

## EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE LATAS DE BAMBÚ TRATADAS POR EL MÉTODO BOUCHERIE MODIFICADO

**Antonio L. Beraldo**<sup>(1,2)</sup> (beraldo@agr.unicamp.br)

**Jean C. C. Espelho**<sup>(1)</sup> (jeanc@smartnet.com.br)

**Gisleiva C. Ferreira**<sup>(1)</sup> (gisleiva@agr.unicamp.br)

(1) Facultad de Ingeniería Agrícola – Universidad Estatal de Campinas, Campinas, SP, Brasil

(2) Investigador científico del CNPq.

**RESÚMEN:** el bambú es una de las materias primas más indicadas para los países en vías de desarrollo. La rapidez de su crecimiento, aliado a las propiedades físicas y mecánicas adecuadas, hacen con que el bambú sea considerado el oro verde del bosque. Mientras tanto, el mayor inconveniente del bambú se debe a su limitada vida útil, sobretodo cuando es expuesto a las intemperies. De esa manera, uno de los grandes desafíos en la investigación para aumentar la durabilidad del bambú se refiere a la ejecución de tratamientos preservantes que combinen practicidad con eficiencia. Constituyó el objetivo de este trabajo, evaluar la eficacia del tratamiento de culmos de *Dendrocalamus giganteus* Munro, por medio del método de Boucherie Modificado. Fueron efectuadas los siguientes análisis: absorbancia de la solución, concentración de cromo, cobre y boro (para soluciones comerciales - CCB) y del boro (para la solución de ácido bórico y bórax) y de la retención de los mismos elementos en tres regiones del culmo (base, medio y punta) Los resultados obtenidos indicaron que los análisis de las soluciones no garantizan la eficacia del tratamiento y que el análisis de la retención indica solamente un valor promedio, sin que haya garantía de uniformidad de distribución a lo largo de los elementos anatómicos del bambú, los elementos químicos se depositan sobretodo en los vasos interiores

**Palavras-clave:** bambú, Boucherie Modificado, CCB, *D. giganteus*

## DURABILITY EVALUATION OF BAMBOO STRIPS TREATED BY BOUCHERIE MODIFIED METHOD

**ABSTRACT:** bamboo is one of the most suitable raw materials for developing countries. Bamboo is considered as a green gold of the forest because its fast growing and its suitable physical and mechanical properties. Nevertheless, the major drawback of bamboo is its limited shelf life, mainly when it is exposed to non-protected environment. So, one of the most great challenges, aiming to enhance the bamboo durability, is pointed to the developing a practical and efficient preservation treatment. In this research work it was evaluated the treatment effectiveness of the *Dendrocalamus giganteus* Munro strips by a Boucherie Modified Method. It was evaluated: solution absorbance, chromium, copper and bore concentrations (for a comercial CCB) and bore concentration (for boric acid and borax solutions) and the fixed amount of the same chemical elements in three bamboo stem positions (bottom, middle and top). Analysis of the solutions results did not allow the effectiveness of the treatment applied to bamboo stems. Also the average amount of the chemical fixed elements showed the heterogeneous distribution across the anatomical bamboo elements, and the chemical elements are detected mainly in the vessels.

**Keywords:** bamboo, Modified Boucherie, CCB, *D. giganteus*

## 1. INTRODUCCIÓN

El bambú, por su naturaleza, está sujeto a deteriorarse por la acción de hongos e insectos, pudiendo, según algunos autores, presentar una vida útil del 1 a 3 años, cuando no es tratado, y de 10 a 15 años o más, cuando es convenientemente tratado. La durabilidad del bambú está directamente enlazada a la forma de tratamiento aplicado al culmo y al tipo de empleo propuesto. La presencia del almidón en las células parenquimatosas es seguramente el punto negativo del bambú, pues el contenido del almidón está relacionado con el grado de ataque del escarabajo (*Dinoderus minutus*) Incluso se puede afirmar que, cuanto mayor sea este contenido en el culmo, mayor será la posibilidad de que él venga a sufrir el ataque del escarabajo (LIESE 1985; HIDALGO LOPEZ, 2003)

El culmo del bambú normalmente es atacado por los insectos cuando se encuentra expuesto al ambiente, o por microorganismos, cuando esté en contacto con el suelo. Los culmos cosechados antes de presentar las ramas y las hojas, no son atacados. La explicación para tal acto se relaciona con la ausencia del almidón, lo cual es solamente metabolizado por los culmos maduros.

Mientras existan varias informaciones en la literatura acerca de los estudios anatómicos relativos al bambú, todavía no existen investigaciones científicas acerca del flujo y de la distribución de los preservantes en los elementos anatómicos del bambú (KUMAR et al. 1994)

Constituye el objetivo de este trabajo la evaluación de la eficiencia de la penetración de las soluciones preservantes aplicadas al culmo de bambú, por medio del empleo del Método Boucherie Modificado.

Los métodos existentes para efectuar el tratamiento preservante de los materiales fibrosos fueron inicialmente desarrollados para la madera, sobretodo para aquellas pertenecientes al género *Eucalyptus*. Tales métodos se dividen en industriales y no industriales (prácticos o empíricos) En los métodos industriales son utilizados equipos específicos (autoclaves) disponiendo de control de presión. Generalmente se destinan al tratamiento de grandes volúmenes de madera o de piezas de grandes dimensiones. Los métodos no industriales empíricos generalmente son empleados por los propios interesados, sin que necesiten el uso de equipos especiales. Tales métodos pueden ser especialmente adecuados en el tratamiento del culmo de bambú, que es una materia prima disponible en el medio rural.

Para el tratamiento del bambú existen métodos tradicionales y químicos, con respecto a la forma de aplicación. Los tradicionales se subdividen en: maduración o curado en el bosque, el curado por inmersión, por fuego y por humo. Los métodos químicos son subdivididos en métodos sin empleo de presión (inmersión en solución de sales hidrosolubles y reemplazo de la savia por sales hidrosolubles) o bajo presión (autoclave o reemplazo de la savia)

De entre los métodos más indicados para efectuarse el tratamiento de los culmos de bambú se destaca el Método de Boucherie Modificado. Ese método, que consiste en una substitución acelerada de la savia, permite que sean tratados simultáneamente varios culmos de bambú con diferentes longitudes. Todavía, el método debe ser aplicado a los colmos de bambúes recién cosechados, y su eficiencia depende de una serie de factores, tales como: especie considerada, época de tala, edad, largo y contenido de humedad del culmo, del tipo y de la concentración de la solución preservante, de la presión adoptada (KUMAR et al., 1994)

Para agilizar el tratamiento de los culmos, se puede utilizar un equipo constituido por un contenedor metálico, tuberías, válvulas y conexiones acopladas a los culmos de bambú, conforme relatado por BERALDO et al. (2003) La operación de tratamiento del culmo es relativamente simple, todavía se debe optimizar la etapa de la conexión de los culmos al equipo, necesitándose, por lo tanto, de un conjunto de conectores de diámetros variados.

Mientras, intuitivamente, la dirección de penetración de la solución durante el tratamiento deba ser de la base hacia la punta, a veces, debido a las dificultades en realizar los acoples, se torna necesario invertir esa orientación, sin que, aparentemente, tal procedimiento disminuya la eficiencia del tratamiento.

La presión aplicada durante el tratamiento no puede ser excesiva, pues para algunas especies de bambú, sobretodo para aquellos que presenten paredes de pequeño espesor, puede ocurrir la ruptura longitudinal de la pared del culmo. Generalmente se adoptan presiones de orden del 2 kgf/cm<sup>2</sup>.

Mientras se observe en algunos minutos la presencia de la solución preservante en la extremidad opuesta del culmo, se debe resaltar que los vasos se constituyen en el principal medio de penetración de la solución (KUMAR et al., 1994) La transferencia en la dirección de los demás tejidos anatómicos (fibras y células parenquimatosas) obedece un proceso mucho más lento, comandado por la difusión.

Esta dificultad en efectuar el tratamiento preservante no es específica del bambú. Mientras la madera presente una estructura celular y porosa, varias especies leñosas no son fácilmente tratadas. KUMAR y DOBRYIAL (1993) presentaron cinco clases de “tratabilidad” de la madera, conforme la dificultad encontrada para efectuar su impregnación. De acuerdo con los autores, algunas especies se degradaron mucho antes de lo previsto, pudiendo tal acto atribuirse a la distribución no uniforme de los productos químicos en varias células, especialmente en las fibras – el mayor constituyente de algunas maderas duras investigadas.

Las maderas duras (dicotiledóneas o *hardwoods*) presentan una estructura que contempla una larga variedad de tipos de tejidos, siendo su estructura más compleja que la estructura de las coníferas (*softwood*).

Los autores presentaron los resultados obtenidos en una investigación acerca de varias especies de maderas indianas, destacando la influencia de sus elementos anatómicos en la eficiencia del tratamiento.

- **vasos:** en especies de madera que presentan vasos de pequeño diámetro con tilos *difícilmente ocurre la penetración* de la solución preservante, pudiendo, tales especies, ser encuadradas como extremadamente impermeables. Los tilos disminuyen la penetración hasta inclusive, en las especies que presentan grande diámetro (*como es el caso del bambú, por ejemplo*); para las especies que tengan deposición en los vasos también fue observado una penetración moderada. Inclusive, para una de las especies analizadas, sin tilos y depósitos, tampoco hubo la penetración.

- **fibras:** las especies disponiendo de perforaciones abundantes mostraron una buena penetración. *Los vasos parecen ser la ruta para la penetración*; especies con tilos y depósitos también mostraron una baja penetración en las fibras, mientras ocurriesen perforaciones en las mismas. Inclusive los rayos también presentaron una baja penetración.

-**rayos:** los rayos efectúan el transporte lateral de los fluidos; son conectados a los vasos por medio de las perforaciones y son penetrados invariablemente donde los vasos no tengan depósitos (gomas y resinas) *En el caso del bambú ocurre un inconveniente a más – la inexistencia de los rayos.*

- **parénquima axial:** la penetración de la solución preservante fue proporcional a aquella observada en los vasos. Para maderas de parénquimas paratraqueales (ligados a los vasos) ocurrió una buena conexión con los vasos por la vía de las perforaciones; para las maderas con parénquimas apotraqueales (no ligados a los vasos) la penetración ocurrió a través de las fibras. *Los bambúes pueden ser considerados un caso a parte, pues el parénquima es distribuido de una forma homogénea involucrando los vasos y los paquetes de fibras.*

Para algunas especies de maderas no se observó la penetración en el parénquima debido a la falta de comunicación con los vasos (parcialmente rellenos por depósitos) El parénquima

desarrolla un papel secundario en la penetración de la solución preservante, todavía es de gran importancia para la distribución de las tensiones (WINANDY y ROWELL, 1984, citados por los autores).

En las Figuras 1a, 1b y 1c se observan ejemplos de la disposición anatómica de los elementos del bambú a lo largo de una sección transversal, notándose claramente la complejidad al analizar el tratamiento de un culmo. Mientras los vasos ocupen alrededor del 10% de la superficie de la pared del culmo (LIESE, 1987), sus diámetros cambian significativamente a lo largo del espesor de la pared. En las capas internas (1c) el flujo de la solución sería teóricamente más efectivo, al paso que, en las capas externas (1a), sería mucho más dificultado.

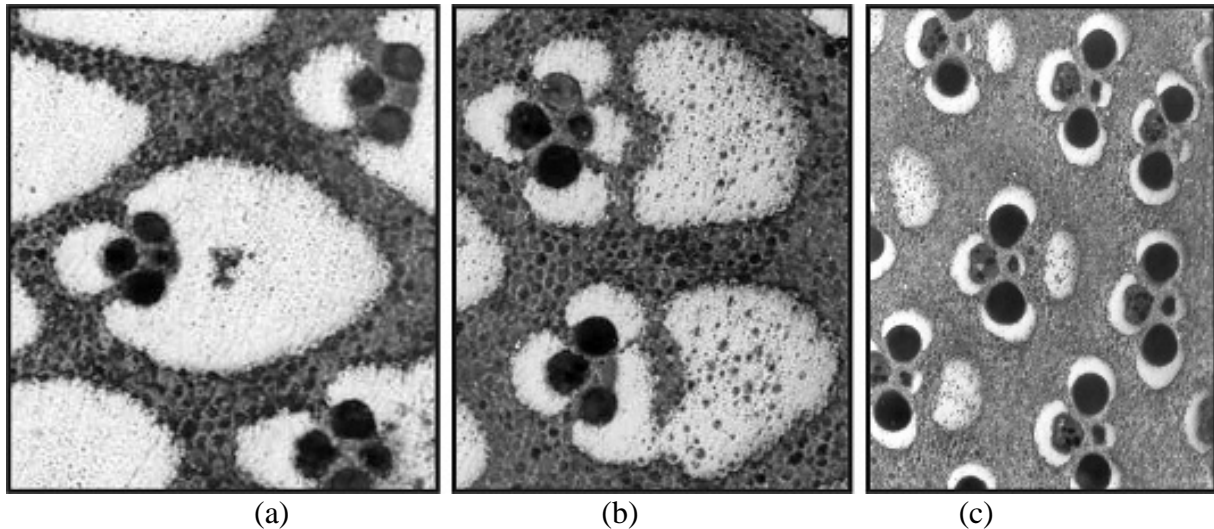


Figura 1 – Montaje del negativo de la fotografía (44X) de la sección transversal del bambú *D. giganteus* indicando los elementos anatómicos: vasos (oscuros), células parenquimatosas (ceniza) y paquetes de fibras (blanco) Regiones: (a) externa – cerca de la capa externa del culmo; (b) mediana e (c) interna.

Las Figuras 2a y 2b presentan, de forma esquemática, los detalles de los elementos anatómicos del bambú. Entonces, tratar el bambú significa que *la solución preservante debe penetrar en los vasos y distribuirse (por difusión) para las células vecinas*. Todavía, esta transferencia de la solución no es tan simple de ser efectuada, considerándose las particularidades anatómicas de las células del bambú. La mayor dificultad encontrada en el tratamiento preservante del bambú es garantizar que las células parenquimatosas (prismas de base hexagonal disponiendo de una membrana perforada, en los cuales se almacena el almidón) sean efectivamente alcanzadas por la solución preservante. La solución debe atravesar transversalmente las aperturas de los vasos y acceder a las fibras y sobretodo a las células parenquimatosas. Considerándose que en los vasos de mayor diámetro, el flujo de la solución preservante sea más efectivo (debido a la disminución de las fuerzas de fricción), y considerándose que justamente en esta posición es mayor el porcentaje de células parenquimatosas, se puede comprender la dificultad encontrada por la solución preservante para desplazarse “punto a punto” entre las células consecutivas.

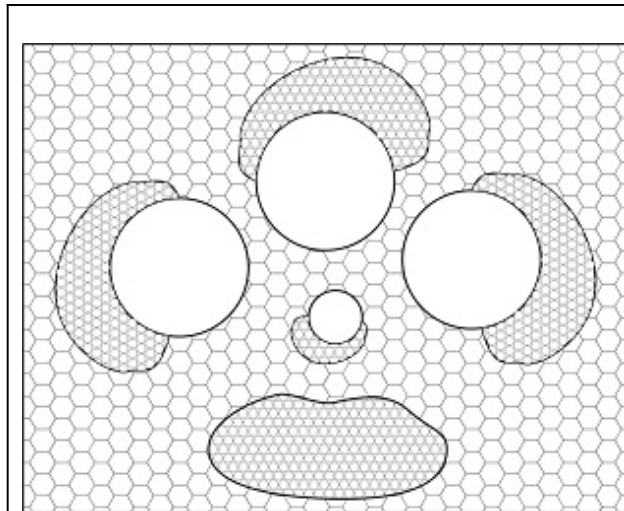
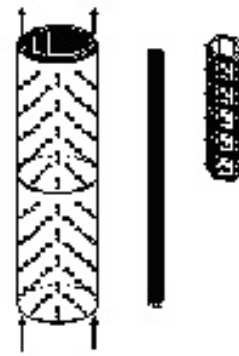


Figura 2a – Sección transversal indicando esquemáticamente los elementos anatómicos del bambú *D. giganteus*. Vasos (círculos blancos), paquetes de fibras (ceniza oscuro) y células parenquimatosas (células hexagonales de color ceniza claro)



(a) (b) (c)

Figura 2b - Presentación esquemática longitudinal de los elementos anatómicos disociados del bambú indicando (a) – vaso; (b) – fibra y (c) – célula parenquimatosa.

De acuerdo con LIESE (1959), citado por KUMAR et al. (1994), la penetración de la solución preservante en los tejidos envolventes a los vasos asume la más grande importancia, pues las regiones no-tratadas en las células parenquimatosas pueden desencadenar la degradación prematura del culmo.

Mientras los vasos presenten dimensiones tales que favorezcan a la transferencia de la solución preservante, principalmente cuando estén situados en las capas internas del culmo, mientras tanto, a medida que el culmo alcanza su madurez, ocurre la esclerosis de los vasos. En las Figuras 3 e 4 se pueden observar los elementos vasculares del bambú *Dendrocalamus giganteus*, siendo nítida la presencia de obstrucciones en los vasos (tilos)

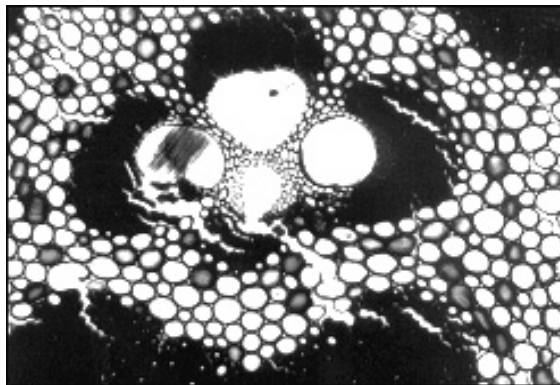


Figura 3 – *D. giganteus* (70 x)

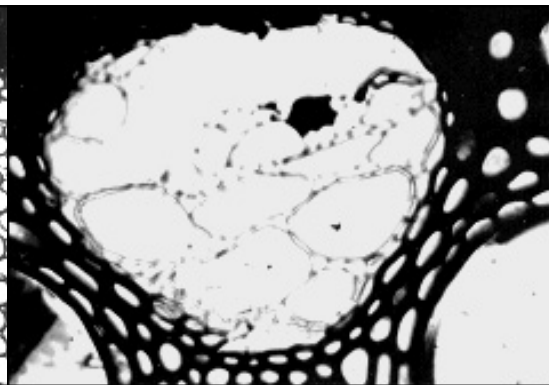


Figura 4 – *D. giganteus* (280 x)

Los culmos de bambú, mismo cuando son originarios de la misma especie, del mismo grupo y que presentan la misma edad, pueden presentar diferencias significativas en la variabilidad de la dimensión de sus elementos anatómicos. Factores tales como la posición ocupada en el grupo, principalmente cuanto el nivel de la exposición a la luz solar y a la época de emergencia del suelo, pueden afectar significativamente tanto la dimensión de los elementos

anatómicos del culmo (principalmente los vasos), como pueden favorecer la aparición de un tipo de "leño" de reacción (mientras este tipo de tejido particular sea inexistente en el bambú, conforme relató LIESE, 1987), cuando los culmos presentan una curvatura muy acentuada. Esa anomalía, presente en la madera, proporciona la aparición de células gelatinosas, capaces de modificar la geometría de los vasos, haciéndolos elípticos y con sección más pequeñas (grosura de la pared)

De este modo, los resultados obtenidos en el ensayo de retención de los productos químicos presentes en las soluciones preservantes aplicadas a los culmos del bambú, no siempre obedecen a la lógica. Por ejemplo, en tratamientos con una duración más larga a veces no alcanza la mayor concentración de un determinado elemento químico, cuando comparado con un otro tratamiento con una duración más pequeña, aplicado a los culmos de una misma especie y con la misma longitud. La explicación encontrada para este aparente equívoco, se refiere a las diferencias anatómicas entre los culmos, principalmente cuanto a las dimensiones de los vasos y a su distribución a lo largo de la pared del culmo (LIESE, 1985; PENNA et al., 2004)

La eficiencia del tratamiento químico del bambú bajo presión puede ser verificada por medio de los análisis de la concentración de las soluciones a lo largo del tiempo, buscando obtenerse el tiempo mínimo para la estabilización de la concentración de un determinado elemento químico. Mientras tanto los métodos más usuales son los de análisis de retención de un determinado elemento químico en las diferentes secciones de la madera (o en regiones del culmo del bambú) y por medio de un proceso colorimétrico (análisis cualitativa), conforme relatado por TARGA et al. (2001)

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Tala y tratamiento de los culmos de bambú**

Los culmos de bambú gigante (*Dendrocalamus giganteus* Munro) fueron talados en el mes de mayo de 2004, en la Hacienda Santa Elisa, perteneciente al Instituto Agronómico de Campinas. A seguir, los culmos fueron subdivididos en partes con 4 m de longitud. Inmediatamente se aplicó el tratamiento bajo presión (BERALDO et al., 2003) utilizándose un dispositivo especialmente diseñado para este objetivo, disponible en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Unicamp. Uno de los culmos de bambú fue secado al aire libre durante 3 días, para verificar el posible efecto del secado del culmo en la eficiencia del tratamiento preservante.

### **2.2 Preparación de las soluciones preservantes**

Los culmos fueron separados al azar y sometidos a dos tipos de tratamiento:

- solución comercial de CCB (31.75% de  $\text{CrO}_3$ , 13% de  $\text{CuO}$  y 5.25% de Boro) conteniendo 50% de ingredientes activos (i.a.); suministrada por la empresa Montana Química,
- ABB - solución preparada con ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) y bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ).

Para ambas de las soluciones fueron preparadas las concentraciones del 2%, 5% y 8% de los ingredientes activos.

### **2.3 Colecta de la solución preservante**

Decorridos 30 min., 90 min. y 300 min. de tiempo de tratamiento, fueron colectadas muestras de las soluciones, las cuales fueron enviadas para el análisis de las concentraciones de los elementos químicos cromo, cobre y boro, para el caso de la solución de CCB, y de boro, para la segunda solución, en la empresa TASQA, situada en Paulínia – SP.

Para las soluciones-referencia con concentración del 5% de CCB y aquellas colectadas para la misma concentración después de decorridos tiempos variables de tratamiento, también se efectuó el análisis de la absorbancia. Las soluciones fueron diluidas y analizadas en un espectrofotómetro, perteneciente al Centro de Biología Molecular de la Unicamp.

## **2.4 Análisis de la retención de los elementos químicos**

Muestras colectadas de tres regiones del culmo (base, medio y topo) fueron enviadas a la División de Maderas del Instituto de Investigaciones Tecnológicas – IPT – SP. Las muestras fueron desintegradas en molino y analizadas por medio del equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica – Varian –SPECTRA A200.

## **2.5 Microscopia electrónica del barrido (MEB)**

Las muestras fueron preparadas y analizadas en el Laboratorio Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) y en el Instituto de Geociencias de la Unicamp.

# **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **3.1 Análisis de la solución preservante por medio de la absorbancia**

Intuitivamente se puede imaginar que cuando el color de la solución de salida (efluente), observada en la extremidad del culmo, es similar a aquella de la solución de entrada (o solución-testigo) en la base del culmo, el tratamiento teóricamente lograría alcanzar su objetivo (TARGA et al., 2001) Todavía, las limitaciones del ojo humano no permiten detectar las gradaciones del color de la solución de forma eficiente. De este modo, una alternativa adoptada es efectuar el análisis de la absorbancia de la solución, al ser atravesada por un rayo de luz. Detectores especiales permiten, con sensibilidad, detectar las diferencias de color entre soluciones con diferentes concentraciones, correspondiendo, en este caso, a las duraciones de tratamientos variados, aplicados a un mismo culmo de bambú. Las soluciones de ácido bórico y bórax (ABB) no presentaron, aparentemente, un contraste de color, no siendo detectadas tan fácilmente como en el caso del CCB.

La Figura 5 presenta el resultado del ensayo de absorbancia, aplicado a la solución de CCB en concentración de 5%, colectada durante el tratamiento de culmos verdes de *D. giganteus*, con 4 m de largo. Decorrido alrededor de 3 h de tratamiento ocurre una tendencia de la estabilización de la absorbancia de la solución, denotando, aparentemente, que el tratamiento se quedaría en fase, o sea, que la savia hubiera sido expulsada.

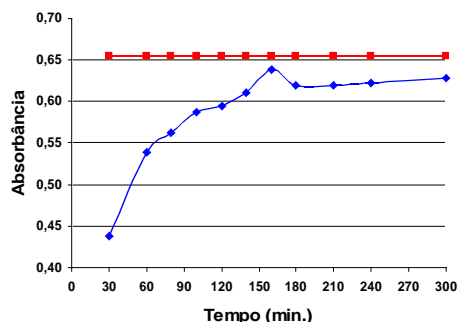


Figura 5 – Absorbancia de la solución de CCB (5%) a lo largo del tiempo.

### 3.2 Análisis de los elementos químicos en las soluciones

Además del análisis de la concentración en boro (soluciones de ABB) y para el cromo, el cobre y el boro (soluciones de CCB) para las soluciones-testigos (o referencias), fueron colectadas, después de determinados intervalos de tiempo, alícuotas de las soluciones emergentes en la extremidad de los culmos de bambú.

#### 3.2.1 Ácido Bórico y Bórax (ABB)

La Figura 6 presenta las concentraciones en boro obtenidas de la solución-testigo (referencia – solución con una concentración teórica del 5%) y de aquellas colectadas al final de los tratamientos de los culmos después de los periodos de 30 min., 60 min. y 90 min. La solución-testigo presenta una concentración de 5.8 g/L y en las demás soluciones evaluadas notase claramente el aumento de la concentración del boro a medida que aumenta el período de tratamiento, siendo de 4.32 g/L (para 30 min.), 4.60 g/L (para 60 min.) y de 4.84 g/L (para 90 min.). De acuerdo con KUMAR et al. (1994), el boro se difunde de una forma más efectiva de que el cromo y el cobre.

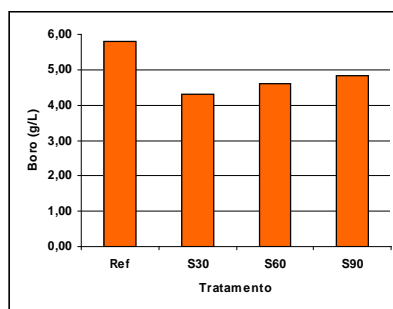


Figura 6 – Concentración de boro, en soluciones del ABB (al 5%), para periodos de tratamiento de 30 min., 60 min. y 90 min.

#### 3.2.2 Cromo, Cobre e Boro (CCB)

La Figura 7 presenta los resultados de las concentraciones de los elementos químicos constituyentes de la solución-testigo (CCB al 5%), y de aquellas referentes a la solución colectada después de 3 h de tratamiento. Se pudo observar que las concentraciones tendieron a aproximarse al valor de la concentración-testigo. Para el cobre, el cromo y el boro, los valores alcanzados fueron de 83%, 93% e 89%, respectivamente, de las concentraciones iniciales de

cada elemento. Además tales valores se refieren a las concentraciones en el topo del culmo. De este modo, de acuerdo con los resultados observados en los análisis anteriores, se puede concluir que este culmo, en particular, puede ser considerado como “adecuadamente tratado”, pues las concentraciones en las demás regiones (medio y base) deberían ser, teóricamente, superiores a aquella detectada en el topo del culmo en el presente análisis.

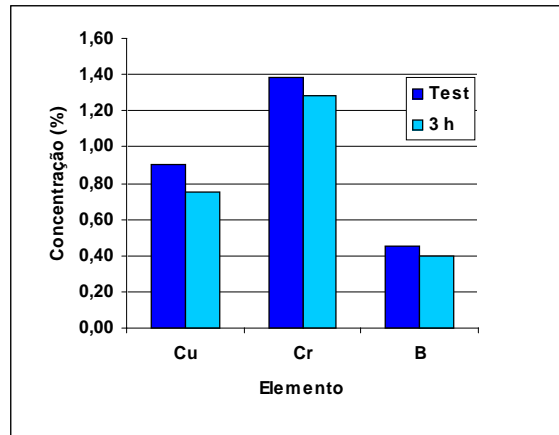


Figura 7 – Concentración de los elementos químicos originales constituyentes de la solución del CCB (Test - al 5%) y también colectados después de 3 h del tratamiento.

Cu = Cobre; Cr = Cromo; B = Boro.

### 3.3 Análisis de la retención de los ingredientes activos (i.a.) contenidos en las regiones del culmo, por medio de la espectrofotometría de absorción atómica

Los resultados obtenidos fueron muy inferiores a aquellos prescritos por la norma NBR 8456 para postes de madera (retención alrededor del los 9.6 kg/m<sup>3</sup> de i.a.) Aún, en la literatura específica acerca del bambú también se relatan retenciones elevadas (KUMAR et al., 1994), en el presente trabajo tal acto no pudo ser observado. Considerando que los análisis anteriores de absorbancia y de la concentración de los elementos químicos presentes en las soluciones fueron coherentes con la expectativa, se pudo concluir, de una forma general, que los culmos utilizados en esta investigación fueron altamente refractarios a la penetración en la dirección radial, o entonces que la duración del tratamiento no haya sido suficiente para este culmo específico.

#### 3.3.1 CCB

Las Figuras 8a y 8b presentan los resultados del análisis de la retención de los ingredientes activos (i.a.), en tres regiones del culmo (base, medio y topo), para la especie *D. giganteus*. Los culmos fueron tratados con una solución de CCB (Cromo, Cobre y Boro) al 5% de concentración, para periodos de tratamiento de 40 min., 90 min. y 300 min.

Las hipótesis a verificar deberían ser:

a) periodo del tratamiento: cuanto más largo fuera el tiempo de tratamiento (considerándose que los colmos empleados fueron absolutamente idénticos), mayor debería ser la cantidad de los ingredientes activos detectados en las correspondientes regiones del culmo (base, medio y topo) Como se pudo observar, considerándose solamente la región de base del culmo, este análisis relativamente simple dependió también del elemento químico considerado: la concentración del cromo (CrO<sub>3</sub>) atendió a esta expectativa, presentando concentraciones del

1.0 kg/m<sup>3</sup>, 1.3 kg/m<sup>3</sup> y 1.5 kg/m<sup>3</sup>, para los periodos de 40 min., 90 min. y de 300 min, respectivamente.

Para el cobre (CuO), mientras tanto, no se observó una diferencia para los periodos de 90 min. y de 300 min., ambos presentando concentraciones del 0.6 kg/m<sup>3</sup>. Todavía, esta concentración fue superior a aquella obtenida en el tratamiento de 40 min. de duración, para lo cual la concentración fue del 0.5 kg/m<sup>3</sup>. Aparentemente el cobre se estabiliza más rápidamente de que el cromo.

Con respecto al boro (B), no se evidenció variaciones entre los diferentes periodos de tratamiento (40 min., 90 min. y 300 min.), pues al final de los mismos se obtuvo la misma concentración (0.5 kg/m<sup>3</sup>). Aparentemente, el boro presentó la mayor movilidad de entre todos los elementos durante el tratamiento, cuando fue analizada la región de la base del culmo, confirmando los resultados obtenidos por KUMAR et al. (1994)

b) efecto de la posición de muestreo: debido a la proximidad de la base del culmo de bambú con los conectores metálicos del aparato utilizado para efectuar el tratamiento preservante de y a la interconexión más efectiva entre los elementos anatómicos responsables por la conducción de la savia, teóricamente el flujo de la solución preservante es más eficiente en esta región del culmo, disminuyendo el valor a medida que se camina en la dirección del topo del culmo. Todavía, si las concentraciones encontradas fueran independientes de la posición en el culmo (o sea, si los valores son prácticamente constantes), este acto aparenta ser un indicativo de que, teóricamente, se pudo alcanzar el período ideal para efectuar el tratamiento del culmo específico del bambú.

Esta hipótesis fue verificada para el período de tratamiento de 300 min. La concentración en cromo fue similar, independientemente de la región considerada (base, medio o topo); para el cobre, mientras la región del medio del culmo (B300) presente una concentración ligeramente superior (0.7 kg/m<sup>3</sup>) al de las demás (0.6 kg/m<sup>3</sup>), se puede atribuir tal acto a los errores experimentales, o en consecuencia de los aspectos anatómicos del culmo tratado, culminando con las variaciones que no fueron analizadas cuanto al espesor de la pared en la región considerada. La misma hipótesis se aplica al caso del boro, pues su concentración en la región mediana del culmo fue del 0.5 kg/m<sup>3</sup>, ligeramente inferior a aquellas encontradas en las demás regiones (alrededor del 0.6 kg/m<sup>3</sup>). De acuerdo con el resultado de estos análisis y para las condiciones operacionales adoptadas, se puede considerar que este período de tratamiento (300 min.) ya sea *suficiente* para proporcionar una deposición homogénea de los elementos preservantes en el culmo del bambú, todavía sin garantizar que la misma homogeneidad se aplique a la dirección radial. Esta misma tendencia no fue observada para el tratamiento con 90 min. de duración. Para el boro las concentraciones obtenidas en el medio y en el topo fueron similares (0.2 kg/m<sup>3</sup>) y para los demás elementos químicos, de una forma inesperada, las concentraciones en el topo fueron ligeramente superiores a aquellas en la región mediana del culmo. La heterogeneidad de la retención de los elementos químicos, a lo largo de la longitud, también hubiera sido relatada por TARGA et al. (2001), al investigar la distribución del CCB en postes de la madera *Pinus oocarpa*.

Para el periodo de tratamiento de 40 min., la concentración de cobre no obedeció a la misma tendencia verificada en los análisis anteriores, siendo el menor valor presentado en la región mediana del culmo (M40).

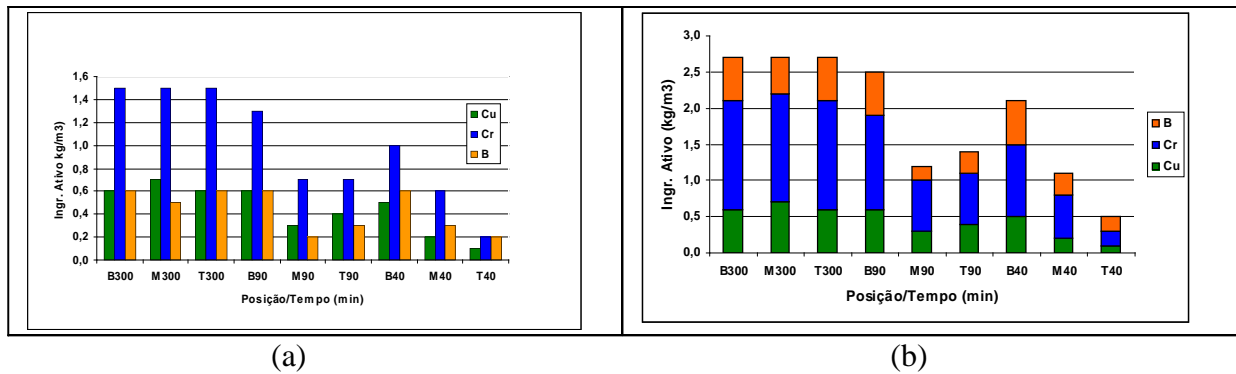


Figura 8 – (a) Ingredientes activos en las regiones del culmo del bambú, para tratamientos (5% del CCB) con periodos de 40 min., 90 min. Y 300 min. (b) Ingredientes activos acumulados.

Leyenda: B = Base; M = Medio; T = Topo.

Visando eliminar el efecto de la posición del muestreo a lo largo del culmo, fueron comparados los diversos tratamientos combinando concentraciones y periodos diferentes aplicados apenas a la región mediana de los culmos (Figura 9) Solamente para el período de tratamiento de 90 min. fueron obtenidos resultados coherentes con la expectativa, o sea, la concentración de los ingredientes activos fue más elevada cuanto más concentrada era la solución original. Este acto fue verificado para los tres elementos químicos analizados. Para el periodo de tratamiento de 40 min., solamente la concentración de cobre (CuO) obedeció a lo esperado. La concentración del boro fue más reducida cuando al empleo de la concentración al 8% de que al 5%. Mientras tanto, el acto de más destaque fue la elevada concentración del romo, para el tratamiento 8-40 (alrededor del 2.1 kg/m<sup>3</sup>), superior a aquellas relatadas en la Figura 8, considerándose un periodo de tiempo de tratamiento mas largo (300 min.). Nuevamente se debe relatar que se tratan de culmos diferentes, en los cuales los aspectos anatómicos pueden influenciar de forma significativa el flujo a lo largo de los vasos, principalmente.

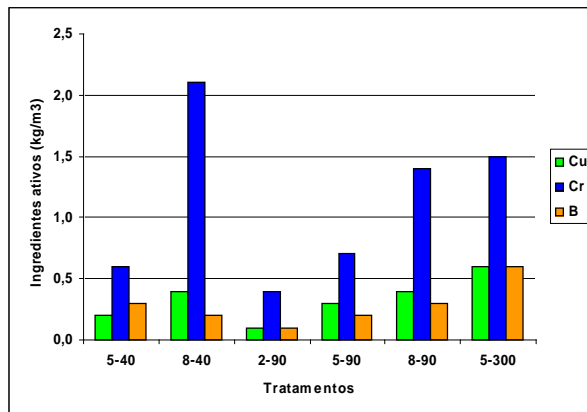


Figura 9 – Elementos químicos (%) en la región mediana del culmo de bambú de acuerdo con las concentraciones de la solución del CCB (2%, 5% y 8%) y con los periodos de tratamiento (40 min., 90 min., 300 min.)

En las Figuras 10a y 10b se presentan fotos de microscopia electrónica del barrido realizadas en Laboratorio Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) es notorio la presencia de granos de almidón no-tratados y la deposición de sales en un elemento de vaso (Figura 10a) y el

contraste entre la dimensión de las aperturas en la pared del vaso ( $4\ \mu\text{m}$ ) con un bloque de sal ( $40\ \mu\text{m}$ ) .

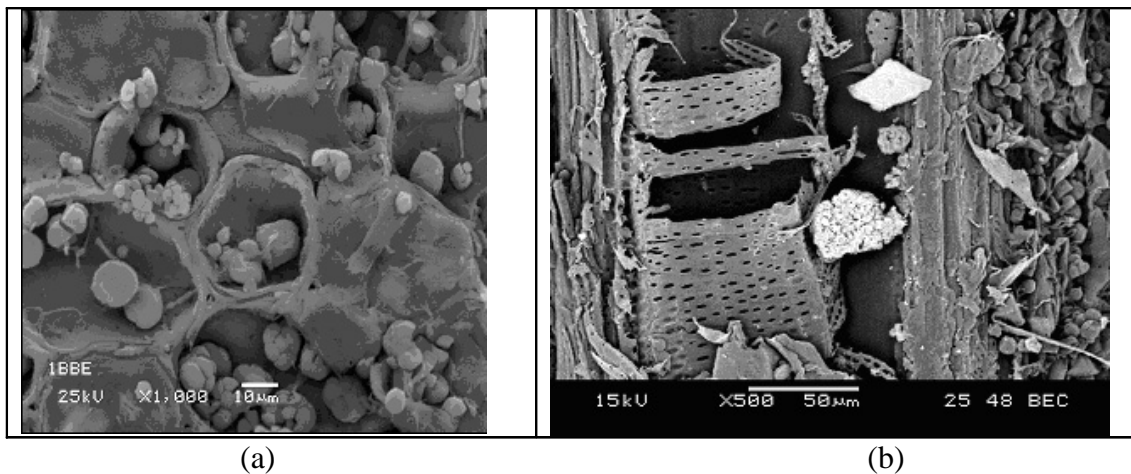
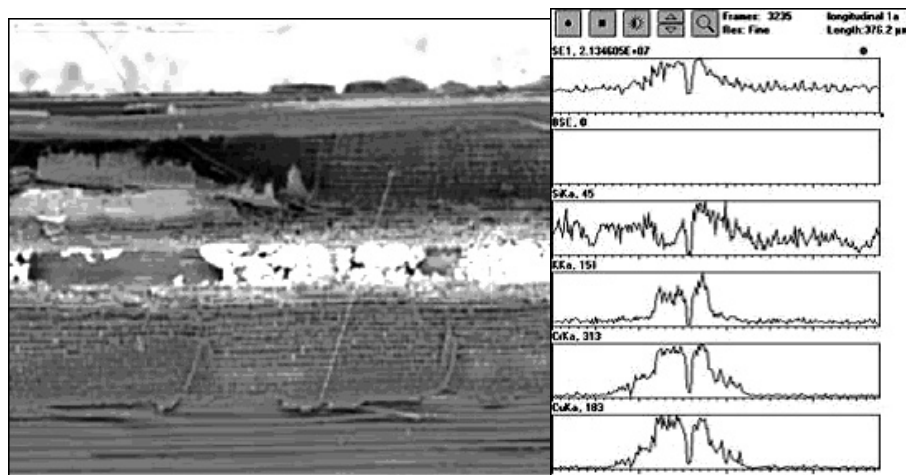


Figura 10 – (a) Imagen obtenida por electrones retro-dispersos de una muestra no lijada de la sección transversal de bambú tratado (región de la base – concentración del 5% de CCB – tratamiento de 90 min.). Se pudo observar la presencia de células parenquimatosas (formato hexagonal) presentando gránulos de almidón y claramente se nota la ausencia de los elementos de la solución preservante. (b) Detalle de dimensión de las perforaciones en los vasos y de la presencia de sal depositado.

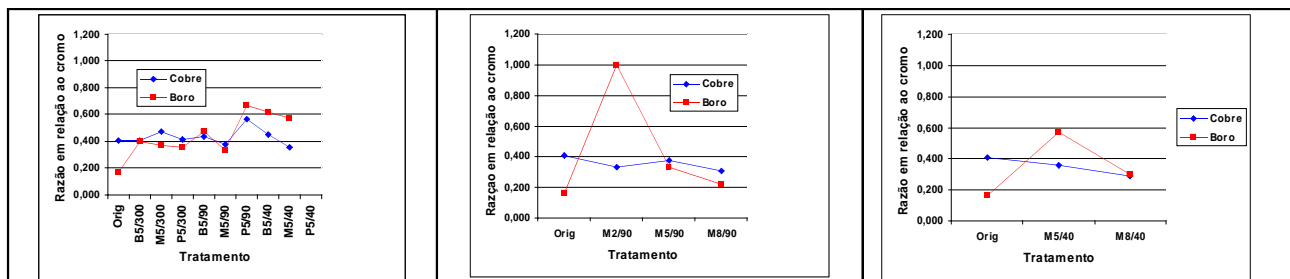
En las Figuras 11a y 11b, obtenidas en el Instituto de Geociencias, se presentan los resultados del análisis de los elementos químicos detectados en un perfil de la muestra (indicada por la línea amarilla), correspondiendo a las regiones de las células parenquimatosas involucrando un vaso de las capas interiores del culmo (y por lo tanto, la situación más favorable al flujo de la solución preservante) Dos de los elementos químicos detectados (silicio y potasio) se deben a la constitución química del bambú. Todavía, en las dos ultimas regiones de la Figura 11b claramente se observa la concentración del cromo y del cobre en el centro de las imágenes y, principalmente, su *ausencia en las regiones vecinas*. Este hecho aparentemente confirma la hipótesis de que *no sea posible tratar eficientemente las células parenquimatosas* (y tampoco los paquetes de fibras) Una aparente falla en las curvas se debe a la región en el vaso donde no hubo concentración de la solución (Figura 11a), indicando igualmente que mientras sea el vaso el principal sitio para deposición de los productos químicos, la deposición no es uniforme.



(a) (b)

Figura 11 – (a) Imagen de la región vecina a un vaso de bambú. (b) Elementos químicos detectados en la línea amarilla (silicio, potasio, cromo y cobre).

La solución del CCB utilizada contenía en su fórmula inicial 31.75% de  $\text{CrO}_3$ , 13% de  $\text{CuO}$  y 5.25% de Boro, de acuerdo con la empresa Montana Química. O sea, adoptándose el cromo como unidad, su razón inicial con respecto al cobre y al boro, es de: 1 : 0.409 : 0.165. Las Figuras 12a, 12b y 12c presentan las razones obtenidas al analizarse muestras tratadas de bambú. El boro presenta una movilidad mayor de que el cromo y el cobre.



(a) (b) (c)

Figura 12– A razón de entre las masas de cromo (considerada como unitarias) y las masas del cobre y del boro retenidas en el bambú. (a) Efecto de la posición en el culmo y de la duración para tratamientos con 5% de CCB; (b) Efecto de la concentración para tratamientos con 90 min. de duración, para la región mediana del culmo; (c) Efecto de la concentración para los tratamientos con 40 min. de duración, para la región mediana del culmo.

### 3.3.2 ABB

La Figura 13 presenta los resultados de las concentraciones en boro, obtenidas en la solución de ácido bórico y bórax (ABB), para soluciones con concentraciones del 2%, 5% y 8% combinadas con tiempos de tratamiento de 90 min. y 40 min, respectivamente.

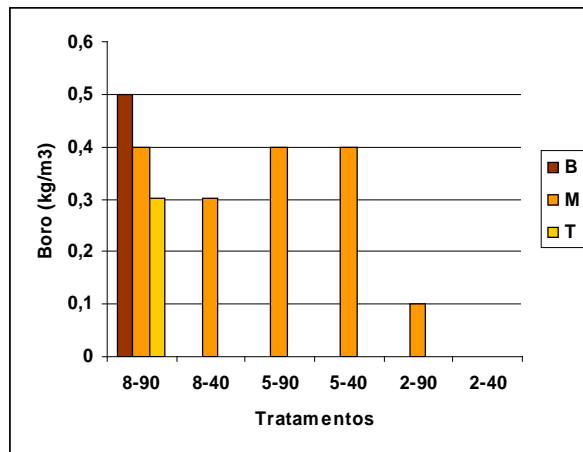


Figura 13– Retenciones del boro para soluciones con concentraciones de 2%, 5% e 8% y tiempos de tratamiento de 40 min. y 90 min. Leyenda: B = base; M = medio; T = topo.

Solamente para el tratamiento 8-90 (concentración del 8% y tiempo de tratamiento de 90 min.) se hizo la comparación de la concentración de boro a lo largo de la posición del muestreo (base, medio y topo) Los resultados obtenidos indicaron que la concentración fue más elevada para la base, que se encuentra más cerca de los conectores metálicos, confirmando la teoría. Las concentraciones del boro fueron de  $0.5 \text{ kg/m}^3$ ,  $0.4 \text{ kg/m}^3$  y  $0.3 \text{ kg/m}^3$ , para las regiones de la base, medio y topo, respectivamente.

La comparación entre las concentraciones de boro obtenidas en las regiones medianas del culmo no indicó diferencia entre los tratamientos 8-90, 5-90 y 5-40, para los cuales la concentración del boro fue alrededor de  $0.4 \text{ kg/m}^3$ . Mientras tanto, los tratamientos con 2% de concentración de la solución fueron claramente inadecuados, pues la concentración de boro fue alrededor de solamente  $0.1 \text{ kg/m}^3$ , para el tratamiento 2-90. A su vez, no fue posible detectar la presencia del boro en el tratamiento 2-40. Este hecho indica que el tratamiento del bambú es ineficiente, cuando es efectuado en bajas concentraciones (del 2%), principalmente cuando estas son combinadas con tiempos de tratamiento muy limitados (de hasta 90 min.)

### 3.3.3 Efecto del secado de los culmos

El método Boucherie Modificado fue concebido para ser aplicado a los culmos recién-talados. Todavía, en los procesamientos industriales visando el tratamiento de cantidades significativas de culmos de bambú, pueden ocurrir contratiempos que acaben impidiendo que los culmos sean tratados conforme recomienda el método citado.

La Figura 14 presenta el resultado de la concentración del boro detectado en la región mediana de los culmos de bambú, los cuales fueron secados al aire libre por 3 días, adoptándose soluciones de CCB y ABB, ambas al 5%, con duración de tratamiento de 40 min. Para la solución de ABB, se pudo observar que la concentración de boro se redujo a la mitad cuando se hizo la comparación con el culmo verde. Para el CCB, el efecto del secado del culmo fue aún más drástico - simplemente no fue posible detectar el boro en el culmo secado al aire.

Durante el secado del culmo, prácticamente realizado a lo largo del eje longitudinal, y debido a la conexión de los vasos, ocurre el flujo ascendente de la savia, en la cual existen sólidos en suspensión. Estos materiales, al secarse dentro de los vasos, forman obstáculos a la penetración de la solución preservante (KUMAR et al., 1994), principalmente cuando la presión aplicada por el aparato o el tiempo de tratamiento aplicado fueron insuficientes.

Mientras los resultados obtenidos en esta investigación deban ser evaluados con precaución, pues el muestreo de los culmos fue insuficiente, se puede vislumbrar la necesidad, en caso de la imposibilidad de efectuar el tratamiento de los culmos del bambú inmediatamente después del talado, de que sean adoptadas acciones que impidan el secado rápido del culmo. Por ejemplo, sumergiendo los culmos en agua o, entonces, dificultando la evaporación prematura de la humedad por medio de la obstrucción de las extremidades del culmo con parafina o un material similar.

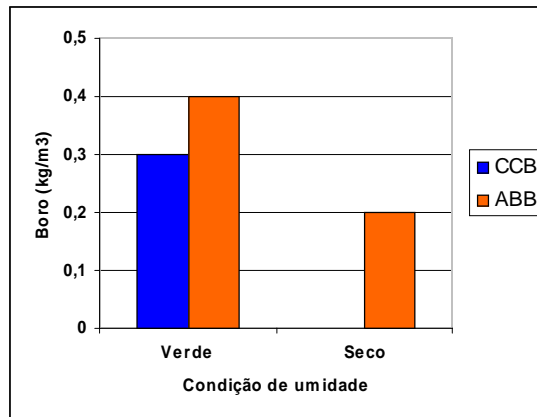


Figura 14 - Concentración del boro en soluciones al 5% de CCB y de ABB y tiempo de tratamiento de 40 min., para la región mediana del culmo de bambú secado durante tres días.

#### 4. CONCLUSIONES

El tratamiento químico del bambú por medio del Método Boucherie Modificado presentó una gran facilidad de ejecución con el empleo de un aparato diseñado específicamente para esta finalidad. Los análisis de la absorbancia y de la concentración del cromo, cobre e boro (para la solución comercial de CCB) y del boro (para la solución del ácido bórico y bórax) permitieron detectar la duración necesaria para ocurrir la estabilización del tratamiento. Mientras tanto, el análisis de la retención de los elementos químicos a lo largo de la longitud del culmo indicó valores muy limitados de retención de los elementos químicos, lo que teóricamente no tornaría viable el tratamiento del bambú, caso se adoptase las exigencias de la retención mínima empleada para la madera. Lo más probable es que ocurran “pozos” de deposición de los productos preservantes (presentado en la Figura 11), sobretudo en los vasos de mayor diámetro, los cuales están situados en las capas más internas del culmo, y, por suerte, donde se ubica la región más vulnerable del bambú, debido a la mayor concentración de almidón en las células parenquimatosas. El resultado de este análisis puede ser modificado en caso de que sean empleados culmos de bambú de menor edad para los cuales el flujo de la solución en la dirección radial sea más efectivo.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Os autores agradecen al CNPq por la concesión de las becas, a la FAPESP por los recursos para el diseño del aparato, a la Montana Química por la donación del CCB, al LNLS y al Instituto de Geociencias de la Unicamp por los análisis de microscopía electrónica del barrido, al IPT, al CBMEG y a la empresa TASQA por los análisis químicos efectuados.

## 6. BIBLIOGRAFIA CITADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1973). **Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica**. Especificação: NBR 8456, Rio de Janeiro, 25p.

AWPA – AMERICAN WOOD PRESERVERS’ ASSOCIATION – Standard A11-93 – Standard Methods for Analysis of Treated Wood and Treating Solutions by Atomic Absorption Spectroscopy.

BSI – BRITISH STANDARDS – BS 5666:Part 3:1991 – Methods of Analysis of Wood Preservatives and Treated Timber.

BERALDO A. L.; AZZINI A.; CASCARDO C. R.; RIBEIRO C. A. (2003). **Desempenho de um dispositivo para efetuar o tratamento químico de colmos de bambu: avaliação por ultra-som**. In: Anais do III ENECS – Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. São Carlos, SP. CD-ROM.

HIDALGO LOPEZ O. (2003). Bamboo: the gift of the Gods. D’vinni Ltda, Bogotá, Colômbia, 553p.

KUMAR S.; DOBRIYAL P. B. (1993). Treatability classification of hardwoods. **Wood and Fiber Science**, v. 25, n.2, p. 192-197.

KUMAR S.; SHUKLA K. S.; DEV T.; DOBRIYAL P. B. (1994). **Bamboo preservation techniques: a review**. International Network for Bamboo and Rattan and Indian Council of Forestry Education. 30p.

LIESE W. **Bamboos – Biology, silvics, properties, utilization**. (1985). GTZ. 132p.

LIESE W. Research on bamboo. (1987). **Wood and Science Technology**, v. 3, n. 21, p. 189-209.

PENNA J. E.; KARSTEDT P. T. H.; PENNA E. S. (2004). **Principais tipos de células para a preservação de *Bambusa tuldoides* Munro na indústria de móveis e bambuserías**. Anais do IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. CD-ROM. Cuiabá, MT. 2004.

TARGA L.A.; BALARIM C. R.; BALLARIN A. W.; ZECA FILHO A. Preservação de postes de madeira de Pinus. (2001). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. v. 21, n. 2, p. 111-120.