Shear strength parallel of the wood fiber stress by punching – proposed test

Resistencia a corte paralela a la tensión de la fibra de la madera, por medio de la prueba de punzonamiento propuesta

Mário Massayuki*, Adalberto Matoski¹*, Cláudio Magajewski*, Juliana Machado*

* Universidad Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). BRASIL

Fecha de Recepción: 01/10/2013

Fecha de Aceptación: 09/11/2013

PAG 46-60

Abstract

*This research aims to propose a method for testing the shear strength of wood parallel to fiber and compare with other proposed methods. The method proposed by NBR 7190/1997 Brazilian Standard, that is similar to ASTM D 143-09/2010, the uses a rectangular prismatic specimen with an indentation to prevent its rotation, which it is caused by the asymmetry in the application of force that promotes the shear. In order to eliminate this asymmetry, the proposed procedure applies shear stress by punching a simple prismatic test specimen without cuts, with the distribution of shear section symmetrically in relation to a point. There upon, it's developed a male and female tool adapted to a universal test press for force application. Once the consistency of the method is verified, it's been carried out a series of tests with three different wood species (*Pinus sp*, *Erisma uncinatum* and *Mezilaurus itauba*), distinguished by their mechanical strength, inspecting the method by Santos Neto (1999) under the NBR 7190/1997 Brazilian Standard, and comparing it with the proposed method - punching. The outcomes showed that the testing with NBR 7190/1997 Brazilian Standard methods and the proposed method displayed similar and close results between them.*

Keywords: Wood, parallel shear force, punching

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo proponer un método para probar la resistencia a corte de la madera paralela a la fibra y realizar la comparación con otros métodos propuestos. El método propuesto por la Norma Brasileña (NBR 7190/1997) que es similar a la D 143-09/2010, utiliza una probeta prismática rectangular con una muesca para evitar su rotación, que es causada por la asimetría en la aplicación de la fuerza que promueve el corte. A fin de eliminar esta asimetría, en el procedimiento propuesto se aplica tensión de corte por la perforación de una simple muestra de ensayo prismática sin cortes, con la distribución de la sección de cizallamiento simétricamente en relación a un punto. Por consiguiente, se desarrolló una herramienta macho y hembra adaptada para una prensa de prueba universal de aplicación de la fuerza. Una vez verificada la consistencia del método, se ha llevado a cabo una serie de pruebas con tres tipos diferentes de madera, (*Pinus sp*, *Erisma uncinatum* y *Mezilaurus itauba*), que se distinguen por su resistencia mecánica, inspeccionando el método por el Santos Neto (1999) bajo la NBR 7190/1997 Norma Brasileña, y comparándolo con el método de punzonamiento - puncionado. Los resultados mostraron que en la prueba con la NBR 7190/1997, los métodos de la Norma Brasileña y el método propuesto muestran resultados similares y próximos entre ellos.

Palabras claves: Madera, fuerza de corte paralelo, punzonamiento

1. Introducción

Las estructuras de madera son ampliamente usadas por la ingeniería civil, debido principalmente a la gran disponibilidad de madera y a la simplicidad de las herramientas y procesos empleados con este propósito.

El buen desempeño de la madera, como material de construcción, requiere de conocimiento sobre sus propiedades físicas y mecánicas. Existe disponibilidad de variados tipos en el mercado, con propiedades muy distintas, que permiten distintos ámbitos de aplicación. Las propiedades físicas y mecánicas para aplicaciones en ingeniería civil han sido normadas. La Norma Brasileña NBR 7190/1997, que es similar a la ASTM D 143-09/2010, establece los procedimientos para obtener resistencias mecánicas para diferentes tipos de tensiones.

La prueba de fuerza de corte paralela a la fibra merece especial atención en este estudio, debido a la importancia de sus resultados, para dimensionar elementos estructurales, donde el uso de valores inexactos puede provocar daños a la propiedad y otras consecuencias irreversibles, EVANS (2000).

¹ Autor de correspondencia / Corresponding author:

Profesor de la Universidad Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
E-mail: adalberto@utfpr.edu.br

En esta prueba, que es similar a una guillotina, las fuerzas de compresión actúan sobre un espécimen de prueba estándar, con el fin de provocar fuerza de corte, sobre una sección determinada. Los investigadores observaron durante esta prueba, que existen distorsiones que han sido estudiadas y analizadas por medio de propuestas de nuevas metodologías, para disminuir posibles divergencias.

Por lo tanto, el principal objetivo de esta investigación es proponer un método de prueba para determinar la resistencia de corte paralela a la fibra, por medio de la aplicación de tensión por punzonamiento, y comparar los resultados de las pruebas con la norma ASTM-D143-09/2010, similar a la (NBR7190/1997). El segundo objetivo también es comparar este método con otros propuestos.

Este trabajo se basa en pruebas de punzonamiento, que se emplean actualmente con materiales metálicos, tal como citan los estudios de Acharya y Ray (2013).

2. Revisión de literatura

El interés en determinar las propiedades mecánicas de la madera se justifica debido a que, en la mayoría de las situaciones de empleo de ésta, las tensiones son controladas y deben ser conocidas, con el fin de permitir la correcta dimensión de variados elementos que conforman el conjunto estructural, como un todo.

Los autores LIY (1983) estudiaron nuevos métodos para la prueba de resistencia de corte en la madera. Estos autores estimaron que el método con la ASTM D143-09 no alcanzaba un corte puro.

En otro artículo, Gupta y Sinha (2011) concluyeron que este método induce a un momento, que resta valor a las medidas de las pruebas de corte puro.

Los autores europeos en Yoshihara (2012) también estudiaron el corte en el madero, comparándolo, esta vez, con la norma ISO 15310.

Los autores citaron la preocupación anterior por la prueba de corte y buscaron valores reales. Trabajos similares fueron realizados en pruebas de punzonamiento generalmente empleadas para materiales metálicos.

Las propiedades de la Madera (Resistencia a corte paralela a la fibra) son de gran importancia para varillas de madera, rodillos, poleas y cizalles. El corte es la separación de las fibras, por medio de la tensión paralela aplicada sobre ellas. La prueba consiste en aplicar y medir la tensión de las fibras de madera, con el fin de provocar la separación entre ellas.

La tensión de corte de la madera es directamente proporcional a su densidad, pero depende, principalmente, de la dirección en que la tensión es aplicada, en relación a los anillos de crecimiento de la madera (generalmente el quiebre es determinado en el plano de tangente o del radio). En el plano tangencial, existe una gran influencia de la diferencia inicial, entre la madera temprana y más tardía. En el plano radial existe una gran influencia por rayos de la madera. La madera con rayos amplios tiene baja resistencia al corte, comparada con la de anillos de crecimiento más angostos. En el plano tangencial existe una fuerte influencia por los anillos de crecimiento del árbol, o bien hay una diferencia de resistencia entre las maderas tempranas y tardías.

La prueba de corte de la madera es un problema, debido a las concentraciones de tensiones, tensiones que se traslapan, especialmente como son las fuerzas de flexión y de compresión; y la presencia de roturas que encubren el fenómeno de fuerza de corte, haciendo que los resultados sean cuestionados. Se puede tomar el método de Santos Neto (1999), que propone la modificación del espécimen de prueba (Figura 1). En esta propuesta, el espécimen de prueba de bajo grosor, 20mm, opera en tres fisuras, con el fin de obtener dos planos, cuyo objetivo es que las tensiones de corte aparezcan fácilmente.

Para calcular las resistencias de corte, se considera la carga aplicada, así como el área donde el espécimen produce la rotura.

Figura 1. Especimen de acuerdo al método de Santos Neto. Santos Neto (1999)
Figure 1. Specimen according Santos Neto Method. Santos Neto (1999)

Coker y Colemann apud Mendes (1984) notaron que todos los especímenes se rompían en el área reducida, y sólo debido a la fuerza de corte paralela a las fibras. También notaron que la fisura en la región debilitada del espécimen de prueba, no se debía a un corte puro, sino que presenta una combinación de resistencias de corte y de tensión.

En el modelo propuesto por la Norma Brasileña NBR 7190/1997, se aplica la tensión al espécimen de prueba, a través de una placa metálica llamada cuchillo, que posee un grosor definido, el cual cuando está en contacto con el espécimen de prueba, le transfiere toda la tensión de compresión. El espécimen de prueba, sugerido por la norma, es un prisma triangular, de forma cúbica (Figura 2). Se debe observar que los especímenes son similares a los propuestos por la norma ASTM – D143-09 (2010).

Figura 2. Especimen propuesto por la Norma Brasileña, similares a los especímenes propuestos por -D143-09/2010
Figure 2. Specimen by model proposed by Brazilian Standard and similar to specimen proposed by -D143-09/2010

La fuerza de compresión aplicada, a la parte superior del espécimen de prueba, es transferida a la placa de apoyo, ubicada en la parte inferior del espécimen. La cara de la placa de apoyo coincide con el plano formado por la parte interior del cuchillo. Este modelo entrega un plano de corte en el espécimen de prueba (equipo empleado en la Figura 3), creando un corte entre la placa superior y la placa de apoyo, con un área cortada entre ellas.

Figura 3. Equipo empleado para probar la resistencia de corte de la madera, con la Norma Brasileña
Figure 3. Equipment used for testing the shear strength of wood in Brazilian Standard

Se observa que el contacto del cuchillo con el espécimen de prueba requiere de un área de contacto, con dimensiones que eviten las fisuras debido al aplastamiento por compresión de la madera, antes que se produzca la fisura por corte. El centro de la fuerza aplicada al plano de corte del espécimen de prueba, es equivalente a la mitad del grosor del cuchillo. De la misma manera, ocurre algo similar en la placa de soporte inferior, que se traduce en una excentricidad, entre las fuerzas aplicadas al borde superior del espécimen de prueba y en la parte inferior del igual valor al grosor del cuchillo. Puesto que existe una fuerza de acción y reacción, paralelas entre ellas, y una señal contraria, separadas por un brazo, que en este caso corresponde a la excentricidad, tenemos un momento provocado por fuerzas binarias. Este momento es la causa de la rotación que ocurre en la prueba de corte. Este es un defecto, cuya solución puede ser la aplicación de campos de tracción y compresión, en forma simultánea, a la fuerza de corte en el espécimen de prueba, haciendo que los resultados sean cuestionables.

Al analizar los procesos empleados por la industria de productos metálicos, para hacer agujeros en piezas de metal, se observó que el punzonamiento es el método más económico y empleado por las prensas mecánicas y por las máquinas automáticas. El proceso consiste en un conjunto de piezas macho y hembra, generalmente de forma circular para permitir agujeros cilíndricos, que pueden tener variantes. Este conjunto es acoplado a una máquina que induce fuerza, que normalmente es una prensa hidráulica.

El conjunto es ensamblado de tal manera que el macho sea insertado en la hembra, y pueda penetrar unos pocos milímetros o perforar a través de ella. La pieza macho es ensamblada a la máquina que ejecuta el movimiento hacia arriba y debajo de la herramienta, y además transmite la fuerza generada por la máquina. La pieza hembra es acoplada a la base de la máquina. El conjunto debe ser ensamblado, de forma que el movimiento de la pieza hembra sea preciso, y sobre un eje vertical que pasa a través del centro longitudinal del cilindro de la pieza macho. Cualquier desviación, debido a imperfecciones en el movimiento, puede provocar una falla en el calce entre las piezas macho y hembra dañando así la herramienta.

Este proceso resuelve los principales problemas descritos anteriormente, tales como la proporción entre las tensiones de corte y de compresión. El hecho se produce estrictamente por la geometría del proceso, donde la compresión actuará en un área circular igual a la sección transversal de la pieza macho, que tiene una relación directa con el cuadrado de la sección radial. El área de corte del espécimen de prueba tiene una relación lineal con el radio de la sección transversal de la pieza macho. Esta característica permite que la separación del espécimen se produzca sólo por corte.

Otro aspecto importante es la estabilidad de la prueba, puesto que será multi-sistémica en relación al eje longitudinal de la pieza macho, a la cual llamaremos eje conductor de prueba. Con esta característica, nos aseguramos que el espécimen de prueba no gire.

Las tres especies adoptadas en este trabajo, son las más comercializadas en Brasil, cuyos nombres son Itaúba, Cedro y Pino. El nombre científico del Itaúba es *Mezilaurus itauba* y es muy común de la zona de Pará y Mato Grosso en Brasil. La madera es muy pesada y dura, cuya densidad es $0,8 \text{ g / cm}^3$, con alta resistencia a la compresión, baja retracción, alta y natural resistencia a la descomposición y ataques de insectos (ROBERT et. al., 2012).

El *Pinus sp* tiene distintas variedades: *Pinus elliottii* var. etc. Parte del grupo de especies de la variedad del pino, se encuentran en Canadá y Estados Unidos. Sin embargo existen muchas zonas plantadas, con esta especie, en Sudamérica, particularmente en el sur de Brasil, GARCIA et al. (2012).

El Cedro (*Erisma uncinatum*), tal como informa la Organización Tropical Internacional de la Madera, es una fuente importante de maderos. El madero, según consta, es exportado con regularidad, y también es exportado desde Brasil a China. El madero tiene una buena resistencia al ataque por descomposición que provoca hongos y a los insectos de madera seca. Sin embargo su resistencia a las termitas es baja.

3. Metodología

Para comenzar este proceso, se empleó un espécimen de prueba, con un área igual al espécimen de prueba de corte de la norma ASTM D 143-09/2010. Se estableció un diámetro de punzonamiento de 40 mm para la pieza macho, y una distancia de 1 mm entre la pieza macho y la pieza hembra, resultando así 20 mm de espesor para el espécimen de prueba (Figura 4).

Figura 4. Espécimen de Prueba propuesto
Figure 4. Proposed test specimen

El área comprimida para la prueba propuesta es de $1256,61 \text{ mm}^2$ ($40 \times 40 \times 3,14159 / 4$) y el área de corte es de $2513,21 \text{ mm}^2$ ($3,14159 \times 40 \times 20$). Mientras que el área de corte del espécimen de prueba estándar es de 2500 mm^2 (50×50) (ver Figura 3).

Los parámetros iniciales sugeridos produjeron pruebas y medidas perfectas para comparar con los resultados entregados por el método de la norma ASTM y el método de la Norma Brasileña, que son suficientes como para no promover nuevas iniciativas y, por ende, evitar nuevos costos asociados. La implementación de perforaciones a la plataforma mecánica fue realizada en el mismo taller mecánico. Posteriormente, se conectó el conjunto con la prensa mecánica universal de prueba.

El método de punzonamiento provee ventajas sobre otros métodos, tales como:

Fácil preparación del espécimen de prueba, para su análisis.

- La disposición, para la prueba de corte paralela a las fibras de la madera, es más simple.
- El costo de la herramienta es más asequible (alrededor de 25% comparada con la herramienta normada).
- Simple reproducción del método.

Para este estudio se escogieron tres tipos de especies de madera: Pino (*Pinus sp*), Cedro (*Erismia uncinatum*) e Itaúba (*Mezilaurus itauba*). Estos tipos fueron adoptados siguiendo la misma Norma Brasileña (NBR 7190/1997), como se especifica en la Tabla 1. La clasificación de la madera de Pino, corresponde al tipo conífera exótica. Para el Cedro y la Itaúba, la clasificación de la madera corresponde a las dicotiledóneas nativas.

Se justifica la elección de estas especies, debido a que su comercialización ha aumentado en Brasil, durante los últimos cinco años. El pino es una especie exótica, que crece abundantemente en el sur de Brasil. El Cedro (*Erismia uncinatum*) y la Itaúba (*Mezilaurus itaúba*) son especies nativas que, además de su uso local, son exportadas.

Tabla 1. Lista de maderas empleadas (adaptado de la Norma Brasileña NBR 7190/1997)
Table 1. List of woods used (adapted from NBR 7190/1997) Brazilian Standard

Nombre común /Common name	Nombre científico /Scientific name	Clasificación de resistencia/ Strength classification	Clasificación de la madera /Wood classification
Pino/Pinus	Pinus sp	C20	Conífera exótica /Exotic conifer
Cedro/Cedar	Erismia uncinatum	C40	Dicotiledónea nativa /Native dicots
Itaúba	Mezilaurus itauba	C60	Dicotiledónea nativa /Native dicots

3.1 Caracterización de la madera

Una vez definidos los tipos de madera, se emplearon tablas con una sección de 75 x 100 mm y de 2500 mm de longitud.

Las tablas fueron seleccionadas basándose en su disponibilidad, con el fin de cumplir con las exigencias de la Norma Brasileña y para obtener las muestras de prueba. Para determinar la resistencia a corte, las medidas de los costados de los especímenes fueron tomadas con una precisión mínima de 0,1mm. La prueba fue realizada con una carga de aumento constante, en un rango de 2,5 MPa/min.

La densidad básica de la madera (ρ_{bas}) es la densidad obtenida por la relación convencional entre la masa seca del espécimen por el volumen del espécimen saturado. La densidad aparente (ρ_{ap}) es obtenida tomando un espécimen con 12% de contenido de humedad. Sus valores fueron determinados de acuerdo a la norma NBR 7190/1997.

3.2 Método propuesto

La razón de la elección del método por punzonamiento, se debe a que el método propuesto busca eliminar los efectos no deseados y determinar el valor real de la resistencia a corte, siguiendo el razonamiento de Liy (1983) y Gupta y Sihna (2011). El método propuesto es una adaptación del usado por Acharya y Ray (2013) para materiales metálicos.

La sección transversal del punzonamiento es circular, con un diámetro de 40mm, para que la prueba cubra el agujero creado por el área de prueba y deje una suficiente área extra que aguante la prueba de compresión, tomando en cuenta el evidente principio de ejecución.

Para definir el tamaño de los especímenes de prueba, éstos fueron preparados con tres distintos tipos de maderas, variando en tamaños y grosores, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos, tamaños y grosores de los especímenes de prueba
Table 2. Types, size and thickness of the test specimens

Especie de maderas /Wood species	Dimensión/Dimension (mm) (Prueba propuesta/Proposed test)	Grosor/Thickness (mm)
Pino/Pinus	50 x 50	10
	75 x 75	15
		20
Cedro/Cedar	100 x 100	30
	50 x 50	10
		15
		20
Itaúba	100 x 100	30
	50 x 50	10
		15
		20
	100 x 100	30

Posteriormente se concluyó que la mejor dimensión para el espécimen de prueba es 75 x 75 mm (largo x ancho), con un espesor de 20mm. La modificación del espesor 20mm, corresponde a un área de corte de 2513 mm², que es equivalente al área del método de la Norma Brasileña NBR 7190/1997, que permite la comparación directa de los resultados.

El acabado de la superficie del espécimen de prueba, donde se aplicará la carga, puede ser suavizado con papel lija.

El cuerpo no acabado facilita la aplicación homogénea de la carga de compresión. Al mismo tiempo, dicha irregularidad permite el mayor punto de compresión y la distribución uniforme de ésta.

La Figura 5 muestra el arreglo del método propuesto.

Figura 5. Arreglo de la Prueba de Punzonamiento
Figure 5. Arrangement of Test for Punching

Posterior a las pruebas de corte, se determinó el contenido de humedad de los especímenes y los resultados de corte fueron corregidos con relación a la humedad. El objetivo es corregir la resistencia a corte, con varios niveles de humedad, a una humedad del 12%. La ecuación (1) es definida por la Norma Brasileña NBR 7190/1997.

$$f_{v12} = f_{vU\%} [1 + 3(U\% - 12)/100] \quad (1)$$

Donde:

f_{v12} = resistencia a corte, con humedad estándar de 12%;

$f_{vU\%}$ = resistencia a corte, con la humedad del espécimen de prueba;

U = contenido de humedad (%) del espécimen de prueba.

3.3 Equipamiento

La aplicación de fuerzas a los especímenes de prueba, fueron realizadas con la Máquina de Pruebas Universal, para determinar las propiedades de corte. La marca del equipo es EMIC, modelo DL-10000, con una capacidad máxima de 100kN, dotado con una célula de carga de 100kN, controlado por un software especializado que asegura una velocidad/carga constante y la obtención de datos sobre la carga y las deformaciones de las pruebas.

4. Resultados y discusión

La Tabla 3 presenta los resultados para el *Pinus sp.* El resultado de gravedad específica promedio es de 363.50 kg/m³ y la densidad aparente es de 434,52 kg/m³.

Tabla 3. Resultados de las Pruebas de densidad básica y aparente del *Pinus sp*
Table 3. Results for Tests of basic and apparent density of the *Pinus sp*

Muestra/Sample	ρ_{bas} (kg/m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
1	364,83	430,02
2	372,44	455,32
3	359,57	431,96
4	363,87	422,38
5	354,18	425,27
6	366,09	442,19
Promedio/Average	363,50	434,52
Desviación estándar/Standard deviation	6,18	12,26
Coefficiente de variación/Variation coefficient (%)	1,70	2,82

Los resultados de las pruebas de gravedad específica y densidad aparente de la madera de Cedro (*Erismia uncinatum*) son presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados obtenidos de las pruebas de densidad básica y aparente de la Madera de Cedro
Table 4. Results obtained for tests of basic and apparent density of Cedar wood

Muestra/Sample	ρ_{bas} (kg/m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
1	488,13	533,46
2	493,04	546,22
3	485,53	572,57
4	496,63	571,71
5	510,60	589,02
6	482,34	570,06
Promedio/Average	492,71	563,84
Desviación estándar/Standard deviation	10,15	20,22
Coefficiente de variación/Variation coefficient (%)	2,06%	3,59

La Tabla 5 presenta los resultados para la Itaúba (*Mezilaureus itauba*), la gravedad específica promedio y la densidad aparente son mayores comparados con los tres tipos de madera, como era de esperar.

Los resultados encontrados en la literatura para la densidad básica, son de alrededor 800kg/m³ y 960kg/m³ para la densidad aparente. Se obtuvieron valores promedio de 705,73kg/m³ para la gravedad específica y 795,79kg/m³ para la densidad aparente, en las pruebas realizadas con la madera Itaúba (*Mezilaureus itauba*). Existen varios factores que influyen en estos resultados, pero los principales son la edad del árbol y la posición de la muestra.

Se observa en la Tabla 5 que la *Mezilaureus itauba* tiene la mayor gravedad específica entre las especies analizadas; ésta es una madera más dura, lo que explica los altos resultados de resistencia a corte para ambas pruebas estandarizadas y la prueba propuesta.

Tabla 5. Resultados obtenidos de las pruebas de densidad básica y aparente de la Itaúba
Table 5. Results obtained for tests of basic and apparent density of Itaúba

Muestra/Sample	ρ_{bas} (kg/m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
1	689,90	787,64
2	721,16	821,13
3	707,97	780,07
4	694,67	778,77
5	710,84	805,97
6	709,84	801,14
Promedio/Average	705,73	795,79
Desviación estándar/Standard deviation	11,48	16,60
Coficiente de variación/Variation coefficient (%)	1,63	2,09

4.1 Resultados de las pruebas de fuerza de corte para el *Pinus sp*

La Tabla 6 presenta los resultados de las pruebas de fuerza de corte para la madera de *Pinus sp*, con los tres métodos (método propuesto por Santos Neto (1999), método según la Norma Brasileña NBR 7190/1997 y el método propuesto).

Tabla 6. Resultados de las pruebas de fuerza de corte, paralela a las fibras de la madera *Pinus sp*, obtenidos con los tres métodos
Table 6. Results of shear force tests parallel to the fibers of the *Pinus sp* wood, obtained from the three methods

N°	NBR 7190/1997			SANTOS NETO (1999)			Método de punzonamiento propuesto/Proposed Method-Punching		
	Humedad/Moisture	f_v	f_{v12}	Humedad /Moisture	f_v	f_{v12}	Humedad /Moisture	f_v	f_{v12}
	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)
1	16,04	6,29	7,05	15,48	36,89	40,74	14,23	6,92	7,38
2	16,45	1,34	1,52	15,03	38,86	42,39	14,69	7,20	7,78
3	16,60	5,77	6,57	16,01	44,92	50,32	14,81	7,06	7,66
4	17,97	6,20	7,30	15,73	35,42	39,39	14,59	7,25	7,82
5	17,09	5,99	6,91	15,45	46,26	51,05	14,93	7,18	7,81
6	16,77	6,77	7,74	15,75	39,54	43,99	15,34	7,03	7,74
7	16,70	7,43	8,48	16,19	37,95	42,72	14,80	6,29	6,82
8	16,19	7,35	8,27	15,47	32,34	35,71	13,52	7,62	7,97
9	17,09	6,37	7,34	15,55	37,88	41,91	13,95	5,42	5,74
10	15,66	7,81	8,67	15,10	38,52	42,10	13,96	6,80	7,20
11	13,38	6,37	6,63	15,83	38,11	42,49	14,31	6,46	6,91
12	14,99	6,01	6,55	16,04	34,17	38,31	14,49	6,63	7,12
13	15,82	5,93	6,61	15,49	38,58	42,62	14,25	7,18	7,67
14	13,24	5,88	6,10	15,04	29,27	31,94	15,47	7,22	7,97
15	15,80	6,15	6,85	15,36	37,80	41,61	12,45	7,11	7,20

Los resultados de las pruebas, propuestas por Santos Neto (1999), obtuvieron valores bastante altos, comparados con los valores encontrados en las pruebas realizadas con el método de la Norma Brasileña NBR 7190/1997 y las pruebas con el método propuesto (ver valores en la Tabla 7).

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 6, se calculó el promedio, la desviación estándar, varianza y coeficiente de variación para el método de la Norma Brasileña NBR 7190/1997 y para el método propuesto (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación estadística de los resultados de las pruebas con la Norma Brasileña NBR 7190/1997 y el método de punzonamiento propuesto, para la madera Pinus sp

Table 7. Statistical comparison of the test results of the NBR 7190/1997 Brazilian Standard and proposed method of punching of the Pinus sp Wood

Parámetros/Parameters	NBR 7190/1997		Punzonamiento/Punching	
	Datos sin procesar/Raw data	Datos procesados/Cleansed data	Datos sin procesar/Raw data	Datos procesados/Cleansed data
Promedio/Average (MPa)	6,84	7,22	7,39	7,50
Desviación estándar/Standard deviation (MPa)	1,66	0,79	0,59	0,39
Coefficiente de variación/Variation coefficient (%)	24,25	10,99	7,99	5,20
Varianza/Variance (MPa)	2,76	0,63	0,35	0,15

El rango considerado en el método con la Norma Brasileña NBR 7190/1997, se encuentra entre los valores 3,52 y 10,16 MPa.

Al analizar los resultados de las pruebas a la madera Pinus sp, por medio de la prueba t-student, se observó que el valor-p de la prueba t-student fue de 0,28047, por lo tanto no se rechaza la hipótesis de que los promedios son iguales, y se puede concluir que no hay una diferencia significativa entre las pruebas, con un nivel de confianza del 95%

4.2 Resultados de la prueba de fuerza de corte para la Madera Cedro (*Erismia uncinatum*).

La Tabla 8 presenta los resultados de las pruebas de fuerza de corte para la madera de Cedro (*Erismia uncinatum*).

Después de obtener estos resultados, se calculó el promedio, desviación estándar, varianza y coeficiente de variación para el método de la Norma Brasileña NBR 7190/1997 y el método de punzonamiento propuesto, que son mostrados en la Tabla 9.

El rango considerado en el método de la Norma Brasileña NBR 7190/1997, se encuentra entre los valores 2,76 y 14,44 MPa para la madera de Cedro (*Erismia uncinatum*).

Tabla 8. Resultados de las pruebas de fuerza de corte, paralelas a las fibras *Erismia uncinatum*, obtenidos con los tres métodos

Table 8. The results of shear force tests parallel to the *Erismia uncinatum* fibers, obtained from the three methods

N°	NBR 7190/1997			SANTOS NETO (1999)			Método de punzonamiento propuesto /Proposed Method - Punching		
	Humedad/Moisture	f	f _u	Humedad/Moisture	f	f _u	Humedad/Moisture	f	f _u
	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(Mpa)	(%)	(MPa)	(MPa)
1	19,54	7,66	9,40	17,55	38,21	44,57	17,55	7,44	8,68
2	19,56	8,75	10,73	16,84	43,91	50,28	16,84	4,21	4,82
3	20,06	8,58	10,65	16,69	36,60	41,75	16,69	5,56	6,35
4	19,59	6,45	7,92	17,11	24,79	28,60	17,11	6,07	7,00
5	19,85	7,82	9,67	17,73	47,69	55,89	17,73	6,39	7,49
6	19,81	7,51	9,28	19,25	22,67	27,60	19,25	6,76	8,23
7	19,33	7,49	9,14	19,95	30,77	38,11	19,95	5,87	7,27
8	19,85	8,34	10,31	20,49	30,15	37,83	20,49	6,34	7,96
9	20,87	7,93	10,04	18,03	26,24	30,98	18,03	7,57	8,94
10	20,16	8,35	10,39	16,91	34,67	39,78	16,91	4,85	5,57
11	21,68	7,22	9,31	19,78	29,89	36,87	17,50	6,07	7,07
12	20,32	1,24	1,55	20,39	35,62	44,58	18,07	5,85	6,92
13	19,24	7,80	9,49	20,33	39,50	49,36	18,10	5,90	6,98
14	19,36	1,37	1,68	19,58	33,84	41,53	17,25	6,45	7,47
15	21,24	7,38	9,43	17,91	31,38	36,95	16,95	6,32	7,26

Después de realizar el análisis estadístico de los resultados de la madera de Cedro (*Erismia uncinatum*), el valor-p encontrado por la prueba t-student fue 0,11023, que no rechaza la hipótesis de que los promedios son iguales. Se puede concluir que hay una diferencia significativa entre los resultados de las pruebas, con un nivel de confianza de 95%. Este aspecto muestra que la prueba, realizada con la Norma Brasileña, puede estar influenciada por la asimetría del espécimen de prueba. La Tabla 9 muestra los resultados de las pruebas de fuerza de corte, para la madera *Erismia uncinatum*.

Tabla 9. Comparación entre los resultados entre los métodos ASTM (similar a NBR) y el propuesto

Table 9. Comparison of results between ASTM (similar to NBR) and the proposed method

Parámetros/Parameters	NBR 7190/1997		Punching	
	Datos sin procesar/Raw data	Datos procesados/Cleansed data	Datos sin procesar/Raw data	Datos procesados/Cleansed data
Promedio/Average (MPa)	8,60	9,67	7,20	7,37
Desviación estándar/Standard deviation (MPa)	2,92	0,76	1,08	0,88
Coefficiente de variación/Variation coefficient (%)	33,97	7,86	14,96	12,00
Varianza/Variance (MPa)	8,53	0,58	1,16	0,78

4.3 Resultados de la prueba de fuerza de corte para la madera de Itaúba Wood (*Mezilaurus itauba*).

La Tabla 10 presenta los resultados de las pruebas de fuerza de corte para la Madera de Itaúba (*Mezilaurus itauba*).

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 10, se calculó el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para el método con la Norma Brasileña NBR 7190/1997 y para el método de punzonamiento propuesto (Tabla 11).

Tal como se observa en las Tablas 6 y 8, aquí ocurre lo mismo. Los resultados de las pruebas de corte son cercanos, en comparación con el método propuesto y los métodos D 143-09 y NBR 7190/1997, pero son muy distintos a los valores obtenidos por Santos y Neto (1999).

Tabla 10. Resultados de las pruebas de corte paralelas a las fibras de la madera de Itaúba, obtenidos con los tres métodos

Table 10. Results of shear tests parallel to the Itaúba wood, obtained from the three methods

N°	NBR 7190/1997			SANTOS NETO (1999)			Método de punzonamiento propuesto/ Proposed Method - Punching		
	Humedad/ Moisture	f_v	f_{v12}	Humedad/ Moisture	f_v	f_{v12}	Humedad / Moisture	f_v	f_{v12}
	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)
1	15,47	9,22	10,18	14,02	66,93	71,00	15,64	11,46	12,71
2	17,46	8,67	10,09	13,65	60,16	63,13	16,24	8,90	10,03
3	18,41	9,29	11,08	14,97	66,49	72,41	17,35	9,14	10,61
4	17,35	9,44	10,95	14,47	61,11	65,65	17,54	9,72	11,34
5	16,09	9,14	10,26	13,32	55,92	58,14	17,34	10,92	12,67
6	16,78	8,71	9,96	15,04	64,14	69,99	17,72	10,37	12,15
7	16,09	8,55	9,60	14,20	56,28	60,00	15,02	11,21	12,22
8	17,01	8,64	9,93	15,27	59,58	65,42	14,87	10,95	11,89
9	19,16	8,45	10,26	14,82	70,02	75,93	14,29	9,81	10,49
10	17,41	9,45	10,98	12,92	58,90	60,51	17,24	9,34	10,81
11	15,99	8,98	10,06	15,63	60,60	67,19	17,37	10,90	12,65
12	16,09	9,17	10,29	15,52	79,76	88,18	18,02	9,87	11,65
13	14,39	8,26	8,85	15,32	56,79	62,45	19,84	10,18	12,57
14	16,99	8,92	10,25	14,78	73,39	79,51	19,91	8,57	10,60
15	16,62	9,04	10,29	13,80	63,50	66,93	17,02	10,47	12,05

El rango considerado por el método de la Norma Brasileña NBR 7190/1997, se encuentra entre los valores 9,09 y 11,31 MPa (sin la muestra No. 13); el rango de valores para el método de punzonamiento propuesto se encuentra entre 9,79 y 13,47 MPa.

Tabla 11. Comparación estadística de los resultados con el método de la Norma Brasileña NBR 7190/1997 y el método de punzonamiento propuesto para la madera de Itaúba

Table 11. Statistical comparison of test results of the NBR 7190/1997 Brazilian Standard and proposed method - punching of the Itaúba wood

Parámetros/Parameters	NBR 7190/1997		Punzonamiento/Punching	
	Datos sin procesar/Raw data	Datos procesados/Cleansed data	Datos sin procesar/Raw data	Datos procesados/Cleansed data
Promedio/Average (MPa)	10,20	10,30	11,63	11,63
Desviación estándar/Standard deviation (MPa)	0,56	0,43	0,92	0,92
Coefficiente de variación/ Variation coefficient de (%)	5,44	4,14	7,88	7,88
Varianza/Variance (MPa)	0,31	0,18	0,84	0,84

Sin embargo el valor-p encontrado en esta prueba para la madera de Itaúba (*Mezilaurus itauba*), de origen tipo amazónico, fue casi nulo, $p = 0,0007$, mostrando una diferencia significativa entre los promedios, adoptando un nivel de confianza del 95%. Esta es la única especie que mostró una diferencia estadística distinta a los resultados. Por cierto, esto demuestra que existe una influencia por la asimetría observada en los especímenes de la norma.

Por otra parte, el análisis estadístico de todos los resultados, sin importar el tipo de especie, mostró que no existe diferencia significativa entre las pruebas, con un nivel de confianza del 95%. Este resultado puede ser explicado por el número de pruebas realizadas (45 repeticiones en este caso) y por la alta variación entre ellas.

Se puede concluir que la prueba con el método de punzonamiento propuesto es viable y puede reemplazar el método propuesto por la Norma Brasileña NBR 7190/1997. También se puede observar que el equipo empleado por esta prueba, es más económico y que el tiempo de preparación del espécimen de prueba es menor.

Figura 6. Gráfica de diagrama de cajas para la resistencia a corte de los tres especímenes
Figure 6. Box Plot Chart for shear strength for three specimens

El diagrama de cajas mostrado en la Figura 6, compara los resultados de las resistencias a corte de las tres especies de madera. El primer aspecto observado es que las anomalías son mayores en las pruebas de la norma. En otras palabras, este método se encuentra sujeto a un aparentemente mayor número de fallas. El segundo aspecto en esta gráfica es que la *Mezilaurus itauba* (debido a que es una madera dura), obtuvo los mayores valores de corte en ambas pruebas, mostrando en forma correcta la influencia de la especie en los resultados. Finalmente, la gráfica muestra que existe un comportamiento similar en ambas pruebas, a pesar de las diferentes clases de madera adoptadas. Esto muestra que el efecto de las fuerzas de flexión debido a la asimetría del espécimen, según la prueba con la norma ASTM D143-09/2010 ó NBR 7190/1997, es menor y puede ser tolerado.

5. Conclusión

El primer resultado muestra que el método de Santos Neto alcanzó resultados bastante altos, en comparación con los resultados del método propuesto y obtenidos por el método ASTM D143-09/2010, que es el mismo de la norma NBR 7190/1997.

Al comparar los resultados obtenidos, según el método de la norma ASTM D143-09/2010, similar al método de la Norma Brasileña NBR 7190/1997, con los resultados obtenidos por el método propuesto, se encuentra que son bastante cercanos.

La similitud de los resultados y los valores aproximados, entre la prueba propuesta y las con ASTM (y NBR), permiten admitir que la asimetría tiene poca influencia.

Los análisis estadísticos mostraron que existe una diferencia significativa, sólo para la especie Itaúba, mientras que para las otras especies no hay diferencia significativa a un nivel de confianza de 95%.

También se observó una diferencia estadísticamente significativa para las especies de maderas duras. Por lo tanto se sugiere realizar nuevas pruebas a un número mayor de especies.

Finalmente, los resultados demuestran que existe poca influencia de las fuerzas de asimetría aplicadas a las pruebas realizadas con los métodos de las normas.

6. Referencias/References

- Acharya S., Ray K. K. (2013)**, Assessment of tensile properties of spot welds using shear punch test. *Materials Science & Engineering A* – v.565 March P. 405 – 413 access <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509312017674> in 01/12/2013.
- ASTM D 143-09 (2010)**, Standard test methods for small clear specimens of timber. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken. USA
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (1997)**, Projeto de Estruturas de Madeira. NBR 7190. Rio de Janeiro.
- Evans J.L.W., Senft J. F., Green D. W. (2000)**, Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Forest Products Journal*, v.50, n.7/8, p.75-87.
- Garcia F. M., Manfio D. R., Sansigolo C. A., Magalhaes P. A. D. (2013)**, Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. *Floresta e Ambiente*, 2012 out./dez.; 19(4): 468-474 access in <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.059>.
- Gupta R., Sinha A. (2011)**, Effect of grain angle on shear strength of Douglas-fir wood. *Holzforschung*, v. 66, p. 655-658 – Berlin.
- Liu J. L. (2013)**, New Shear Strength Test for Solid Wood. *Wood and fiber Science* – v 16, n° 4 october 1984. Access in <http://metapress.com/content/d30n2g1717611112>.
- Mendes A. P. (1984)**, Resistência da Madeira ao Cisalhamento. 1984, 157p. Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.
- Robert R. C. G., Santos A. S., Duarte Dos Santos L., Fantini A. C. (2012)**, Caracterização do Abastecimento de Madeira Serrada Comercializada no Município de Florianópolis – SC. *Revista Floresta - Curitiba, PR*, v. 42, n. 1, p. 85-94, jan./mar.2012.

-
- Santos Neto A. B. S. (1999)**, *Cisalhamento em Corpos de Prova de Madeira*. 1999. 146p. Dissertação – Mestrado em Engenharia /civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- Yoshihara Hiroshi (2013)**, *Shear modulus and shear strength evaluation of solid wood by a modified ISO 15310 square-plate twist method*. Drvna Industrija, v. 63 n° 1 p. 51-57- march 2012 - access in <http://connection.ebscohost.com/c/articles/74204452/shear-modulus-shear-strength-evaluation-solid-wood-by-modified-iso-15310-square-plate-twist-method> in 01/12/2013.