

CONTROLE DE QUALIDADE PARA MONTAGEM DO SISTEMA ESTRUTURAL MODULAR EM EUCALÍPTO ROLIÇO PARA HABITAÇÃO

CRISTINA M. P. BARON*

AKEMI INO**

JOSHIAQUI SHIMBO***

RESUMO

O presente trabalho apresenta as etapas construtivas da montagem, na escala 1:1, do sistema estrutural modular em eucalipto roliço, experimentado por INO (1992), em modelo reduzido (1:3). Apresenta ainda os procedimentos adotados para o controle de qualidade. Este sistema foi utilizado para construção da edificação da sede do Horto Florestal da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

1. INTRODUÇÃO

Visando contribuir para diminuir o déficit habitacional no país, cada vez mais crescente, INO (1992) propõe um sistema estrutural modular em eucalipto roliço para habitação, tendo em vista o desenvolvimento de pesquisa em madeira de reflorestamento, simultaneamente com o desenvolvimento de componentes construtivos para habitações.

Quando se aborda o tema habitação, um dos critérios a serem considerados é a flexibilidade, tanto construtiva como espacial, pois, a constituição das famílias é diversificada e estão em constantes mudanças, decorrente das mudanças sociais, ou ainda, das possibilidades financeiras. A flexibilidade espacial, para esse sistema construtivo foi um dos dados de concepção, buscando uma qualidade espacial diferenciada dos sistemas construtivos existentes atualmente para habitação social.

Ao desenvolver um sistema construtivo em madeira, pensando na fabricação em grande escala, a racionalização é um outro aspecto a ser considerado em todas as etapas de produção, desde a floresta (corte e retirada para seleção das peças estruturais) até a pré-fabricação dos componentes estruturais, e posterior armazenamento, transporte e montagem do esqueleto estrutural no canteiro.

O sistema estrutural modular em eucalipto roliço, proposto por INO (1992), levou em conta as preocupações acima citadas: racionalização, flexibilidade espacial, facilidade na montagem, além de outras como segurança estrutural, segurança ao fogo,

* Arquiteta e pesquisadora do programa de Mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

** Doutora em Engenharia e Professora do Depto de Arquitetura e Construção da Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

*** Doutor em Educação e Professor do Depto de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos.



durabilidade e questões estéticas; temas de constantes debates, principalmente tratando-se de casa de madeira. Estes aspectos são abordados detalhadamente pela autora e podem ser considerados como critérios básicos para conceber qualquer desenvolvimento de sistemas construtivos para habitação de interesse social.

Constituiu-se como uma das etapas de desenvolvimento do sistema construtivo a verificação da viabilidade técnica do sistema proposto. Para tanto está sendo construído um protótipo, na escala 1:1, no Horto Florestal da UFSCar. O projeto do protótipo foi concebido para atender o objetivo da pesquisa, entretanto outros fatores contribuíram para a sua realização, como: a) necessidade de uma edificação para o Horto Florestal da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, abrigando múltiplas funções: sede da Coordenadoria Especial do Meio Ambiente - CEMA e apoio para os funcionários do horto, pesquisadores e visitantes; b) verificar a adaptabilidade do sistema estrutural proposto para habitação a outros programas; c) disponibilidade de eucaliptos na UFSCar; d) existência de indústrias de postes de eucaliptos, serrarias para desdobro de eucaliptos e fábricas de esquadrias em madeira na região de São Carlos.

O protótipo em experimentação faz parte também de um Projeto de Pesquisa Integrado, financiado pelo CNPq (1994), no qual participam docentes, técnicos e estudantes da Escola de Engenharia de São Carlos - USP e da Universidade Federal de São Carlos, através de parcerias com empresas e indústrias de componentes de madeira.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL MODULAR EM EUCALIPTO ROLIÇO

O sistema estrutural modular em eucalipto roliço proposto por INO (1992) é composto por três componentes: pilares, vigas e terças. Utilizando estes componentes a autora apresenta três modelos de pórticos, que permitem uma variação de arranjos entre eles resultando em três módulos espaciais básicos, possibilitando a adaptação do sistema a várias necessidades. Os três pórticos e módulos espaciais básicos são apresentados nas figuras 01 e 02, respectivamente.



Figura 01 - Pórticos do sistema estrutural modular em eucalipto roliço, proposto por INO (1992).

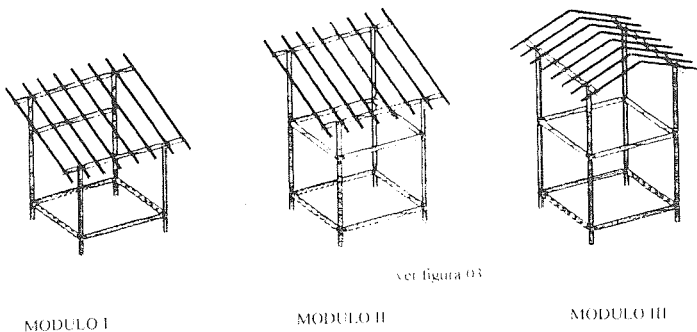


Figura 02- Módulos do sistema estrutural modular em eucalipto roliço, proposto por INO (1992)

A proposta da ligação entre viga (espiga) e o pilar (furo) do sistema estrutural, em eucalipto roliço, foi desenvolvido e testado no modelo reduzido por INO (1992) e posteriormente no protótipo na escala 1:1. A foto 01 apresenta a verificação da ligação entre pilar e viga.

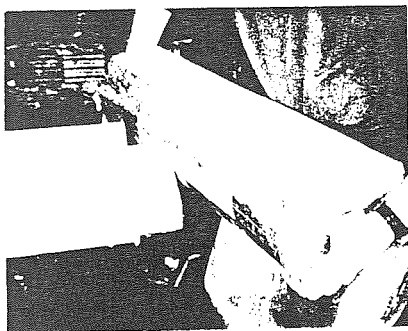


Foto 01 - Verificação de ligação furo (pilar) e espiga(viga)

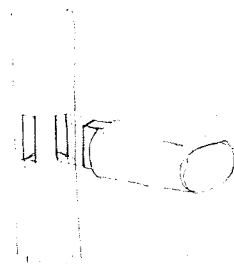


Figura 03 - Desenho do encaixe entre pilar e viga

A seguir, será apresentado a usinagem das peças estruturais utilizadas no protótipo construído no Horto Florestal. As peças estruturais e suas ligações foram pré-fabricadas para que o sistema estrutural fosse apenas montado no canteiro. Por usinagem entende-se as etapas necessárias para execução do "desbaste" e ligações (furos e espigas).

Por desbaste, ou falquejamento dos pilares, vigas e terças entende-se o aparelhamento das faces onde ocorrerão as ligações e os encaixes de outros elementos, como também a eliminação das costaneiras, garantindo a retilinidade das peças (ver figura 04).

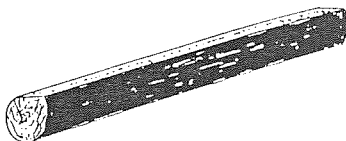


Figura 04 - Desenho do falquejamento ("desbaste") de toras

Os furos dos pilares foram realizados na furadeira de corrente, com as faces desbastadas. Como a espessura da corrente é de 2.5cm e o furo deveria ser de 5 a 5.5cm, executou-se meio furo sendo necessário virar a peça para completar a operação (ver foto 02).

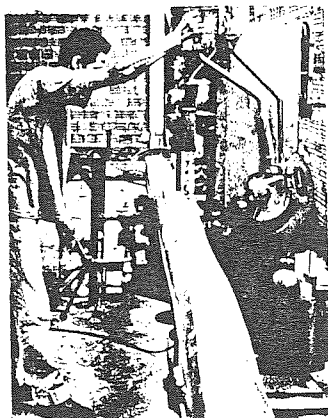


Foto 02 - Execução do furo no pilar com furadeira de corrente.

A execução das espigas nas vigas foram realizadas por duas maneiras: com serra circular portátil e motosserra, sendo necessário para as duas técnicas a utilização de martelo e formão para dar o acabamento (ver fotos 03 e 04).

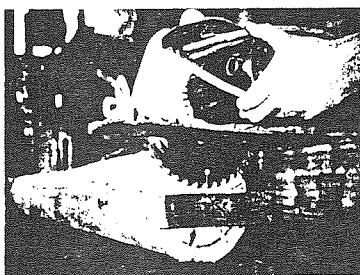


Foto 03 - Execução das espigas nas vigas com serra circular portátil.



Foto 04 - Execução das espigas nas vigas com motosserra

Este trabalho não pretende analisar as alternativas experimentadas para usinagens das peças e nem abordar as suas metodologias e os seus procedimentos.

3. PROJETO ARQUITETÔNICO DA SEDE DO HORTO FLORESTAL E QUANTIDADE DE COMPONENTES ESTRUTURAIS

O projeto consiste na experimentação dos três tipos de módulos, adequando-os as necessidades do Horto: atender aos seus múltiplos usos com versatilidade de espaços e a criação de um mirante aberto ao público com finalidade didática, apresentando o Horto Florestal a partir da visualização da sequência evolutiva das espécies botânicas.

O programa arquitetônico consiste em salas de trabalho, cozinha para funcionários do horto, banheiros e almoxarifado dispostos no térreo. No pavimento superior está previsto o depósito de sementes e mirante, acessados por uma escada externa também de eucalipto roliço. A área da edificação é de 54m² e como no térreo havia a necessidade de independência entre os ambientes, foi proposto um "deck" (em eucalipto) que contorna a edificação. Para esse programa o projeto foi composto com o arranjo de quatro módulos (2Mód.I, 1Mód.II e 1Mód.III). A figura 05 apresenta a perspectiva axonométrica da disposição dos módulos estruturais e cobertura.

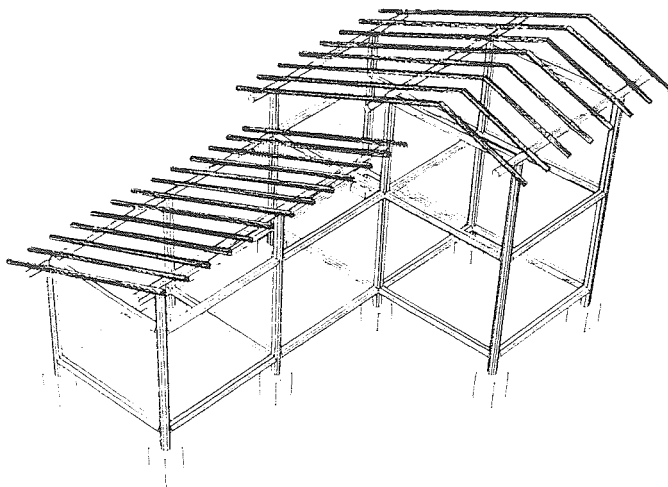


Figura 05 - Perspectiva axonométrica dos módulos estruturais e cobertura da "Casa do Horto".

No quadro 01 temos a quantidade de eucalipto roliço utilizado na parte estrutural com suas dimensões. Como se pode ver neste quadro os comprimentos das peças variam de 3,30m a 7,70m.

Peça	Identificação	Ø topo mínimo (cm)	Ø base mínimo (cm)	Comprimento bruto (m)	Quantidade	Volume (m³)
Pilar	PI	18 a 25	20	4.50	2	0.30
	PII		21	6.00	4	0.85
	PIII		22	7.50	2	0.56
	PIV		22	7.70	2	0.57
Viga	VI / VII	18 a 25	20	3.50	26	3.08
Viga	VIII	12	15	3.30	3	0.14
Travamento						
Terça	TI	16	18	5.00	3	0.34
	TII			4.30	2	0.20
	TIII			3.30	2	0.15
Quadra 01 - Quantidade das peças estruturais.					soma	6.19

Quadro 01 - Quantidade das peças estruturais.

4. ETAPAS GERAIS E SUB-ETAPAS PARA PRODUÇÃO E MONTAGEM DOS COMPONENTES DO SISTEMA ESTRUTURAL.

As etapas e as suas respectivas sub-etapas, que descreve a produção dos componentes até sua montagem na obra, estão apresentados no quadro 02.

ETAPAS GERAIS	SUB-ETAPAS
1. Seleção das toras	- observação visual da retilidade - verificação da conicidade - codificação das peças
2. Usinagem	- desbastes dos pilares, vigas e terças obtendo faces retilíneas para fixação dos componentes (piso, painéis de fechamento, parede de toras) - execução dos furos dos pilares na serra de corrente - execução das espigas com serra circular portátil ou motosserra, martelo e formão - execução das cavilhas de madeira para fixação das terças nos pilares
3. Tratamento	tratamento realizado sob pressão com o produto CCA (cromo cobre arsênico)
4. Transporte	transporte do local de tratamento para o canteiro de obras utilizando caminhão com guindaste
5. Armazenamento	- preparação no canteiro de obras para armazenar as peças estruturais - armazenamento no canteiro de obras, com as peças colocadas sobre apoios e cobertas (10 dias), evitando o contato com o solo e sol, respectivamente
6. Preparação no Canteiro de Obras	- limpeza do terreno - implantação do canteiro de obras (água, energia elétrica) - locação da obra - montagem do gabarito da obra - locação do posicionamento dos pilares - retirada do desnível do terreno - escavação das valas - regularização com concreto do fundo das valas
7. Montagem da Estrutura	ver item 5 do presente trabalho

Quadro 02 - Etapas gerais e sub-etapas para produção e montagem dos componentes.

5. SEQUÊNCIA DA MONTAGEM DO SISTEMA ESTRUTURAL MODULAR EM EUCALIPTO ROLÍÇO

Para iniciar a montagem da estrutura, as seguintes etapas já tinham sido executadas: a) locação da obra com gabarito; b) a escavação dos furos da fundação no terreno e c) a colocação de uma camada de regularização no fundo das valas para evitar o contato da base do pilar com o solo. Na escavação foi considerado o desnível do terreno, pois, os pilares apresentavam comprimentos diferentes, da parte do furo inferior até a base, para absorver o desnível, resultando em escavações com diferentes profundidades.

A locação do gabarito é fundamental para o controle de qualidade da montagem da estrutura, pois é através dele que os pilares serão posicionados, esse controle se baseia na garantia do esquadro do gabarito. Nos pilares, deverá estar marcado o eixo central que passa pelos furos das ligações. Este eixo é fundamental; pois, é através deste que ocorrerá a verificação do prumo. Essa marcação é realizada na etapa da usinagem.

Na figura 06, está apresentado a planta esquemática da “Casa do Horto”, com o posicionamento dos pilares e respectivos eixos para orientação da sequência de montagem.

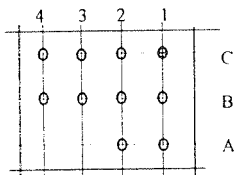


Figura 06 - Apresentação esquemática da planta-baixa, com posicionamento dos pilares e orientação dos eixos construtivos.

Para garantir o prumo da edificação devido à variação de conicidade das toras, optou-se por posicionar um pilar “mestre” e colocá-lo no prumo, executando a concretagem da fundação, evitando assim, sua movimentação e servindo de guia para os outros pilares. Devido a disposição dos módulos estruturais, o primeiro a ser concretado foi o pilar 1C, ele se encontra hachurado na figura 06.

A seguir, será apresentado os procedimentos para posicionamento dos pilares, retirada de prumo e colocação das vigas formando um pórtico; procedimentos repetidos para todo o processo de montagem da estrutura.

5.1. Procedimentos para posicionamento dos pilares (ver fotos 05, 06 e figura 07)

- preparação do engastalho para travar o pilar, realizado na superfície do terreno
- passa-se a linha de nylon a 20cm do eixo do pilar no gabarito, nos dois sentidos
- com o caminhão “munck” transporta-se o pilar do local armazenado e posiciona-o dentro da vala

O primeiro módulo a ser montado foi o MÓDULO II, permitindo duas frentes de trabalho, não executada devido a disponibilidade de mão de obra. A ordem de montagem da estrutura e respectiva concretagem dos pilares foi:

- pilar "mestre" - 1C
- pilares 1B, 2B e 2C, simultaneamente
- pilares 1A e 2A
- pilares 3B e 4B
- pilares 3C e 4C

Após a montagem de todos os pilares e vigas, a próxima etapa foi a colocação das terças fixadas com cavilhas de madeira 7/8" e vigas de travamento, ver fotos 11 e 12, respectivamente. As terças e vigas de travamento dos módulos MII e MIII foram executadas na sequência da montagem dos seus respectivos módulos para travar a estrutura, aproveitando o andaime que já estava montado (pavimento superior).



Foto 11 - Fixação da terça com cavilha de madeira

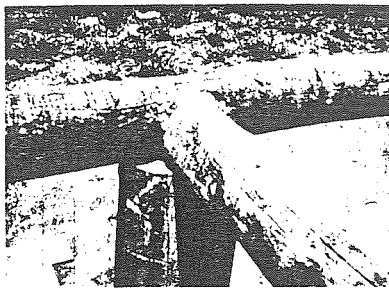
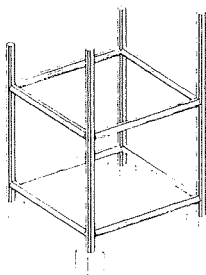
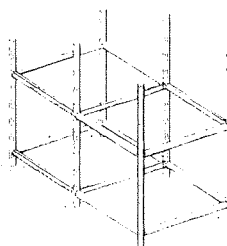


Foto 12 - Encaixe da viga de travamento

As figuras 08 e 09 apresentam, de modo esquemático, a sequência de montagem do sistema estrutural e a foto 13 uma etapa *in loco* da obra:



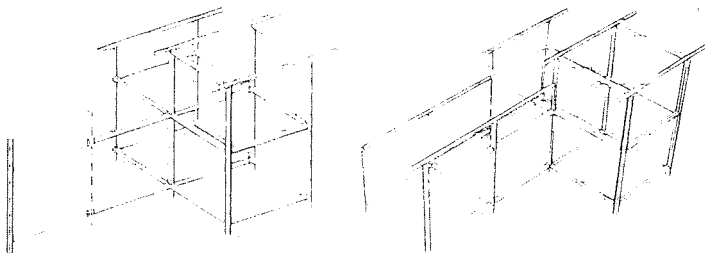
Primeiro módulo estrutural montado - MII



Módulos MIII e MIII

Figura 08 - Apresentação dos primeiros módulos montados

8.402



Módulos MII e MIII, com terças fixadas e
pórticos dos módulos MI montados

Montagem final da estrutura principal

Figura 09 - Apresentação da sequência da montagem estrutural

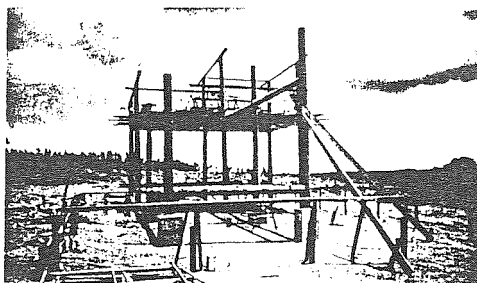


Foto 13 - Estrutura com execução de todos os módulos e terças no pavimento superior

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A montagem do sistema estrutural modular em eucalipto roliço na escala 1:1 permitiu verificar as dificuldades, desde a seleção das toras passando pela usinagem das peças até a montagem do sistema estrutural no canteiro de obras.

A partir do registro sistemático das várias etapas da montagem experimental, no canteiro de obra, verificou-se que é necessário analisar as múltiplas variáveis que interferem na produção e montagem dos componentes do sistema estrutural.

A técnica utilizada para seleção de toras (observação visual de retilindade), mostrou-se insuficiente. É necessário definir procedimentos mais rigorosos e instrumentos mais precisos para a seleção de toras, tendo em vista a facilidade de colocação no prumo dos componentes estruturais. Os pilares foram colocados no prumo através do furo superior e não através do topo, dificultando a fixação das terças, ou seja, o seu alinhamento.

- d) verifica o posicionamento retirando a distância do eixo do pilar com a linha de nylon, essa distância deverá ser igual a 20cm, nos dois sentidos do gabarito para garantir o paralelismo das faces desbastadas
- e) com o pilar posicionado, trava-se o engastalho, solta-se o gancho do caminhão "munck" e coloca-se as escoras



Foto 05 - Posicionamento do pilar 1C

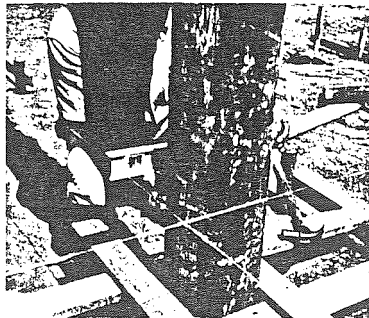


Foto 06 - Verificação da posição correta do pilar 1C

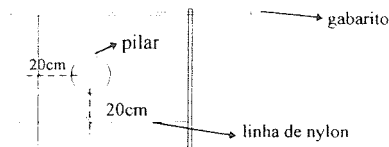


Figura 07- Apresentação esquemática do posicionamento dos pilares

5.2. Procedimento para colocação dos pilares no prumo (ver fotos 07 e 08)

- fixa um sarrafo abaixo do furo superior do pilar
- posiciona o prumo de concreto, preso por um arame, até passar o furo inferior do pilar
- medir a distância do eixo do pilar até o arame, a distância do eixo do furo superior até o arame tem que ser a mesma do eixo do furo inferior até o arame

Observações :

- se o pilar estiver fora de prumo, solta-se o escoramento para colocá-lo no prumo, travando-o na sequência,
- geralmente, ao colocar o pilar no prumo, ele deslocava-se de sua posição, mesmo travado pelo engastalho, sendo necessário repetir o procedimento 5.1 e posteriormente o 5.2.

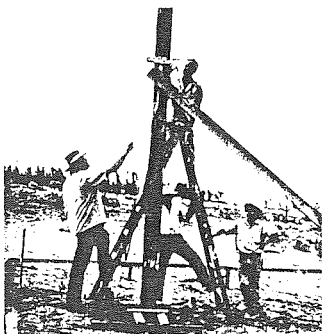


Foto 07 - Posicionamento do prumo



Foto 08 - Verificação com prumo de concreto

5.3. Procedimento para colocação das vigas (ver fotos 09 e 10)

- a) posiciona corretamente os pilares onde serão colocadas as vigas e deixa-os no prumo, travados com escoramentos
- b) tira as medidas corretas das vigas, pois o desbaste nos pilares não garantiu sua retilidade ao longo da tora e as medidas dos furos dos pilares e espigas das vigas
- c) ajuste das peças no canteiro de obras, geralmente havia necessidade de corrigir as ligações, pois, os encaixes haviam sido usinados de forma que não houvesse folga entre o furo e a espiga, dificultando o encaixe entre pilares e vigas. Houve diminuição no tamanho das espigas das vigas, sem que comprometesse o seu desempenho estrutural
- d) transporte da viga com caminhão "munck" quando se tratava da viga superior, auxiliando na sua colocação e transporte manual da viga inferior
- e) encaixa a viga em um dos pilares e abre o outro pilar, soltando o escoramento, para poder encaixar o outro lado da viga, voltando na mesma sequência o pilar na sua posição
- f) repete-se os procedimentos de posicionamento e retirada de prumo
- g) trava-se novamente os pilares através de escoramento e concretiza a sua base



Foto 09 - Colocação da viga superior

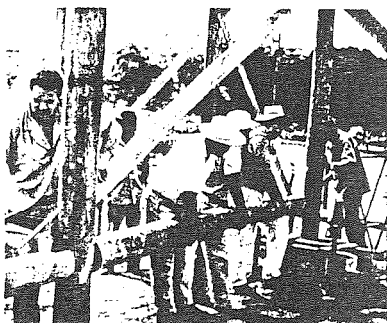


Foto 10 - Colocação da viga inferior

As técnicas utilizadas para execução de furos e espigas; com a adaptação de infra-estruturas existentes nas serrarias para usinagem em eucaliptos roliços, mostrou-se ser viável do ponto de vista da montagem, com os ajustes das espigas feito no canteiro

A partir de estudos de madeira de reflorestamento é possível aprimorar o melhoramento genético das espécies de eucalipto buscando aumentar a qualidade e produtividade das espécies e futuramente estar voltado para a construção de habitações. Além disso, a produção de madeira através do reflorestamento significa uma fonte permanente de matéria-prima e oferece uma opção tecnológica para a indústria da construção civil

Como continuidade os estudos a serem desenvolvidos sobre o sistema estrutural proposto devem examinar, além dos procedimentos de controle de qualidade em todas as etapas: a) relação do diâmetro das toras com o comprimento das peças; b) alternativas para usinagens dos furos e espigas; c) procedimentos de montagem no canteiro de obras (posicionamento e prumo dos pilares); d) sistemas mais racionalizados para travamento (escoras) e andaimes; e) análise econômica e f) os indicadores de equipes de montagem, infra-estruturas necessárias e produtividade

Esses estudos permitirão verificar a viabilidade técnica e econômica desse sistema estrutural modular em eucalipto roliço para produção de habitações de interesse social, sendo necessário ainda examinar as infra-estruturas necessárias para a produção em escala dos componentes.

ABSTRACT

The work shows constructive stages assembly of structural modular system in round eucalyptus, in 1:1 scale, experienced by INO (1992) on reduced model (1:3). Also It shows adopted proceedings to the quality control. This system have been used for construction of seat University Federal of S. Carlos - UFSCar's forest.

BIBLIOGRAFIA

- INO, A. *Sistema estrutural modular em eucalipto roliço para habitação*. S. Paulo, 1992. 242p. Tese (Doutorado em Engenharia) EPUSP
- INO, A., SHIMBO, I., SALES, A., BASTOS, J.M. *Subsídios para a Proposição de um Método de Pesquisa e de Desenvolvimento de Sistemas Construtivos em Madeira de Reflorestamento*. In: III Simpósio Ibero-Americano sobre Técnicas Construtivas Industrializada - Habitação, 1993. *Anais...* São Paulo, PINI, v.2, 233-342
- INO, A. *Sistema Estrutural Modular em Eucalipto Roliço para Habitação, Concepção e Desenvolvimento*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA I. EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1992, São Carlos. *Anais...* São Carlos: USP/EESC/SET/LaMEM, 1992 VOL.4, p. 235-250
- INO, A. *Sistema Estrutural Modular em Eucalipto Roliço para Habitação, Experimentação em Modelo*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1992, São Carlos. *Anais...* São Carlos: USP/EESC/SET/LaMEM, 1992 VOL.5, p. 55-78.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores e funcionários da UFSCar: Profa. Maria Ines, Eng. Maranhão, Prof. Nimir, Prof. Almir, Mestre Fidelsino, Mestre Zé Ferreira, Moisés, Capixaba, Herminio, Zeferino, Waldemar, Ezequiel, Quinho, Boni, Zé Martins, Tião, Marcos, Pavão, Piau, Sergio. Aos estagiários: Andre Daniel, Ederval e Rodrigo. A Postes IRPA. Alois (Diretor), Eng. Fernando, João, Gilberto, e aos funcionários da Empresa. Aos funcionários do LaMEM/EESC-USP: Arnaldo, Cido, Marivaldo e Silvio, e ao setor de transporte da EESC e da Prefeitura do Campus de S. Carlos-USP