

A aplicação da modelagem em elementos finitos na concepção das estruturas em madeira e sua aplicação em projetos de habitação em madeira

The application of finite element modeling in the design of timber structures and their application in housing projects

Célia Regina Moretti Meirelles

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil
cerellesm@mackenzie.com

Henrique Dinis

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil
dinis@mackenzie.com.br

Tiago Azzi Collet e Silva

Universidade Presbiteriana Mackenzie,
tiago.collet@gmail.com

Alan Dias

Carpintería Estruturas de Madeira, Brasil
alan@carpinteria.com.br

Abstract: *The search for sustainable buildings is one of the most important phenomena of this century. Wood is a renewable material light, presents a grand synthesis of carbon recovery, its construction process is considered dry construction, it is composed of prefabricated parts for easy assembly. The research examines the application and digital models as tools in the design of timber structures and demonstrate the potential of digital modeling processes in particular the application of the tools in the structure, serving as support for the project in several phases, it allows the model analysis as a whole, showing stresses and strains.*

Palabras clave: housing; timber; finite element.

Introdução

A madeira é um material de fato admirável, pois apresenta características diferenciadas, tem fonte de matéria prima renovável, gasta a menor energia embutida para a sua produção além de apresentar um baixo peso específico quando comparada ao aço e ao concreto. Apesar disso, o potencial construtivo da madeira foi subestimado por muito tempo. A partir da definição da *Agenda 21*, na conferência internacional *Rio-92*, destacou-se a aplicação da madeira na construção civil como uma das premissas para o desenvolvimento sustentável.

No Brasil, as construções em madeira deixaram de ser utilizadas devido a uma forte tradição do uso das construções em concreto armado, e em alvenaria na construção civil. A madeira foi muito utilizada para construir habitações nas regiões Sul e Sudeste, onde a matéria prima utilizada, o pinho do Paraná, era abundante. Contudo, em 1905, em Curitiba, o governo proibiu a construção de casas de madeira nas zonas centrais da cidade. Isso contribuiu para gerar, no meio técnico brasileiro,

um preconceito contra as estruturas em madeira (DUDEQUE, 2001).

As construções pré-fabricadas e industrializadas em madeira no Brasil foram consideradas de baixa qualidade e durabilidade devido à falta de uma indústria de componentes voltada especificamente para esse tipo de construção e o processo de industrialização desse material em conjunto com a falta de domínio técnico da madeira. O domínio da tecnologia determina projetos em madeira nos quais a durabilidade das construções é relatada em mais de 100 anos, como em casas encontradas nos Estados Unidos e no Canadá.

Três paradigmas e conceitos das construções sustentáveis têm sido amplamente discutidos por grupos de pesquisa com ênfase no desenvolvimento da madeira, como: flexibilidade, transportabilidade e reciclagem. Segundo o grupo Wood for Good (2008), “*vivemos em mundo que está em constante mudança, onde a flexibilidade do ambiente construído é importante*”. O projeto de arquitetura em madeira deve considerar a flexibilidade para ampliações

ou eventuais alterações e indicar elementos que possibilitem futuros reaproveitamento dos materiais. Esses conceitos são compatíveis com processos construtivos racionais voltados para construção seca.

Com o grande desenvolvimento tecnológico sofrido nos últimos anos as limitações tendem a ser superadas possibilitando ao meio acadêmico brasileiro aplicar e difundir os conceitos de sustentabilidade, utilizando as novas tecnologias disponíveis para gerar construções de grande qualidade e durabilidade, criando meios de aceitação da arquitetura em madeira na produção habitacional. O trabalho analisa a estrutura de um edifício habitacional em madeira chamado de HABITÁCULO.

O Habitáculo

O projeto partiu do conceito do uso da madeira na estrutura e sistema de vedação. Com base premissas do pesquisador Julio Natterer (1989) foi admitido no projeto a modulação ideal para madeira maciça de 3,60 metros, assim como esta medida permite um espaçamento regular de 60 cm entre as vigas secundárias. A madeira como estrutura e as formas simplificadas do módulo exigiam cobertura integrada, de forma a não comprometer a pureza das soluções apresentadas. A alternativa foi aplicar o mesmo painel industrializado como piso, fechamento e cobertura. A decisão de não utilizar telhas na cobertura mas aplicar sobre o painel produtos impermeabilizantes de alta performance, determinou uma inclinação bastante razoável na cobertura, em uma única água.

A definição dos espaços do Habitáculo em um único bloco impondo a aplicação de um mezanino. A proposta de gerar uma construção elevada do solo, que toque minimamente nos pontos de fundação, mantendo toda sua permeabilidade. A circulação do ar promove uma maior durabilidade da construção em madeira.

Buscando conceitos de economia e racionalização da construção optou-se por aplicar painéis de fechamento sem nenhum revestimento externo. Para selecionar o tipo de painel de vedação necessária para as condições de execução, rapidez, leveza, durabilidade e resistência, o trabalho nos levou a pesquisar diferentes tipos de painéis compensados, wall, gesso e um painel conhecido como OSB "Oriented Strand Board" (painel de fibras de madeira Orientadas). (HUGHES, 2007)

Devido ao conceito de uma durabilidade da construção, criamos beirais prolongados, suficientes para afastar os painéis de fechamento do contato direto com a água da chuva. Os grandes beirais da cobertura foram estabilizados através de 14 escoras ou mão francesas. A projeção

determinada pela cobertura também serviu para dar um maior aproveitamento das áreas de acesso criando varandas permitindo uma sensação de maior espaço interno do projeto. A figura 1 mostra o Habitáculo e a estrutura proposta.



Figura 1: projeto do Habitáculo. Fonte: dos autores

A análise da Estrutura

Para a análise da estrutura em madeira e de suas características foi adotado a aproximação da anisotropia da madeira por um material ortotrópico (CALIL et al, 1999), foram considerados três elementos diferenciados em função da direção paralela as fibras da madeira: 1 elemento representando pilares e mão francesas, onde as fibras longitudinais direção estão paralelas a direção vertical; e dois 2 elementos horizontais representando as vigas, onde a direção paralela as fibras está paralela ao eixo longitudinal, em X e Y. Com estes três elementos é possível aproximar a características da estrutura global em função da anisotropia.

Considerando a direção paralela a fibra como L, a direção R como a radial e T a direção tangencial, ambas posicionadas no plano ortogonal a fibra da madeira, e adotando a seguinte nomenclatura para o módulo de Elasticidade $E_L = E_X$; $E_R = E_Y$; $E_T = E_Z$ e os módulos de deformação transversal $G_{XZ} = G_{LT}$; $G_{XY} = G_{LR}$; $G_{YZ} = G_{RT}$ e as relações a seguir foram propostas por Masquia (1993) para madeiras duras e nativas brasileiras, e como as madeiras utilizada proposta para o Habitáculos está considerando as madeiras duras adotamos os parâmetros de elasticidades adotados pelo autor

$$E_Y = \frac{E_X}{22.4} ; G_{XZ} = \frac{G_{XY}}{0.75} ; G_{YZ} = \frac{G_{XY}}{1.94}$$

Os coeficientes de Poisson determinados por Masquia (1993) foram

$$\begin{aligned} \nu_{LR} &= \nu_{XY} = 0.471 \\ \nu_{LT} &= \nu_{XZ} = 0.467 \\ \nu_{RT} &= \nu_{YZ} = 0.71; \nu_{TR} = \nu_{ZY} = 0.425; \\ \nu_{RL} &= \nu_{YX} = 0.0437 \end{aligned}$$

$$Y_{TL} = Y_{ZK} = 0,025$$

A estrutura da casa foi modelada em 3D e a análise da estrutura realizada no ANSYS 11 Versão Acadêmica. O programa permite a análise da estrutura em elementos finitos. O elemento finito utilizado foi elemento sólido 45 de oito nós, pois o elemento pode ser analisado como ortotrópico, a figura (2 A) mostra a discretização em elementos finitos da estrutura do Habitáculo.



Figura 2. A: Estrutura modelada em elementos finitos. B: Deformação dos elementos da cobertura. Fonte: dos autores

A Figura 2B ilustra o resultado obtido pela análise da estrutura, mostrando o tombamento das vigas secundárias devido à declividade da cobertura, sob as ações de carregamentos verticais de cargas elevadas. Em função dessa análise, a estrutura foi modificada: as vigas longitudinais da cobertura ficaram mais altas, além de ganhar um encaixe para fixar as vigas transversais, como pode ser observado na figura 3 associado a conectores metálicos para impedir os deslocamentos da estrutura do telhado por sucção. O potencial do programa ANSYS é permitir uma aproximação muito grande da realidade e uma precisão em termos de análise estrutural.



Fig. 3: Apoio das vigas secundárias. Fonte: dos autores

Em função dos desenhos propostos serem composto de elementos lineares, além de outros fatores como: a matrizes em elementos finitos apresentam uma grande dimensão, tornando lento o processo de análise da estrutura, pois estamos trabalhando em uma versão acadêmica do programa resolvemos realizar uma nova análise.

O modelo foi simulado no programa *METÁLICA 3D* com elementos lineares, de viga e pilar. Foi considerado um peso de 200 kgf/m^2 com a ação do vento, a ação da chuva, o peso próprio da madeira na cobertura, nos andares, foi considerada além do peso próprio da madeira, uma carga acidental de 150 kgf/m^2 , mais o peso dos painéis de vedação. O programa *METÁLICA 3D* tem em sua biblioteca uma base para as madeiras nativas e permite que as tensões e os limites elásticos, sejam calculados pelo método dos estados limites, de acordo com a Norma Brasileira NBR 7190/97 (Projetos de Estruturas de Madeira).

A partir da modelagem da estrutura com as ações de vento no projeto, tanto de pressão como de sucção, e lateral podemos observar que os maiores deslocamentos irão ocorrer em função dos ventos perpendiculares ao projeto (figuras 4). Observa-se que as deformações foram majoradas para permitir a visualização.

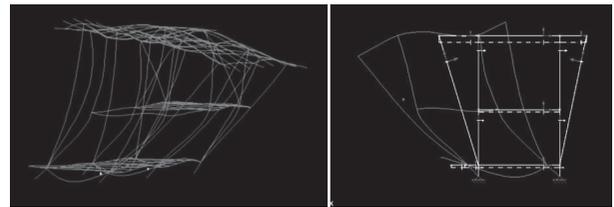


Figura 4: Simulação da estrutura deformada com vento lateral realizada no programa *METÁLICA 3D*. Fonte: dos autores

Com análise das deformações o grupo de pesquisadores observou que a estabilidade deveria ser alcançada neste projeto por meio da colocação dos painéis de vedação e sua associação com tirantes. A modelagem foi repetida com um contraventamento no nível das paredes, junto ao módulo do quarto e outros no nível do telhado, e esses elementos foram suficientes para impedir as deformações devido às ações do vento, figura 5B.

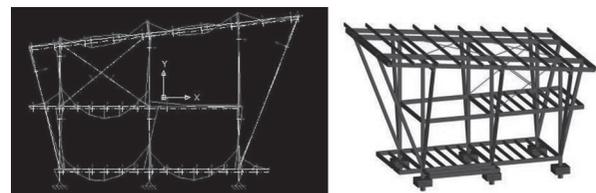


Figura 5. A: Diagrama de Momentos Fletores. B: Perspectiva do Habitáculo com os tirantes. Fonte: dos autores

Conclusão

A busca de edificações sustentáveis é um dos fenômenos mais relevantes deste século. A madeira é um material renovável leve, apresenta uma grande síntese de resgate

do carbono, seu processo construtivo em madeira é considerado como construção seca, pois é composto de peças pré-fabricadas de fácil montagem, dispensando o uso de argamassas. Os processos de produção por corte a laser irão permitir as construções de madeira uma nova aplicabilidade e novas composições estruturais aplicadas a construção civil.

A pesquisa demonstra a potencialidade dos processos de modelagem digital em especial a aplicação de ferramentas de modelagem digital da estrutura, servindo como ferramenta de auxílio ao projeto em suas diversas etapas, pois permite a análise do modelo como um todo além de uma análise das tensões e suas deformações mais realistas, permitindo modificações no projeto.

Uma das principais dificuldades encontradas nesta pesquisa é a integração entre programas de modelagem 3D com os programas de análise estrutural, pois muitas vezes quando ocorre à exportação das imagens e dados, dados são perdidos. Para a integração dos sistemas como o BIM é de grande importância que os programas conversem entre eles.

Agradecimentos

Ao MACKPESQUISA pelo apoio Financeiro

Referências

- Associação Brasileira De Normas Técnicas: Nbr 7190. *Projetos de Estrutura de Madeira*. 1997. Rio de Janeiro: ABNT, 1977.
- Calil Jr. C.: Baraldi, L. T. Stamato, G. C.; Ferreira, N. dos S. *Notas de Aula. Set 406-Estruturas de Madeira*. São Carlos: USP/EESC/ LAMEM, 1999.
- Dudeque; I. T. **Espirais de madeira**: Uma História da Arquitetura de Curitiba. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 437 p
- Hugues, Theodor; et al. *Construcción con Madera*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2007
- Mascia, N.T. *Valores das constantes de Elasticidade na madeira*. In: 11º Encontro Nacional da Construção Civil, 1, 59, Brasil, 1993.
- Wood For Good. *Case studies*. Reino Unido, 2008. Disponível em <www.woodforgood.com/pdf/Case_Studies.pdf - Reino Unido>. Acesso em: 11 jun. 2010.