

Caracterização físico-mecânica da madeira de
Cedro-marinho, *Guarea trichilioides* L. (Meliaceae)Physical-mechanical characterization of
Cedro-marinho's wood, *Guarea trichilioides* L. (Meliaceae)Norman Barros Logsdon¹, Zenesio Finger² e Eduardo Silva Penna³**Resumo**

No presente trabalho foram estudadas as características da madeira de Cedro-marinho. Para descrição dendrológica e identificação da espécie utilizaram-se os métodos tradicionais da taxonomia. Para caracterização física utilizou-se o ensaio de estabilidade dimensional, do qual também se obtêm as densidades aparente e básica, e para caracterização mecânica utilizou-se a metodologia da atual norma brasileira NBR 7190: 1997. A espécie *Guarea trichilioides* L. pertence à família Meliaceae, é árvore de grande porte e distribui-se naturalmente por toda a região amazônica. A madeira apresentou: resistência característica à compressão paralela de 57,01MPa; módulo de elasticidade longitudinal, médio, de 18241MPa; densidade aparente de 0,7604g/cm³; densidade básica de 0,6124g/cm³ e coeficiente de anisotropia dimensional, no inchamento, de 2,0945. Suas características físicas sugerem madeira de qualidade normal, que apresenta alguns defeitos de secagem podendo, no entanto, ser utilizada em móveis que aceitem pequenos empenamentos (mesas, cadeiras, estantes etc.). Suas características mecânicas indicam elevada resistência mecânica (classe de resistência C 50) e aplicação em estruturas de madeira de médio a grande porte.

Palavras-chave: Identificação da espécie, Estabilidade dimensional, Classe de resistência

Abstract

In this work the characteristics of Cedro-marinho's wood were studied. For dendrological description and species identification was used the traditional methods of the taxonomy. For physical characterization were used tests of dimensional stability, that provide also the specific gravity and the basic density. For mechanical characterization was used the methodology of the current Brazilian Code, NBR 7190: 1997. The species *Guarea trichilioides* L. belongs to the family Meliaceae, it is a big tree and it is distributed naturally by the whole Amazon Area. Its wood presented: characteristic strength to the parallel compression of 57.01MPa; average module of longitudinal elasticity, of 18241MPa; specific gravity of 0.7604g/cm³; basic density of 0.6124g/cm³ and coefficient of dimensional anisotropy, in swelling, of 2.0945. Its physical characteristics suggest wood of normal quality, that it presents some dry-out defects, but it can be used in pieces of furniture that accept small distortions (tables, chairs, shelves etc.). Its mechanical characteristics indicate high mechanical strength (strength class C 50) and application in timber structures of medium to great load.

Keywords: Species identification, Dimensional stability, Strength class

INTRODUÇÃO

Atualmente o projeto de estruturas de madeira pode ser realizado utilizando-se classes de resistência, definidas na norma brasileira NBR 7190 da ABNT (1997), ou resultados de ensaios de caracterização físico-mecânica da espécie utilizada na estrutura. O cálculo utilizando classes de resistência é geralmente superestimado, pois

utiliza a menor resistência e a maior densidade aparente da classe de resistência a que pertence a espécie utilizada. O cálculo utilizando os resultados de ensaios é mais racional, pois utiliza a resistência e a densidade aparente da espécie utilizada.

A atual norma brasileira NBR 7190, da ABNT (1997), adota o teor de umidade de referência de 12%. Deste modo, todo resultado de ensaio

¹Doutor em Engenharia de Estruturas e Professor Associado da UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso – Faculdade de Engenharia Florestal – Departamento de Engenharia Florestal – Av. Fernando Corrêa da Costa s/n – Cuiabá, MT – 78060-900 – E-mail: logsdon@terra.com.br

²Doutor em Engenharia Florestal e Professor Associado da UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso – Faculdade de Engenharia Florestal – Departamento de Engenharia Florestal – Av. Fernando Corrêa da Costa s/n – Cuiabá, MT – 78060-900 – E-mail: fingerz@terra.com.br

³Engenheiro Florestal e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal – Universidade Federal de Viçosa – E-mail: edu0897@hotmail.com

deve ser reportado a este teor de umidade. O antigo método brasileiro MB-26, da ABNT (1940), reeditado como NBR 6230, pela ABNT (1980), utilizava a madeira verde. Assim, os resultados de ensaios do passado não são compatíveis com a atual norma e precisam ser recuperados.

Este trabalho vem ao encontro desta necessidade e tem por objetivo geral caracterizar física e mecanicamente a madeira de Cedro-marinho, *Guarea trichilioides* L., além da sua descrição dendrológica. Especificamente serão avaliadas as resistências características à compressão, à tração e ao cisalhamento, todas na direção paralela às fibras; bem como os valores médios do módulo de elasticidade, da densidade aparente e da densidade básica; e elaborados os diagramas médios de inchamentos e retrações.

REVISÃO DE LITERATURA

As principais características físicas da madeira podem ser obtidas a partir de ensaios de estabilidade dimensional. As dimensões da madeira alteram-se substancialmente com a variação da umidade, no intervalo de 0% até o limite de saturação das fibras. Neste intervalo, conhecido como intervalo higroscópico, ao aumentar o teor de umidade as dimensões da madeira aumentam (inchamento) e ao diminuir o teor de umidade as dimensões diminuem (retração).

Segundo Kollmann e Côté Jr. (1984), o comportamento da madeira ao inchamento volumétrico é o apresentado na Figura 1 (alínea a) e nas Expressões (1) e (2). O mesmo comportamento

é verificado para as deformações específicas no umedecimento (inchamentos lineares).

$$\Delta V_{i,U} = \delta_{vi} \cdot U, \text{ para } 0\% \leq U \leq U_{PI} \quad (1)$$

$$\Delta V_{i,U} = \Delta V_{i,sat}, \text{ para } U \geq U_{PI} \quad (2)$$

Onde:

U = Teor de umidade da madeira, em um instante qualquer do ensaio;

$\Delta V_{i,U}$ e $\Delta V_{i,sat}$ = Variação volumétrica no inchamento, a partir de $U=0\%$, até madeira com um teor de umidade qualquer e na situação saturada em água ($U \geq U_{PI}$);

δ_{vi} = Coeficiente de inchamento volumétrico, que caracteriza o coeficiente angular da reta inicial do diagrama, e

U_{PI} = Teor de umidade no ponto de interseção.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), admitiu o mesmo comportamento para o estudo da retração (ABNT, 1940 e ABNT, 1980). Isto foi um erro, não retrata a realidade, pois o fenômeno não é diretamente associado ao teor de umidade, mas a uma parcela dele, ou seja, ao teor de água de impregnação, que por sua vez depende do histórico de umidade.

Logsdon (2000) identificou as diferenças de comportamento entre inchamentos e retrações. Logsdon e Finger (2000) estabeleceram o modelo para o comportamento da madeira à retração volumétrica, apresentado na Figura 1 (alínea b) e nas Expressões (3) e (4), que também se verifica para as deformações específicas na secagem (retrações lineares).

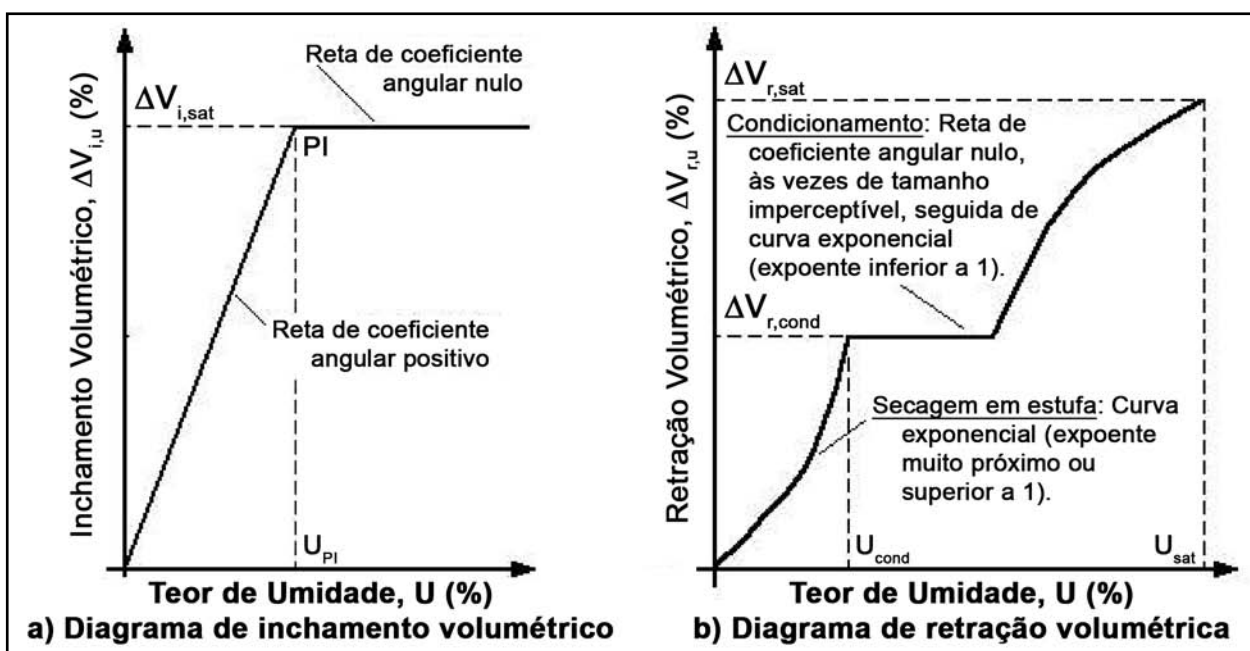


Figura 1. Modelos de comportamento para inchamento e retração volumétrica.
Figure 1. Models of behavior for volumetric swelling and shrinkage.

$$\text{Para } 0\% \leq U \leq U_{PI}: \Delta V_{r,U} = \Delta_{r,cond.} * \left(\frac{U}{U_{cond.}}\right)^{\beta_{0,v}} \quad (3)$$

$$\text{Para } U_{cond.} \leq U \leq U_{sat.}: \text{Máximo} \left[\Delta V_{r,U} = \Delta_{r,cond.} \text{ e } \Delta V_{r,U} = \Delta_{r,sat.} \left(\frac{U}{U_{sat.}}\right)^{\beta_{1,v}} \right] \quad (4)$$

Onde:

U = Umidade da madeira, em um instante qualquer do ensaio. Em particular, $U_{sat.}$ e $U_{cond.}$ correspondem, respectivamente, aos teores de umidade do corpo-de-prova saturado em água e condicionado em clima padronizado (temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65\% \pm 5\%$);

$\Delta V_{r,U}$ = Variação volumétrica na retração, em um instante qualquer do ensaio. Em particular, $\Delta V_{r,sat.}$ e $\Delta V_{r,cond.}$ correspondem, às variações volumétricas do corpo-de-prova saturado e condicionado, até seco ($U = 0\%$), e $\beta_{0,v}$ e $\beta_{1,v}$ = Expoente das curvas.

Kollmann e Côté Jr. (1984) apresentaram um estudo sobre a variação da densidade aparente (ρ_U) com o teor de umidade (U) durante o umedecimento da madeira, obtendo o modelo das Expressões (5) e (6), função da densidade aparente da madeira seca (ρ_0) e de características do inchamento volumétrico.

$$\text{Para } 0\% \leq U < U_{PI}: \rho_U = \rho_0 * \frac{\left(1 + \frac{U}{100}\right)}{\left(1 + \frac{\delta_v * U}{100}\right)} \quad (5)$$

$$\text{Para } U \geq U_{PI}: \rho_U = \rho_0 * \frac{\left(1 + \frac{U}{100}\right)}{\left(1 + \frac{\Delta V_{i,sat.}}{100}\right)} \quad (6)$$

Logsdon (2004), de forma análoga a Kollmann e Côté Jr. (1984), estudou a variação da densidade aparente com o teor de umidade durante a secagem da madeira, obtendo o modelo

das Expressões (7) e (8), função de características da retração volumétrica.

$$\text{Para } 0\% \leq U \leq U_{cond.}: \rho_U = \rho_0 \left(1 + \frac{U}{100}\right) \left[1 - \frac{\Delta V_{r,cond.}}{100} \left(\frac{U}{U_{cond.}}\right)^{\beta_{0,v}}\right] \quad (7)$$

$$\text{Para } U_{cond.} \leq U \leq U_{sat.}: \text{Mínimo} \left[\rho_U = \rho_0 \left(1 + \frac{U}{100}\right) \left(1 - \frac{\Delta V_{r,cond.}}{100}\right) \text{ e } \rho_U = \rho_0 \left(1 + \frac{U}{100}\right) \left[1 - \frac{\Delta V_{r,sat.}}{100} \left(\frac{U}{U_{sat.}}\right)^{\beta_{1,v}}\right] \right] \quad (8)$$

O coeficiente de anisotropia, segundo Nock *et al.* (1975), é usado na indicação da qualidade da madeira quanto aos defeitos oriundos da secagem. Logsdon e Penna (2005) ampliaram os estudos de Nock *et al.* (1975) e apresentaram os resultados na Tabela 1.

A atual NBR 7190 adota a umidade de referência de 12%. Assim, todos os resultados de ensaio devem ser reportados a essa umidade. A NBR 7190 apresenta formulário para a correção da resistência e rigidez da madeira, mas não para sua densidade aparente. Logsdon (1998), estudando o assunto, concluiu que o formulário apresentado na NBR 7190 não é válido para todas as classes de resistência ou todos os tipos de solicitação e apresenta formulário alternativo, que também permite a correção da densidade aparente. Este formulário é apresentado nas Expressões (9) a (10) e na Tabela 2.

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{\alpha (U\% - 12)}{100}\right]; \quad (9)$$

$$E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \frac{\alpha (U\% - 12)}{100}\right]$$

$$\rho_{12} = \rho_{U\%} + \rho_{U\%} \left[(1 - \delta_v) \frac{(12 - U\%)}{100} \right], \text{ com} \quad (10)$$

$$\delta_v = \frac{\Delta V}{U\%} \text{ e } \Delta V = \frac{V_{U\%} - V_{seca}}{V_{seca}} * 100\%$$

Tabela 1. Coeficiente de anisotropia dimensional, qualidade e uso da madeira.

Table 1. Coefficient of dimensional anisotropy, quality and use of the wood.

Coeficiente de anisotropia em:		Qualidade da madeira	Utilização indicada para a madeira
Retração, Ar	Inchamento, Ai		
Até 1,50	Até 1,54	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esporte e etc.
1,50 a 2,00	1,54 a 2,10	Normal	Estantes, mesas, armários, enfim usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,00	Acima de 2,10	Ruim	Construção civil (observadas as características mecânicas), carvão, lenha e etc.

Onde:

f_{12} e $f_{U\%}$ = Resistência, à determinada solicitação, respectivamente, aos teores de umidade de 12% e U%;

E_{12} e $E_{U\%}$ = Módulo de elasticidade longitudinal, respectivamente, aos teores de umidade de 12% e U%;

α = Coeficiente de correção, fornecido na Tabela 2;

ρ_{12} e $\rho_{U\%}$ = Densidade aparente, respectivamente, aos teores de umidade de 12% e U%;

δ_V = Coeficiente de inchamento volumétrico;

Δ_V = Retração volumétrica, para a variação de umidade entre U% e 0%, e

$V_{U\%}$ e V_{seca} = Volume do corpo-de-prova, respectivamente, ao teor de umidade U% e da madeira seca U = 0%.

Tabela 2. Valores do coeficiente de correção, α
Table 2. Values of the correction coefficient, α

Propriedade de resistência ou rigidez	Coeficiente de correção, α
Resistência à compressão paralela às fibras, f_{c0}	3,5
Resistência à tração paralela às fibras, f_{t0}	2,0
Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, f_{v0}	2,5
Módulo de elasticidade longitudinal, E_{c0}	2,5

Para o cálculo racional de estruturas de madeira torna-se necessário o conhecimento das

características físicas e mecânicas da madeira.

Segundo a ABNT (1997), para a caracterização das propriedades de resistência podem ser utilizados os três seguintes procedimentos: caracterização completa da resistência da madeira serrada; caracterização mínima da resistência da madeira serrada; e caracterização simplificada da resistência da madeira serrada. Para a caracterização das propriedades de rigidez podem ser utilizados os dois procedimentos: caracterização completa da rigidez da madeira e caracterização simplificada da rigidez da madeira.

MATERIAL E MÉTODOS

O material foi coletado de três árvores da espécie *Guarea trichilioides*, no município de Cotriguaçu, MT. De cada árvore foi coletado material dendrológico para a identificação e descrição da espécie, e uma amostra do fuste, na região do DAP de aproximadamente 90 cm de comprimento, da qual foram retiradas, a partir de uma prancha diametral, quatro barras de seção 6 cm x 6 cm isentas de alborno e medula. De cada barra foi retirado um corpo-de-prova para cada ensaio previsto. Na Figura 2 são apresentados o esquema de retirada e as dimensões dos corpos-de-prova. Para cada tipo de ensaio foram retirados 12 corpos-de-prova, correspondendo à amostragem mínima prevista na NBR 7190, da ABNT (1997).

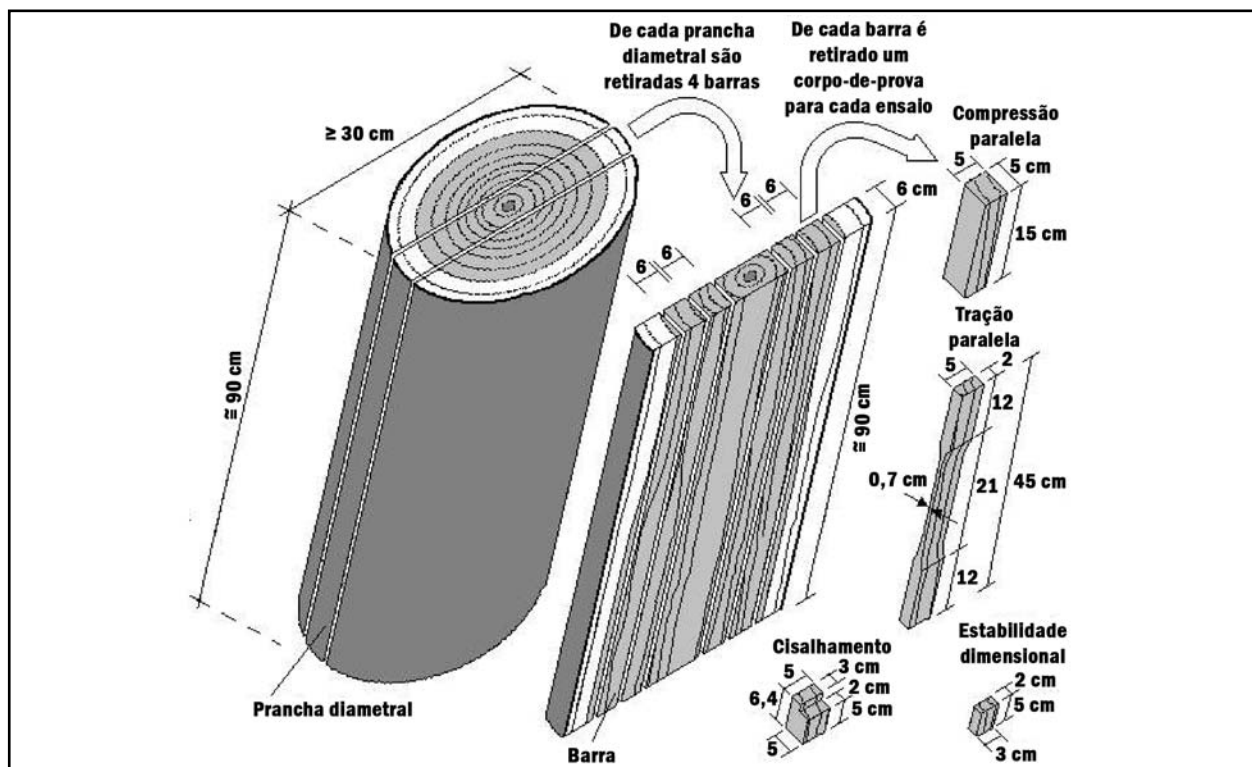


Figura 2. Esquema de retirada e dimensões dos corpos-de-prova.
Figure 2. Scheme to saw and specimens dimensions.

Foram coletadas informações sobre as particularidades do caule, da copa, das folhas, da casca e da madeira para a descrição dendrológica da espécie.

A identificação da espécie foi realizada através dos padrões clássicos utilizados pela taxonomia, com base em caracteres morfológicos florais e vegetativos, e pela comparação de exsiccatas coletadas com material catalogado no Herbário Central da Universidade Federal de Mato Grosso, e pela consulta a outras instituições e especialistas. A nomenclatura da espécie foi citada de acordo com o *Index Kewensis*.

A caracterização física foi baseada na metodologia proposta por Logsdon (2002) para revisão da atual NBR 7190, que inclui os ensaios de inchamento e retração. De cada árvore foi separado um corpo-de-prova como amostra de controle.

O ensaio de estabilidade dimensional, proposto por Logsdon (2002), tem quatro fases: secagem prévia (corpos-de-prova são secos ao ar); encharcamento (corpos-de-prova são submersos em água destilada); condicionamento (corpos-de-prova são secos ao ar); e secagem em estufa (corpos-de-prova são secos em estufa). As três primeiras fases foram realizadas em sala de climatização, com temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(65 \pm 5)\%$, e a última em uma estufa de secagem e esterilização, com temperatura de $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$.

As dimensões e as massas dos corpos-de-prova da amostra de controle, foram avaliadas ao longo de cada fase (a cada 20 minutos no primeiro dia e diariamente nos demais). O término da fase era detectado pela observação da constância da massa dos corpos-de-prova (variação inferior a 0,5% em um intervalo mínimo de seis horas).

As avaliações de massa e dimensões, para os demais corpos-de-prova, foram feitas nos seguintes instantes do ensaio: 1) Após a secagem prévia ($U = U_{início} \cong 12\%$), que corresponde ao início do ensaio de inchamento; 2) No fim da fase de encharcamento ($U = U_{sat}$), que corresponde ao fim do ensaio de inchamento e ao início do ensaio de retração, quando a madeira estava saturada em água; 3) Após um dia na sala de climatização ($U = U_{1d-SC}$), que é um ponto intermediário da fase de condicionamento; 4) No fim da fase de condicionamento ($U = U_{cond.} \cong 12\%$), que corresponde ao início da fase de secagem em estufa, quando a madeira estava condicionada; 5) Após uma hora secando em estufa ($U = U_{1h-est}$), que é um ponto intermediário da

fase de secagem em estufa; e 6) No fim da secagem em estufa ($U = 0\%$), quando a madeira estava seca.

A fase de encharcamento e o instante do ensaio correspondente ao corpo-de-prova completamente seco compõem o ensaio de inchamento.

As fases de condicionamento e de secagem em estufa compõem o ensaio de retração.

Caso algum corpo-de-prova apresentasse defeito durante a secagem seria descartado.

Dos ensaios de estabilidade dimensional, previstos para traçar os diagramas de inchamentos e retrações, também foram obtidas as densidades aparente e básica e traçados os diagramas de variação da densidade aparente com o teor de umidade, no umedecimento e na secagem da madeira.

Para caracterização mecânica, inicialmente foi feita uma secagem prévia, das barras de onde foram retirados os corpos-de-prova, aos moldes da descrita para o ensaio de estabilidade dimensional, com o intuito de fazer os ensaios mecânicos em corpos-de-prova com teor de umidade entre 0% e 20%. Os métodos utilizados foram os descritos na NBR 7190, da ABNT (1997).

Os ensaios de cisalhamento e tração paralela, foram realizados em máquina universal de ensaios (Amsler, modelo Testa 200kN), a uma velocidade de carregamento de 2,5MPa/min e 10MPa/min, respectivamente. Destes ensaios foram coletados dados referentes: à força de ruptura; à área do corpo-de-prova, que resistia ao carregamento; e, à massa do corpo-de-prova, no fim do ensaio e após completa secagem. Assim, foi possível obter as correspondentes tensões de ruptura e o teor de umidade dos corpos-de-prova.

Os ensaios de compressão paralela também foram realizados em máquina universal de ensaios (Amsler, modelo Testa 200kN), a uma velocidade de carregamento de 10MPa/min. Para medir as deformações foram fixados, aos corpos-de-prova, dois extensômetros eletrônicos, um de cada lado, com base de leitura de 10 cm, curso de 2 mm, e sensibilidade de $0,5 \mu$ (micrometro). Os ensaios foram realizados com dois ciclos iniciais de carga e um final. Os ciclos iniciais limitaram-se a 50% da estimativa da tensão de ruptura (obtida em ensaio de outro corpo-de-prova). No ciclo final (terceiro), cujo carregamento foi aumentado gradativamente até a ruptura, foram obtidos os resultados. No início e fim de cada ciclo a carga foi mantida constante durante 30 segundos, como recomenda a NBR 7190, da ABNT (1997). Destes ensaios, no início/fim de

cada ciclo e a cada 10% da tensão de ruptura estimada, no ciclo final, foram anotadas a carga e a deformação. Também foram anotadas: a força de ruptura; a área da seção transversal do corpo-de-prova; e a massa do corpo-de-prova, no fim do ensaio e após completa secagem. Assim, foi possível obter: a tensão de ruptura, o módulo de elasticidade longitudinal e o teor de umidade dos corpos-de-prova no instante do ensaio.

Para reportar os resultados ao teor de umidade de referência foram utilizados os resultados de Logsdon (1998).

Os valores característicos de tensões foram obtidos com o operador definido na NBR 7190, da ABNT (1997), ou seja, o máximo valor obtido entre as Expressões (11).

$$x_p; 0,7.x_{wm} e x_{wk} = \left(2 \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{(n/2)-1} - x_{n/2}}{(n/2)-1} \right) I, I \quad (11)$$

Onde:

x_i = Resistência, obtida no ensaio do corpo-de-prova i. Os valores x_i são ordenados crescentemente, de modo que x_1 é a menor resistência obtida nos ensaios;

x_{wm} = Valor médio das resistências obtidas nos ensaios;

x_{wk} = Operador para o valor característico da resistência, e

n = Número de corpos-de-prova ensaiados (tamanho da amostra).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A espécie *Guarea trichilioides* L., da família Meliaceae, é vulgarmente conhecida por Cedro-marinho e distribui-se naturalmente por toda a região amazônica, nas florestas ombrófilas abertas e densas, sobre solos argilosos, nos estados de Mato Grosso, Rondônia, Acre, Amazonas, Pará e Roraima. Alcança mais de 50 m de altura e 80 cm de diâmetro. Nesta espécie o fuste é circular e muito cilíndrico, a ramificação é cimosa e a copa da árvore caracteristicamente capitata-esférica. Suas folhas são alternas, compostas penadas-paripenadas, com gema terminal encurvada; folíolos aos pares opostos com base arredondada e ápice acuminado, glabros e lusídios. Sua casca é acastanhada, com manchas acinzentadas e geralmente recoberta por musgos; o ritidoma desprende-se em placas e a casca viva é castanho-avermelhada, com odor marcante. A madeira dessa espécie é pesada e compacta; de cor castanho-avermelhada; fácil de trabalhar recebendo bom acabamento e superfície lisa; de boa durabilidade natural; alborno e o cerne são distintos; apresenta textura média, grã regular; sem cheiro e o gosto é indistinto. Floresce nos meses de dezembro a março e frutifica de novembro a dezembro. Sua madeira é própria para carpintaria, marcenaria e construção em geral.

As principais características físicas da madeira de Cedro-marinho, *Guarea trichilioides* são apresentadas nas Tabelas 3 a 6. As características mecânicas, obtidas nos ensaios, são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 3. Características físicas da madeira de Cedro-marinho, *Guarea trichilioides* L., nos ensaios de inchamentos.
Table 3. Physical characteristics for Cedro-marinho's wood, *Guarea trichilioides* L., in the swelling test.

	U. de saturação U_{sat} (%)	Coeficientes de inchamentos:			Inchamentos totais, nas direções:		
		Radial $\delta_{i,2}$	Tang. $\delta_{i,3}$	Vol. δV_i	Radial $\epsilon_{i,2}$ (%)	Tang. $\epsilon_{i,3}$ (%)	Vol. ΔV_i (%)
Número	12	12	12	12	12	12	12
Média	59,87	0,1588	0,3065	0,4767	4,6572	9,6193	15,2810
D. Padrão	3,6358	0,0235	0,0588	0,0674	0,5027	0,9150	1,2557
Intervalo de Confiança da Média							
t (95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010
Lim. Inf.	57,56	0,1439	0,2691	0,4338	4,3378	9,0379	14,4831
Lim. Sup.	62,18	0,1737	0,3438	0,5195	4,9766	10,2007	16,0789

Tabela 4. Características físicas de Cedro-marinho, *Guarea trichilioides* L., na fase de condicionamento dos ensaios de retrações.

Table 4. Physical characteristics for Cedro-marinho's wood, *Guarea trichilioides* L., in the conditioning phase's of the shrinkage test.

	Retrações totais, madeira saturada, nas direções:			Expoentes das curvas, no trecho final (diagramas de retrações):		
	Radial $\epsilon_{r,2}$ (%)	Tang. $\epsilon_{r,3}$ (%)	Vol. ΔVr (%)	Radial $\beta_{1r,2}$ (%)	Tang. $\beta_{1r,3}$ (%)	Vol. $\beta_{1, Vr}$ (%)
Número	12	12	12	12	12	12
Média	4,4479	8,7694	13,2461	0,1410	0,1809	0,1811
D. Padrão	0,4587	0,7567	0,9384	0,0337	0,0346	0,0601
Intervalo de Confiança da Média						
t (95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010
Lim. Inf.	4,1565	8,2886	12,6498	0,1196	0,1590	0,1429
Lim. Sup.	4,7394	9,2502	13,8423	0,1624	0,2029	0,2193

Tabela 5. Características físicas de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L., na fase de secagem dos ensaios de retrações.

Table 5. Physical characteristics for Cedro-marinheiro's wood, *Guarea trichilioides* L., in the oven dry-out phase's of the shrinkage test.

	U. de condicionamento	Retrações em condicionamento, nas direções:			Expoentes das curvas no trecho inicial (diagramas de retrações):		
		Radial	Tang.	Vol.	Radial	Tang.	Vol.
		$U_{cond.}$ (%)	$\epsilon_{r,2cond.}$ (%)	$\epsilon_{r,3cond.}$ (%)	$\Delta V_{r,cond.}$ (%)	$\beta_{0r,2}$ (%)	$\beta_{0r,3}$ (%)
Número	12	12	9	9	11	11	11
Média	14,64	2,5687	4,4157	7,0819	1,5215	1,9395	1,7000
D. Padrão	0,4020	0,2873	0,6024	0,7439	0,1494	0,5838	0,3156
Intervalo de Confiança da Média							
t (95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010
Lim. Inf.	14,38	2,3862	3,9526	6,5101	1,4212	1,5473	1,4880
Lim. Sup.	14,89	2,7512	4,8788	7,6537	1,6219	2,3317	1,9120

Tabela 6. Outras características físicas da madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L.

Table 6. Others physical characteristics for Cedro-marinheiro's wood, *Guarea trichilioides* L.

	U. no ponto de interseção	Densidade aparente da madeira		Densidade	Coeficiente de Anisotropia	
		Seca (0%)	À 12%	Básica	Inchamento	Retração
		U_{pi} (%)	$\rho_{ap,0\%}$ (g/cm ³)	$\rho_{ap,12\%}$ (g/cm ³)	ρ_{bas} (g/cm ³)	A_i
Número	10	12	12	12	12	12
Média	32,16	0,7061	0,7604	0,6124	2,0945	1,9965
D. Padrão	2,5325	0,0308	0,0409	0,0222	0,3550	0,3153
Intervalo de Confiança da Média						
t (95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010
Lim. Inf.	30,35	0,6866	0,7344	0,5983	1,8689	1,7962
Lim. Sup.	33,97	0,7257	0,7864	0,6265	2,3201	2,1968

Tabela 7. Características mecânicas da madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L.

Table 7. Mechanical characteristics for Cedro-marinheiro's wood, *Guarea trichilioides* L.

	Módulo de Elasticidade		Resistência, na direção paralela às fibras, por:		
	Longitudinal	Compressão	Tração		Cisalhamento
	$E_{c0,12\%}$ (MPa)		$f_{t0,12\%}$ (MPa)	$f_{v0,12\%}$ (MPa)	
Número	12	12	12	12	12
Média	18241	58,30	111,18	12,36	12,36
D. Padrão	2346,91	4,1593	24,3492	1,2461	1,2461
Coef. de variação	0,13	0,07	0,22	0,10	0,10
Valor característico	---	57,01	83,47	10,53	10,53
Intervalo de Confiança da Média					
t (95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010
Lim. Inferior	16750	55,66	95,71	11,56	11,56
Lim. Superior	19732	60,94	126,65	13,15	13,15

Os modelos especificados foram verificados, com os dados obtidos a partir da amostra de controle, e todos apresentaram regressão com bom coeficiente de determinação ($0,6772 \leq R^2 \leq 0,9853$). Assim, foram construídas as curvas, com os resultados médios de três árvores, apresentados na Figura 3.

Os ensaios de caracterização mecânica forneceram os valores característicos de algumas resistências e o valor médio da rigidez da madeira de Cedro-marinheiro. Para o cálculo de estruturas de madeiras são necessários outros valores, que podem ser obtidos com auxílio de expressões definidas na NBR 7190, da ABNT (1997). Estas expressões e correspondentes resultados

são apresentados nas Expressões (12) a (15).

$$\begin{aligned} f_{c90,k}/f_{c0,k} = 0,25 &\Rightarrow f_{c90,k} = 0,25 * f_{c0,k} \Rightarrow \\ f_{c90,k} = 0,25 * 57,01 &\Rightarrow f_{c90,k} = 14,25 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} f_{e0,k}/f_{c0,k} = 1,00 &\Rightarrow f_{e0,k} = 1,00 * f_{c0,k} \Rightarrow \\ f_{e0,k} = 1,00 * 57,01 &\Rightarrow f_{e0,k} = 57,01 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} f_{e90,k}/f_{c0,k} = 0,25 &\Rightarrow f_{e90,k} = 0,25 * f_{c0,k} \Rightarrow \\ f_{e90,k} = 0,25 * 57,01 &\Rightarrow f_{e90,k} = 14,25 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} E_{c90,m} = (1/20) * E_{c0,m} &\Rightarrow E_{c90,m} = 18241/20 \\ &\Rightarrow E_{c90,m} = 912,05 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (15)$$

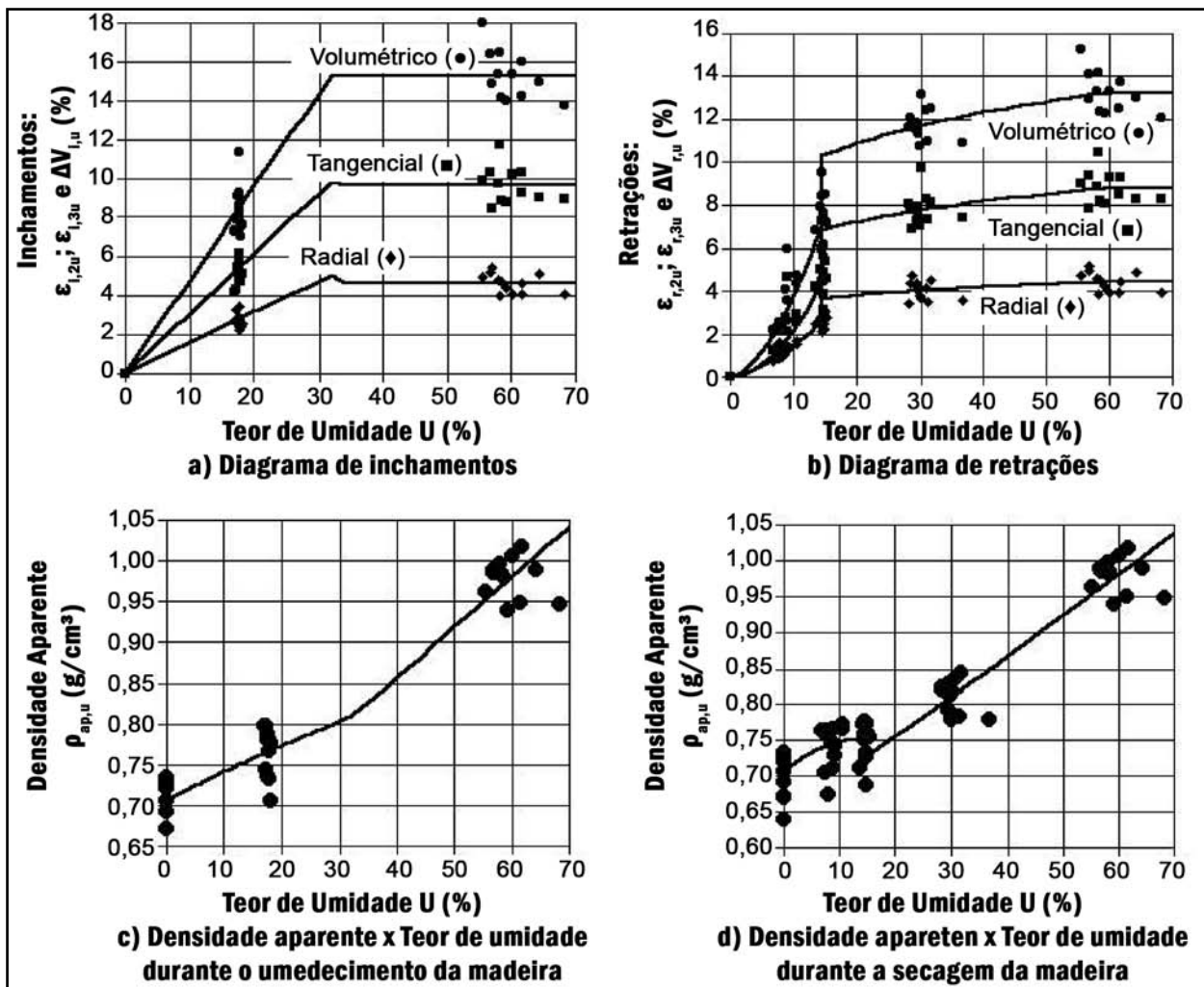


Figura 3. Curvas obtidas para a madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L., valores médios de três árvores. **Figure 3.** Curves obtained for Cedro-marinheiro's wood, *Guarea trichilioides* L., average values of three trees.

Onde:

$f_{c0,k}$ e $f_{e0,k}$ = Resistências características à compressão e ao embutimento paralelos às fibras;
 $f_{c90,k}$ e $f_{e90,k}$ = Resistências características à compressão e ao embutimento normais às fibras, e
 $E_{c0,m}$ e $E_{c90,m}$ = Valores médios dos módulos de elasticidade longitudinal e transversal.

Não foram encontrados na literatura estudos, utilizando metodologia atual de ensaio, para a madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L..

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L., possui resistência mecânica mediana a alta, podendo ser utilizada em estruturas de madeira de médio a grande porte, pois o valor característico da resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k} = 57,01\text{MPa}$), a posiciona na classe de resistência C 50, entre as classes de resistência definidas pela NBR 7190, da ABNT (1997), para as dicotiledôneas.

Para cálculo de estruturas de madeira executadas com madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L., podem ser utilizados os valores característicos e médios, apresentados nas Tabelas 3 a 7 e Expressões 12 a 15.

Os coeficientes de anisotropia dimensional no inchamento, $A_i = 2,0945$, e na retração, $A_r = 1,9965$, indicam que a madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L., é considerada normal e pode ser utilizada na fabricação de móveis que aceitem pequenos empenamentos, como mesas, cadeiras, estantes etc.

Os resultados obtidos para as relações de resistências características $f_{c0,k}/f_{t0,k}$ e $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ respectivamente de 0,68 e 0,18, diferem dos valores adotados pela atual NBR 7190, da ABNT (1997), de 0,77 e 0,12.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), pelo financiamento; ao Conselho

Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Bolsa de Iniciação Científica concedida ao estudante envolvido no trabalho; e ao Sr. Artemio Richter, proprietário da Madeireira Richter Ltda., pelo fornecimento da madeira e apoio na fase de coleta de material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB 26 - Ensaio Físico e Mecânico de Madeiras**. Rio de Janeiro: ABNT, 1940. 16p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6230 - Ensaio Físico e Mecânico de Madeiras**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980. 16p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeiras**. São Paulo: ABNT, 1997. 107p.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ JR., W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. v.1, 592p.

LOGSDON, N.B. Estabilidade dimensional: propostas para revisão da NBR 7190/97. In.: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8, 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: FECIV-UFU, 2002 (CD-ROM)

LOGSDON, N.B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. 174p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LOGSDON, N.B. **Sobre os ensaios de retrações e inchamentos**. Madeira: Arquitetura e Engenharia, Marília, v.1, n.2, p.19-24, 2000.

LOGSDON, N.B. **Variação da densidade aparente da madeira com sua umidade, modelagem teórico experimental**. Madeira: Arquitetura e Engenharia, São Carlos, v.4, n.12, 2004.

LOGSDON, N.B.; FINGER, Z. **Modelos para especificação das curvas dos diagramas de retrações e inchamentos**. Madeira: Arquitetura e Engenharia, São Carlos, v.1, n.3, 2000.

LOGSDON, N.B.; PENNA, J.E. **Análise comparativa entre os coeficientes de anisotropia dimensional da madeira, no inchamento e na retração**. Agricultura Tropical, Cuiabá, v.8, n.1, 2004.

NOCK, H.P.; RICHTER, H.G.; BURGER, L.M. **Tecnologia da madeira**. Curitiba: UFPR, 1975. 216p.

Recebido em 23/01/2007

Aceito para publicação em 17/04/2008

