

**Akemi Ino** é engenheira civil pela Universidade de São Paulo (1979), mestre em Arquitetura (1984) na área de Gestão e Tecnologia para Habitação Social e doutora (1992) também pela USP. Professora da USP desde 1986, nas áreas de Gestão e Tecnologia para Habitação Social, Habitação em Madeira, Planejamento e Projetos da Edificação, Processos Construtivos, Assentamento Rural e Componentes da Construção. Pesquisador-bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.  
E-mail: [inoakemi@sc.usp.br](mailto:inoakemi@sc.usp.br)

**Ioshiaqui Shimbo** é engenheiro elétrico (1975) e mestre (1985) em engenharia civil pela USP. Doutor em Educação (1992) pela UNICAMP. Professor da UFSCar desde 1980, coordenando o Núcleo de Extensão UFSCar-Município. Atua em diversas áreas, tais como: Políticas, Programas e Gestão de Habitação Social, Planejamento, Projetos e Tecnologias para Habitação Social, Cooperativas Populares, Técnicas de Planejamento e Projetos Urbanos e Regionais e Assentamento Rural.  
E-mail: [shimbo@power.ufscar.br](mailto:shimbo@power.ufscar.br)

**Alexandre Jorge Duarte de Souza** é engenheiro de Produção Mecânica (1996) e mestre (2002) pela Universidade de São Paulo - USP. Atua nas áreas de Análise de Custos, Planejamento de Instalações Industriais e Desenvolvimento de Produto.  
E-mail: [ajsouza@hotmail.com](mailto:ajsouza@hotmail.com)

# 13.

## Otimização do processo de fabricação de esquadrias de madeira no centro produtor da região Sul e desenvolvimento de janelas de baixo custo para habitação social

Akemi Ino, Ioshiaqui Shimbo e Alexandre Jorge Duarte de Souza

### Resumo

A madeira tem sido cada vez menos utilizada para fabricação de esquadrias, em especial de janelas, perdendo a sua competitividade no mercado para outros materiais, ao contrário de algumas décadas atrás, quando a presença de janelas de madeira nas casas populares era comum. Entretanto, no contexto atual, existe uma tendência de se priorizar o uso de recursos renováveis e de materiais com baixo consumo energético na produção, e a madeira é um dos materiais que atendem a essas exigências. Assim, existem oportunidades de utilizá-la para atender às demandas de componentes para habitação social, principalmente em regiões com disponibilidade de florestas plantadas, e, ao mesmo tempo, criar mais uma alternativa para geração de trabalho e renda.

A presente pesquisa teve como objetivo estudar processos existentes de fabricação de esquadrias de madeira, nas várias etapas da cadeia de produção, desde a caracterização do setor florestal e madeireiro até o projeto do produto. Foram desenvolvidos dois protótipos (I e II), que incorporam aspectos inovadores em relação a: a) material utilizado (madeira de florestas plantadas ainda não utilizada pelo segmento); b) processos de beneficiamento e fabricação (otimização dos processos de usinagem em relação

ao uso de máquinas e ferramentas, estudos de secagem e tratamento preservativo da madeira); e c) *design* (estudo de dimensões quanto a ergonomia e atendimento às normas, redesenho do componente e assimilação de aspectos de custo e desempenho voltados à habitação, em particular à habitação social).

Para o desenvolvimento da pesquisa foram realizadas parcerias com a Pormade Portas de Madeira Decorativas Ltda., um dos fabricantes de grande porte do setor, localizada em União da Vitória (PR), portanto no centro produtor da região Sul, com o objetivo de compreender as várias etapas da cadeia produtiva de fabricação de janelas, e a Madeporto Comércio de Madeiras Ltda., situada em Porto Ferreira (SP), para avaliar a viabilidade de fabricação de janelas em pequenas empresas.

Com a estratégia geral implementada no projeto, procurou-se articular pesquisadores de diversas universidades e o setor produtivo (fabricantes de janelas de madeira), realizando-se estudos simultaneamente à experimentação dos dois protótipos de janelas junto às empresas parceiras e capacitação de pessoal técnico e científico no setor.

Os resultados da pesquisa referem-se (a) à disponibilidade florestal na região (estados de Santa Catarina e Paraná); (b) aos requisitos de desempenho das janelas para habitação social; (c) aos critérios para escolha da espécie de madeira; (d) à proposta de *layout* de serraria para desdobro de eucalipto; (e) aos estudos de usinabilidade de três espécies (pinho araucária, pinus e eucalipto); (f) ao processo alternativo de tratamento preservativo; (g) aos patamares de preços das janelas do mercado; (h) ao projeto e à produção de dois desenhos de janelas (Protótipo I e Protótipo II); e (i) a comparações de custo dos Protótipos I e II.

## Disponibilidade local e regional de pinus e eucalipto

424

O levantamento para verificar a existência de reservas florestais de pinus e eucalipto no Paraná e em Santa Catarina foi realizado mediante consulta direta junto às indústrias desses estados ligadas ao setor madeireiro. Além disso, procurou-se também obter um mapeamento das áreas ocupadas com vegetação nas regiões mencionadas a partir de dados radiométricos e imagens de satélite, que possibilitaram verificar e qualificar os dados obtidos sobre as florestas identificadas.

A partir da análise de dados obtidos de várias fontes, verificou-se que ainda

existe uma grande área recoberta por vegetação nas regiões abordadas nos estados de Paraná e Santa Catarina, porém, pelos levantamentos obtidos, não é possível distinguir as áreas ocupadas por vegetação nativa das áreas de florestas plantadas.

A Figura 1 mostra o mapa da região de estudo com manchas florestais sobrepostas por mapa transparente com divisão geopolítica dos estados, rios, estradas e municípios. As áreas assinaladas na Figura 1 foram identificadas pelos catálogos das Federações da Indústria do Paraná e de Santa Catarina, indicando áreas com maior disponibilidade florestal ou de potencialidade para aquisição de madeira de florestas plantadas.

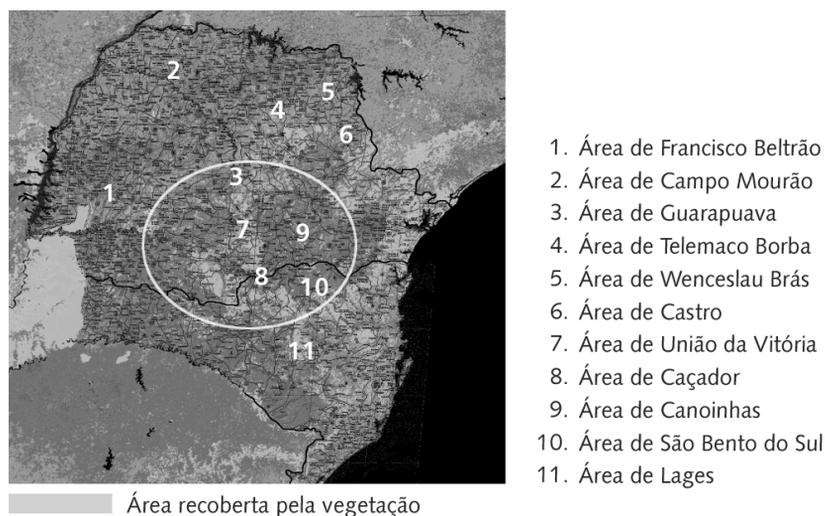


Figura 1 – Mapa de cobertura florestal da região de estudo

A espécie mais plantada na região é o *Pinnus spp*, bastante utilizada para produção de chapas e madeira serrada. As florestas de eucalipto estão mais restritas às regiões produtoras de papel e celulose, basicamente na região de Telêmaco Borba. Na região mais próxima de União da Vitória, a espécie predominante é o *Pinnus spp*.

Pode-se verificar que uma parte das florestas existentes ainda não possui um manejo adequado que permita competir com as grandes empresas reflorestadoras, que plantam basicamente as espécies *Eucalyptus grancis*, *saligna* e *dumii*, e *Pinnus elliotii* e *taeda*.

## Critérios gerais a serem considerados no projeto, na fabricação e na comercialização de janelas de madeira

A elaboração do projeto (desenho), a escolha de espécies e a fabricação e comercialização de janelas de madeira devem levar em conta critérios econômicos, técnicos e mercadológicos, critérios esses que são apresentados no Quadro 1.

O Quadro 2 apresenta uma síntese da análise das vantagens e desvantagens em relação aos três critérios colocados quando se utiliza a madeira de florestas plantadas em vez da de florestas nativas para a produção de janelas.

Para aumentar a viabilidade das janelas de madeira, deverão ser considerados no desenvolvimento do projeto (desenho) e da produção os seguintes aspectos: 1) a redução da durabilidade provocada basicamente pelo acúmulo de água em frestas, vãos e sulcos, o que pode ser resolvido a partir do desenho dos detalhes e soluções de encaixes entre as interfaces dos subcomponentes; 2) a qualidade de acabamento superficial, que pode ser melhorada mediante adequações no funcionamento das

| Critérios econômicos   | Critérios técnicos   | Critérios mercadológicos   |
|--|--|--|
| Diminuição da quantidade de ferragens necessárias.                       | Atendimento das normas brasileiras de desempenho.              | A preocupação com a estanqueidade deve ser visível e se diferenciar das janelas existentes no mercado.                     |
| Diminuição do volume de madeira em relação às janelas de madeira padrão. | Garantia da estanqueidade em relação ao ar e água.             | Oferecer vão luz maior do que as janelas existentes no mercado e estar de acordo com exigências da legislação-diferencial. |
| Vantagens na instalação em canteiro.                                     | Garantir a durabilidade.                                       | A durabilidade precisa ser visível no produto.   |
| Preço competitivo.   | Garantia de desempenho mecânico adequado.                      | O desenho da janela deve se diferenciar das tipologias convencionais.  |
| Possibilidade de produção em escala.                                     | Possibilidade de apropriação do projeto por pequenas empresas. |  |

Quadro 1 – Critérios para o desenvolvimento das janelas

máquinas e ferramentas de corte (rotações de motor, espessuras de fresa, velocidades de processamento); 3) do ponto de vista mercadológico, deve-se tornar visível o aspecto ecológico da madeira; 4) o desenho deve ser bem claro em relação ao funcionamento da janela; 5) quanto ao fator econômico, são claras as vantagens da madeira de plantios florestais, tanto o eucalipto quanto o pinus, uma vez que se trata de matéria-prima disponível regionalmente e com possibilidade de reposição.

| Critérios      | Vantagens  | Desvantagens   |
|----------------|--|--|
| Econômicos     | <p>Menores custos de aquisição.</p> <p>Maior disponibilidade local e regional.</p> <p>Tempo de secagem reduzido.</p> <p>Possibilidade de oferta contínua de madeira para a indústria local com ciclos menores de produção florestal.</p> <p>Menores custos de transporte das reservas até a indústria.</p> | <p>Necessidade do uso de tratamentos preservativos que encarecem a matéria-prima.</p>  |
| Técnicos       | <p>Desempenho mecânico compatível com a maioria das espécies nativas utilizadas (eucalipto).</p> <p>Desempenho de usinagem compatível com as espécies nativas utilizadas.</p> <p>Padrões dimensionais mais bem definidos pelas espécies serem oriundas de reservas manejadas.</p>                          | <p>Qualidade de acabamento superficial inferior.</p> <p>Durabilidade natural inferior.</p> <p>Menor aproveitamento de matéria-prima.</p> |
| Mercadológicos | <p>Padrões de cor semelhantes aos da maioria das espécies nativas utilizadas.</p> <p>Apelo ecológico: madeira proveniente de reservas florestais mais sustentáveis.</p>  | <p>Menor valor de troca em relação às madeiras de florestas nativas.</p>   |

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da madeira de plantios florestais em relação à madeira nativa para a produção de janelas.

## Exigências dos usuários e requisitos de desempenho para janelas de madeira

A janela é um componente da edificação, situado na transição entre seu interior e o exterior, e deve atender às exigências dos usuários em relação às diferentes condições de exposição do ambiente e ao contexto econômico. No que se refere aos requisitos de desempenho do componente, ou seja, aqueles que garantem o seu funcionamento e a segurança e o bem-estar do usuário, é necessário observar quais são os agentes que afetam suas condições de utilização.

Os agentes podem ser de diversas naturezas, e os mais comuns são os mecânicos, os térmicos, os químicos e os biológicos. Apesar de os agentes térmicos, químicos e biológicos interferirem nas características anatômicas, na durabilidade e na tratabilidade da madeira, foram considerados, neste estudo, apenas os agentes de natureza mecânica.

Os agentes de natureza mecânica exteriores à edificação decorrem basicamente da atmosfera e do solo. A força da gravidade atua sobre a edificação, provocando forças e deformações estruturais que são transmitidas para a janela, gerando, assim, tensões que sua estrutura deve suportar, sem comprometer seu perfeito funcionamento. Da mesma forma, atuam os recalques do solo e as vibrações externas à edificação, provenientes dos movimentos de veículos e de outras atividades realizadas em seu entorno.

As cargas externas atuantes sobre a janela, como as pressões da chuva, do granizo e do vento, exigem de suas folhas e juntas um desempenho adequado para que não haja deformações que provoquem a entrada de água. O desempenho da janela, nesse caso, associa-se tanto ao seu desenho e a soluções construtivas quanto ao material constituinte e a sua capacidade de absorção das ações externas.

Quanto aos agentes internos à edificação, que se relacionam com o desempenho da janela, são identificados aqueles decorrentes de sua ocupação e utilização e os que são consequência do posicionamento da janela no edifício.

As sobrecargas derivadas de sua utilização e os esforços de manobra internos à edificação, como os movimentos de abertura e fechamento, as cargas incidentais e a movimentação da janela mesmo antes de sua instalação, atuam na deformação do componente e suas partes, caracterizando a necessidade de utilização de materiais que resistam a esses tipos de esforços. A resistência da janela aos choques, aos im-

pactos e às abrasões decorre da capacidade do material utilizado em suportar tais esforços sem perder suas características originais.

Os agentes externos e internos à edificação que contribuem para a definição do desempenho adequado da janela às exigências do usuário podem ser traduzidos em quatro requisitos de desempenho: estrutural, utilização, estanqueidade e durabilidade.

Com relação ao desempenho estrutural, a janela deve permanecer em condições de utilização sem perder as suas características originais, já que fica exposta às diferentes pressões e aos esforços decorrentes das cargas de vento, do uso, das solicitações higrotérmicas e de outras cargas resultantes dos demais componentes da edificação.

O desempenho quanto à utilização relaciona-se basicamente à segurança do usuário, a esforços nas operações de abertura e fechamento a que a janela está submetida e à sua facilidade de manutenção.

A estanqueidade da janela a ruídos, vibrações, ar, água e pequenos insetos deve ser garantida, principalmente devido a deformações de suas partes em função do empenamento e de contrações da madeira ao longo de sua vida útil.

A durabilidade, outro item importante de desempenho, deve ser garantida e relaciona-se com a conservação da janela ao longo de sua vida útil e com a resistência da madeira à ação de agentes agressivos como a água das chuvas e à própria utilização do edifício.

Outra exigência do usuário a ser considerada refere-se aos aspectos econômicos, ou seja, à capacidade de pagamento dos trabalhadores de baixa renda diante dos preços de janelas disponíveis no mercado.

## **Escolha de gênero, espécie e reserva florestal para produção das janelas**

Para a escolha de espécies de madeira mais adequadas para produção de janelas, trabalhou-se na definição de critérios, a partir das exigências dos usuários, traduzidos em requisitos de desempenho que a janela deveria atender. Também estabeleceram-se relações entre a capacidade resistente do componente e os materiais constituintes nas diversas situações de uso e exposição.

No Quadro 3, são apresentadas as relações de requisitos de desempenho, tipo de solicitação, propriedade solicitada e as respectivas características físicas e mecânicas da madeira a serem consideradas.

| Requisito de desempenho | Tipo de solicitação                                 | Propriedade solicitada       | Características físicas                  | Características mecânicas                         |
|-------------------------|---|------------------------------|--|---|
| Estrutural              | Cargas uniformemente distribuídas                   | Resistência à flexão         | Densidade aparente                       | Módulo de ruptura à flexão                        |
|                         | Esforços decorrentes das movimentações da estrutura | Dureza                       |  | Módulo de elasticidade à flexão<br>Dureza "janka" |
| Utilização              | Flexão no plano da folha                            | Resistência à deflexão       | Densidade aparente                       | Módulo de ruptura à flexão                        |
|                         | Flexão perpendicular à folha                        |                              |  |   |
|                         | Deformação diagonal da folha                        | Resistência / cisalhamento   |  | Módulo de elasticidade à flexão                   |
|                         | Arrancamento / articulações                         | Dureza                       |  | Resistência ao cisalhamento                       |
|                         | Torção da folha                                     |                              |  | Dureza "janka"                                    |
|                         | Ciclos de abertura e fechamento                     |                              |  |   |
| Estanqueidade           | Estanqueidade ao ar                                 | Estabilidade dimensional     | Contração tangencial<br>Contração radial |   |
|                         | Estanqueidade à água                                | Durabilidade                 | Contração do volume                      |   |
|                         | Estanqueidade aos insetos                           | Dureza                       | Densidade aparente                       | Dureza "janka"                                    |
|                         |   | Estabilidade dimensional     | Durabilidade natural                     |   |
| Durabilidade            | Condições externas                                  | Resistência à radiação solar | Contração do volume                      |   |
|                         |   | Resistência às chuvas        | Densidade aparente                       |   |

Quadro 3 – Requisitos de resistência para garantir um bom nível de desempenho para o usuário

Além das características físicas e mecânicas da madeira, foram considerados os seguintes critérios:

- critério de disponibilidade atual e futura em um médio prazo de madeiras de florestas plantadas na região em estudo;
- critério econômico, levando-se em conta preços de mercado da madeira serrada; e
- critério de fabricação da janela (grau de usinabilidade, secagem e tratamento).

O Quadro 4 mostra um resumo dos critérios de escolha das principais espécies de plantios florestais encontradas na região e a indicação do atendimento ou não de cada espécie de madeira aos critérios especificados.

Optou-se pela escolha da espécie *Eucalyptus grandis*, por se tratar de uma espécie com grande disponibilidade imediata de venda, com origens em florestas manejadas e com preços de venda mais viáveis por metro cúbico de madeira serrada.

Observa-se no Quadro 4 uma dificuldade particular nesta espécie no que diz respeito à sua resistência à flexão e às contrações, o que pode influir diretamente na precisão dimensional dos componentes ao longo de sua vida útil.

| Critérios                                    | Espécies               |                     |                           |                           |                               |
|--|------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|  | <i>Pinnus elliotii</i> | <i>Pinnus taeda</i> | <i>Eucalyptus saligna</i> | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Araucária angustifolia</i> |
| Áreas reflorestadas prontas para corte       | ✓                      | ✓                   | ✓                         | ✓                         |                               |
| Possibilidades futuras de reflorestamento    | ✓                      | ✓                   | ✓                         | ✓                         |                               |
| Sustentabilidade das florestas existentes    | ✓                      | ✓                   | ✓                         | ✓                         |                               |
| Ciclo de corte rápido e rendimento florestal | ✓                      | ✓                   | ✓                         | ✓                         |                               |
| Preços compatíveis de madeira serrada bruta  | ✓                      | ✓                   | ✓                         | ✓                         |                               |
| Densidade aparente                           |                        | ✓                   | ✓                         | ✓                         |                               |
| Contração volumétrica                        |                        |                     | ✓                         | ✓                         | ✓                             |
| Resistência ao cisalhamento                  | ✓                      | ✓                   | ✓                         | ✓                         | ✓                             |
| Dureza "JANKA"                               |                        |                     | ✓                         | ✓                         | ✓                             |
| Módulo de resistência à flexão               |                        |                     | ✓                         | ✓                         | ✓                             |
| Módulo de elasticidade à flexão              | ✓                      | ✓                   | ✓                         | ✓                         | ✓                             |
| Facilidade de secagem                        | ✓                      | ✓                   |                           |                           | ✓                             |
| Usinabilidade                                | ✓                      | ✓                   |                           |                           | ✓                             |
| Tratabilidade                                | ✓                      | ✓                   |                           |                           | ✓                             |

Quadro 4 – Critérios de escolha e o seu atendimento

## Proposta de *layout* de serraria para desdobro de eucalipto

A partir da análise de quatro serrarias, na região de Telêmaco Borba (PR), mais adequadas para produzir a madeira serrada para o projeto e indicadas pelos empresários locais, foram obtidos dados para elaborar uma proposta de serraria de desdobro de toras de até 40 cm de diâmetro (Figura 2).

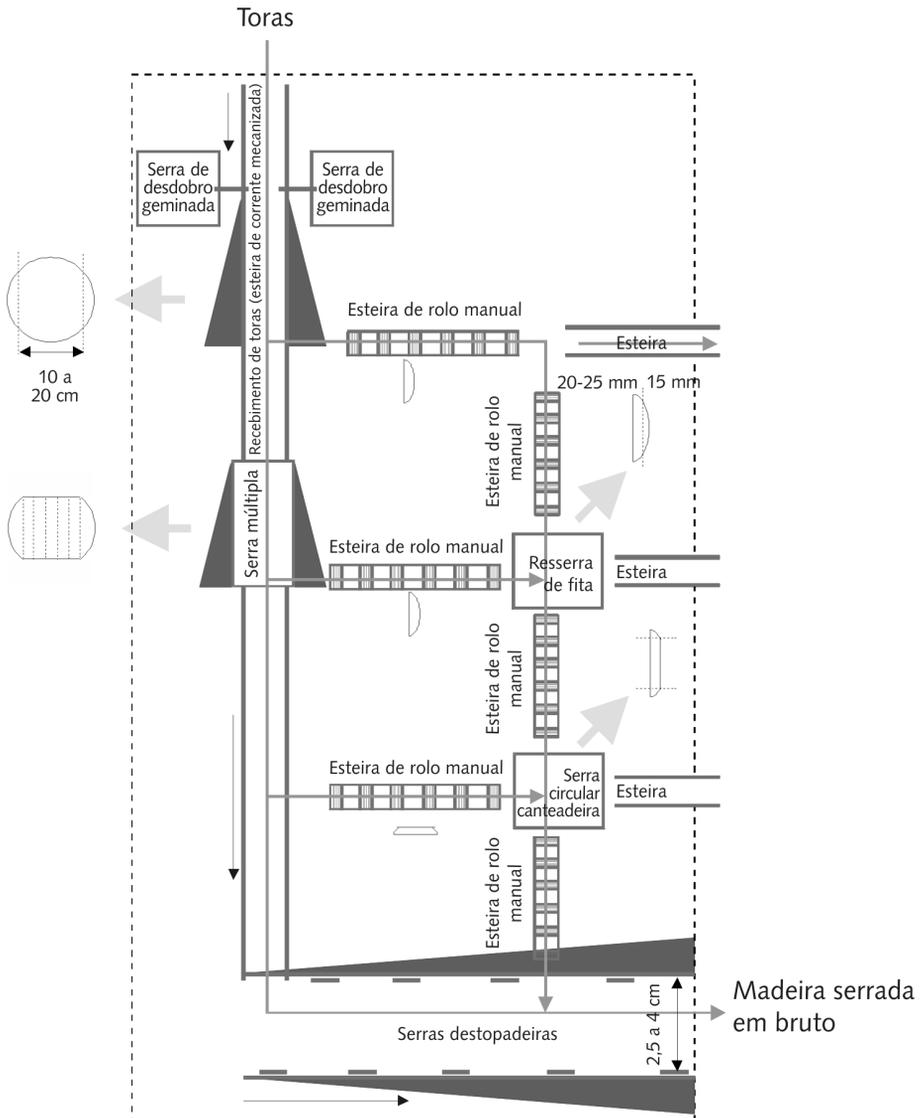


Figura 2 – Proposta de *layout* de serraria para desdobro de eucalipto

Na proposta apresentada na Figura 2, consideraram-se como referência os seguintes equipamentos mínimos necessários para desdobro da madeira de eucalipto:

- serra de desdobro de toras dupla ou geminada de fita, para retirada de duas costaneiras paralelas simultaneamente, evitando a liberação desproporcionada e assimétrica de tensões de crescimento;
- serra circular múltipla para corte sucessivo de peças, garantindo produtividade maior que a serra simples e um desvio padrão menor nas diferenças dimensionais de largura;
- serra de fita simples ou resserra para reaproveitamento das costaneiras (espessura de 35 cm a 40 mm), gerando novas peças, menos resíduos e mais rendimento global;
- serra circular alinhadeira ou canteadeira para eliminação de pontas esmoadas e produção da dimensão de largura das peças; e
- serra destopadeira dupla, que são serras circulares posicionadas em duas linhas paralelas e distanciadas no comprimento padrão das peças.

## Estudo de usinabilidade da madeira de plantios florestais: pinus, eucalipto e araucária

Um dos critérios considerados para a escolha da espécie de madeira para produção de janela se refere à sua usinabilidade. Trata-se do desempenho apresentado no processamento secundário, no acabamento superficial. Com o intuito de verificar a compatibilidade dos equipamentos utilizados para a produção de janelas com madeira nativa, realizou-se o estudo de usinabilidade da madeira mediante o método de medição da força principal de corte nas direções paralela e perpendicular às fibras. Foram ensaiadas três espécies de madeira de plantio florestal, para análise comparativa de desempenho com relação às madeiras nativas: *Pinus spp*; *Eucalyptus grandis* e *Araucária angustifolia*.

Para o corte na direção paralela na condição de umidade seca ao ar, o pinus apresentou melhor índice de usinabilidade, o que pode ser quantificado de forma percentual. As espécies de pinho e eucalipto, apesar de possuírem densidades diferentes, apresentaram comportamento semelhante, com valores de força de corte bem próximos para ângulos de 17° e 24°, e maior facilidade de corte para o pinho com ângulo de 10°.

No corte paralelo para as espécies secas em estufa, o comportamento e a magnitude dos esforços foram bastante semelhantes entre as espécies de pinho e eucalipto. E o pinus, apesar de apresentar melhor usinabilidade, registrou valores de esforços próximos aos requeridos pelas outras espécies.

O grau de usinabilidade das espécies de pinus e pinho resultaram próximas para o corte na direção perpendicular, em ambas as condições de umidade. Porém, com a condição seca ao ar, se comparado à condição de umidade seca em estufa, a espécie de eucalipto necessitou esforços bem mais elevados para ser usinada, em relação às outras espécies. Para as duas condições de umidade, os esforços registrados para o corte na direção paralela às fibras apresentaram-se aproximadamente três vezes superiores quando comparados à direção de corte perpendicular.

Os esforços necessários e o desgaste do ferramental apresentaram-se dentro de valores compatíveis com os equipamentos utilizados para a usinagem de madeira nativa, não sendo necessárias, portanto, alterações nos maquinários existentes na empresa (no caso da Pormade).

## **Programa de secagem de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* na produção de janelas**

No Quadro 4, um dos critérios não atendidos para o *Eucalyptus grandis* foi o da facilidade de secagem. O estudo realizado, além de fornecer informações sobre a secagem dessa madeira, alcançou resultado como definição de programa de secagem. Assim, utilizou as condições de infra-estrutura da indústria parceira e atendeu às especificações, de rendimento e de ausência de defeitos, necessárias à fabricação de janelas para garantir a qualidade final do produto.

Neste estudo foi experimentado o processo de pré-secagem com sistema de ventilação forçada, o qual contribuiu de maneira significativa para a redução de defeitos de secagem, melhorando, assim, o rendimento.

Com base nos resultados dos ensaios e considerando os objetivos da presente pesquisa, podem ser apresentadas as seguintes conclusões:

- (a) a pré-secagem ao ar contribuiu para reduzir tanto o tempo de secagem em estufa como a incidência de defeitos, sendo recomendada a sua aplicação;
- (b) a pré-secagem em local coberto é preferível, pois propicia secagem mais uniforme e melhor qualidade da madeira após secagem convencional;

Programa de secagem N° 1 (Secagem em laboratório)  
peças de 4x10x48 cm, com tabiques de 1,5 cm

| Umidade da madeira (%) | TS (°C) | TU (°C) | UR (%) | UE (%) | PS   |
|------------------------|---------|---------|--------|--------|------|
| Aquecimento            | 35,0    | 34,0    | 94     | 21,9   | -    |
| Até 50                 | 35,0    | 34,0    | 94     | 21,9   | 2,28 |
| 50                     | 35,0    | 33,0    | 87     | 18,2   | 2,75 |
| 40                     | 35,0    | 32,5    | 84     | 16,9   | 2,37 |
| 35                     | 35,0    | 32,0    | 82     | 16,0   | 2,19 |
| 30                     | 35,0    | 31,5    | 73     | 13,2   | 2,27 |
| 28                     | 36,0    | 31,0    | 70     | 12,5   | 2,24 |
| 26                     | 39,0    | 33,0    | 67     | 11,4   | 2,28 |
| 24                     | 42,0    | 35,0    | 63     | 10,6   | 2,26 |
| 22                     | 45,0    | 37,0    | 60     | 09,7   | 2,27 |
| 20                     | 48,0    | 38,5    | 55     | 08,8   | 2,27 |
| 18                     | 52,0    | 41,5    | 51     | 08,0   | 2,25 |
| 16                     | 56,0    | 43,0    | 47     | 07,1   | 2,25 |
| 14                     | 60,0    | 45,0    | 41     | 06,1   | 2,30 |
| Uniformização          | 60,0    | 53,0    | 67     | 10,0   | -    |
| Condicionamento        | 60,0    | 57,5    | 87     | 16,0   | -    |

Onde: TS = temperatura de bulbo seco UR = umidade relativa do ar PS = potencial de secagem  
TU = temperatura de bulbo úmido UE = umidade de equilíbrio para a madeira

#### Quadro 5 – Programa de secagem N° 1

Programa de secagem N° 2 (Secagem industrial dezembro)

| Umidade da madeira (%) | TS (°C) | TU (°C) | UR (%) | UE (%) | PS   |
|------------------------|---------|---------|--------|--------|------|
| Aquecimento            | 40,0    | 39,0    | 94     | 21,6   | -    |
| Até 50                 | 40,0    | 39,0    | 94     | 21,6   | 2,31 |
| 50                     | 40,0    | 39,0    | 94     | 21,6   | 2,31 |
| 40                     | 40,0    | 37,0    | 83     | 16,2   | 2,47 |
| 35                     | 40,0    | 36,0    | 77     | 14,1   | 2,48 |
| 30                     | 40,0    | 34,5    | 69     | 12,0   | 2,50 |
| 28                     | 43,0    | 36,5    | 65     | 11,1   | 2,52 |
| 26                     | 46,0    | 39,0    | 64     | 10,5   | 2,48 |
| 24                     | 50,0    | 42,0    | 61     | 09,7   | 2,47 |
| 22                     | 54,0    | 45,0    | 58     | 08,9   | 2,47 |
| 20                     | 58,0    | 47,5    | 54     | 08,0   | 2,50 |
| 18                     | 62,0    | 50,0    | 51     | 07,3   | 2,47 |
| 16                     | 66,0    | 51,0    | 45     | 06,3   | 2,54 |
| 14                     | 70,0    | 52,5    | 41     | 05,6   | 2,50 |
| Uniformização          | 70,0    | 62,5    | 70     | 10,0   | -    |
| Condicionamento        | 70,0    | 67,5    | 88     | 16,0   | -    |

Onde: TS = temperatura de bulbo seco UR = umidade relativa do ar PS = potencial de secagem  
TU = temperatura de bulbo úmido UE = umidade de equilíbrio para a madeira

#### Quadro 6 – Programa de secagem N° 2

(c) no caso da secagem convencional da madeira recém-serrada (alta umidade inicial), o programa de secagem N° 1 (Quadro 5) resulta em secagem lenta e demorada. Embora não tenha sido testado para a secagem de madeira com umidade acima do ponto de saturação das fibras, é recomendado o programa de secagem N° 2 (Quadro 6);

(d) a otimização da secagem industrial pode ser obtida com a pré-secagem em local coberto por um período entre 3 e 4 meses, seguida de secagem convencional com o programa N° 2.

## Estudo de alternativas de tratamento preservativo de madeira

Os métodos utilizados para preservação da madeira classificam-se em preventivos e curativos, sendo de interesse para a pesquisa os denominados métodos preventivos, uma vez que têm por objetivo prevenir a degradação da madeira.

Os métodos preventivos convencionais apresentam-se nas modalidades de pré-tratamento, processos sem pressão ou caseiros e processos por pressão ou industriais. No âmbito da pesquisa, experimentou-se um processo alternativo: PAN – Processo de Absorção Natural.

**Processo de Absorção Natural (PAN):** embora não divulgado pela literatura especializada, uma variação muito interessante do processo quente-frio é o PAN<sup>1</sup>, desenvolvido por Gerit Jonges, no IPT, em São Paulo.

Trata-se de um processo em que a madeira é submetida à exposição de vapor saturado por um período determinado de tempo e em seguida é imersa em solução preservativa mantida a temperatura ambiente. Esse processo foi experimentado, pois atendia aos recursos existentes nas empresas produtoras de esquadrias de madeira que possuem capacidade instalada para a geração de vapor e, portanto, estão habilitadas a adaptarem, a baixo custo, instalações para operar com o sistema PAN.

O preservativo utilizado no estudo foi o CCA tipo A, com 70% de ingredientes ativos, em base óxida, considerando-se uma única concentração de 3%, em base óxida, sendo os corpos de prova expostos ao vapor saturado, em condições controladas e a temperatura constante de 98,5 °C.

<sup>1</sup> PAN é o nome dado à patente requerido junto ao INPI em 1987, pelo inventor Gerit Jonges.

Embora o melhor resultado alcançado na experimentação, em termos de retenção, tenha sido obtido com exposição dos corpos de prova ao vapor de tricloroetileno e imersão prolongada, esse procedimento deve ser descartado. O tricloroetileno entra em ebulição com 88 °C de temperatura liberando fosgene, que é um gás incolor altamente tóxico.

A exposição ao vapor saturado dos corpos de prova deram excelente resultado, em termos de retenção, tanto para imersão em tricloroetileno quanto em Pentoxin diluído em querosene, comprovando a eficiência do processo PAN. Entretanto, verificou-se uma variação dimensional significativa nos corpos de prova, proporcionalmente ao tempo de exposição ao vapor (até 3 horas), não sendo, por isso, recomendada a sua utilização no processo de fabricação de esquadrias de madeira.

Diante das informações coletadas e das experimentações realizadas, e em razão de o produto esquadrias de madeira ser constituído pela composição de diversas peças encaixadas com alto grau de precisão e sensível às variações dimensionais, concluímos que os processos denominados na literatura americana de NSP (No Swelling Preservation) e na literatura australiana de LOSP (Light Organic Solvent Preservative) podem ser considerados os mais recomendados para a preservação de componentes semi-acabados destinados à montagem de esquadrias de madeira.

Os solventes recomendados são, desse modo, o tricloroetileno e o tetracloro-carbono, que servirão como veículo para ingredientes ativos convencionais a serem aplicados em processo de autoclavagem em baixo regime de pressão.

## Levantamento de preços de janelas existentes no mercado para habitação social

A partir do levantamento de janelas de metal (chapa de aço e alumínio) encontradas no mercado da Construção Civil na cidade de São Paulo e em empreendimentos habitacionais, procurou-se estabelecer o preço de mercado a ser alcançado pela janela de madeira, para que seja competitiva no segmento de habitação social. A análise desse levantamento (realizado em novembro de 1997) chegou aos seguintes resultados:

- (a) as janelas metálicas de “uso popular” na região da Grande São Paulo possuem uma variação de preço entre R\$ 30,00 e R\$ 160, 00 entre as várias tipologias e materiais encontrados, ou seja, uma diferença de mais de 500%;
- (b) não há uma correlação direta entre o vão luz oferecido pelo componente e o

preço, mas entre a espessura da chapa metálica utilizada e o tamanho total da janela;

(d) Com relação às tipologias, as janelas do tipo guilhotina são as mais baratas do mercado, seguidas pelas janelas de correr de três folhas.

A partir destes dados levantados foram identificadas quatro faixas de preços (Quadro 7), colocando as respectivas caracterizações quanto a: tipologia; material; tipo de empreendimento; e consumidor.

|         |            |
|---------|------------|
| Faixa 1 | R\$ 157,83 |
| Faixa 2 | R\$ 91,96  |
| Faixa 3 | R\$ 69,73  |
| Faixa 4 | R\$ 45,67  |

Quadro 7 – Divisão em faixas de preços (novembro/1997)

Na faixa 1 encontram-se as janelas de alumínio pertencentes a uma classe média que tem pequenos apartamentos em torno das áreas mais valorizadas e mesmo de conjuntos habitacionais.

Na faixa 2 incluem-se as janelas de alumínio de três folhas e algumas janelas de chapa de aço com qualidade superior. Essa faixa atinge basicamente proprietários de apartamentos ou casas em conjuntos habitacionais e autoconstrutores de classe média baixa.

Na faixa 3 estão incluídas as janelas de chapa de aço com pequenas dimensões e constituídas de componentes de qualidade muito baixa. Essa faixa abrange autoconstrutores e proprietários situados mais na periferia da cidade.

Na faixa 4 encontram-se os componentes mais baratos do mercado que estão presentes em empreendimentos habitacionais para faixas de renda sem condições de entrar no mercado habitacional e autoconstrutores de áreas periféricas.

Dessa maneira, segundo as diretrizes propostas por este projeto, considerou-se razoável para a realidade de mercado brasileira que se atinja as faixas 1 e 2 no preço de produto a ser desenvolvido, ou seja, de R\$ 100,00 a R\$ 150,00 como preço final ao consumidor (valores de setembro de 1997).

**Faixa de preço a ser atingida pela janela de madeira:**

**R\$ 100,00 a R\$ 150,00**

## Projetos de janelas de madeira – Protótipos I e II

Do ponto de vista do desenvolvimento do projeto da janela de eucalipto, foram considerados alguns parâmetros com a finalidade de balizar as possíveis soluções projetuais, o que gerou recomendações para a escolha da tipologia de janela a ser desenvolvida e seus detalhes construtivos gerais.

Os parâmetros para analisar as diversas possibilidades de abordagem do desenho da janela foram: (a) tipológicos; (b) compatibilidade construtiva (coordenação modular); (c) antropométricos; e (d) aspectos de legislação.

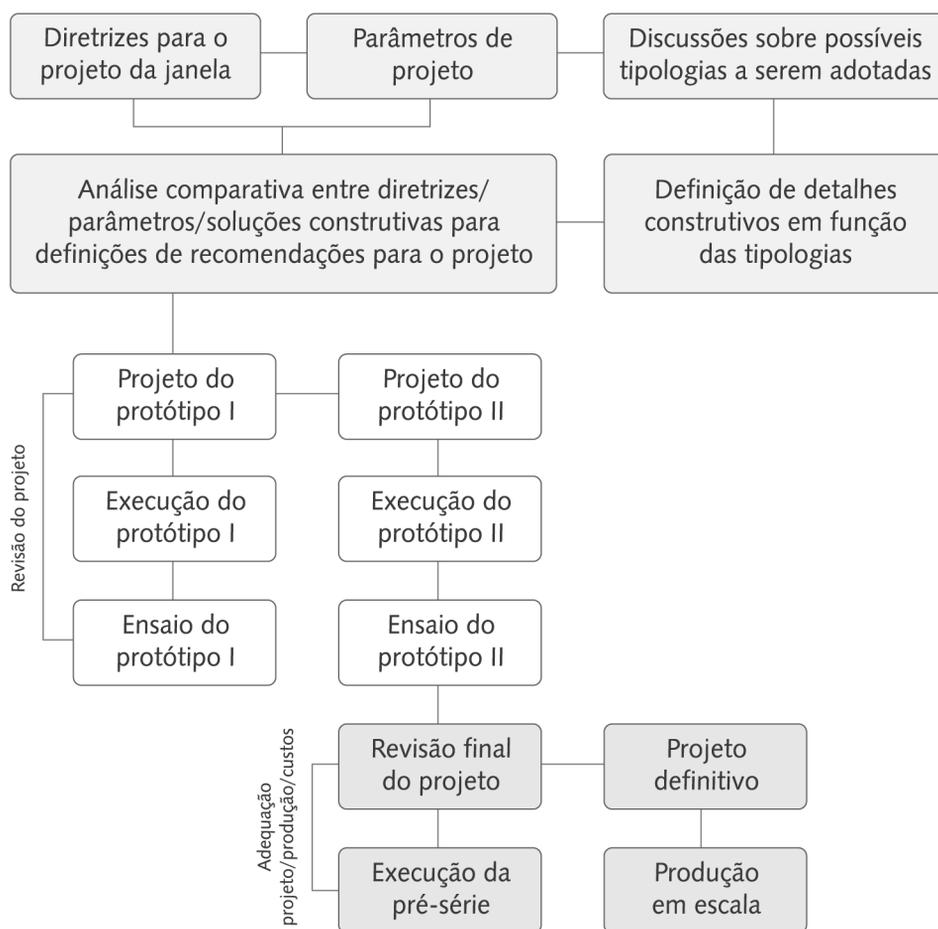


Figura 3 – Etapas para a elaboração do projeto da janela

A metodologia adotada para o projeto da janela de eucalipto se divide em quatro etapas de desenvolvimento, e a seqüência dessas etapas é apresentada em um organograma na Figura 3. A primeira etapa corresponde à definição das diretrizes e dos parâmetros de projeto, acompanhada do levantamento das possíveis tipologias a serem consideradas. A partir do cruzamento das tipologias encontradas com os possíveis detalhes de projeto inerentes a cada uma delas, estabelecem-se as recomendações para o projeto da janela. Passando-se para a segunda etapa, desenvolve-se a primeira proposta de desenho da janela acompanhada de execução do Protótipo I a ser submetido aos ensaios em laboratórios de estanqueidade ao ar e à água. A análise dos resultados dos ensaios resulta na primeira revisão. A terceira etapa é caracterizada pela execução do Protótipo II, que será submetido novamente aos ensaios de estanqueidade e funcionamento mecânico, resultando na revisão final do projeto. Na quarta etapa é realizado o desenvolvimento final do projeto da janela de eucalipto, que sai do âmbito de protótipo, passando para execução de uma pré-série, antes da produção em escala, quando ocorrem as adequações de projeto/produção/custos .

Seguindo o procedimento descrito, foram desenvolvidos dois projetos de janela: o primeiro, uma versão mais complexa – “Janela de Correr Veneziana Vertical” – chamada de Protótipo I, privilegiou os requisitos de desempenho; e o segundo, o Protótipo II – “Janela Veneziana de Abrir” – foi desenvolvido priorizando-se o parâmetro custo.

### **Janela veneziana de correr vertical – Protótipo I**

Na Figura 4 é apresentado o desenho final do Protótipo I, após a revisão da terceira etapa de desenvolvimento. O Protótipo I é composto de duas folhas fixas de veneziana, duas folhas cegas de correr vertical e duas folhas de vidro também de correr vertical, permitindo estas três situações: 1) escurecimento com ventilação; 2) iluminação (50% da janela) com estanqueidade à água; 3) controle da abertura para ventilação.

A foto da Figura 5 mostra a janela veneziana de correr vertical deitada com a folha de vidro, vista internamente, e, à direita, a janela em pé com as folhas cegas fechadas, vista externamente. Esse protótipo foi executado com a utilização de *Eucalyptus grandis* da floresta da região de Telêmaco Borba (PR).

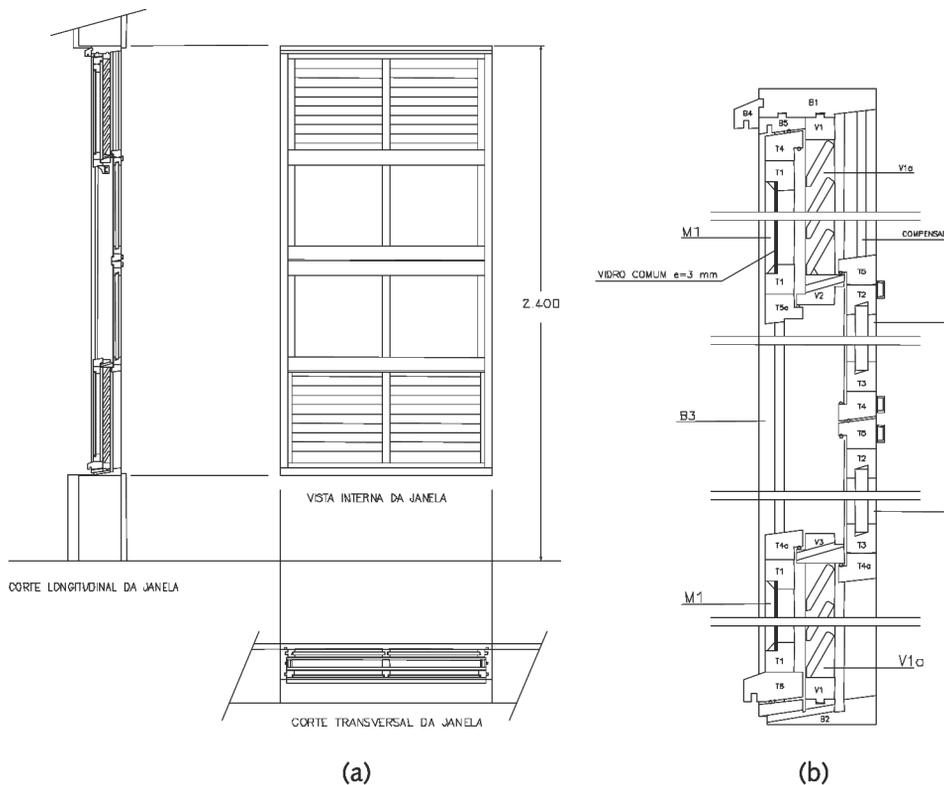


Figura 4 – Janela de correr veneziana vertical: a) elevação frontal e cortes longitudinal e transversal da janela; b) corte longitudinal em detalhe



Figura 5 – Protótipo I – Janela de correr veneziana vertical *Eucalyptus grandis* parte superior em veneziana fixa, na seqüência, folha cega móvel, folha de vidro móvel e veneziana fixa.

## Janela veneziana de abrir – Protótipo II

A Figura 6 mostra o desenho do Protótipo II produzido em uma empresa de esquadrias de pequeno porte. Teve-se, com esse protótipo, o objetivo de verificar uma produção piloto em escala visando à redução de custos e à adequação às capacidades existentes na empresa. A Figura 7 apresenta fotos da Janela de Abrir - Protótipo II, executada em *Eucalypto grandis*, duas folhas de veneziana em pinus e o detalhe do gabarito metálico utilizado para facilitar o posicionamento das palhetas (em pinus).

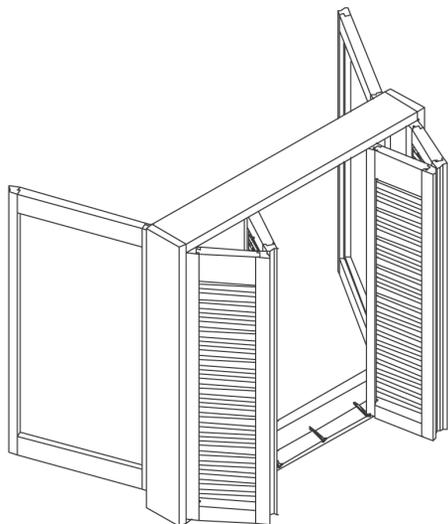


Figura 6 – Projeto do Protótipo II utilizado na produção piloto

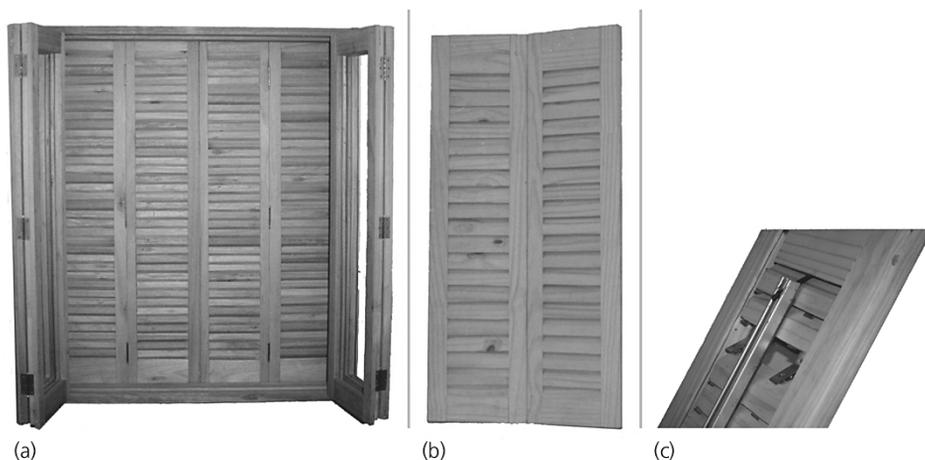


Figura 7 – Fotos da Janela Protótipo II, em *Eucalypto grandis* (a), folha veneziana – em pinus (b), detalhe do gabarito para posicionamento das palhetas (c)

A verificação da produção piloto em escala realizou-se em duas etapas. A primeira foi a produção de um único protótipo em madeira de pinus, para permitir que todos os ajustes nos equipamentos e procedimentos fossem discutidos e definidos em consenso, e também permitir que a mão-de-obra se familiarizasse com o projeto proposto para facilitar a sua aprendizagem.

Na segunda etapa, com as dúvidas sanadas, executou-se com *Eucalyptus grandis* a produção piloto de seis unidades, cujos dados foram coletados em planilhas enfocando-se principalmente as etapas de usinagem e montagem, alvo dos estudos de otimização. Acreditando-se ser suficiente para os estudos pretendidos, a quantidade de seis unidades foi definida em função do pequeno número de diferentes perfis do produto e da disponibilidade de recursos presentes.

A coleta de dados desenvolveu-se em uma das unidades da própria empresa, que possui características de uma pequena marcenaria do setor. Essa escolha resulta da intenção de se verificar a viabilidade de transferência do projeto para as pequenas marcenarias da região.

Na Figura 8 podem ser observados aspectos dessa unidade com os equipamentos simples que compõem a marcenaria, o que indica a viabilidade de uso de maquinários mais comuns sem a necessidade de sofisticar a infra-estrutura de produção. Dessa forma, são atendidas as intenções do projeto, ou seja, a produção de esquadrias de madeira competitiva para a faixa popular.

## **Análise de custos dos Protótipos I e II**

Para análise de custos dos Protótipos I e II, realizou-se inicialmente a apropriação dos custos da janela de correr veneziana (JCV) em madeira de imbuia produzida comercialmente pela empresa parceira, com o objetivo de comparar os valores dos protótipos em madeira de plantios florestais.

Para a composição de custos dos protótipos, foram levados em conta os custos da madeira serrada, de tratamento, processamento primário e secundário e acessórios utilizados, incluindo margens de lucro e impostos.

A Figura 8 apresenta o fluxo das etapas de produção das janelas para facilitar a compreensão da apropriação dos custos nas várias etapas.

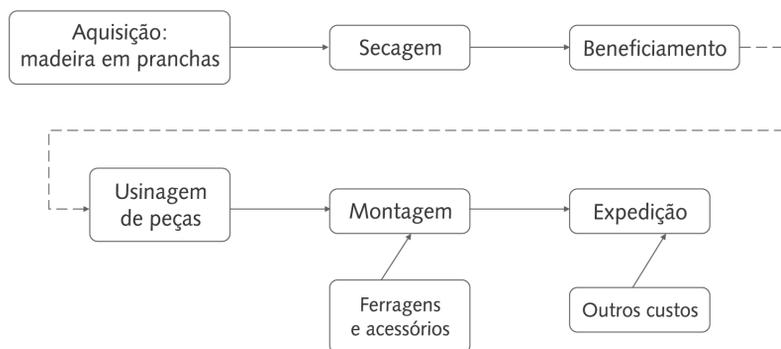


Figura 8 – Fluxo das etapas de produção das janelas

Foram apropriados custos dos seguintes tipos de janelas: (a) Janela JCV em imbuia; (b) Janela JCV em eucalipto; (c) Janela Protótipo I em eucalipto; (d) Janela Protótipo II em eucalipto; (e) Janela Protótipo II em pinus.

### Composição de custos – Janela modelo JCV em imbuia

| Quadro-resumo |                |            |  |
|---------------|----------------|------------|--|
| 1             | Secagem        | R\$ 7,38   | Vol da janela/rendimento da madeira x custo da secagem/m <sup>3</sup> (mo + energia + manutenção)        |
| 2             | Beneficiamento | R\$ 3,26   | Vol da janela/rendimento da madeira x custo do beneficiamento/m <sup>3</sup> (mo + energia + manutenção) |
| 3             | Usinagem fina  | R\$ 12,80  | Mão-de-obra + energia + manutenção   |
| 4             | Montagem       | R\$ 26,06  | Mão-de-obra + energia + manutenção   |
| 5             | Acessórios     | R\$ 35,81  | Ferragens + cavilhas + gavetas + vidro + acabamento  |
| 6             | MP             | R\$ 77,00  | Vol da janela/rendimento da madeira x custo da madeira seca/m <sup>3</sup>                               |
| 7             | Outros custos  | R\$ 5,88   | Custos apropriados por valores de produção   |
| Custo total   |                | R\$ 168,19 |  |

Quadro 8 – Quadro- resumo dos custos da JCV de imbuia (valores de novembro/1997)

O Quadro 8 apresenta o resumo dos custos apropriados para modelo JCV – janela de correr veneziana em imbuia, fabricado pela empresa parceira.

### Composição de custos – Janela modelo JCV em eucalipto

O Quadro 9 apresenta o resumo dos custos simulados para modelo JCV em eucalipto.

| Quadro-resumo |                |            |  |
|---------------|----------------|------------|--|
| 1             | Secagem        | R\$ 13,24  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 2             | Beneficiamento | R\$ 5,06   | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 3             | Usinagem fina  | R\$ 12,80  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 4             | Montagem       | R\$ 26,06  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 5             | Acessórios     | R\$ 35,81  | Ferragens + cavilhas-vidro                             |
| 6             | MP             | R\$ 7,35   | Madeira bruta necessária para a produção de uma janela |
| 7             | Outros custos  | R\$ 5,88   | Custos apropriados por valores de produção             |
| Custo total   |                | R\$ 156,20 |  |

Quadro 9 – Resumo dos custos da JCV de eucalipto (valores de novembro/1997)

### Composição de custos – Protótipo I em eucalipto

O Quadro 10 apresenta um resumo de composição de custos da produção da janela Protótipo I em madeira de eucalipto.

Nota-se que no caso do eucalipto os itens *madeira (matéria-prima)* e *ferragens* encontram-se entre os principais responsáveis pelo alto custo do componente em relação aos similares em chapa metálica e alumínio. A substituição da madeira nativa pela de reflorestamento (substancialmente mais barata) e a adequação do desenho do componente à nova matéria-prima, além da simplificação de alguns detalhes visando à eliminação de ferragens sofisticadas, aumentariam as possibilidades para viabilizar o mercado de janelas populares de madeira.

| Quadro-resumo |                |            |  |
|---------------|----------------|------------|--|
| 1             | Secagem        | R\$ 8,21   | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 2             | Beneficiamento | R\$ 3,63   | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 3             | Usinagem fina  | R\$ 12,80  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 4             | Montagem       | R\$ 26,06  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 5             | Acessórios     | R\$ 27,07  | Ferragens + cavilhas-vidro                             |
| 6             | MP             | R\$ 73,75  | Madeira bruta necessária para a produção de uma janela |
| 7             | Outros custos  | R\$ 5,88   | Custos apropriados por valores de produção             |
| Custo total   |                | R\$ 157,40 |  |

Quadro 10 – Resumo dos custos do Protótipo I em eucalipto (valores de novembro/1997)

### Composição de custos – Protótipo II em eucalipto

Na Figura 9 está apresentada a foto do Protótipo II – Janela de Abrir Veneziana, com as dimensões externas de 1,03 x 1,03 m.



Figura 9 – Protótipo II

O Quadro 11 apresenta o resumo dos custos obtidos durante a fabricação da janela do Protótipo II em *Eucalyptus grandis*.

| Quadro-resumo |                |           |  |
|---------------|----------------|-----------|--|
| 1             | Secagem        | R\$ 6,62  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 2             | Beneficiamento | R\$ 2,93  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 3             | Usinagem fina  | R\$ 12,80 | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 4             | Montagem       | R\$ 15,64 | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 5             | Acessórios     | R\$ 12,00 | Ferragens + cavilhas-vidro                             |
| 6             | MP             | R\$ 35,92 | Madeira bruta necessária para a produção de uma janela |
| 7             | Outros custos  | R\$ 2,94  | Custos apropriados por valores de produção             |
| Custo total   |                | R\$ 88,84 |  |

Quadro 11 – Resumo dos custos do Protótipo II em eucalipto (valores de novembro/1997)

### Composição de custos – Protótipo II em pinus

| Quadro-resumo |                         |           |  |
|---------------|-------------------------|-----------|--|
| 1             | Secagem                 | R\$ 1,79  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 2             | Beneficiamento          | R\$ 1,19  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 3             | Usinagem fina           | R\$ 6,85  | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 4             | Montagem                | R\$ 15,64 | Mão-de-obra + energia + manutenção                     |
| 5             | Acessórios              | R\$ 13,00 | Ferragens + cavilhas-vidro                             |
| 6             | MP                      | R\$ 9,57  | Madeira bruta necessária para a produção de uma janela |
| 7             | Outros custos           | R\$ 2,94  | Custos apropriados por valores de produção             |
| 8             | Tratamento              | R\$ 8,00  | Custo de autoclave                                     |
| 9             | Oportunidade de mercado | -         | Custo financeiro de manutenção de estoques             |
| Custo total   |                         | R\$ 58,98 |  |

Quadro 12 – Resumo dos custos do Protótipo II em pinus

O Quadro 12 apresenta o resumo dos custos da janela Protótipo II utilizando madeira de pinus.

### Comparação de custos

O Quadro 13 apresenta a comparação de custos obtidos para as janelas de madeira estudadas.

| Material e serviços                          | JCV Imbuia    | JCV Eucalipto | Protótipo I Eucalipto | Protótipo II Eucalipto | Protótipo II Pinus |
|--|---------------|---------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
| Madeira em prancha (R\$/m <sup>3</sup> )     | 400,00        | 230,00        | 230,00                | 230,00                 | 150,00             |
| Madeira em prancha/unidade                   | 77,00         | 57,35         | 73,75                 | 35,92                  | 9,57               |
| Secagem/unidade                              | 7,38          | 13,24         | 8,21                  | 6,62                   | 1,79               |
| Beneficiamento/unidade                       | 3,26          | 5,06          | 3,63                  | 2,93                   | 1,19               |
| Usinagem fina/unidade                        | 12,80         | 12,80         | 12,80                 | 12,80                  | 6,85               |
| Acessórios/unidade                           | 35,81         | 35,81         | 27,07                 | 12,00                  | 13,00              |
| Montagem/unidade                             | 26,06         | 26,06         | 26,06                 | 15,64                  | 15,64              |
| Outros/unidade                               | 5,88          | 5,88          | 5,88                  | 2,94                   | 10,94              |
| <b>Custo Total / unidade</b>                 | <b>168,19</b> | <b>156,20</b> | <b>157,40</b>         | <b>88,85</b>           | <b>58,98</b>       |
| Preço de venda (margem de contribuição: 30%) | 218,65        | 203,06        | 204,49                | 115,51                 | 76,67              |

Quadro 13 – Comparação de custos das janelas de madeira estudadas

O Quadro 14 apresenta a comparação de preços de vendas entre as janelas existentes no mercado e as janelas de madeira estudadas, considerando a mesma área de abertura (~1 m<sup>2</sup>) para diferentes tipologias e materiais.

| Tipologia da janela    | Preço de mercado (R\$) |
|------------------------|------------------------|
| Chapa de aço dobrado   | 65,00                  |
| Alumínio               | 150,00                 |
| JCV imbuia             | 218,00                 |
| JCV eucalipto          | 203,00                 |
| Protótipo I eucalipto  | 204,00                 |
| Protótipo II eucalipto | 115,00                 |
| Protótipo II pinus     | 76,00                  |

Quadro 14 – Comparação de preços de vendas entre as janelas existentes no mercado e as janelas de madeira estudadas para mesma área de abertura: ~1 m<sup>2</sup> (valores de novembro/1997)

## Conclusões

Os resultados obtidos no desenvolvimento dos Protótipos I e II indicam que:

- a simples mudança da espécie de madeira, no caso de madeira nativa para eucalipto, praticamente não provoca impacto no preço final do produto. Nota-se que o preço de aquisição da madeira em prancha de imbuia é maior do que o preço do eucalipto e que o rendimento da madeira de eucalipto (32%, segundo observado nas produções piloto) é menor do que o observado no caso da imbuia (58%). Dessa maneira, o alto custo de aquisição da madeira nativa é compensado pelo baixo desempenho da madeira de reflorestamento disponível;
- no caso de fabricação dos protótipos com madeira de eucalipto, o custo do Protótipo I é próximo do custo da janela JCV. Já o custo do Protótipo II é aproximadamente metade do valor da JCV;
- com a simulação de preço de venda, considerando-se uma margem de contribuição de 30 % (diferente da praticada pelas indústrias), o Protótipo II de eucalipto, com preço de venda simulado em R\$ 115,00, fica dentro do patamar definido pelo projeto;

- no caso da fabricação do Protótipo II com madeira de pinus, contando com os custos de tratamento preservativo, o preço de venda no valor de R\$ 76,00 fica na faixa 3, o que corresponde às janelas de chapa de aço com pequenas dimensões de baixa qualidade (ver Quadro 7).

Concluindo, o preço de venda do Protótipo II em pinus é competitivo em relação às janelas de chapas de aço de uso popular existentes no mercado. O Protótipo II em eucalipto ficou dentro da faixa de preço proposto (R\$ 100,00 a R\$ 150,00), como uma das diretrizes a ser atingida pelo projeto.

A introdução de espécies de plantios florestais na produção de esquadrias apresenta-se com boas perspectivas de competitividade em relação às janelas metálicas populares. Entretanto, há ainda algumas dificuldades a serem vencidas, entre as quais a falta de florestas manejadas com fins específicos para produção de esquadrias e para outros componentes construtivos e a baixa exigência de qualidade das janelas colocadas no mercado, não só para faixa popular, mas de maneira geral.

Os resultados obtidos para o Protótipo II em pinus ou eucalipto são passíveis de transferência para pequenos empreendimentos existentes de fabricação de janelas, pois a produção deste produto não necessita de aquisição de novos equipamentos. Para viabilizar essa transferência, são necessárias as seguintes condições: assessoria para adaptação do projeto às capacidades existentes (pessoal, equipamentos e instalações); assessoria para otimização nas diversas etapas de fabricação; assessoria para apropriação de custos e controle de qualidade; e, principalmente, assessoria para gestão da comercialização.

As estratégias gerais para viabilizar a utilização da madeira de floresta plantada para a fabricação de componentes em madeira, em particular as esquadrias, envolvem articulação dos diferentes agentes da cadeia de produção de esquadrias; formação continuada de diferentes tipos de profissionais (arquitetos, engenheiros, marceneiros, etc.); identificação de potenciais demandas de construção de habitação de interesse social, articuladas com os agentes promotores, em especial os do setor público; e implementação de políticas públicas para o setor florestal que garantam a sustentabilidade dos usos múltiplos da madeira de florestas plantadas.

## Referência bibliográfica

INO, A. et al. **Otimização do processo de fabricação de esquadrias de madeira no centro produtor da Região Sul e desenvolvimento de janelas de baixo custo para habitação social.** (Relatórios de Pesquisa FINEP). São Carlos: EESC-USP. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 1998. v. 1, 2 e 3, 800 p. Edital 01-95: Plano de Ação para a Área Social Convênio 63.96.0691.00.

