

DESENVOLVIMENTO DE PROJETO PARA ESTRUTURAS DE PORTE MÉDIO USANDO A MADEIRA DE REFLORESTAMENTO EM PERFIS LAMINADOS E COLADOS

*Arquiteto PhD. Jorge Daniel de Melo Moura - jordan@uel.br

*Arquiteto MSc. Marcos Fagundes Barnabé - barnabe@uel.br
Departamento de arquitetura e urbanismo - Universidade Estadual de Londrina
86051-990 campus universitário – londrina

1. RESUMO

Vivemos um momento de grande preocupação em relação aos recursos naturais do planeta. Materiais de construção de alto impacto ambiental tem sido colocados em xeque tendo em vista o esgotamento do sistema por conseguinte, métodos e processos de construção estão sendo redirecionados para uma perspectiva de sustentabilidade. Urge neste momento o desenvolvimento de novos materiais que se alinhem com esta nova preocupação.

Neste contexto, a madeira se apresenta como material importante no que diz respeito a seu baixo impacto ambiental na sua produção, sua disponibilidade (mais de 250000 há plantados apenas no Paraná) e a possibilidade de se criar sistemas construtivos de fácil e rápida execução.

A utilização desta madeira não só alivia a pressão sobre a floresta natural, como também promove o replantio de áreas devastadas gerando riqueza, conservação do solo e contribuição para a diminuição da poluição atmosférica.

A tecnologia de colagem aplicada a este material, permite uma nova perspectiva no uso da madeira possibilitando a confecção de perfis de dimensões que extrapolam os limites da madeira em sua forma natural.

Este trabalho apresenta a experiência de construção de um edifício que utiliza esta tecnologia para a fabricação de cobertura com 13 metros de extensão. Mostra as etapas de fabricação das vigas e pilares bem como a montagem da cobertura. Dá também indicações construtivas específicas para o uso deste sistema construtivo bem como analisa a durabilidade em função das disposições construtivas adotadas.

2. PALAVRAS CHAVE

Madeira laminada-colada, madeira de reflorestamento, sistema construtivo

3. INTRODUÇÃO

O Paraná é um grande produtor de madeira de reflorestamento contando com uma área de aproximadamente 260.000 hectares (SILVA, 2000). Ao contrário dos outros materiais estruturais, aço e concreto, cuja produção é de alto impacto ambiental, a madeira é um material renovável proveniente das árvores que tem o poder de capturar o carbono da atmosfera e transformá-lo em matéria lenhosa contribuindo para a redução da poluição ambiente.

Além disso, a plantação de florestas contribui de maneira significativa para a manutenção dos lençóis freáticos, para a cobertura do solo através de folhas e galhos o que preserva a qualidade do solo e diminui a erosão. Novas técnicas de manejo prevêem a manutenção de "ilhas" de vegetação natural no interior da floresta plantada e "corredores" da mesma vegetação que interligam as ilhas permitindo a manutenção da flora e fauna locais bem como a circulação de animais no seio da plantação de árvores.

Em futuro próximo, existem possibilidades de replantação de espécies nativas que sejam de interesse para a indústria de produtos florestais. Por todas estas razões, a utilização de madeira de reflorestamento é de especial importância para a construção.

Em compensação, várias tem sido as restrições na utilização deste material. Em primeiro lugar, trata-se de material de crescimento acelerado o que traz consequências tecnológicas do ponto de vista da secagem, quantidade de madeira juvenil, defeitos e propriedades mecânicas (MOURA, 1996).

No entanto a reserva existente, as excelentes características da madeira como material estrutural, bem como suas vantagens do ponto de vista ambiental, obriga a sua utilização.

Outra restrição importante diz respeito às dimensões das peças de madeira. O uso da madeira na sua forma natural, restringe as dimensões das peças à geometria, diâmetro e comprimento, da toras que as originam.

Para solucionar a questão, ligações de peças por meio de cavilhas, conectores metálicos, chapas, anéis e outros tem sido utilizados. No entanto, devido às características dos materiais envolvidos, madeira e metal, é difícil se conseguir ligações rígidas pois sempre se verifica deslizamento no plano de sambladura.

A tecnologia de colagem de lâminas de madeira é bastante antiga. As chapas de madeira compensada são um produto da colagem de várias lâminas de madeira, dispostas ortogonalmente em relação às fibras da madeira. Porém a utilização desta técnica para peças de responsabilidade estrutural é relativamente recente. Várias são as vantagens da utilização desta tecnologia : Em primeiro lugar, pode-se moldar perfis sem limite de dimensão, em segundo lugar, os defeitos da madeira são de uma maneira estatística, pulverizados ao longo da peça e não localizados como acontece com a madeira natural, efeitos de baixa densidade local e presença de nós não tem o mesmo peso de importância.

Deste ponto de vista, a utilização de madeira laminada colada é um grande avanço em relação à carpintaria tradicional e recoloca o material em pé de igualdade com os mais modernos materiais estruturais da atualidade

4. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é analisar o processo de construção em perfis de madeira laminada colada realizada com a madeira macia de reflorestamento da espécie *pinus spp* para a construção de uma cobertura de 13 metros de extensão em Londrina PR. Este artigo também traz elementos análise de durabilidade ligados às decisões construtivas adotadas no projeto.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na Europa e EUA, a maior parte das estruturas mais recentes são realizadas em madeira laminada. Estruturas de até 100 metros de vão livre tem sido realizadas com freqüência. Em Londrina, existem vários exemplos de estruturas de grande porte realizados com madeira laminada serrada, em geral galpões com cobertura em arco construídas há mais de 30 anos. BONO(1996).analisa em seu trabalho 24 obras realizadas no Brasil com madeira laminada com soluções estruturais diversas, que vão desde vigas retas simples até pórticos passando pelas estruturas treliçadas utilizando a madeira de reflorestamento, *pinus*, *eucalipto* e madeira regional. Os vãos livres de cobertura variam até 35 metros. Estas obras foram realizadas por empresas que tem ou tiveram suas atividades no sul e sudeste do país confirmando assim, o potencial destas regiões na utilização deste material.

A madeira laminada colada (MLC) é composta por tábuas superpostas, com emendas desencontradas solidarizadas umas às outras por meio de adesivo.

Na maior parte dos países da Europa se utilizam das colas de resorcina-formol-fenol e uréia-formol. Estas últimas por serem sensíveis à variação de umidade, devem responder às seguintes condições :

As peças devem ser aparentes ou estarem ventiladas corretamente

A estrutura não pode estar situada no exterior

Os vãos não devem exceder 25 metros (DAGUSÉ (1995), CTB(1991), CTB (1993))

Um dos maiores limitadores do uso da madeira laminada no Brasil, tem sido o custo do adesivo. BOHN(1995), preocupado com a questão, investiga por um lado, a influência da diluição da cola e por outro lado, a diminuição da superfície específica de colagem aumentando-se a espessura das lâminas, no comportamento mecânico das vigas de MLC. O autor demonstra que pode-se diluir o adesivo(resorcina) em até 50% em água e pode-se chegar a uma espessura de lâminas de até 50 mm sem prejuízo do comportamento mecânico das vigas. Tais procedimentos podem reduzir o consumo de adesivo em até 75% em relação ao que se faz tradicionalmente nos dias de hoje.

A classificação das lâminas, do ponto de vista mecânico, também é um parâmetro importante na composição da MLC. Os trabalhos científicos e técnicos (DAGUSÉ, (1995) CHAUMETTE (1993) ZANDER (1979) CTB (1993)) sobre o assunto sugerem o uso de madeira de melhores propriedades mecânicas possíveis na fabricação de perfis de madeira laminada. ARRUDA (1998) no entanto mostra em seu trabalho, que ao se localizar peças de baixa qualidade no terço interior de vigas fletidas, e nas bordas, material de melhor qualidade, o comportamento mecânico da peça não se altera em relação a vigas feitas em sua totalidade com madeira de boa qualidade.

A estrutura de MLC como qualquer outra estrutura de madeira, é sensível à ação das intempéries. MOURA(1989) e BARNABÉ e MOURA (2001), sugerem diretrizes de projeto para as construções em madeira para a proteção das partes do edifício pelo isolamento das fontes de umidade. Isolamento do solo, utilização de beirais e pingadeiras são algumas medidas necessárias para se garantir a durabilidade da construção.

6. RESULTADOS

O edifício em questão é a sede do sindicato dos funcionários da Universidade de Londrina.

O projeto previa uma cobertura de 13 metros de comprimento por 13 metros de largura que é o objeto de análise deste artigo.

A solução adotada foi a de se criar pórticos de madeira laminada colada (viga e pilares) com 5 metros de altura e com cimento único. O material de cobertura foi a telha de fibrocimento de 6 mm com 1,83 metros de comprimento. A telha de fibrocimento exige para sua montagem, apenas terças e elimina a utilização de caibros e ripas. As terças da cobertura também foram executadas em madeira laminada e a cobertura recebeu forro em lambril de pinus.

7. CONCEPÇÃO

As vigas foram montadas de modo a que não houvesse superposição de emendas de topo nas lâminas de cada camada. As emendas ficam desencontradas em torno de 1 metro de uma camada para outra. (foto 1)



Figura 1

7.1 Preparo

Todas as peças utilizadas foram executadas com tábuas de 2,5 x 17,5 cm² de seção transversal. Esta madeira é proveniente da região de Ortigueira e Telêmaco Borba Estado do Paraná e foi serrada na cidade de Tamarana a 60 km de Londrina. O material foi seco por secagem natural até um grau de umidade de 20%. Este teor de umidade não é o desejável, pois a madeira, apesar de ter sofrido pré-tratamento antifúngico, ao ser aparelhada (e removida a camada de produto) ainda desenvolveu alguns fungos.

7.2 Classificação

Houve uma pré classificação visual das peças de madeira, eliminando nós de mais de 30 mm de diâmetro. Peças previamente manchadas por fungos não foram eliminadas mas foram colocadas no interior dos perfis de maneira a que as partes mais críticas ficasse fora do alcance visual do observador. Uma seleção por qualidade em termos de propriedades mecânicas e densidade seria desejável ARRUDA (op.cit).

7.3 Aparelhamento

A madeira saída da serraria e sobretudo após o processo de secagem, no qual intervém o fenômeno da retração, apresenta dimensões irregulares e necessita então, para o processo de colagem, uma regularização global em sua geometria.

7.4 Prensagem e colagem

A prensagem das peças foi realizada através de dispositivo de grampos espaçados a cada 50 cm de tal maneira a permitir uma pressão contínua e homogênea ao longo de todo comprimento da peça. A figura 2 mostra o dispositivo de montagem das peças



Figura 2 – Dispositivo de prensagem e colagem

Na colagem das peças, usou-se a recomendação da quantidade de cola por unidade de área fornecida pelo fabricante de 300g por m² o que teve uma incidência significativa no custo das peças. As lâminas de madeira ficaram com espessura final de 22mm, resultado do aparelhamento de uma tábua de 25mm. A sugestão de o, BOHN (1995), teria permitido se aplicada, a redução significativa na quantidade de adesivo. A norma DIN recomenda uma pressão de colagem de 5 a 8 kg/cm² segundo a essência utilizada. Infelizmente, os equipamentos utilizados não permitiram um controle quantitativo da pressão adotada.

7.5 Flecha e contraflecha

A vigas principais de cobertura foram calculadas para suportar, sem deformação excessiva, as cargas solicitantes. No entanto, quando da fabricação das mesmas foi induzida uma contraflecha para compensar o comportamento visco-elástico da madeira que produz as deformações de fluência segundo recomendações da literatura (DAGUSÉ, 1995 e CTB, 1993). Dois anos depois de montada a cobertura percebe-se a vantagem deste procedimento pois a estrutura estabilizou suas deformações com flecha igual a zero. As figuras 3a e 3b mostram a deformação negativa induzida na montagem e recentemente, a estabilização da estrutura



Figura 3a



Figura 3b

7.6 Acabamento e tratamento

Um dos problemas na fabricação de grandes perfis é o acabamento das superfícies. Em geral o peso próprio e as dimensões não permitem o uso de plainas usuais. Na Europa se utilizam plainas móveis, CTB (op.cit.) Na falta destes equipamentos, usou- se neste projeto o expediente de lixamento através de máquinas de preparação de assoalhos. A figura 4 mostra a operação de lixamento das peças



Figura 4

Após a operação de lixamento, foi aplicada uma demão de seladora para evitar os riscos sujar a madeira na operação de montagem comprometendo a qualidade estética da estrutura uma vez que a mesma vai ficar aparente.

Uma vez montada, a estrutura recebeu pintura com verniz marítimo. Após 2 anos de aplicação, verifica-se o descama do filme de verniz que trabalha de maneira diferenciada da madeira. O ideal teria sido aplicação de uma pintura osmótica que possui características mecânicas condizentes ao trabalho da madeira.

Todas as peças receberam tratamento inseticida por pincelamento.

7.7 Diretrizes de projeto

Segundo MOURA (1989) e BARNABE e MOURA (2001), SILVA (2001) a medida mais importante para garantir a durabilidade da estrutura da madeira, é o isolamento da mesma das fontes de umidade. Desta forma, foram utilizados beirais generosos de 2m de comprimento nas laterais e de 4m na fachada frontal. Na fachada dos fundos, onde se utilizou beiral de 60 cm, verifica-se um grau de deterioração da pintura dos pilares muito maior que nos pilares frontais. A figura 5 mostra a comparação entre os elementos estruturais mais e menos expostos às intempéries. (figuras 5 e 6)



Figura 5: Ação das intermpéries sobre os elementos da estrutura



Figura 6

Igualmente, a madeira deve ficar isolada do solo. A ligação dos pilares com a estrutura de fundação, é feita através de chapa metálica solidarizada a um bloco de concreto com 50 cm acima da altura do solo. As figuras 7 a 7b e 7c mostram a placa metálica, sua montagem no pilar e a montagem do pilar no bloco de fundação



Figura 7a



Figura 7b



Figura 7c

7.8 Montagem

A montagem teve que ser realizada com a intervenção de um guindaste de pequeno porte (MUNK).

A construção pré-fabricada deve sempre contar com equipamento de elevação no canteiro

Em projetos desta natureza é necessário observar-se o rigor dimensional das partes da construção sobretudo no que diz respeito à estrutura de concreto que é moldada in loco. Uma vez pronta a estrutura, a montagem com a colocação das telhas foi feita em 3 dias, o que demonstra a vantagem da construção pré-fabricada sobre construção tradicional. As figuras 8a 8b e 8c, mostram a etapa de montagem da estrutura no canteiro.



Figura 8: Retirada das peças da oficina



Figura 8b: Aprumar os pilares

8. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões foram tiradas deste trabalho

- 8.1 A madeira laminada é um material de grande versatilidade e é capaz de recolocar a madeira no nível dos melhores materiais estruturais da atualidade
- 8.2 A possibilidade de se moldar perfis fora do canteiro com controle de qualidade rigoroso, é um fator importante na concepção e produção de grandes estruturas em madeira
- 8.3 A rapidez de montagem verificada é um trunfo na utilização deste material
- 8.4 A secagem da madeira de forma adequada é, sobretudo no caso da madeira de pinus que desenvolve fungos manchadores, uma das etapas mais importantes do processo. A secagem por estufa é a mais recomendada por ter um controle tecnológico adequado evitando perdas por retração.
- 8.5 A possibilidade de se colocar madeira de pior qualidade nas lâminas internas da peça poderiam fazer diferença no custo final das estruturas se houvesse no mercado a diferenciação de preço para a madeira de melhor e pior qualidade mecânica. Na atual situação de mercado, este parâmetro não é significativo. Em futuro próximo, a classificação estrutural da madeira de pinus deve forçar este procedimento a fim de baixar custos de fabricação das partes da estrutura.
- 8.6 Visando a redução do uso de adesivo pode-se, por um lado, fazer a diluição da cola em água ou álcool e por outro lado, aumentar a espessura das lâminas até o dobro do que foi realizado diminuindo a superfície específica de colagem, sem prejuízo do comportamento mecânico das peças. Estes procedimentos, que não foram utilizados neste trabalho, permitem a redução em até $\frac{1}{4}$ do volume de cola
- 8.7 O verniz de acabamento utilizado não se verifica um bom produto para a madeira pois tende, em curto espaço de tempo a descamar e criar a necessidade de nova pintura. As pinturas osmóticas são produtos mais adequados à madeira exposta aos raios UV.
- 8.8 Verifica-se a importância de se observar as diretrizes de projeto em madeira com o máximo rigor. Partes da estrutura expostas com baixa proteção, sobretudo proteção de beirais, tendem a se deteriorar muito mais rapidamente do que peças protegidas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, H.A.C. 1998. Influência da classificação das lâminas em vigas de madeira laminada-colada. Dissertação de mestrado, Depto de Engenharia Civil Universidade Federal de Santa Catarina. 177 pp

BARNABÉ, M.F. e MOURA, J.D.M. 2001. Desenvolvimento de sistema construtivo e construção de casas de interesse social em madeira de reflorestamento e alvenaria estrutural. In : anais do II Encontro Nacioanl e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Canela RS 24 a 27 abril de 2001.p173 a 175. ANTAC.

BOHN, A R. 1995. Influência da espessura das lâminas e da cola na madeira laminada.. Dissertação de mestrado, Depto de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina 93pp.

BONO, C. T. 1996. Madeira laminada na arquitetura- Sistematização de obras executadas no Brasil. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 247 pp mais anexos

CARRASCO, E.V.M. 1989. Resistência, elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada. Tese de doutorado. USP-São Carlos 176pp

CHAUMETTE, L. 1993. Le lamellé-collé. DESS en Sciences du bois École Nationale des Sciences et des Technologies des Industries du Bois- ENSTIB - França 68pp mais anexos.

CTB - Centre Technique du Bois. 1991. Les structures en bois lamellé-collé – Possibilités architecturales et bases de conception - Cahier 93 – França, 36pp

CTB - Centre Technique du Bois. 1993. La fabrication des éléments de structures en bois lamellé-collé – Possibilités architecturales et bases de conception - Cahier 86 – França, 35pp

DAGUSÉ, D. 1995. Conception de structures en bois lamellé-collé. Edition Eyrolles França- 198pp

MOURA, Jorge Daniel M. Utilisation de résineux à croissance rapide em construction : conséquences des cénarios sylvicoles extrêmes. Tese de Doutorado, Universidade de Nancy França, École Nationale de Sciences et des Technologies des Industries du Bois. 257pp., 1996.

MOURA, Jorge Daniel M. Aproveitamento e reaproveitamento de madeira de pinus e sub-produtos de serraria na construção de habitação. São Carlos. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, 233p., 1989.

SILVA, R.D.. 2001. Análise de desempenho de habitações de interesse social em madeira :estudo de caso In : anais do II Encontro Nacioanl e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Canela RS 24 a 27 abril de 2001. pp 219 a 226. ANTAC.

SILVA, R.D.. 2000. Análise de sistemas construtivos de madeira na região de Londrina : Aplicação de requisitos de habitabilidade e de projeto. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 138 pp mais anexos

ZANDER, J.R.T. 1979. Cálculo e fabricação de peças de madeira laminada. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 167 pp

