

Fabricación de Durmientes de Madera Pegada Colada a través del Reciclaje de Durmientes de Madera Desechable Visando la Reducción del Impacto Ambiental

Passos, Leonardo Braga¹; Mantilla, Gina Rodo² y, Carrasco, Edgar V. Mantilla³

¹ Master, Departamento de Ingeniería de Estructuras

² Licenciada en Biología, Instituto de Ciencias Biológicas

³ Dr. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería de Estructuras

Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG)

Av. Do Contorno 842, 2º andar – Centro, CEP 30110-060, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

bragapassos@bol.com.br, gina_mantilla@yahoo.com.br e mantilla@dees.ufmg.br

Resumen

A partir de la década del 90, varias alteraciones en sistemas naturales directamente relacionadas con la actividad humana, llevarán al planeta a una crisis ambiental que amenaza no sólo la biodiversidad; pero, también, la calidad de vida de los seres humanos. El clima de la Tierra sufrió significativas variaciones debido a la polución atmosférica y las deforestaciones. Estos últimos son la mayor amenaza a la diversidad biológica y está intensificándose. Actualmente, debido a la preocupación ambiental y al alto valor de mercado, las ferrovías han disminuido drásticamente la utilización de durmientes de maderas nativas. Así, otros materiales como: madera de eucalipto, acero, hormigón y plástico están siendo usados en la fabricación de durmientes. Con el objetivo de reducir el impacto ambiental, se ha realizado un proceso de reciclaje, donde durmientes de madera de desecho que son descartados o comercializados a bajos precios por las operadoras ferroviarias, son transformados en durmientes de madera laminada colada. La Compañía Vale do Rio Doce – CVRD ha donado 46 durmientes para el estudio, donde 35 de estos han sido laminados y transformados en 6 nuevos durmientes. Este artículo contiene todas las etapas de montaje de los durmientes y procedimientos para determinación del módulo de elasticidad a través del método ultrasónico.

Palabras claves: durmientes, madera, reciclaje, ultrasónico.

Abstract

Since the 90's, a large scale of changes on natural habitats directly related to human activities, led the planet to an environmental crisis that threaten not only the biodiversity but also our way of life. Earth's climate has suffered significant disturbances due to atmospheric pollution and deforestation which is the largest threat to biodiversity and is also intensifying. Nowadays, due to environment concerns and the high value of market, the railroads had drastically diminished the use of sleepers of native wood. With this, other materials as wood of eucalypt, steel, concrete and plastic care being used in the manufacture of sleepers. With the intention of reducing the environment impact, we carry on through a recycling process, where used wooden sleepers that are usually discarded or sold at low prices by the railroad operations are transformed into sleepers of glulam. The Companhia Vale do Rio Doce - CVRD donated 46 sleepers for the study, where 35 of these had been unfolded and transformed into 6 new sleepers. In this article the stages of assembly the sleepers and procedures for determination of the elasticity modulus through the ultrasonic method are presented.

Keywords: sleepers, glulam, recycling, ultrasonic.

1. Introducción

A partir de la década del 90, varias alteraciones en sistemas naturales directamente relacionadas con la actividad humana, llevarán al planeta a una crisis

ambiental que amenaza no sólo la biodiversidad, pero, también, la calidad de vida de los seres humanos. Varias especies ya han sido extintas, ciclos naturales fueron alterados y el propio clima de la tierra sufrió significativas variaciones debido a una

Recibido: Junio, 2007

Aceptado: Agosto, 2007

combinación de contaminación atmosférica y deforestaciones [1].

La destrucción de hábitats es la mayor amenaza a la diversidad biológica [1]. Según la TREE4LIFE, la correcta tasa de deforestación en el mundo no es conocida, pero se sabe que desde 1990 esta tasa está aumentando debido a deforestación irregular en Brasil y en Indonesia.

Informaciones provistos por el 'Ministério do Meio Ambiente' del Brasil indican que la deforestación en Amazônia entre los años de 2003 y 2004 fue de 26.130 km², lo correspondiente a la área del Estado de Alagoas.

Muchas veces los esfuerzos para conservar la biodiversidad se contraponen a las necesidades humanas, todavía el desarrollo sostenible representa una solución. Se trata de una economía que atienda tanto las necesidades humanas de recursos y empleos presentes y futuros, mientras minimiza su impacto ambiental [1]. Así, el cultivo de maderas procedentes de bosques plantados como el eucalipto, el reciclaje de materiales provenientes de la madera, las campañas de organizaciones no gubernamentales y la implantación de leyes ambientales más rígidas, son procedimientos establecidos en Brasil para intentar minimizar la destrucción de nuestras florestas que son de fundamental importancia para nuestra supervivencia.

El vidrio, papel y aluminio, son los productos más reciclados actualmente. La madera también puede ser reciclada o reutilizada, con el objetivo de reducir las deforestaciones y consecuentemente la tasa de monóxido de carbono liberada a la atmósfera por las industrias, incendios y termoeléctricas.

Actualmente, debido a esta preocupación ambiental y el alto valor de mercado, las ferrovías han disminuido drásticamente la utilización de durmientes de maderas nativas. Con esto, otros materiales como madera de eucalipto, acero, hormigón y plástico están siendo utilizadas en la fabricación de durmientes. Estos, salvo el eucalipto, son materiales prácticamente no degradables.

Visando la disminución de la deforestación y el reaprovechamiento de madera, se pensó en el reciclaje de durmientes de desecha para vías ferroviarias transformándolas en Durmientes de Madera Pegada Laminada Reciclada (DMPLR). Dichos durmientes de desecha, según la norma brasileña NBR 7511 [2], son aquellos que "no sirven a la vía férrea" y que son frecuentemente clasificados, considerando su estado de conservación, en: empalizado (con dimensiones padrones, pero con pocos defectos, según ilustra la Figura 1), chatarra (con dimensiones padrones, pero con una gran cantidad de defectos, conforme ilustra la Figura 2), leña (quebrados con bastantes daños como ilustra la Figura 3). Estos tipos de durmientes

generalmente son desechados o vendidos a bajos precios por las operadoras de ferrovías.



Figura 1. Durmiente tipo empalizado.



Figura 2. Durmiente tipo chatarra.



Figura 3. Durmiente tipo leña.

Según [2], para vías ferroviarias y tren tipo TB 27, los durmientes de madera deben tener dimensiones de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones para durmientes de vías ferroviarias. Fuente: modificada a partir [1]

Tipo (m)	Ancho (cm)		Altura (cm)		Longitud (cm)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Métrica	22,0±2	22,0±2	16,0±2	16,0±2	190,0±5	200,0±5
	22,0±2	24,0±2	16,0±2	17,0±2	220,0±5	230,0±5

La utilización de la técnica de construcción en madera pegada laminada (MPL) está creciendo en las últimas décadas debido al avance de la tecnología de los adhesivos y de las técnicas de repoblación. De acuerdo con [3], el término, madera pegada laminada, se refiere al material colado en pequeñas piezas de madera, en la forma recta o curva, con las

fibras de todas las láminas paralelas a la longitud de la pieza.

Para una mejor disposición de las láminas en relación a las propiedades de la madera, [3] indica que encontró resultados excelentes con la selección y posicionamiento de las láminas a través de una combinación de la rigidez (E) con la apariencia (visual) y de las láminas traccionadas externas clasificadas según la AITC 301-67 [4]. Esto quiere decir que, las láminas con E mayores y con mejor calidad visual deben ser posicionadas en los locales de mayor esfuerzo de las estructuras.

Este tipo de estructura en su mayoría necesita de rectificaciones para unión de las piezas. Los empalmes longitudinales más utilizados son del tipo: a media madera, en dientes de perro horizontal y vertical.

De acuerdo con [3], una de las primeras pesquisas sobre empalmes en dientes de perro comenzó en 1957 y fue realizada por la RICO Laminated Products, a través de un proyecto, para ejecución de empalmes en dientes de perro, en el cual las mismas deberían llegar a 80 - 90% de la resistencia de la madera.

2. Materiales y Métodos

Para la fabricación de los DMPL, fueron utilizados 35 durmientes desechados del total de 46 donados por la Compañía Vale do Rio Doce (CVRD) y el adhesivo Emulsion Polymer Isocyanate - EPI 1974 juntamente con el catalizador HARDENER 1993, ambos donados por la Akzo Nobel – Casco Adhesives. Este adhesivo fue escogido por ser barato y tener tiempo de fraguado bajo y elevada resistencia a intemperies.

A seguir será presentada las etapas de producción de los durmientes y los testes de clasificación de las láminas de madera por intermedio de ondas ultrasónicas.

Los durmientes de madera desechada fueron enumerados en secuencia de 1 hasta 46. En seguida cada durmiente fue dividido en 4 partes iguales con líneas perpendiculares a lo largo del durmiente y numerados como Q1, Q2, Q3 e Q4. En cada una de estas partes fueron tomadas cuatro medidas de la altura y el ancho y dos medidas de la largura. En seguida los durmientes fueron pesados con la finalidad de determinar la densidad del durmiente desechado.

Todas las imperfecciones grietas, rajaduras y defectos causados por insectos u hongos fueron medidos y catalogados para posterior análisis de los resultados obtenidos con el ultrasonido.

Las pruebas de ultra-sonido se llevaron a cabo en primer lugar en todos los durmientes de madera

desechada y luego en los pedazos provenientes de la laminación del durmiente.

Para la determinación del módulo de elasticidad, con el objetivo de posicionar las láminas más resistentes en los lugares donde existan mayores esfuerzos, se utilizaron dos equipos de ultrasonido uno fabricado por la Sylvatest y otro por la James instrument (modelo MK II).

Los transductores (transmisores de ultrasonido) pueden ser colocados sobre el cuerpo de prueba de forma directa o indirecta, pudiendo ocurrir variaciones en las medidas del tiempo transcurrido para que la onda sea captada por el otro transductor.

La disposición de la transmisión directa es satisfactoria cuando los pulsos ultrasónicos longitudinales emitidos por el transductor transmisor se propagan, principalmente, en la dirección normal a la fase del transductor. En la transmisión indirecta parte de la energía del pulso ultrasónico es dispersada por las discontinuidades del material probado. La diferencia entre el método directo e indirecto no es mayor de que 2%.

Según [5], la distancia mínima entre los transductores (emisor e receptor) del equipo Sylvatest es de 30 cm. Pues para distancias menores las lecturas del tiempo de propagación de los pulsos ultrasónicos no se estabilizan. Ya para el equipo de la James Instruments, la distancia mínima entre los transductores es de 10 cm y máxima de 60 cm. Las medidas del pulso ultrasónico, obtenidas en distancias fuera del intervalo indicado, no se estabilizan.

En la utilización del aparato MK II es necesario el uso de un regulador de superficie entre el transductor y la madera, con el objetivo de eliminar la presencia de aire, porque el aire no es buen conductor de las ondas ultrasónicas y los pulsos no son transmitidos en huecos con aire. Es entonces posible determinar grandes huecos o defectos, cuando una serie de medidas del pulso ultrasónico es llevada a cabo en la región donde están los defectos.

Con el valor de la velocidad de propagación de la onda longitudinal se puede obtener el valor del módulo de elasticidad dinámico, dado por la Ecuación 1, [6].

$$V = \sqrt{\frac{E_d}{\rho}} \quad (1)$$

Donde:

v: velocidad de propagación de la onda, en metros por segundo;

E_d : módulo de elasticidad dinámico, en mega pascal;

ρ : densidad de la madera, en quilogramos por metro cúbico.

Para la medición del tiempo de propagación del pulso ultrasónico a lo largo del durmiente fue utilizado el aparato Sylvatest con transductores de 30 khz posicionados de forma directa en cuatro puntos de cada durmiente.

Para la determinación de la medida del tiempo de propagación de los pulsos ultrasónicos en la altura, anchura y longitud, en cada cuarto del durmiente, fue usado el aparato ultrasónico de la James Instruments, modelo MK II, con transductores de 150 khz posicionados de forma directa en la altura y en el ancho e indirecta en la largura.

Después de haber llevado a cabo los recortes y los despiezos, las láminas eran pesadas, medidas y se realizó una vez más la prueba de ultra-sonido usando el aparato Sylvatest posicionado de forma directa.

Todo el procedimiento de despiezo de los durmientes fue realizado en los talleres del Laboratorio de Análisis Experimental de Estructuras-LAEES del Departamento de Ingeniería de Estructuras de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Minas Gerais. Por ser una carpintería de apoyo con número de empleados y máquinas reducido, no fue posible obtener ninguna información sobre su costo final ya que esta actividad debe ser realizada industrialmente.

Los resultados de las pruebas de ultrasonido con el equipo James Instruments tuvieron una dispersión pequeña en el sentido de la anchura del durmiente, lo que indica poco defecto, por este motivo fue decidido realizar los despiezos del durmiente (cortar las láminas) a lo largo de su longitud.

Para obtener las láminas primeramente los durmientes tuvieron sus fases laterales aplanadas con una máquina planeadora de tal forma que se obtenga un paralelepípedo. En seguida fueron cortadas piezas con espesura de 36 mm a lo largo de la longitud del durmiente. Del total de durmientes despiezados restó algunos pedazos que no fueron utilizados debido a que tenían muchos defectos y ya había suficiente cantidad de piezas para fabricar 6 durmientes de MPLR. Después de hacer los despiezos del durmiente fue retirado, de todas las piezas, las imperfecciones y los defectos sin seguir ningún padrón. La unión de las piezas para obtener una lámina fue hecha por uniones del tipo dientes de perro (finger-joint), en este tipo de unión no puede existir ningún defecto en la madera. Cualquier defecto reduce drásticamente la resistencia de la lámina.

Con las láminas listas, fue realizado nuevamente la prueba de ultrasonido con el objetivo de obtener el módulo de elasticidad de la lámina. En seguida las láminas fueron pasadas en una máquina regruesadora para obtener una espesura padrón de 34 cm.

Los huecos existentes (debido a los clavos para fijar los durmientes en servicio), fueron llenados con

una pasta formada por la mezcla de aserrín de los propios durmientes y adhesivo.

Con los valores del módulo de elasticidad obtenidos a partir de la Ecuación 1, fue posible definir el posicionamiento de las láminas en los durmientes.

Las piezas con módulos de elasticidades mayores fueron colocadas en las láminas superior y inferior del durmiente. Las láminas intermediarias fueron confeccionadas con el principio de mejor aprovechamiento de las piezas y no con sus módulos de elasticidad.

Para obtener mejor aprovechamiento de la madera fue decidido fabricar láminas con longitudes mayores a 4m, así fue posible producir al mismo tiempo dos durmientes de MPLR.

Fueron utilizados en la producción de los durmientes de MPLR dos tipos de uniones: empalme en diente de perro para unir las piezas longitudinalmente como ilustra la Figura 4; y acoplamiento de yuxtaposición con ensambles en machihembrado normal como muestra la Figura 5.



Figura 4. Empalme en diente de perro.



Figura 5. Acoplamiento de yuxtaposición con ensambles en machihembrado normal.

Para el encolado de los empalmes en dientes de perro y los ensambles en machihembrado normal fue utilizado el adhesivo EPI 1974 juntamente con el catalizador hardener 1993, siguiendo las orientaciones de tiempo de encolado y aplicación de presión proporcionados por la Akzo Nobel.

Después de confeccionar las láminas se inició la fabricación de los durmientes, pero antes las láminas fueron cortadas en una sierra de cinta sin fin para

que todas tengan la misma anchura. En seguida las láminas fueron limpiadas (la madera es reutilizada y es proveniente de durmientes que sufrieron tratamientos químicos). Luego fue preparado una cantidad de adhesivo previendo un consumo de 360 g/m^2 cuando sea aplicado en ambas fases de las láminas como muestra la Figura 6 (valor recomendado por la fabricante del adhesivo). A continuación las láminas fueron colocadas en una prensa hidráulica como ilustrado en la Figura 7 y aplicada una presión de 1 MPa por cerca de 24 horas.



Figura 6. Etapas de encolado de las láminas para producción de DMPLR. Aplicación de adhesivo.



Figura 7. Etapas de encolado de las láminas para producción de DMPLR. Aplicación de presión.

Las piezas de MPLR después de retiradas de la prensa hidráulica se inicia el proceso de acabado. Como cada pieza tenía aproximadamente 4,20 m de longitud fueron cortadas en dos durmientes de MPLR de 2,00 m de longitud y el pedazo restante fue utilizado para determinar las características físicas y propiedades de resistencia de la madera. Para que los durmientes tuvieran las dimensiones indicadas en la Tabla 1, fueron pasados en las máquinas planeadoras y regruesadoras.

Apenas con la intención de dejar el producto con mejor apariencia, fueron lijadas todas sus fases con lijas número 36 y 60.

En seguida el durmiente fue medido y pesado para en seguida determinar su densidad. La densidad de los durmientes vario de 915 kg/m^3 hasta 1000 kg/m^3 ,

valores superiores al mínimo exigido por la norma [2] para un durmiente de Clase I (750 kg/m^3).

El producto final está presentado en la Figura 8, atendiendo a las exigencias de dimensiones y densidad, conforme la norma [2].



Figura 8. Durmientes de madera pegada laminada.

3. Resultados

Fueron analizados los resultados obtenidos en las dos etapas de ensayos de ultrasonido, en los durmientes desechados y en los pedazos despiezados.

En los ensayos de ultrasonido realizados con los aparatos Sylvatest y James Instruments, varias lecturas no fueron captadas debido a que los pulsos ultrasónicos no son transmitidos a través de grandes vacíos.

Fueron realizadas 3.680 mediciones obteniéndose 92 % de las lecturas tanto con el aparato Sylvatest como con el de la James. Se observó que 60,90 % de las lecturas no obtenidas por el aparato de la James ocurrió en las mediciones hechas en la anchura de los durmientes. Esto indica que el despiece de los durmientes desechados debe ser hecho a partir de la anchura, lo que permitirá un mayor aprovechamiento de madera.

De los 46 durmientes analizados apenas tres presentaron densidades menores de 750 kg/m^3 , valor mínimo de densidad indicado por la norma [2] para durmientes considerados de Clase I.

Con las medidas de cada durmiente y las dimensiones de un durmiente nuevo ($16 \times 22 \times 200 \text{ cm}$) fue encontrada la pérdida de material biológico durante el tiempo de servicio que fue de 14%. Esto indica que los durmientes en estudio ya tenían 14% menos de madera para reciclar.

Con los valores de los tiempos de propagación de los pulsos ultrasónicos y de la medida de las velocidades de los pulsos y de las medias de las velocidades, el valor de los módulos de elasticidad dinámicos fue calculado con la Ecuación 1.

Los módulos de elasticidad obtenidos a través de los dos equipamientos fueron comparados para determinar si los valores pueden ser considerados

estadísticamente iguales. Para esto fue utilizado el estudio estadístico de la hipótesis de diferencia nula con nivel de confianza de 95 %. El intervalo de confianza se encuentra entre 1.079 MPa e 5.008 MPa, indicando que los módulos de elasticidad obtenidos a través de los dos equipamientos no pueden ser considerados estadísticamente iguales. Así podemos concluir que uno de los equipamientos no presentó valores confiables.

Como el aparato de ultrasonido Sylvatest presentó menores variaciones durante las lecturas de tiempo de propagación de los pulsos ultrasónicos y la forma de sus transductores permite un trabajo con más agilidad y confianza en los resultados, se decidió que el módulo de elasticidad dinámico (E) a ser considerado en el estudio será obtenido a través de este aparato.

Del total de los durmientes analizados, apenas tres presentaron (E) con valores menores que 5.000 MPa, esto probablemente ocurrió debido a defectos internos en estos durmientes por esta razón los tiempos de propagación de las ondas ultrasónicas son bajos.

La tasa de aprovechamiento de cada durmiente varió entre 7,29 % y 59,60 %. Ya la tasa de aprovechamiento total fue de 24 %, esto indica que para cada cuatro o cinco durmientes de desecho, puede obtenerse un durmiente de MPLR.

Por lo menos dos piezas de cada durmiente fueron ensayados con ultrasonido y con la densidad de cada pieza fue determinado el módulo de elasticidad dinámico de acuerdo a la Ecuación 1. Para comparación con los módulos de elasticidad de los durmientes de madera desechada, fue utilizada las medias obtenidas de los módulos de cada durmiente.

A través de los valores de densidad obtenidos, fue confeccionado el gráfico de la Figura 9, que compara la densidad de los durmientes de desecho con la media de las densidades de las piezas obtenidas de estos durmientes.

En el gráfico de la Figura 9, se observa que apenas cuatro durmientes presentan densidades menores que 750 kg/m^3 y apenas uno fue menor que 700 kg/m^3 , esto indica que los nuevos durmientes probablemente atenderán al mínimo exigido por la norma [2].

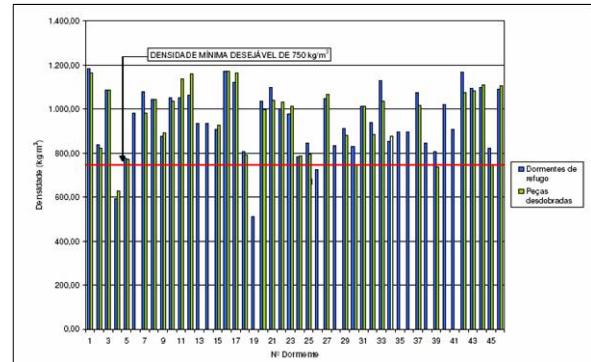


Figura 9. Ensayo de ultrasonido de piezas: Gráfico de Densidad x N°. del durmiente.

Con los valores de módulo de elasticidad y densidad de los durmientes de madera reciclada y de los pedazos despiezados se confeccionó la Tabla 2. En esta tabla pueden ser comparados los valores de densidad y módulo de elasticidad obtenidos para los durmientes de madera desechada y de los pedazos despiezados.

Con el objetivo de definir el método a ser utilizado en la determinación del módulo de elasticidad fue hecho un estudio estadístico de la hipótesis de diferencia nula con nivel de significancia de 95 %. Para la densidad, el intervalo de confianza encontrado está entre $-14,37 \text{ kg/m}^3$ y $18,68 \text{ kg/m}^3$, y para los módulos de elasticidad entre -1.401 MPa y $74,10 \text{ MPa}$, indicando que los valores obtenidos en los durmientes de madera desechada antes y después del reciclaje pueden ser considerados estadísticamente iguales. Así podemos concluir que la medición de estas dos propiedades puede ser realizada apenas en una pieza producida a partir del despiece del durmiente de madera desechada, simplificando enormemente este proceso.

Los durmientes 16 e 42 presentaron valores incoherentes y muy dispersos, por este motivo no fueron incorporados en este análisis.

Tabla 2. Comparación entre los módulos de elasticidad y densidades obtenidos en los durmientes de desecho antes y después del despieceo

Nº durmiente	Densidade (kg/m ³)			E _s (MPa)		
	Dormientes de refugio	Pieças desdobradas	Diferença	Dormientes de refugio	Pieças desdobradas	Diferença
1	1.185,67	1.164,57	21,10	22.471,12	18.058,90	4.412,22
2	836,46	823,77	12,69	18.564,22	18.941,98	-377,75
3	1.087,36	1.086,52	0,84	24.697,05	23.752,71	944,34
4	593,98	627,97	-33,99	15.087,61	15.201,38	-113,77
5	775,34	773,19	2,16	16.994,50	17.844,74	-850,24
7	1.078,89	983,62	95,27	13.379,87	15.424,15	-2.044,27
8	1.044,95	1.043,44	1,51	21.427,14	22.276,80	-849,66
9	878,58	894,31	-15,73	18.609,08	19.819,55	-1.210,47
10	1.052,19	1.037,99	14,20	22.354,86	23.491,59	-1.136,73
11	1.050,20	1.137,64	-87,44	16.550,42	20.057,51	-3.507,09
12	1.063,40	1.162,32	-98,92	18.539,43	22.789,18	-4.249,75
15	908,96	925,76	-16,80	18.929,91	20.179,89	-1.249,98
16	1.172,70	1.171,74	0,95	-	-	-
17	1.123,77	1.162,49	-38,72	15.311,38	17.281,16	-1.969,78
18	807,62	790,04	17,58	13.866,76	15.152,69	-1.285,92
20	1.035,70	997,32	38,38	19.973,88	20.193,64	-219,76
21	1.099,59	1.039,88	59,71	22.262,18	21.062,06	1.200,12
22	1.001,09	1.030,60	-29,51	14.526,37	17.195,68	-2.669,30
23	978,86	1.014,25	-35,39	19.365,76	21.762,85	-2.397,09
24	783,82	787,55	-3,73	15.357,27	15.705,07	-347,80
25	844,09	794,96	49,12	22.172,86	17.480,17	4.692,70
27	1.048,80	1.066,71	-17,92	21.417,95	18.988,56	2.429,39
29	912,73	880,66	32,07	12.611,50	16.804,26	-4.192,76
30	831,32	743,82	87,49	17.900,15	17.086,12	814,03
31	1.014,32	1.014,70	-0,38	18.797,54	19.751,61	-954,07
32	939,70	883,90	55,80	20.546,52	20.475,30	71,23
33	1.128,26	1.035,46	92,81	19.756,26	16.780,04	2.976,22
34	853,10	879,21	-26,11	18.070,32	21.859,82	-3.789,50
37	1.076,20	1.018,84	57,36	18.379,83	18.956,06	-576,23
39	807,63	738,14	69,49	18.656,67	18.676,99	-20,32
42	1.166,39	1.075,01	91,37	-	-	-
43	1.094,92	1.062,88	12,04	20.686,66	20.659,57	27,09
44	1.098,99	1.110,23	-11,24	26.899,76	29.410,72	-2.510,96
45	823,44	746,13	77,31	15.186,57	16.718,71	-1.532,14
46	1.091,94	1.105,39	-13,45	20.345,11	21.752,40	-1.407,30

El módulo de elasticidad presentó valores que indican que la medición del pulso ultrasónico en durmientes de desecho no es aconsejable por que esta medida es influenciada por la grande cantidad de defectos en el interior de estos durmientes. Tomando como ejemplo el durmiente 42, el (E) encontrado en el ensayo de ultrasonido del durmiente fue igual a 2.713 MPa, ya en el ensayo de ultrasonido en las piezas despiezadas este valor aumento para 21.493 MPa, indicando que la primera medición fue perjudicada por algún defecto en el durmiente.

Los durmientes de madera pegada laminada reciclada no necesitan de protección contra rajaduras en las extremidades, esto es debido a que las maderas ya están prácticamente secas, reduciendo considerablemente la ocurrencia de rajaduras. También es posible que no necesite tratamiento químico, pues estudios comprueban que la pérdida de protección de los preservativos ocurre después de los 20 a 25 años y esta pérdida es relativamente baja.

4. Conclusión

Para cada 4 o 5 durmientes desechados es posible confeccionar un durmiente de madera pegada laminada reciclada.

Las longitudes de las piezas para confeccionar las láminas, pueden ser variadas, desde que en los durmientes sean descontados 2,5 cm para cada empalme en dientes de perro.

Las láminas retiradas de los durmientes deben tener espesuras de 34 mm.

La localización de las láminas en el durmiente puede ser hecha a partir del módulo de elasticidad dinámico determinado a partir de técnicas ultrasónicas.

Como este trabajo es pionero, no se sabe la influencia de la eliminación de alguna etapa para una posible agilización del proceso. Así, para la exclusión de procedimientos como, por ejemplo, el relleno de orificios y la realización de empalmes, se debe antes realizar nuevos ensayos con durmientes producidos eliminando estos procesos y después compararlos con los resultados obtenidos en este trabajo.

5. Agradecimientos

Nuestros sinceros agradecimientos: a la FAPEMIG y FINEP, por el financiamiento de los recursos necesarios para la compra de materiales y equipamientos, a la Compañía Vale do Rio Doce por la donación de los durmientes, a la Akzo Nobel - Casco Adhesives, por la donación del adhesivo a la ESMAD – Tecnología en Estructuras de Madera Laminada Colada, por el auxilio en la fabricación de los durmientes.

6. Referencias

- [1] PRIMACK, R. B; RODRIGUES, E. *Biologia da Conservação*. Londrina: Editora Planta, 2006, pp. 69-134.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7511: *Dormente de madeira – Requisitos e métodos de ensaio (Projeto de revisão)*. Rio de Janeiro, 2004. 14p.
- [3] Carrasco, E. V. M. *Resistência, Elasticidade e Distribuição de Tensões nas Vigas Retas de Madeira Laminada Colada (MLC)*. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1989.
- [4] AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION – *Timber Costruction Manual*. Third edicion, 1992, John Wiley & Sons, 836 p.
- [5] Duarte, R. de S. *Avaliação do comportamento de ligações com parafusos auto-atarraxantes em vigas de MLC*. Belo Horizonte, MG. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia de Estruturas – Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- [6] Carrasco, E. V. M; Júnior, A. P. A. “Avaliação Não Destrutiva de Propriedades Mecânicas de Madeiras através de Ultra-Som – Fundamentos Físicos e Resultados Experimentais”. *Revista Engenharia Civil*, Universidade do Minho, Portugal, Nº 17. 43 – 57. Maio, 2003.