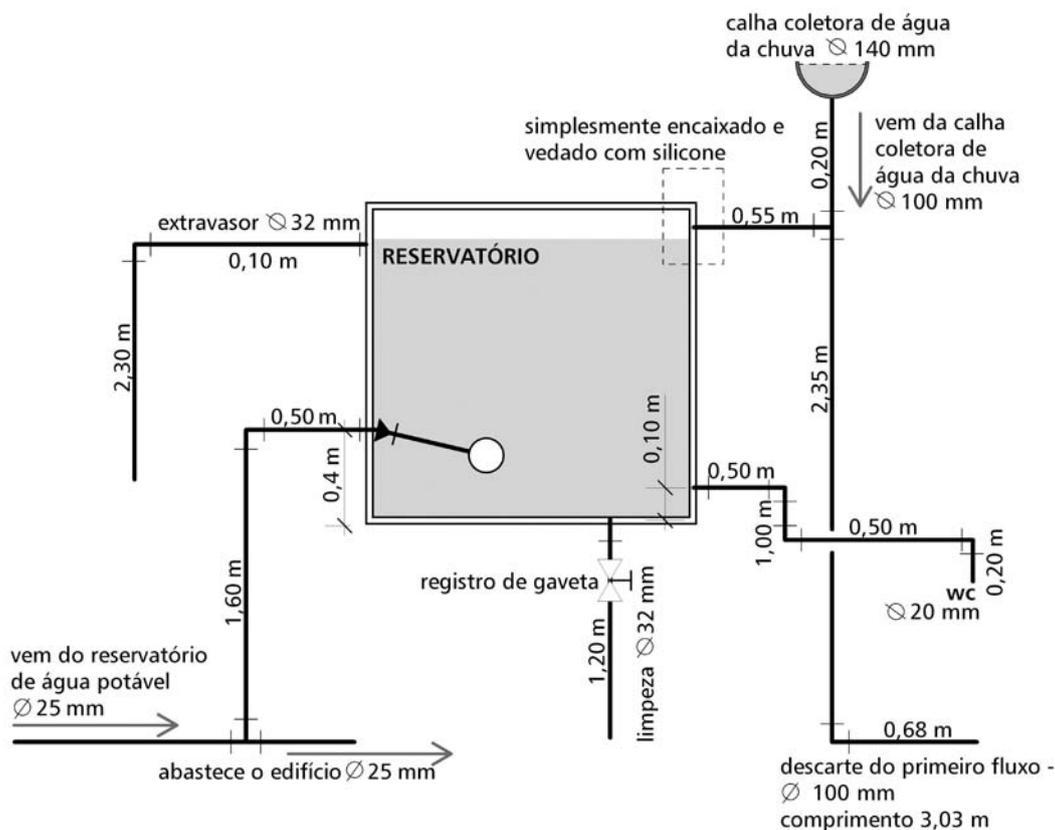


Figura 328 - Esquema das ligações hidráulicas do sistema de captação e aproveitamento de água da chuva

## Seção dos canos de abastecimento

Por abastecer somente o ponto de consumo da caixa de descarga do vaso sanitário, o diâmetro nominal dos canos de distribuição e abastecimento é, desde a saída do reservatório até a conexão com a caixa, de **20 mm**, sendo este também o diâmetro das conexões necessárias para o percurso. Esse dimensionamento baseia-se em Macintyre (1996), que afirma também ser 0,5 m a pressão de trabalho mínima necessária ao abastecimento de caixas de descarga. As seções dos demais canos necessários ao funcionamento do sistema estão expressas no esquema apresentado na Figura 328.

## Sistema controlador da entrada de água da rede, para o ponto hidráulico do WC

O sistema se dá, diferentemente do especificado pelos projetos originais, através de uma ligação entre os reservatórios, convencional e de água da chuva. O fluxo d'água dessa ligação é controlado por uma torneira de bóia, colocada no reservatório de água da chuva na mínima altura possível, devido ao seu funcionamento, conforme a Figura 328, de forma a não permitir o esgotamento do reservatório de chuva com água da rede, deixando-o pronto para receber a água do próximo evento chuvoso. Dessa maneira, unificam-se as tubulações de chegada no ponto de consumo, que vêm apenas do reservatório da chuva, e consegue-se uma automação do sistema, que passa a não depender mais de operação do usuário.

De outra forma, no caso de um eventual descuido ou esquecimento por parte do usuário em fechar o registro controlador, por exemplo, na volta do abaste-

cimento por chuva, o ponto simplesmente continuaria a ser abastecido pela rede, visto que a pressão da rede é maior que a do sistema de chuva, fazendo com que a água da chuva fique contida pela válvula de retenção, que funciona como barreira à passagem de água da rede ao reservatório de água da chuva.

## Base de apoio do reservatório

A função principal desse apoio para o reservatório é elevá-lo até 50 cm acima do ponto de entrada na caixa de descarga acoplada à bacia sanitária, de forma a garantir a pressão suficiente ao perfeito funcionamento, segundo recomendado por Macintyre (1996), mas proporcionando também uma altura abaixo da calha, de maneira a dispensar o bombeamento.

Desse modo, é proposto um reservatório com uma altura de 1,20 m em relação ao piso da residência. Como apoio, o autor sugere uma camada de solo-cimento compactado, na proporção de 1 para 20, de cimento Portland CP IV 32, e solo peneirado do local, com 20 cm de espessura. Sobre essa fundação seriam erguidas duas alvenarias perpendiculares, de tijolo maciço rústico, com acabamento à vista, conforme ilustrado na Figura 329.

## 8.6.6 Análise dos benefícios

A captação de água da chuva pode gerar benefícios de diversas ordens, em diferentes finalidades. No meio urbano, devem ser citados aqueles concernentes à minimização dos problemas causados pela impermeabilização e poluição das cidades. Matéria muito estudada na engenharia de recursos hídricos, a drenagem urbana trabalha com as chu-

'a' e 'b' são dimensões variáveis, de acordo com o reservatório a ser apoiado

base em solo-cimento

alvenarias de tijolos à vista contraventadas

chapas de madeira USB  
formato resultante do ajuste de uma chapa de 2,44 x 1,22 m  
recortes podem ser utilizados para saída dos encanamentos

alvenarias de tijolos à vista contraventadas

base em solo-cimento

solo

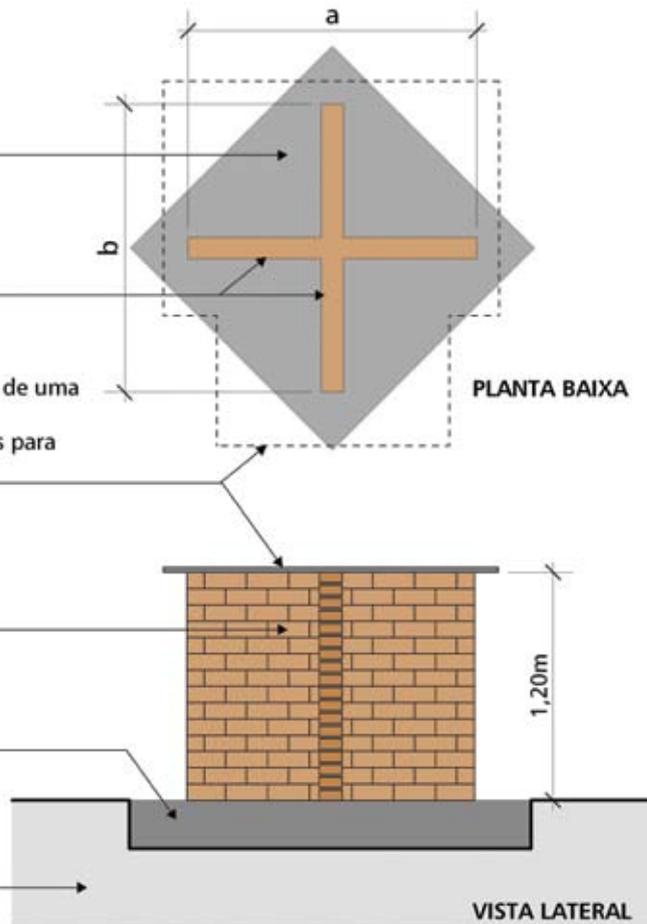


Figura 329 - Esquema básico ilustrativo da base de apoio do reservatório de água da chuva

vas, de maneira a determinar o mais precisamente possível suas variações, a fim de fornecer subsídios para a elaboração e otimização dos projetos de drenagem urbana.

Nesse sentido, bacias de retenção, que são grandes reservatórios de água da chuva, muitas vezes são diagnosticadas pelos especialistas e projetistas como uma das soluções às inundações urbanas. No entanto, essa solução é normalmente apresentada como exclusiva para esse problema, não considerando as múltiplas possibilidades, próprias de soluções sustentáveis, como, por exemplo, a utilização do volume retido para abastecimento.

Da mesma forma, a bibliografia referente à utilização da água da chuva, comumente, não apresenta considerações mais aprofundadas a respeito dos benefícios que a captação da água da chuva pode gerar para a escala urbana, limitando-se os estudos e análises à escala do indivíduo, usuário da edificação. Para tanto, os estudos são direcionados, por exemplo, à análise de dias e à quantidade de chuva para os períodos de seca, a fim de se desenvolverem com maior precisão os cálculos de dimensionamento do reservatório, que recebe atenção também na definição de materiais e sistemas construtivos mais seguros e econômicos. Formas para limpar e tratar a água também são averiguadas, chegando a ser desenvolvidos componentes industriais para o desempenho de tais tarefas. Materiais componentes de telhados, calhas, tubos condutores e bombeamentos também compõem a lista dos aspectos enfocados pelos estudos em torno da utilização humana da água da chuva.

Para diferentes países, têm-se diferentes benefícios com relação à captação de água da chuva, por razões diversas, que podem incluir desde a existência ou não de outra fonte do recurso, até a expressividade da tarifa, ou a qualidade da água fornecida pela rede. Para o cenário local de Porto Alegre, onde a água potável está disponível a quase toda a população, sendo distribuída pela rede pública até a residência das pessoas e a uma tarifa acessível, os benefícios da instalação e utilização da água da chuva são menos diretamente percebidos. Para se aproximar, então, de uma avaliação mais ampla dos benefícios associados à utilização da água da chuva, Mano (2004) os classifica em:

- a) diretos: aqueles percebidos diretamente pelos usuários da edificação que tem o sistema instalado; e
- b) indiretos: aqueles percebidos na escala urbana, contando-se com uma hipótese de larga disseminação do sistema na cidade.

As considerações sobre os benefícios diretos são referenciadas à edificação do estudo experimental, a fim de simplificar o entendimento dos diferentes aspectos que influenciam em sua avaliação, sobretudo para fins de dimensionamento e eficiência. Os indiretos são apresentados de forma mais genérica, sendo relacionados à escala urbana, considerando sua influência tanto nas entradas quanto nas saídas de água no meio urbano, podendo gerar benefícios.

### Benefícios diretos

O aspecto econômico é o benefício mais facilmente percebido pelo usuário/proprietário. Outros

possíveis benefícios também podem ser citados, como o ambiental, que tem uma abrangência muito maior do que os limites da propriedade do indivíduo, mas que depende ainda, para a percepção de seu valor, de fatores mais subjetivos relativos ao grau de informação do usuário e à importância que ele releva à questão ambiental. Esse estudo, sob o ponto de vista do usuário, realiza apenas a análise dos aspectos econômicos associados à implantação de um sistema de captação e utilização de água da chuva em uma residência unifamiliar.

### Área de captação e população do edifício

A primeira verificação a ser realizada é a capacidade total de captação pela edificação. Para o

estudo experimental, esse número resultou em um volume de **5.238,2 L** por mês, o que corresponde a aproximadamente **67,2%** do consumo da bacia sanitária para o período. A relação entre a área de captação do protótipo e a população da edificação, conforme critérios da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (1992), é de **14,54 m<sup>2</sup>** por pessoa. Assim, para se ter uma cobertura de aproximadamente 67,2% do consumo de vasos sanitários, é necessário que se tenham **14,54 m<sup>2</sup>** por pessoa habitante do edifício. A Figura 330 demonstra as relações entre área de cobertura, população e percentual de cobertura para os condicionantes do estudo experimental.

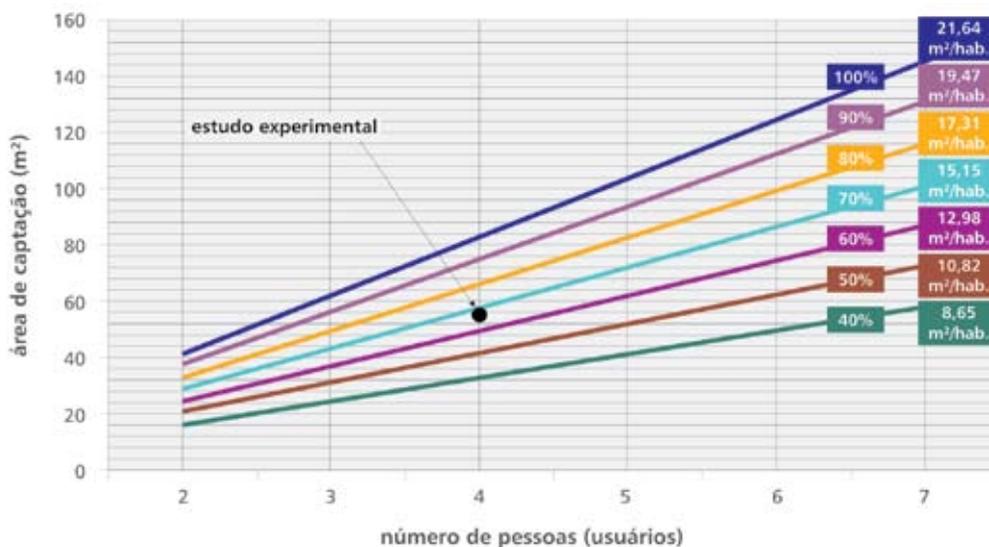


Figura 330 - Gráfico demonstrativo da relação entre área de captação e a população consumidora da edificação, considerando os percentuais de cobertura da demanda

Quanto maior for o percentual de cobertura, tanto mais próximo do máximo benefício estará o edifício, pois mais apto a cobrir a totalidade da demanda ele estará. Os outros percentuais servem a uma comprovação da necessidade de ligação à rede externa e também a uma referência de pré-dimensionamento e viabilidade. No estudo experimental, por exemplo, ao atingir o abastecimento por água da chuva de 67,2% do consumo da descarga do vaso sanitário, garante-se uma eficiência de 100% do sistema, pois esse é o potencial máximo do edifício.

### Especificação dos componentes

Para sistemas que constituem a única fonte de água da edificação, torna-se imperativo o máximo atendimento possível da demanda, a fim de evitar falta no abastecimento. No exemplo das cisternas do sertão nordestino brasileiro, estas normalmente contam com grandes volumes de reserva, sendo comuns números entre 15 m<sup>3</sup> e 30 m<sup>3</sup>. Esses grandes volumes ocorrem, principalmente, porque a cisterna costuma ser o único recurso de água da edificação, mas também por causa das características das chuvas na região, muito sazonais. O benefício mais facilmente percebido, nesse caso, deixa de ser o econômico e passa a ser a própria água, disponibilizada através do sistema. Nesse sentido, o dimensionamento do reservatório fica menos influenciado pelo aspecto econômico, concentrando-se em garantir o máximo possível de abastecimento. A atenção ao aspecto econômico se verifica, principalmente, nos materiais e tecnologias aplicados, que costumam ser locais e de fácil assimilação cultural, de forma a facilitar a autoconstrução, eliminando custos de mão-de-obra e viabilizando o sistema.

Do outro lado, têm-se os sistemas de chuva que atuam complementarmente ao abastecimento da rede urbana, ou de outras fontes, como, por exemplo, os poços de captação de águas subterrâneas, que são comuns em zonas não urbanas. Nesses casos, o dimensionamento do reservatório tende a prestar mais atenção ao aspecto econômico, que toma maior importância nas decisões de proprietários, usuários e/ou empreendedores.

O benefício econômico é caracterizado aqui pela relação entre o custo de implantação do sistema e a economia pela não-necessidade de pagamento da água gerada por ele. Nesse estudo, partiu-se da premissa de que a utilização da água da chuva para 67,2% da demanda do vaso sanitário, ao diminuir o consumo de água potável da rede, que é tarifada pela distribuidora, gera economia em recurso financeiro para o usuário da edificação, existindo, dessa forma, uma amortização do investimento de implantação.

Existem ainda os custos com a manutenção do sistema, que, no entanto, não são abordados nesta pesquisa por força da incipiência de dados a respeito e pela provável pouca representatividade deles, à exceção do serviço de limpeza, principalmente da calha e do reservatório. Além disso, considera-se que esse serviço seja realizado pelo próprio usuário, dispensando gastos com mão-de-obra, uma vez que não são necessários produtos ou ferramentas específicos.

Nesse sentido, é realizado um levantamento dos referidos custos de implantação do sistema, considerando material e mão-de-obra, sendo os materiais orçados segundo valores fornecidos por estabelecimentos comerciais de Porto Alegre, e a mão-de-obra,

segundo profissionais liberais da cidade, ambos apresentados em anexos da dissertação de Mano (2004). Subdivide-se o sistema em grupos de orçamento, com dimensionamento conforme especificado anteriormente, sendo eles:

- a) reservatório;
- b) calha com tela;
- c) encanamentos e conexões; e
- d) base de apoio do reservatório.

#### a) Reservatório

São tomados como referência os três volumes, para períodos de estiagem de 11, 19 e 24 dias, conforme apresentado anteriormente, e relacionados com reservatórios pré-fabricados, em volumes o mais próximo possível dos mesmos, conforme o inventário de componentes do sistema, sendo os dados resultantes apresentados no Quadro 84.

A dependência do percentual de cobertura da demanda pelo tamanho do reservatório ocorre em distribuição temporal, o que significa que todos os reservatórios acima podem suprir a totalidade da demanda por determinado período, o qual varia sensivelmente em duração e frequência, conforme a capacidade. Por exemplo, considerando a utilização de um reservatório com 5.000 L, ocorrerá uma utilização excedente de água da rede com uma frequência provável de cinco anos. Ou seja, durante o período de cinco anos, compreendido entre os eventos de dias consecutivos sem chuva com duração de 19 dias, o reservatório suprirá 100% da capacidade de captação do telhado para o consumo da edificação, que, no caso do estudo, corresponde, conforme já apresentado, a aproximadamente 67,2% do total consumido pelos vasos sanitários. No entanto, ainda podem ocorrer, dentro desses cinco anos, períodos sem chuva, com períodos de retorno maiores de cinco anos.

Volumes calculados (litros)		2.816,00	4.864,00	6.164,00
Dias consecutivos sem chuva		11	19	24
Período de retorno (anos)		1	5	10
Fibra de vidro	volume (litros)	2.000,00	5.000,00	7.000,00
Polietileno	volume (litros)	2.500,00	5.500,00	10.000,00
Concreto	volume (litros)	2.900,00	4.900,00	6.200,00
Fibrocimento	volume <sup>56</sup> (litros)	3 x 1.000	5 x 1.000	6 x 1.000

Quadro 84 - Comparativo das possibilidades para reservatórios da edificação do estudo experimental

<sup>56</sup> Volumes resultantes da ligação de 3, 5 e 6 reservatórios de 1.000 litros. Esquema das ligações conforme a Figura 332.

Além disso, os períodos sem chuva menores que 19 dias também podem esvaziar o reservatório, dependendo do volume d'água disponível nele, no início de tais períodos sem chuva. Nesse sentido, uma avaliação do comportamento do reservatório, conforme apresentado anteriormente, é muito importante, uma vez que denuncia os pontos de fragilidade do sistema, tanto em períodos de seca, como de excesso de chuva, quando ocorrem extravasamentos, desperdiçando água.

Um estudo sobre o balanço hídrico de reservatórios para a edificação do estudo foi realizado para os volumes de 2.000, 2.500, 2.900, 3.000, 4.900, 5.000, 6.200, 7.000 e 10.000 L. A partir daí, foram calculadas médias mensais de abastecimento pela rede e pela chuva. Esses volumes correspondem aos tamanhos dos reservatórios sugeridos pelo inventário de componentes do sistema, que mais se aproximam dos volumes de cálculo, apresentados anteriormente. O referido estudo é desenvolvido sobre uma planilha que relaciona dados pluviométricos diários de 12 anos, área de captação, volume do reservatório e consumo diário para a caixa de descarga do vaso sanitário. Seu resultado é ilustrado por um gráfico, constante no apêndice A de Mano (2004), que o apresenta apenas para o volume de 5.000 L. As médias aritméticas do consumo, da rede e da chuva, são consideradas sobre todo o período medido, bem como os volumes extravasados, para os reservatórios, com diferenças volumétricas mais relevantes, entre os citados acima, sendo apresentados, no Quadro 85, apenas alguns mais significativos.

O volume do reservatório efetivamente pode ser qualquer um dos apresentados acima e mesmo outros. A diferença na especificação de um ou outro volume, nesse caso, fica por conta do benefício gerado, que é percebido diferentemente por cada usuário, conforme seu juízo de valor em torno, principalmente, dos aspectos ambiental e econômico. Os volumes apresentados acima representam algumas possibilidades prováveis para o ótimo dimensionamento do reservatório e servem como subsídio para considerações em torno dos benefícios da aplicação do sistema, realizadas a seguir.

#### b) Calha com tela

Alguns elementos, como a louça sanitária e a caixa de descarga acoplada, não são considerados integrantes do sistema de aproveitamento da água da chuva, não sendo, por isso, computados nos cálculos de custo do sistema, ao contrário de outros, claramente exclusivos do sistema, como, por exemplo, o reservatório para água da chuva. Com respeito à calha e tela, essa classificação se torna não tão evidente, pois sua aplicação acontece também em edificações sem o sistema de aproveitamento de água da chuva.

Dessa maneira, a calha pode, ou não, ser considerada como elemento componente do sistema para os cálculos de custo, bem como a tela de proteção, apesar de esta última ser menos comum em calhas que descartam a água captada.

Foi estabelecido no estudo que tanto a calha como a tela constituem componentes do sistema, por isso incluídas no cálculo de custo do sistema. A ca-

		Consumo médio mensal rede	Consumo médio mensal chuva	Extravasamento médio mensal
2.000 litros	volume (litros)	3.260,1	4.530,2	708,1
	percentual do consumo	41,8%	58,2%	(5.238,3-4.530,2)
3.000 litros	volume (litros)	2.961,3	4.828,9	409,4
	percentual do consumo	38,0%	62,0%	(5.238,3-4.828,9)
5.000 litros	volume (litros)	2.706,9	5.083,3	155,0
	percentual do consumo	34,7%	65,3%	(5.238,3-5083,3)
7.000 litros	volume (litros)	2.612,7	5.177,5	60,8
	percentual do consumo	33,5%	66,5%	(5.238,3-5.177,5)
10.000 litros	volume (litros)	2.563,1	5.227,2	11,1
	percentual do consumo	32,9%	67,1%	(5.238,3-5.227,2)

Quadro 85 - Médias mensais da distribuição do consumo de água no vaso sanitário e médias de extravasamento, para diferentes volumes de reservação

lha, com a tela, é orçada conforme dimensionamento apresentado anteriormente e tem seus fornecedores e preços disponíveis no anexo B da dissertação de Mano (2004).

### c) Encanamentos e conexões

As tubulações obedecem aos percursos descritos no estereograma da Figura 331, genérica a todos os reservatórios, à exceção dos de fibrocimento.

Os reservatórios de fibrocimento compõem seus volumes, de 2.000, 3.000, 5.000 e 6.000 L, através da combinação aditiva de reservatórios de 1.000

L, que é o de maior volume disponível no mercado. As ligações ocorrem por meio de tubulações de PVC, de diâmetro de 40 mm, fixadas e vedadas com adaptadores com flange, na mesma bitola. O esquema da Figura 332 ilustra uma ligação entre os reservatórios de fibrocimento.

O PVC, apesar de não ser recomendável sob o ponto de vista ambiental, ainda constitui, segundo Mano (2004), o material economicamente mais barato, sendo assim tomado como referência em sua pesquisa para todas as tubulações do sistema de utilização de água da chuva.

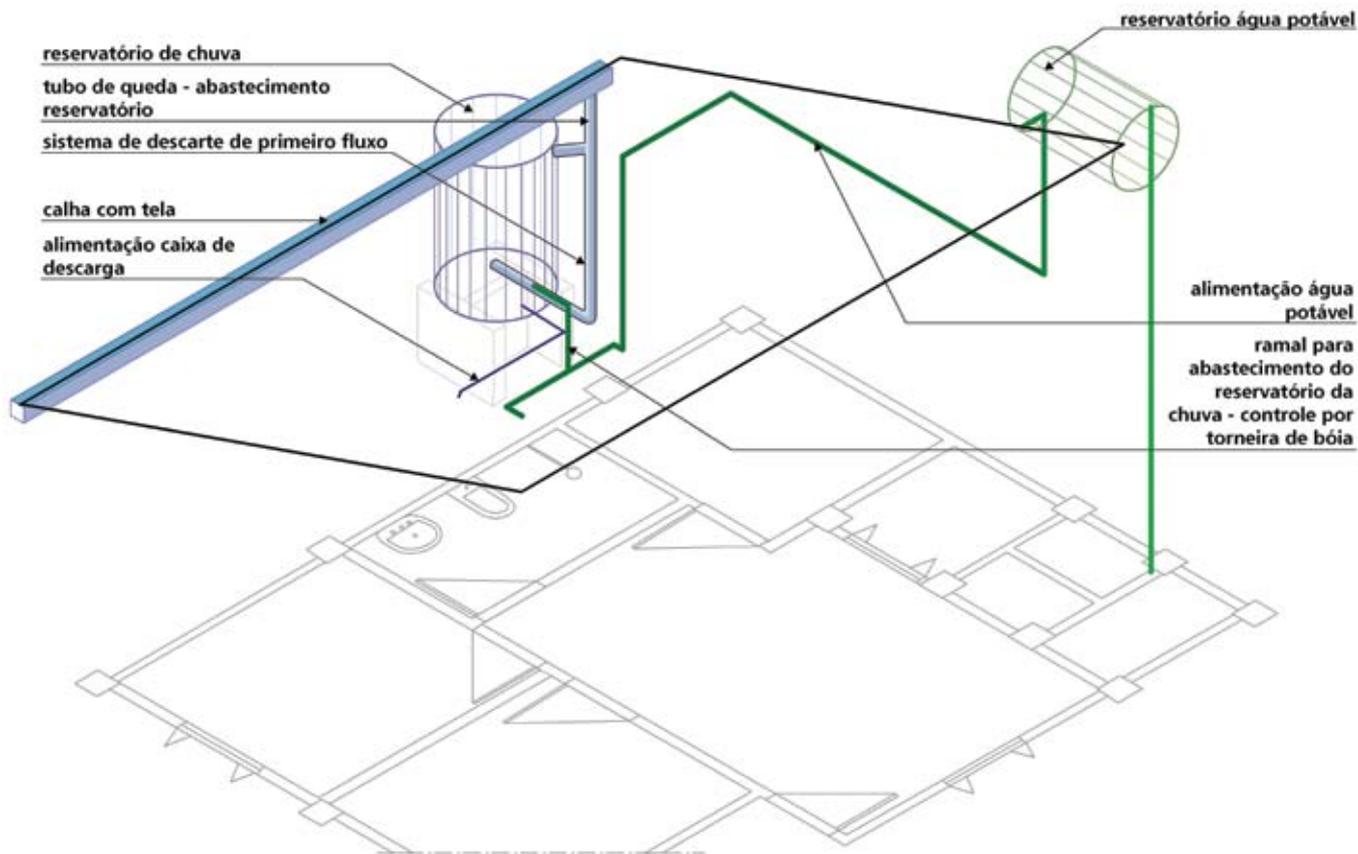


Figura 331 - Estereograma ilustrativo dos percursos dos encanamentos do sistema de captação e aproveitamento de água da chuva para o protótipo Casa Alvorada

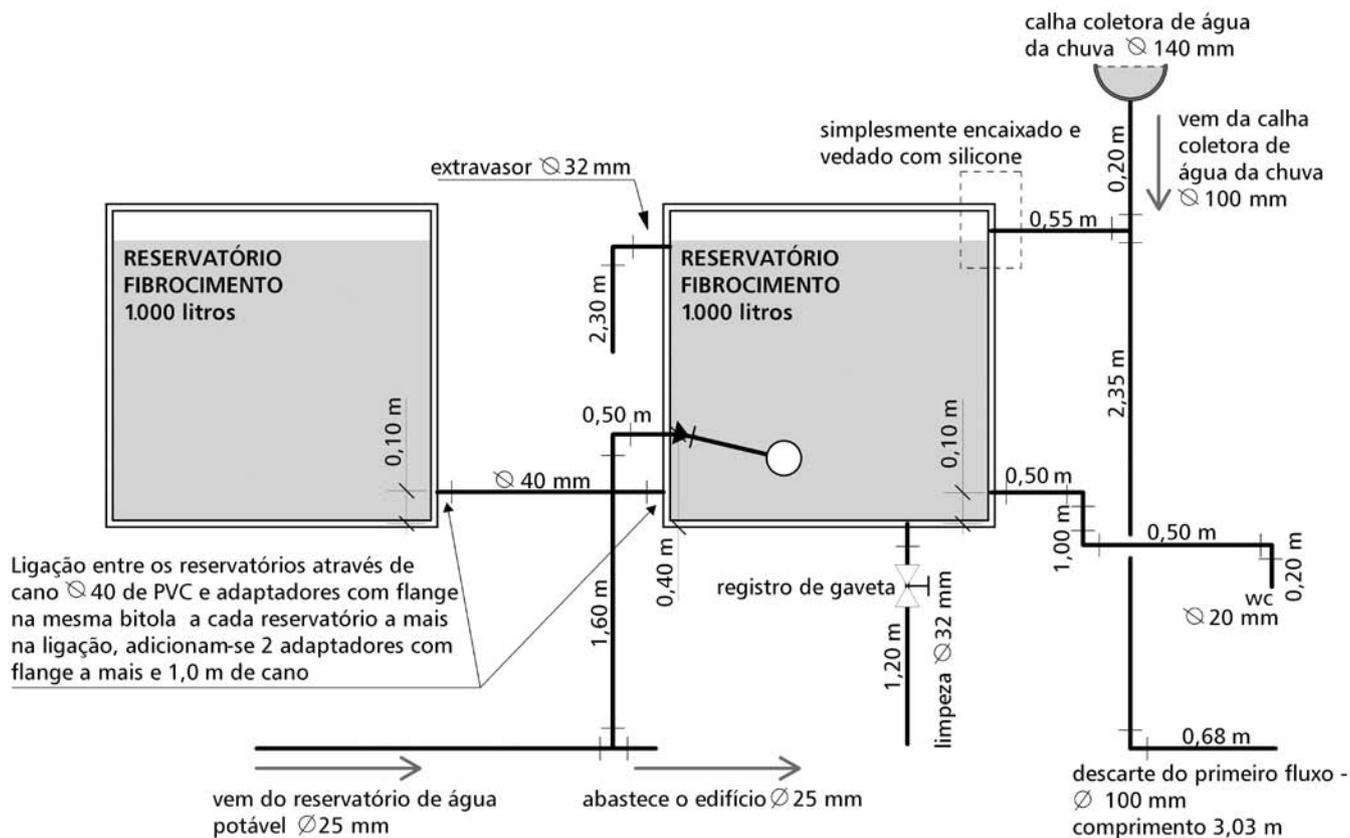


Figura 332 - Esquema das instalações hidráulicas, para um conjunto de dois reservatórios de 1.000 litros, em fibrocimento

As alterações que as diferentes dimensões dos reservatórios geram nas tubulações são desprezadas pelo estudo, pois não afetam conexões, as quais têm maior expressividade em termos de custo, ficando assim reduzidas ao comprimento de alguns canos. Por sua vez, os canos estão disponíveis, nos estabelecimentos comerciais, em tamanho mínimo de 1 m, fazendo com que as quebras geradas absorvam as diferenças de comprimento ocasionadas pelos diferentes tamanhos dos reservatórios.

#### d) Base de apoio do reservatório

As variações na base de apoio em função das dimensões do reservatório acontecem no plano horizontal. As alterações no plano vertical, que dizem respeito às alturas, ficam por conta apenas dos reservatórios acima de 2.500 L, que têm alturas que vão de 1,75 m até aproximadamente 2,00 m, havendo uma diminuição na pressão, de 0,50 m de coluna d'água, entre o reservatório e a entrada da caixa de descarga. Os reservatórios de mais de 5.000 L, considerando a possibilidade de sua efetiva aplicação no protótipo Casa Alvorada, devem ficar apoiados em alturas compatíveis com a entrada da água, proveniente da calha, e conseqüentemente receber auxílio de bombeamento para o abastecimento da caixa de descarga.

Para esta pesquisa, calcularam-se os custos de implantação desses reservatórios sem considerar tal limitação. Os resultados desses cálculos, específicos aos reservatórios de 7.000 e 10.000 L, são apresentados a fim de auxiliar na comparação com outros volumes, principalmente em torno do comportamento dos reservatórios, em função da distribuição das chu-

vas, e suas relações de aproveitamento e custo, bem como para subsídio de considerações a respeito dos benefícios à drenagem urbana.

Para os demais reservatórios, conforme colocado anteriormente, os cálculos afetam a base em suas dimensões horizontais, segundo composições de orçamento apresentado no apêndice B de Mano (2004).

As chapas de madeira são necessárias para apoio dos reservatórios plásticos e de fibra de vidro, sendo, por causa de suas dimensões, necessária uma adaptação através de encaixe especial de corte, conforme apresentado na Figura 332, sendo considerada adequada a todos os reservatórios.

Os traços de argamassa de assentamento das alvenarias, bem como do solo-cimento, são considerados os mesmos para todos os reservatórios, independentemente do material ou volume dele.

Mano (2004), em sua pesquisa, realiza apenas uma estimativa de dimensionamento e especificação dos elementos estruturais da base de apoio, recomendando, para obter valores mais adequados a cada situação, a realização de cálculos estruturais e a verificação das especificações aqui apresentadas.

#### Custo e economia gerada

A partir dos resultados dos orçamentos descritos nos itens anteriores, de Mano (2004), o autor realizou uma tabulação dos custos relacionados à implantação do sistema, para os diferentes reservatórios, considerando as variações que eles geram no restante das instalações. O Quadro 86 apresenta esses dados e os relaciona com o tempo médio de

retorno do investimento, calculado pela diminuição dos valores gastos na conta de água.

Para tanto, são calculados os volumes mensais de água da chuva consumidos e multiplicados pelo preço da água ao consumidor fornecido pelo DMAE (2003), estabelecido de acordo com três faixas de consumo, conforme fórmulas de cálculo a seguir:

- a) 1ª faixa - consumos até 20 m<sup>3</sup>: [PB x (C/E)];
- b) 2ª faixa - consumos entre 20 e 1.000 m<sup>3</sup>: PB [0,2711 X (C/E)<sup>1,43577</sup>]; e
- c) 3ª faixa - consumos maiores que 1.000 m<sup>3</sup>: {PB X [(C/E) X 5,5]}.

onde:

PB = preço básico (R\$/1 m<sup>3</sup>);

C = consumo (m<sup>3</sup>); e

E = (número de economias).

O preço básico, também segundo o DMAE (2003), é de R\$ 1,3917/m<sup>3</sup> para consumidores residenciais, R\$ 1,5748/m<sup>3</sup> para comércio e indústria, e R\$ 2,7834/m<sup>3</sup> para órgãos públicos. Existe ainda a chamada tarifa social para os serviços de água e esgoto, para pequenos consumidores com volumes consumidos de até 10 m<sup>3</sup>, que é de R\$ 5,5668 mensais para água, e de R\$ 4,4534, para esgoto.

O tempo de retorno não considera o custo financeiro do valor aplicado, ou seja, despreza projeções de juros nos tempos calculados, constantes na última coluna do Quadro 86, de retorno do investimento.

Não é objeto desse estudo uma apuração real do retorno financeiro gerado pela aplicação do sis-

tema, mas sim uma aproximação, com o objetivo de ilustrar o potencial do sistema e subsidiar comentários a respeito das possibilidades e benefícios gerados por sua implantação.

### Benefícios indiretos

Além dos benefícios apresentados pelo item anterior, concernentes ao consumo de água na edificação, existem outros que se referem à escala urbana. Sob o ponto de vista da drenagem urbana, a reservação residencial de água da chuva, ou a pequena reservação, consiste em uma medida estrutural para mitigação de problemas de inundação que trabalha com a minimização do pico das cheias, diminuindo os efeitos da urbanização no hidrograma da bacia natural. Nesse caso, a reservação é feita durante os períodos de maior intensidade pluviométrica e se descarta posteriormente a água reservada, distribuindo o volume de escoamento superficial por um período maior. São Paulo (1979) coloca que, dependendo do período envolvido, o armazenamento pode ser de detenção ou de retenção do deflúvio direto. A detenção é caracterizada por um armazenamento que se estende por um período um pouco maior do que o tempo do próprio deflúvio direto, ao passo que na retenção esse período é consideravelmente maior, gerando invariavelmente maiores volumes de reservação, o que contribui para que o primeiro tipo seja mais comumente utilizado para a drenagem urbana.

Em uma primeira análise, o simples descarte da água, no entanto, pode parecer desperdício, visto seu grande potencial de utilização. Porém, sob o ponto de vista da drenagem urbana, é necessário que

RESERVATÓRIO							Volume d'água economizado médio mensal	Economia média mensal em conta d'água		Retorno		
volume (litros)	Valor					CUB		m³	R\$		CUB	anos
	mão-de-obra**	material	instalação***	total								
	R\$	R\$	R\$	R\$	CUB							
fibra de vidro	2.000,0	100,0	397,2	580,39	1.077,58	1,49	4,5302	6,30	0,0087	14,2		
	5.000,0	120,0	751,0	696,88	1.567,88	2,16	5,0833	7,07	0,0098	18,5		
	7.000,0	125,0	973,0	755,08	1.853,08	2,55	5,1775	7,21	0,0099	21,4		
	10.000,0	130,0	1.474,0	755,08	2.359,08	3,25	5,2272	7,27	0,0100	27,0		
Poli-etileno	2.500,0	100,0	846,6	582,56	1.529,14	2,11	4,7120	6,56	0,0090	19,4		
	5.500,0	120,0	1.593,4	702,42	2.415,77	3,33	5,1150	7,12	0,0098	28,3		
	10.000,0	130,0	2.200,0	818,15	3.148,15	4,34	5,2272	7,27	0,0100	36,1		
Fibro-cimento*	2.000,0	110,0	240,6	905,07	1.255,63	1,73	4,5302	6,30	0,0087	16,6		
	3.000,0	130,0	360,8	1.290,49	1.781,33	2,46	4,8289	6,72	0,0093	22,1		
	5.000,0	150,0	601,4	1.941,27	2.692,67	3,71	5,0833	7,07	0,0098	31,7		
	6.000,0	170,0	721,7	2.150,74	3.042,42	4,19	5,1418	7,16	0,0099	35,4		
concreto	2.900,0	380,0	808,5	372,41	1.560,87	2,15	4,8108	6,70	0,0092	19,4		
	4.900,0	550,0	1.151,3	483,53	2.184,88	3,01	5,0763	7,06	0,0097	25,8		
	6.200,0	620,0	1.328,3	539,21	2.487,54	3,43	5,1515	7,17	0,0099	28,9		
R\$ 725,46		R\$ 1,39										
CUB/outubro 2003		Custo água/m³										

\* volumes resultantes da ligação de reservatórios de 1.000 litros

\*\* relativa às instalações hidráulicas (tubulações e conexões) e, no caso dos reservatórios de concreto, à construção destes

\*\*\* relativo ao material de todas as instalações necessárias e também à mão-de-obra para a base de apoio dos reservatórios

Quadro 86 - Totalização do custo do sistema considerando diferentes possibilidades de reservatórios e amortização dele pela economia em conta d'água gerada

o reservatório esteja sempre vazio, ou tenha capacidade plena para reservar ou deter a água, estando permanentemente habilitado para o próximo evento chuvoso. Quando a intenção é que não falte água no

reservatório para o abastecimento do usuário, o risco de extravasamento durante as chuvas torna-se maior, pois é normalmente dimensionado para atender apenas à demanda de consumo de água, inabilitando-o

para a função auxiliar no controle de inundações urbanas. Ou seja, enquanto para o usuário a preocupação é o período sem chuva, para o urbano, é exatamente o contrário, atentando para os picos das chuvas. Dessa forma, os cálculos de dimensionamento do reservatório de ambos, como são realizados na maioria dos casos, buscam metas quase opostas.

Porém, é possível realizar o dimensionamento do reservatório a fim de torná-lo apto a atender a ambas as funções, de reservação, para uso residencial, e de retenção dos picos de chuva, contribuindo para a mitigação das inundações urbanas. Um gráfico de análise do comportamento do reservatório, por exemplo, de Mano (2004), que demonstre todos os pontos de extravasamento do reservatório, em um período determinado, pode fornecer os subsídios necessários ao cálculo do volume final de um reservatório que atenda ao urbano e ao individual simultaneamente. No caso da edificação do estudo experimental, o reservatório de 10.000 L apresenta um volume e uma frequência de extravasamento bastante pequenos, retendo quase o total da água captada pelo telhado no período, retirando essa água do sistema de drenagem urbana.

Maneiras de promover uma aproximação dessas duas potencialidades, do sistema de captação e aproveitamento de água da chuva, têm sido experimentadas em alguns locais. Segundo Tomaz (2001), na cidade alemã de Hamburgo, por exemplo, a utilização de água da chuva em bacias sanitárias é incentivada, também em função do seu benefício para a diminuição do pico das vazões de enchentes. A prefeitura da cidade oferece uma ajuda financeira de U\$ 1.500,00 a U\$ 2.000,00 àqueles que instalarem um sistema de aproveitamento da água da chuva.

Incentivos como esse se baseiam em uma lógica de economia para ambos os lados. Enquanto o usuário ganha com a diminuição dos custos de implantação do sistema, a municipalidade se beneficia com a minimização dos investimentos em drenagem urbana. Resumidamente, tem-se, de um lado, o problema urbano com relação à drenagem, que recomenda e, em alguns casos, exige a construção de reservatórios de detenção das águas das chuvas, e de outro, o custo, ao usuário, apresentado pelos sistemas eficientes de aproveitamento dessa água.

Imaginando-se então, para fins de uma estimativa preliminar, um percentual de terreno ocupado pela edificação de 66,6%, o acréscimo de vazão no sistema de drenagem urbano, em função dos telhados, seria maior que a simulada por Tassi (2002). A consequência dimensional desse acréscimo nas redes de micro e macrodrenagem e, principalmente, sua tradução econômica também são apontadas por Tassi (2002), que afirma ser possível reduzir o custo de implantação das redes de drenagem na bacia. A economia percentual com relação exclusivamente à implantação das redes de drenagem, segundo a autora, pode chegar a 33%, considerando-se a meta de obtenção de uma vazão de saída do lote igual à de pré-urbanização, e a 14%, considerando-a com um valor cinco vezes maior ao da vazão do terreno virgem.

Contudo, a autora completa afirmando que, embora seja possível economizar com a implantação das redes de drenagem, o custo global das obras na bacia (redes de drenagem mais microrreservatórios) fica em geral maior, chegando a 21% de elevação, dependendo das características dos microrreserva-

tórios utilizados, se comparado aos custos de construção de uma rede de drenagem dimensionada para as vazões geradas na bacia urbanizada sem controle. Porém, é importante observar que a autora realiza um levantamento de custo do sistema de detenção considerando reservatórios de concreto armado e de alvenaria com fundo e tampa em concreto armado. Essas tecnologias não apresentam bom desempenho em custo, se comparadas a reservatórios em outros materiais, como fibra de vidro e fibrocimento, conforme visto anteriormente. Além disso, a própria autora adverte que, como estruturas de controle não são comumente exigidas na bacia, os processos decorrentes da urbanização deverão ser seguidos de obras de ampliação das redes de drenagem.

Outro aspecto importante econômico é o tempo. Como a urbanização da bacia não acontece de forma pontual, os custos de implantação de microrreservatórios ficariam também distribuídos conforme a necessidade, ao contrário das obras de drenagem. E existem ainda casos em que não é possível ou então é muito onerosa uma construção ou ampliação de redes de drenagem, quando, por exemplo, não existe espaço físico disponível para tal, ou há interferência com outras redes de infra-estrutura, como eletricidade, telefonia, esgoto cloacal, etc.

Imaginando-se uma economia percentual, conforme sugerida por Tassi (2002), de 33%, apenas nos investimentos em novas obras, que se referem principalmente ao crescimento e ao adensamento da cidade, que aumenta a área impermeável e o nível de impermeabilidade, o total de recursos economizados em Porto Alegre no ano de 2002 seria de U\$ 553.673,00.

Especulando-se a possibilidade do estabelecimento de um auxílio advindo da municipalidade de U\$ 600,00, por exemplo, para a implantação de um sistema com volume suficiente para garantir ambos os benefícios, 922 mil lotes poderiam receber o incentivo.

Aplicando-se a possibilidade de benefício para a edificação do estudo experimental, na qual o volume de 10.000 L provavelmente confira um bom desempenho para a função de retenção dos picos de vazão, e se aproxima muito de 100% de desempenho para atender à demanda de água na caixa de descarga, tem-se que:

- a) o custo do sistema seria de U\$ 803,20, considerando um reservatório de fibra de vidro;
- b) o investimento do usuário seria de U\$ 203,20; e
- c) em 6 anos e 9 meses, não considerando custos financeiros, o usuário teria o retorno do investimento – após esse prazo, continuaria a obter ganhos com a economia em água gerada.

### 8.6.7 Considerações finais

Mesmo considerando a magnitude do consumo de água no vaso sanitário no consumo total de uma residência, a economia média mensal com água ficaria entre R\$ 6,30 e R\$ 7,27, reduzindo-se 67,1% do consumo no vaso sanitário, ou 21,5% do consumo total da edificação. Isso permite concluir que, mesmo aumentando a área de captação, conseguindo uma economia de 32%, correspondente ao total para o vaso sanitário, o tempo de retorno do investimento ainda não chegaria a patamares atraentes ao usuário

urbano médio. Além disso, na hipótese, por exemplo, de se estender a aplicação da água da chuva a outros pontos como a torneira de jardim e o tanque, o que corresponderia a aproximadamente 50% do consumo total do edifício, a economia mensal ficaria em torno dos R\$ 15,00, proporcionando um retorno estimado não inferior a seis anos e meio, **para a edificação do estudo experimental**. Ou seja, apesar de serem importantes aqueles dados relativos à proporção entre área de captação e população, ao consumo ou números de pontos atendidos, e até mesmo ao dimensionamento do reservatório, o benefício econômico do sistema, sob o ponto de vista do usuário, possivelmente continuará sendo minimizado, ou mesmo eliminado, pelo baixo custo da água em Porto Alegre.

Paralelamente se observa o problema das inundações urbanas, onde os reservatórios de detenção são uma das soluções bastante utilizadas para a mitigação delas. No entanto, tais reservatórios têm sido estudados, desenvolvidos e executados a partir do ponto de vista exclusivo da drenagem urbana, que, na bibliografia examinada, não considera mais profundamente a possibilidade de reserva da água detida, para utilização posterior. A pesquisa identificou, nesse sentido, um grande potencial do sistema de captação e utilização de água da chuva como auxiliar na drenagem urbana.

Dados demonstram os significativos gastos públicos com o sistema de drenagem na cidade de Porto Alegre, o que levanta a possibilidade de economia para os cofres públicos, mediante o incentivo

à construção de sistemas para captação e utilização de água da chuva. Para novas obras de infra-estrutura, na maioria decorrentes do avanço da urbanização e do aumento das áreas impermeáveis, poder-se-ia conseguir uma redução significativa dos investimentos, através da implantação de sistemas de captação e utilização de água da chuva de forma abrangente.

A economia resultante da redução de novas obras, tomando por base o ano de 2002 e calculada a partir de dados de Tassi (2002), reforça fortemente o potencial da implantação de um incentivo público à construção de sistemas de utilização da água da chuva. Esse incentivo pode gerar economia para a municipalidade e, ao mesmo tempo, maximizar o benefício direto, diminuindo sensivelmente o tempo de retorno do investimento do usuário, por sua vez significativamente menor. Um levantamento mais apurado, nesse sentido, em torno da possível economia gerada aos cofres do município, poderia determinar um valor preciso para o incentivo ou bônus, em função, por exemplo, do percentual de retenção de chuva que o sistema confere, possibilitando uma solução simples e plural.

Essa abordagem, além de ser potencialmente mais passível de sucesso, pois confere ganhos para os âmbitos público e privado, aproxima-se mais da filosofia sustentável, considerando múltiplas soluções e gerando possibilidades educacionais e sociais, e o que mais puder ser imaginado de uma hipótese genérica de aplicação de sistemas de captação e utilização de água da chuva no meio urbano.