xi ebramem
XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA LONDRINA –JULHO 2008

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO PARICÁ

Willian Pescador (pescadorw@gmail.com), **Manuel Manriquez Figueroa (**manuel.jesus@ecv.ufsc.br**), Poliana Dias de Moraes (**ecv1pdm@ecv.ufsc.br**) -** Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil

RESUMO: O potencial de desempenho ao fogo para madeiras oriundas de florestas nativas já é reconhecido, porém não existem muitos dados sobre a influência da temperatura nas propriedades mecânicas deste material, o que também ocorre com madeiras oriundas de florestas plantadas.
Este trabalho visa determinar a influência da temperatura sobre as resistências ao arrancamento do paricá (*Schizolobium amazonicum*) oriundo de florestas plantadas na região amazônica. Para tal, foi ensaiada uma amostra composta por 105 corpos-de-prova com teor de umidade médio de 12 % e massas específicas aparentes entre 342,47 kg/m³ e 511,51 kg/m³. Esta amostra foi dividida em grupos de 7 corpos-de-prova, com os quais foram determinadas as resistências ao arrancamento em 15 faixas de temperatura, situadas entre 20 e 230 °C. Em cada corpo-de-prova, 5 pregos 17 × 27, com diâmetro de 3,2 mm e comprimento de 65 mm, foram cravados 45 mm: 1 na direção longitudinal em relação às fibras, 2 na direção radial e 2 na direção tangencial. Todos os dados relativos à resistência ao arrancamento foram tratados estatisticamente para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas, com 95% de confiança, entre a resistência ao arrancamento à temperatura ambiente e as demais temperaturas. Verificou-se que as resistências ao arrancamento variam com o aumento da temperatura de modo não-linear, atingindo valor mínimo a 150 °C. Além da redução da resistência, constataram-se alterações como a desidratação dos corpos-de-prova, degradação térmica dos componentes químicos da madeira, retração e mudanças de cor. Os dados obtidos desses ensaios podem ser úteis para a avaliação do desempenho de ligações pregadas de elementos estruturais em madeira em situação de incêndio.

Palavras-chaves: resistência ao arrancamento, paricá, temperatura

INFLUENCE OF THE TEMPERATURE ON THE WITHDRAWAL CAPACITY OF NAILS ON PARICA SPECIMENS

ABSTRACT: The fire performance of woods from rain forest is already known. However, few data exist about the influence of the temperature on the mechanical properties of this material. The same also applies to wood from planted forests. The aim of this work is to determine the influence of temperature on withdrawal capacity of nails in specimens of paricá (*Schizolobium amazonicum*) from Amazon planted forest. Tests were performed on 105 specimens with 12% average moisture content and mass density between 342.47 kg/m³ and 511,51 kg/m³.
The sample was divided into groups of 7 specimens in order to determine the withdrawal capacity in the longitudinal, radial and tangential directions, using 15 temperature levels in the range from 20 to 230 °C. In each specimen, 5 nails 17x27, with a 3.2 mm diameter and a length of 65 mm were driven in a depth of 45 mm: one in a direction longitudinal to the grain, 2 in a radial and 2 in a tangential direction. All data were statistically treated to detect significant differences, with a 95 % confidence, between withdrawal capacity at the environment temperature and at the other 14 temperature levels. It was found that the withdrawal capacity changes nonlinearly with the temperature increase, reaching a minimum value at 150 °C. Besides that, changes like specimens' dehydration, thermal degradation of chemical wood compounds, shrinkage and change of colour were detected. The test results can be useful to evaluate the performance of nailed connections in timber structures in fire situations.

Keywords: withdrawal capacity, paricá, temperature

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, a humanidade utilizou a madeira como material de construção, extraindo-a de grandes extensões de florestas existentes. A exploração indiscriminada ocasionou a redução acentuada deste recurso natural em muitas áreas do mundo. Com os problemas atuais do crescente desmatamento das florestas nativas, procuram-se soluções para o suprimento da demanda de madeira para construção. Uma das soluções seria a utilização de madeiras oriundas de florestas plantadas. Na Região Amazônica, existem plantações de paricá (*Schizolobium amazonicum*), o qual destaca-se por apresentar rápido crescimento, fuste reto com ramificação a partir de sete metros, e madeira com elevada cotação no mercado interno e externo.

Atualmente, paricá é usado, quase que exclusivamente, na produção de miolo de laminados e compensados, sendo também aplicado em embalagens e paletes, provavelmente devido à falta de informações relativas às suas propriedades físico-mecânicas. Para a sua utilização como material de construção, principalmente em laminados colados e sistemas leves em madeira, é necessária a realização de estudos aprofundados sobre o seu desempenho físico-mecânico. Poucos trabalhos foram encontrados sobre este assunto. MELO et al. (1989) apresentam alguns valores para madeira verde e seca ao ar. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) informa a facilidade de secagem, aplainamento, furação, fixação e torneamento e colagem desta espécie. TEREZO e SZÜCS (2007) identificam a influência das idades de corte na resistência mecânica desta espécie.

Em sistemas construtivos leves em madeira, a maiorias das ligações utilizadas são pregadas. O dimensionamento destas ligações depende da resistência ao embutimento e ao arrancamento da espécie escolhida (NBR 7190, 1997; EUROCODE 5, 1999). Vários trabalhos podem ser encontrados na literatura nacional e internacional sobre a resistência ao embutimento de pregos e ligações pregadas (KUENZI, 1955; AUNE e PATTON-MALLORY, 1986; ALMEIDA, 1987; ALMEIDA et al. 1995; RAMMER, 2001), porém nada foi encontrado sobre a resistência ao arrancamento.

A ruptura por arrancamento ocorre em ligações pregadas e aparafusadas, dependendo da direção do esforço aplicado sobre a peça, contudo é mais comum em ligações pregadas. Em casos de esforços perpendiculares à direção do elemento pregado, ocorre primeiramente um embutimento na madeira, com um posterior arrancamento do prego. Com o esforço aplicado na direção paralela ao prego, ocorre um escorregamento do elemento, caracterizando um arrancamento puro propriamente dito.

Os ensaios para a determinação da resistência ao arrancamento de pregos são padronizados por várias normas (CDU 674, 1975; NCh 979, 1986; EN 1382, 1999). Basicamente, elas preconizam a determinação dos esforços de arrancamento nas três direções anatômicas da madeira: longitudinal, radial e tangencial da madeira, contudo diferem quanto ao diâmetro do prego, profundidade de cravação do prego no corpo-de-prova e no modo de expressão dos valores de arrancamento.

Para o dimensionamento de estruturas em situação de incêndio, a norma européia recomenda a utilização da resistência ou do módulo de elasticidade, para o fractil de 20 % (prEN 1995-1-2), porém estes valores são determinados para as madeiras daquele continente. O emprego dos mesmos parâmetros para o projeto com madeiras brasileiras exige um estudo mais a aprofundado sobre a influência da temperatura nas propriedades físico-mecânicas das

madeiras brasileiras, visto que a norma NBR 7190 (1997) não contempla o projeto em situação de incêndio.

Existem alguns trabalhos realizados sobre a influência da temperatura na resistência ao embutimento (MORAES et al., 2005; MANRIQUEZ, 2008, e MANRIQUEZ e MORAES, 2008), porém os resultados foram obtidos para diâmetros de pino de 8 e 10 mm.

Apesar do constante uso de ligações pregadas em estruturas, estudos referentes à resistência ao arrancamento destes elementos ainda são muito raros. Encontraram-se alguns resultados na literatura (TOBÓN, 1984; GUTIERREZ, s.d.; UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA). TOBÓN (1984) estudou a resistência ao arrancamento de pregos para a madeira da espécie aliso (*Alnus jorullensis*), realizando ensaios com a madeira em 12% de umidade e no estado seco ao ar, utilizando a norma pan-americana (CDU 674/75). Ao contrário da resistência da madeira ao embutimento, os valores de extração de pregos mostram-se menores com a madeira no estado seco nos sentidos tangencial e radial (Tabela 1).

Tabela 1: Resistência ao arrancamento

	Teor de umidade	Resistência ao arrancamento (N)		
		Tangencial	Radial	Longitudinal
TOBÓN (1984)	Seca ao ar	572	548	307
	12 %	449	421	456
UN Colômbia	Mais de 30 %	620	669	
	12 %	300	294	
GUTIERREZ	12 %	131 a 147		720 a 950

O objetivo deste trabalho é determinar a influência da temperatura na resistência ao arrancamento tangencial, radial e axial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) oriundo de florestas plantadas no Pará. Com ele pretende-se obter dados que permitam estabelecer critérios básicos para o dimensionamento de ligações pregadas em situação de incêndio.

A seguir serão apresentados os materiais e métodos empregados na realização deste trabalho, bem como os resultados obtidos, seguidos das análises e discussões necessárias e, finalmente, as conclusões obtidas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios mecânicos foram executados com amostras de paricá (*Schizolobium amazonicum*) com massa específica situada entre 342 kg/m³ e 511 kg/m³ e umidade média de 12%. Os corpos-de-prova foram confeccionados a partir de peças de madeira classificadas visualmente para garantir a isenção de defeitos e extraídos de regiões afastadas das extremidades de uma mesma peça do lote (NBR 7190, 1997).

2.1. Amostra e corpo-de-prova

A amostra usada para a determinação da influência da temperatura na resistência ao arrancamento de pregos no paricá constituiu-se de 105 corpos-de-prova, divididos em 15 grupos de 7 corpos-de-prova. À temperatura ambiente, as médias das massas específicas aparentes dos grupos situavam-se entre 427,5 kg/m³ e 433,5 kg/m³ e apresentavam

coeficientes de variação entre 9,0 e 10,4 %. A homogeneidade entre os grupos das massas específicas da amostra foi verificada por análise de variância com nível de confiabilidade de 95% (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

As especificações da norma chilena NCh 973/86 foram adotadas com algumas modificações para a execução dos ensaios de arrancamento. Os corpos-de-prova foram confeccionados segundo especificações desta norma com as dimensões de 50 mm × 50 mm × 150 mm (Figura 1), pois permitia a obtenção de um maior número de dados com um mesmo corpo-de-prova.

Em cada corpo-de-prova, foram pregados 5 pregos 17 × 27, com diâmetro de 3,2 mm e comprimento de 65 mm: 1 na direção longitudinal em relação à fibras, 2 na direção radial e 2 na direção tangencial (Figura 1). Eles foram cravados 45 mm na madeira por meio de um martelo. A escolha destes pregos deve-se ao fato de ser o tamanho mais utilizado em construções de madeira no Brasil e atender à especificação da norma brasileira NBR 7190/97 quanto ao diâmetro mínimo de 3 mm para as ligações de elementos estruturais em madeira.

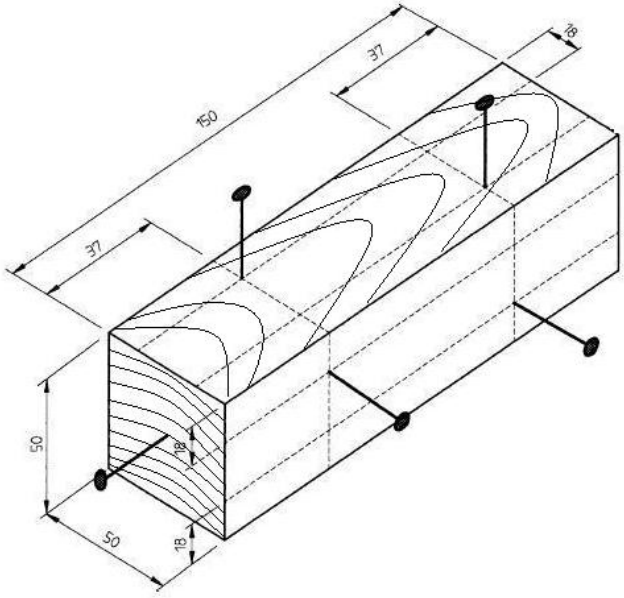


Figura 1: Corpo-de-prova para ensaio de arrancamento.

2.2. Testes mecânicos

Os testes mecânicos foram realizados com corpos-de-prova quentes em uma máquina universal de ensaios de marca Kratos, com sistema de aquisição de dados de força e deslocamento, na qual foi acoplada uma câmara térmica de marca Jung, tipo J200, com dimensões internas de 37 cm × 50 cm × 52 cm. Foi utilizado um prolongador de 50 mm de diâmetro e 35 cm de comprimento, fixo à célula de carga de 20 kN ± 0,02 kN, para permitir a instalação do dispositivo de arrancamento dos pregos do corpo-de-prova no interior do forno.

Os testes consistiam em arrancar os pregos do corpo-de-prova por meio do dispositivo ilustrado pela Figura 2a. O arrancamento era efetuado por meio do movimento de afastamento da garra de extração do prego fixa à travessa da máquina de ensaio (Figura 2a) em relação ao dispositivo de retenção do corpo-de-prova.

(a) Dispositivo de arrancamento

(b) Forno Jung J200

Figura 2: Dispositivos de ensaio

2.3. Aquecimento dos corpos-de-prova

O aquecimento dos conjuntos corpo-de-prova/pregos foi efetuado em uma estufa elétrica de 90 cm × 100 cm × 66 cm, previamente aquecida durante 180 min na temperatura de ensaio. Eles foram introduzidos na estufa com defasagem de tempo de 10 min, a fim de garantir que todos os corpos-de-prova tivessem o mesmo tempo de exposição ao calor. Após o período de aquecimento, o conjunto foi levado para a câmara térmica acoplada à máquina de ensaio, na qual se efetuava o teste de arrancamento.

O tempo de aquecimento foi determinado a partir de ensaios preliminares, nos quais foi obtido o tempo de exposição ao calor necessário para que a temperatura no interior do corpo-de-prova do paricá atingisse a temperatura do forno, regulado em 230 °C. A estabilização e o nível da temperatura foram verificados por meio de um termopar do tipo K, inserido em um orifício de 2,0 mm de diâmetro, cuja base localizava-se no centro geométrico do corpo-de-prova.

2.4. Determinação do teor de umidade

A determinação do teor de umidade no momento do ensaio foi realizada utilizando-se os próprios corpos-de-prova testados. Após os 180 min de aquecimento e, aproximadamente, 10 min de ensaio mecânico em câmara térmica, os corpos-de-prova eram pesados, para a obtenção da massa durante o ensaio (m_e), em seguida eram submetidos à secagem a uma temperatura máxima de 103 ± 2 °C, conforme a norma NBR7190/97, até a ocorrência de uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5 % da última massa medida, esta sendo considerada a massa seca (ms). O teor de umidade foi calculado por meio da Eq. (1).

$$u = \frac{m_e - m_s}{m_s} \cdot 100 \,. \qquad (1)$$

2.5. Determinação da resistência ao arrancamento

A norma chilena NCh 979 (1986) preconiza que a resistência ao arrancamento seja determinada a partir do valor máximo de força obtido durante o ensaio (Figura 3). Para cada nível de temperatura, foram determinadas as resistências máximas na direções longitudinal, radial e tangencial.

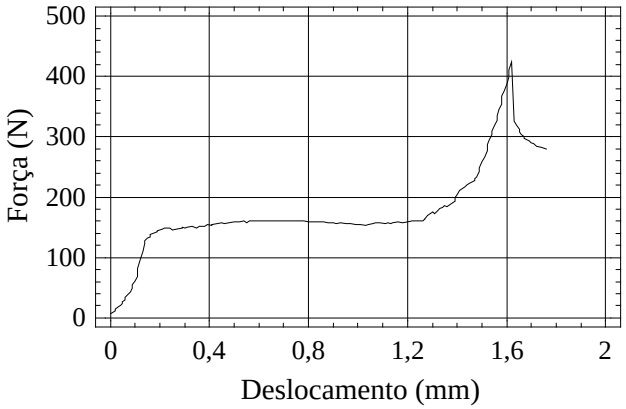


Figura 3: Diagrama força × deslocamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta secção, são apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios de arrancamento nas direções longitudinal, tangencial e radial em corpos-de-prova de paricá (*Schizolobium amazonicum*), realizados em 15 níveis de temperatura situados entre 20 e 230 °C, após 180 min de aquecimento. Os pregos utilizados nos ensaios foram de 17 × 27, com diâmetro de 3,2 mm e comprimento de 65 mm, cravados 45 mm na madeira.

Todos os resultados relativos à resistência ao arrancamento foram tratados estatisticamente, sendo realizada análise de variância, com confiabilidade de 95%, para verificar a existência de diferenças significativas entre os valores obtidos à temperatura ambiente e aqueles em temperaturas elevadas (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

3.1. Teor de umidade

A Figura 4 ilustra os teores de umidade dos corpos-de-prova à temperatura ambiente e após 180 min de aquecimento em forno e 10 minutos de ensaio mecânico em câmara térmica. Observa-se que o teor de umidade diminui linearmente com o aumento temperatura do ensaio, sendo que, a 150 °C, os corpos-de-prova apresentaram um teor de umidade próximo de 0 %. As temperaturas elevadas e o baixo teor de umidade indicam que a água contida nos componentes da madeira foi liberada totalmente, iniciando-se a degradação da madeira, com perda de peso, alta retração e formação de fendas internas. Para KOLLMANN (1968), este processo ocorre a partir de 130 °C.

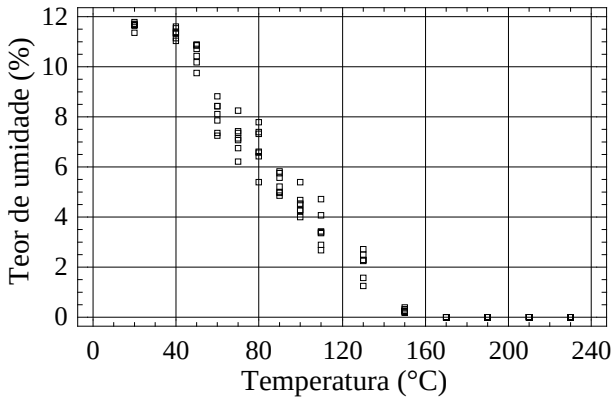
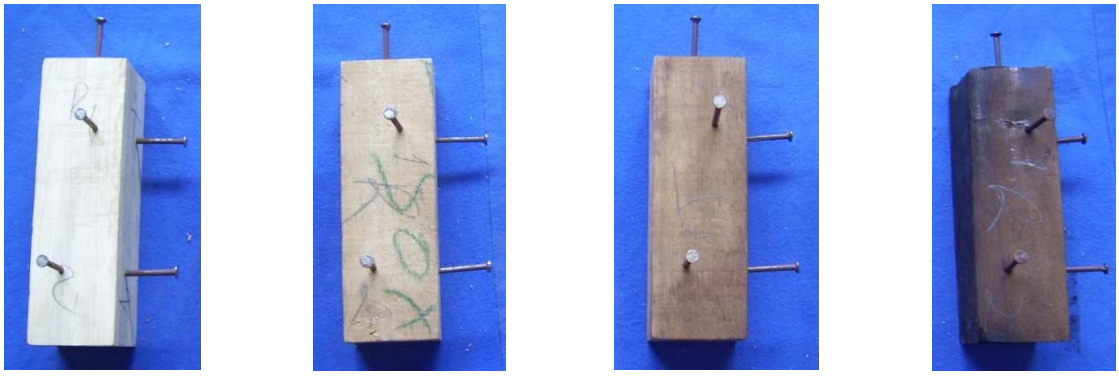


Figura 4: Teor de umidade dos corpos-de-prova

3.2. Coloração dos corpos-de-prova

O aquecimento dos corpos-de-prova provocou alteração na coloração dos mesmos, sendo esta alteração mais marcante em níveis de temperatura superiores a 150 °C, conforme ilustrado pelas Figuras 5a a d. A 230 °C, as amostras estavam bastante escurecidas, apresentando perda acentuada de massa e início do processo de combustão. A combustão manifestou-se pelo aparecimento de carvão e embrasamento na superfície dos corpos-de-prova.



(a) 20 °C (b) 150 °C (c) 210 °C (d) 230 °C

Figura 5: Coloração dos corpos-de-prova

3.3. Comportamento da curva de arrancamento

O comportamento das curvas forças × deslocamentos obtidos nos ensaios de arrancamento de pregos variam com a temperatura de ensaio. As curvas obtidas à temperatura ambiente apresentaram comportamento similar ao ilustrado pela (Figura 6a), o qual era caracterizado por uma parte inicial de aumento acentuado de resistência, seguida de uma estabilização e um aumento posterior de resistência, culminando com a força de arrancamento máxima. Porém, em níveis de temperaturas entre 70 e 200°C, este comportamento muda consideravelmente. O patamar na força desaparece e o arrancamento ocorre em níveis mais baixos de força (Figuras 6b e c). Em temperaturas acima de 200°C, o comportamento inicial de ruptura, observado à temperatura ambiente, volta a acontecer (**Figura 6**d).

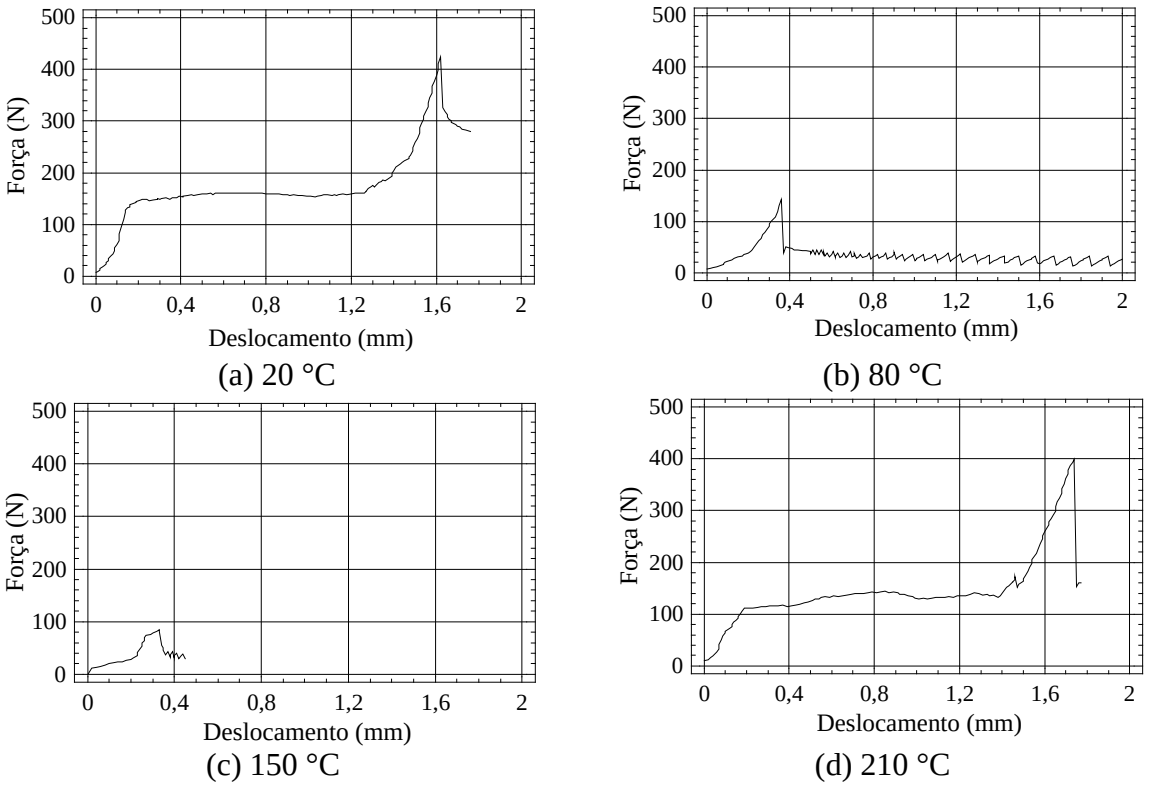


Figura 6: Diagramas força × deslocamento

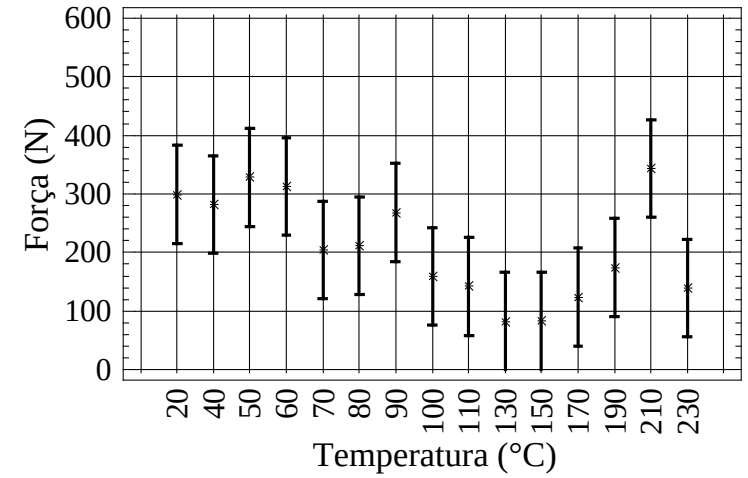
3.4. Resistência ao arrancamento longitudinal, radial e tangencial às fibras.

As Figuras 7a, b e c ilustram os valores de resistências de arrancamento médias obtidas entre 20 e 230 ºC. A resistência média ao arrancamento longitudinal, a 20 ºC, foi de 299 N ± 90 N, enquanto à 150 °C, foi de 84 N ± 36 N (Figura 7). As resistências apresentaram diferenças estatisticamente significativas, com 95 % de confiança, entre os resultados de resistência ao arrancamento, a 20 °C, e aqueles obtidos às temperaturas de 70, 80, 100, 110, 130, 150, 170, 190 °C.

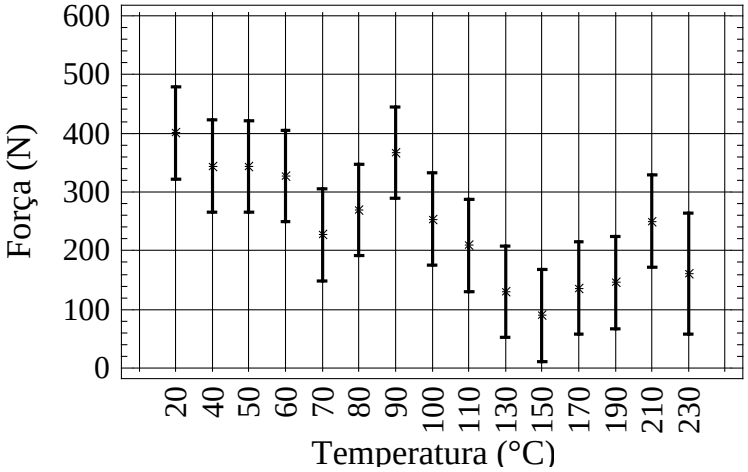
A resistência média ao arrancamento tangencial às fibras, a 20 ºC, foi de 400 N ± 141 N, enquanto a 150 °C, foi de 90 N ± 40 N (Figura 7b). Os resultados obtidos no ensaio de arrancamento tangencial às fibras apresentaram diferenças estatisticamente significativas, com 95 % de confiança, entre os resultados de resistência ao arrancamento a 20 °C e aqueles às temperaturas de 70, 80, 100, 110, 130, 150, 170, 190, 210 e 230 °C.

A resistência média ao arrancamento radial, a 20 ºC, foi de 479 N ± 156 N, enquanto a 150 °C, foi de 129 N ± 52 N (Figura 7c). Os resultados obtidos no ensaio de arrancamento radial às fibras apresentaram diferenças estatisticamente significativas, com 95 % de confiança, entre os resultados de resistência ao arrancamento, a 20 °C, e aqueles obtidos nas demais temperaturas, com exceção dos 60 °C.

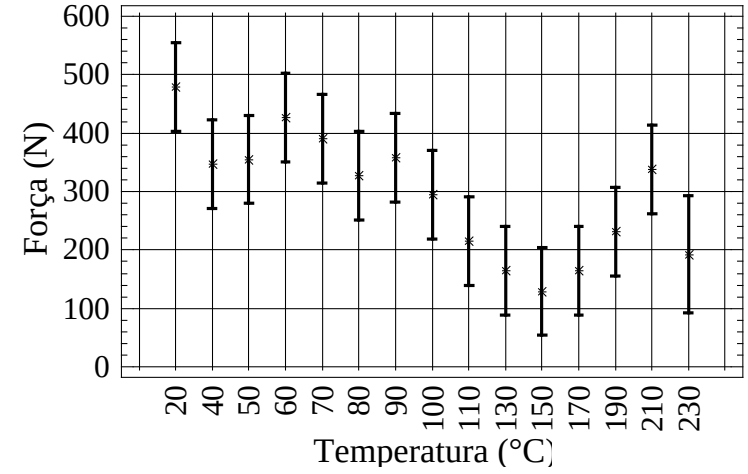
Comparando-se as três situações de cravação dos pregos em relação às fibras, observa-se um comportamento muito semelhante dos resultados de arrancamento em função da temperatura. A 150 °C, obtiveram-se os menores valores de resistência nas direções longitudinal, radial e tangencial. Nessa temperatura observou-se uma pequena dispersão dos resultados de arrancamento.



(a) Arrancamento longitudinal



(b) Arrancamento tangencial



(c) Arrancamento radial

Figura 7: Resistência média ao arrancamento

A Figura 8 permite a comparação das médias da resistências ao arrancamento nas três direções anatômicas da madeira. Observa-se que a resistência média ao arrancamento na direção radial foi superior às demais em quase todos os níveis de temperatura. Segundo o IPT (1986), a direção radial é uma região de cruzamento entre as paredes radiais dos traqueídeos longitudinais e as paredes transversais das células do parênquima radial, formando uma grelha. Provavelmente, este cruzamento de estruturas celulares na qual o prego estará inserido

proporcione um maior atrito entre o prego e a madeira resultando em uma resistência de arrancamento maior.

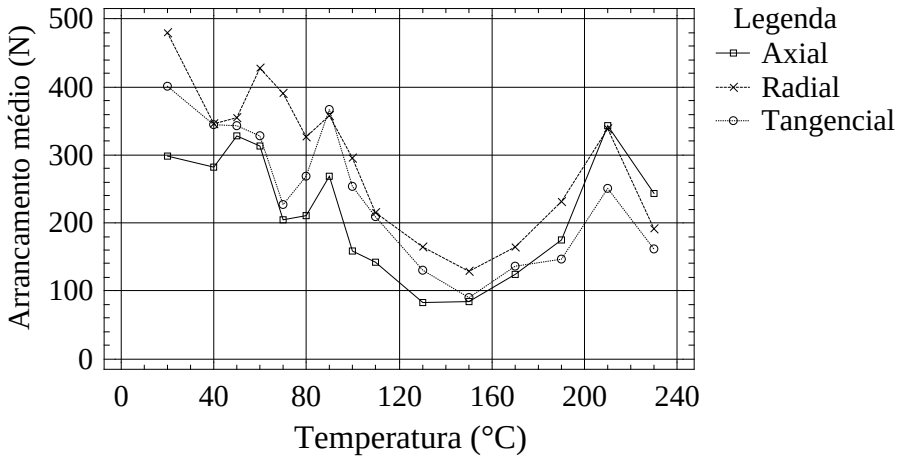


Figura 8: Resistência média ao arrancamento nas direções longitudinal, tangencial e radial.

O comportamento ilustrado pela Figura 8 pode estar associado ao teor de umidade apresentado pelos corpos-de-prova e as alterações dos polímeros da madeira devido à exposição ao calor. As informações contidas na Tabela 1 mostram que a resistência ao arrancamento de pregos varia diretamente com o teor de umidade, o que pode explicar, parcialmente, os resultados obtidos. No presente trabalho, o teor de umidade varia linearmente com a temperatura de ensaio, sendo que à 150 °C, os corpos-de-prova estão praticamente anidros (Figura 4). Nesse nível de temperatura, foi obtida a resistência mínima ao arrancamento.

Quanto às alterações dos polímeros devidas à exposição ao calor. Elas podem ocorrer a temperaturas relativamente baixas. SCHAFFER (1973) informa que, a partir de 55 °C, a estrutura da lignina é alterada e a hemicelulose começa a amolecer, o que pode explicar a diminuição da resistência ao arrancamento do paricá nos níveis inferiores de temperatura. Percebe-se que, a partir de 70 °C, as resistências longitudinal e tangencial aumentam até atingir um máximo relativo a 90 °C. Isto pode estar associado ao início da retração transversal da madeira anunciado por SCHAFFER (1973), visto que a retração aumentaria o atrito das fibras com os pregos.

Sabe-se que a transição vítrea dos polímeros provoca a redução da rigidez dos mesmos. Na madeira, a temperatura de transição vítrea está associada ao teor de umidade do material. IRVINE (1984) constatou, através de análise térmica diferencial, a 20 % de umidade, que a transição vítrea da lignina de diversas espécies de madeira ocorre em um espectro de temperatura entre 60 e 90 °C. Para um conteúdo de umidade aproximado de 5 %, a transição vítrea da lignina da espécie *Eucayptus regnans* está próxima de 70 °C. Em ensaios de madeiras úmidas, OLSSON e SALMEN (1997) verificaram que a transição vítrea para *Ulmus americana* ocorre em torno 78 °C e para o *Pinus strobus*, em torno de 90 °C. Isso explicaria a redução da resistência ao arrancamento do paricá, considerando que, a 90 °C, os corpos-de-prova apresentam teor de umidade em torno de 5,5 %, próximo daquele observado por IRVINE (1984).

A redução da resistência ao arrancamento da madeira a partir de 210 °C, pode estar associada à perda de massa e a transição vítrea seca dos polímeros da madeira. Segundo SCHAFFER (1973), a partir de 200 °C, a madeira começa a perder massa rapidamente. E, segundo BACK

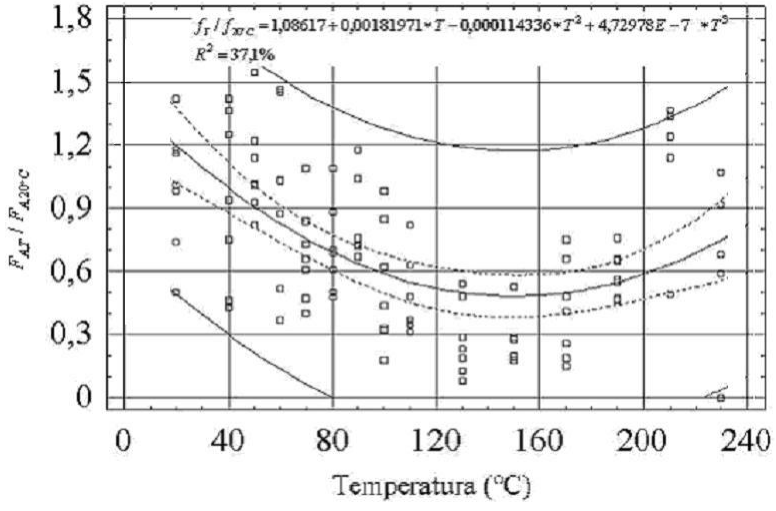
e SALMÉN (1982), a seco, os polímeros da madeira apresentam transição vítrea a altas temperaturas. Para a celulose ocorre entre 200 e 250 °C, para a hemicelulose entre 150 e 220 °C e, para lignina, ocorre em temperatura superior a 205 °C.

As Figuras 9a, b e c ilustram o comportamento da resistência ao arrancamento normalizada em relação à média dos valores obtidos à temperatura ambiente. Nelas são apresentadas as curvas correspondentes aos valores médios de resistência ao arrancamento, ao intervalo de confiança dos valores médios e individuais, para uma confiabilidade de 95 %. Apresentam-se também as funções de correlação de 3ª ordem para os valores médios de resistência ao arrancamento.

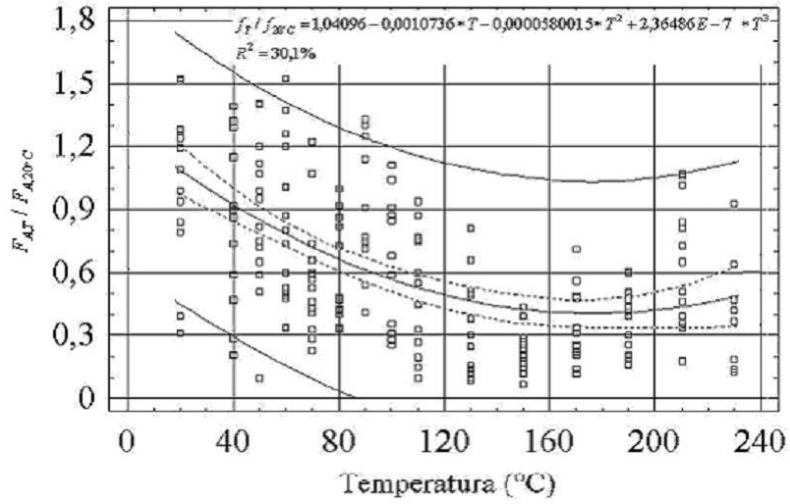
Observou-se, nas Figuras 9a, b e c, que em temperaturas relativamente baixas, entre 50 e 60 °C, a resistência média ao arrancamento nas três direções anatômicas da madeira apresenta uma redução entre 90 e 70 % da resistência à temperatura ambiente. A 150 °C, e redução é máxima, situando-se entre 40 e 60 %. Os resultados obtidos neste trabalho indicam a necessidade de se considerar um fator de redução de resistência para estruturas expostas ao calor prolongado, seja ele oriundo de uma situação de incêndio ou de fatores climáticos. A AFPA (1997), por meio do NDS, prevê a utilização de um fator de redução de resistência relacionado à temperatura que pode chegar a 0,5 para madeiras úmidas e temperaturas entre 52 e 65 °C. No Brasil, esta discussão caberia à comissão de revisão da NBR 7190 (1997).

Ainda nas referidas figuras, percebe-se também uma grande dispersão dos valores de resistência ao arrancamento entre a temperatura ambiente e 90 °C. Esta dispersão pode estar relacionada com a variação da massa específica aparente em cada nível de temperatura e com a confecção dos corpos-de-prova da madeira em relação às direções anatômicas da madeira. Recomenda-se a realização de ensaios complementares com amostras que apresentem variação da massa específica bem menor que 169 kg/m³, a fim de tentar minimizar a influência deste parâmetro nos resultados de ensaio (a massa específica aparente dos corpos-de-prova utilizados situava-se entre 342 kg/m³ e 511 kg/m³).

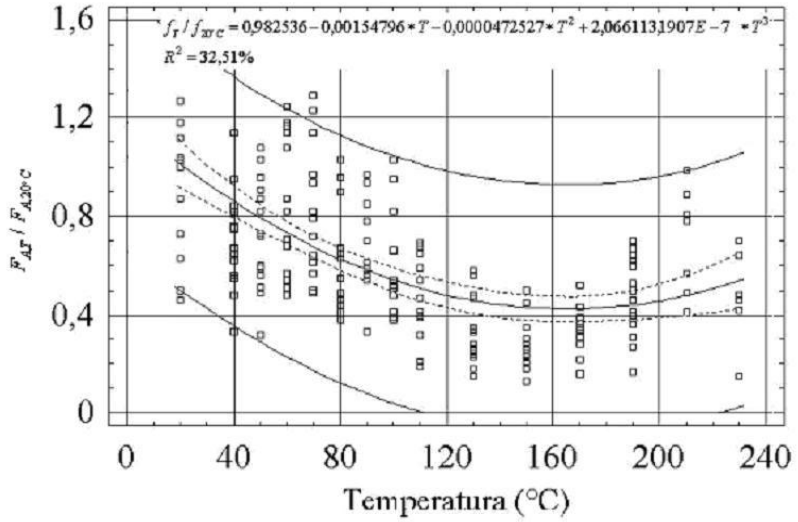
No futuro, quando da execução de ensaios complementares, recomenda-se determinar a variação da resistência característica ao arrancamento em função da temperatura, a fim de se determinar o valor do fator de redução desse parâmetro a ser empregado em projetos em situação de incêndio.



(a) Arrancamento longitudinal



(b) Arrancamento tangencial



(c) Arrancamento radial

Figura 9: Resistências ao arrancamento normalizadas

4. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é determinar a influência da temperatura nas resistências ao arrancamento axial, radial e tangencial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) para uma faixa de temperatura entre 20 a 230 °C por meio de pregos de 3,2 mm de diâmetro e 65 mm de comprimento, cravados 45 mm na madeira. Os resultados foram obtidos utilizando-se uma amostra de 105 corpos-de-prova distribuídos em 15 níveis de temperatura, os quais eram pré-aquecidos por 180 min antes do início dos ensaios mecânicos. Os resultados obtidos permitem concluir que:

- o padrão dos diagramas força de arrancamento × deslocamento varia em função da temperatura. Em temperaturas baixas, a força de arrancamento apresenta um patamar de escorregamento do prego. Entre as faixas de 80 a 150 °C, este patamar desaparece. A 210 °C, os diagramas retomam o comportamento apresentado à temperatura ambiente;
- os corpos-de-prova, quando submetidos a altas temperaturas, sofrem alteração de coloração com o início de combustão devido à degradação dos polímeros da madeira para temperaturas acima de 230 ºC;

- a resistência ao arrancamento do paricá, nas três direções anatômicas da madeira, varia em função da temperatura de forma não-linear, apresentando um mínimo à 150 °C, sendo a redução situada entre 40 e 60 % da resistência média à temperatura ambiente. Este comportamento pode estar associado às alterações físico-quimicas ocorridas na madeira e em seus polímeros;
- recomenda-se a realização de ensaios complementares com amostras que apresentem faixa mais estreita de massa específica, a fim de tentar minimizar a dispersão apresentada pelos resultados obtidos;
- quando da execução de ensaios complementar, deve ser utilizada uma abordagem estatística para a determinação da resistência característica ao arrancamento a temperaturas elevadas, a fim de utilizá-la em projeto em situação de incêndio.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Rodrigo Figueiredo Terezo, doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, pela doação da madeira utilizada nesta pesquisa; à Universidade de Magallanes, Chile, pelo suporte financeiro ao segundo autor e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento parcial deste trabalho.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, P.A.O. (1987) **Uniões pregadas de madeira**. São Paulo. 174p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ALMEIDA, P.A.O.; FUSCO, P.B. e RODRIGUES JR., M.S. (1995) – **Fundamentos do método para a determinação das resistências das ligações pregadas ou parafusadas em estruturas de madeira**. In: V EBRAMEM, Belo Horizonte, MG. **Anais.** v.2, pp. 315-326.

AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION (1997). **National Design Specification for Wood Construction: NDS**. pp10,158.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 7190-Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro.

AUNE, P.; PATTON-MALLORY, M. (1986) **Lateral Load-bearing Capacity of nailed joints based on the on yield theory: theoretical development**. Res. Rap. FPL 469. Madison, WI, EUA. Department of Agriculture, Forest Service, Rorest Products Laboratory. 20 p.

BACK, E.L.; SALMÉN, N.L. (1982) Glass transition of wood components hold implications for molding and pulping processes. **Tappi J** 65(7) :107-110,.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (1975). **CDU 674-Maderas: Método de extracción de clavos.**

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (1993)*:* **Design of Timber Structures *EUROCODE 5***. Brussels.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1986). **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (1986). **NCH 979-Madera-Determinación de las propiedades mecânicas: Ensayo de estracción de clavo**.

IRVINE, G. (1984) The glass transitions of lignin and hemicellulose and their measurement by differential thermal analysis. **Tappi J.** 67(5): p116-121.

KOLLMANN, F.; FENGEL, D. (1965) Changes in the chemical composition of wood by thermal treatment. **Holz als Roh und Werkstoff.** 23: 461-468.

KUENZI, E. W. (1955) **Theoretical design of a nailed or bolted joint under lateral load**. 31 p. Forest Products Laboratory. Madison. EUA.

GUTIERREZ, A.M.R. (s.d.) Aceite María: uma espécie multifuncional. **Revista M&M: el mueble y la madera**. v.58. pp 9-15. Disponível em: www.revista-mm.com. Acessado em: 25/02/2008.

MANRIQUEZ, M.J. (2008). **Influência da temperatura sobre as propriedades mecânicas do paricá**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.

MANRIQUEZ, M.J.; MORAES, P.D. (2008). **Influência da temperatura sobre a resistência ao embutimento do paricá**. (Artigo submetido ao XI Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas em Madeira, Londrina, PR).

MELO, J.E. de; CARVALHO, G.M. de; MARTINS, V.A. (1989), **Espécies madeireiras substitutas do mogno (*Swietenia macrophilla* King.).** Brasília: IBAMA, 16 p. (Série Técnica, 6)

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. (2003). **Applied statistics and probability for engineers**, 3rd ed. Wiley, New York.

MORAES, P.D.; ROGAUME, Y.; TRIBOULOT, P. (2005). Influence of Temperature on the embedding strength. **Holz als Roh- und Werkstoff**. 63: p.297-302.

OLSSON, A.M.; SALMÉN, L. (1997). **Humidity and temperature affecting hemicellulose softening in wood**. In: International conference of COAST action E8. Denmark. pp269-279.

RAMMER, D.R. (2001). **Effect of moisture content on nail bearing strength**. Res. Rap. FPL-RP-591. Madison, WI: EUA. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 22 p.

SCHAFFER, E.L. (1973) Effect of pyrolytic temperatures on the longitudinal strenght of dry Douglas fir. **Journal of testing and evaluation**, v. 1, n. 4, p 319-329.

TEREZO, R.F.; SZÜCS, C.A. **Anatomical and mechanical properties of Schizolobium amazonicum on different ages**. In: International Union of Forest Research Organization - IUFRO, 5th Conference, 2007, Taipei. **Anais...** Taipei: IUFRO, 2007. 1 CD-ROM.

TOBÓN, A.H. (1984) **Descripción anatomica, propiedades físico-mecanicas e preservación de aliso (*Alnus jorullensis* H.B.K)** – (disponível em: www.unalmed.edu.com. Acessado em: 18 out. 2007).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (UN). Laboratorio de productos forestales. **Camajon: ficha técnica**. 4 p. Medellin. Disponível em: www.unalmed.edu.co/~lpforest/. Acessado em: 25 de fev. 2008.