

BLOQUES HUECOS DE RESIDUOS VEGETALES Y MORTERO DE CEMENTO MODIFICADO POR LA ADICIÓN DE POLÍMEROS

Augusto Cesare Stancato⁽¹⁾, Antonio Ludovico Beraldo⁽²⁾

Facultad de Ingeniería Agrícola , Universidad Estatal de Campinas, Campinas, SP, Brasil

(1) Estudiante de Doctorado stancato@agr.unicamp.br; augustostancato@saae.sp.gov.br

(2) Profesor Asociado, Doctor en Ciencias de la Madera beraldo@agr.unicamp.br

RESÚMEN

En esta investigación fueron evaluadas las propiedades físicas (NBR 12118) y mecánicas (NBR 7184) de bloques huecos fabricados con mezclas de biomasa vegetal y mortero de arena y cemento modificado por la adición de polímeros. Las materias primas utilizadas fueron: biomásas vegetales - *Pinus caribaea*, *Eucalyptus grandis*, *Oriza sativa* (Cascarilla de arroz) y *Agave sisalana* (Henequén); cemento Portland de fraguado rápido (CPV-ARI, NBR 5733); áridos (arena lavada y polvo de piedra) y los polímeros estireno-butadieno (SBR) y acetato versatato (PAV22) Por medio de los resultados obtenidos, fueron seleccionadas las proporciones adecuadas para la fabricación de los bloques huecos para cada tipo de residuo vegetal. El curado de los bloques huecos se mostró de fundamental importancia en su desempeño en los ensayos. Los polímeros se mostraron muy eficientes al mejorar el manoseo de la mezcla, aunque tengan desarrollado un papel negativo en las resistencias iniciales. Los resultados obtenidos en los ensayos indicaron que los bloques huecos cumplen los requisitos de los estándares brasileños, constituyéndose en un material alternativo para las construcciones rurales.

Palabras claves: cemento, polímeros, residuos vegetales, bloques huecos

INTRODUCCIÓN

Brasil presenta en su territorio grandes ventajas de un punto de vista agronómico, pues está ubicado en una región tropical, con altos niveles de luminosidad y con temperaturas con promedios anuales que favorecen al desarrollo de las plantas. Mientras tanto, comparado a otros países, como Australia, Canadá, Francia y Estados Unidos, se puede afirmar que en el

territorio brasileño no se desarrollan actividades económicas relacionada al aprovechamiento de los residuos agroindustriales en la producción de componentes constructivos. Obviamente, además del aspecto económico, es de fundamental importancia que se considere la preocupación con el medio ambiente, con respecto a la preservación y al mantenimiento de los ecosistemas existentes. AMICO *et al.* (2001) afirmaron que en Brasil, algunas iniciativas han incentivado a la utilización de las fibras vegetales, principalmente en la industria automovilística y en las utilidades domésticas, mientras la construcción civil sea un sector con un gran potencial para la aplicación de los compuestos. La estandarización brasileña define básicamente dos tipos de bloques de hormigón, de acuerdo con su aplicación: para divisorias - bloque hueco de hormigón simple para albañilería sin función estructural (NBR 7173/82), y en empleos estructurales - bloque hueco de hormigón simple para albañilería estructural (NBR 6136).

En general, la masa específica traduce de forma tecnológica el grado de compacidad y de empaquetamiento de los materiales, y la investigación de nuevos materiales con propiedades diferentes de los áridos convencionales puede permitir la obtención de compuestos más ligeros y de adecuado desempeño (SOUZA, 2001). SIQUEIRA *et al.* (2004) destacaron que la ventaja del empleo de poliuretano reside en la posibilidad de obtención de bloques que facilitan el empleo de la mano-de-obra aplicada en esta técnica constructiva, y por otro lado, permiten diseñar estructuras más livianas. En este trabajo, el “hormigón” fue fabricado de acuerdo con el estándar brasileño, todavía adoptándose el reemplazo parcial de los áridos convencionales por cuatro residuos agroindustriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la composición de los compuestos fueron utilizados los siguientes residuos vegetales: *Eucalyptus grandis*, constituyéndose de residuos industriales de la fabricación de papel (empresa *International Paper*, Mogi Guaçu, SP); *Pinus caribaea*, residuos de la fabricación de lápices (Industria *Faber Castell*, São Carlos, SP); *Oriza sativa* en la forma de cascarilla de arroz (empresa Ali-Babá, Salto de Itu, SP) y *Agave sisalana* en la forma de residuos de la fabricación de tapetes (APAEB, Valente, BA) El pegante adoptado fue el cemento Portland de fraguado rápido (NBR 5733 - CPV-ARI). Los áridos utilizados fueron: la arena fina lavada

y el polvo de piedra. Los polímeros fueron proveídos por la empresa Rhodia del Brasil (dispersión acuosa de copolímero estireno-butadieno - SBR y copolímero de acetato y versatato de vinila - PAV22). La adición del polímero SBR en las mezclas a base de cemento, de acuerdo con STANCATO et al. (2005), proporciona disminución de la porosidad, de la permeabilidad y de la absorción del agua, contribuyendo para el mejor desempeño de los compuestos.

Los procedimientos adoptados para los tratamientos de los residuos fueron efectuados de acuerdo con las investigaciones disponibles en la literatura. Para los residuos de *Pinus caribaea* y *Eucalyptus grandis* se efectuó el lavado de partículas en solución de hidróxido de calcio (BERALDO et al., 2002); para la cascarilla de arroz se adoptó el procedimiento relatado por ZUCCO (1999). Para las fibras de *henequén* (*Agave sisalana*), se adoptó el lavado en agua potable durante 24 h (BERALDO & FREITAS, 2003).

Las características del cemento de fraguado rápido (NBR 5733 - CPV-ARI) son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1 - Características físicas del cemento de fraguado rápido (CPV-ARI).

CEMENTO DE FRAGUADO RAPIDO - CPV-ARI										<i>Fecha de la muestra</i> 27/08/2004	<i>Fecha de la muestra</i> 30/08/2004
COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)											
SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	SO₃	Na₂O	K₂O	CaO livre	CO₂		
19,22	4,90	3,08	62,90	1,89	3,71	0,00	1,18	1,30	0,00		
CARACTERÍSTICAS COMPLEMENTARIAS											
#200 (%)	Blaine (cm²/g)	Expansión a quente (mm)			Agua (%)	Fraguado in. (min)					
0,00	479,00	0,00			0,32	130,00					

Datos suministrados por la empresa Lafarge del Brasil - cemento CPV-ARI "Campeão"

Los polímeros utilizados en las mezclas de los compuestos son denominados comercialmente de *Rhoximat SB 112* y *Rhoximat PAV 22 B*. Los materiales son constituidos de dispersiones acuosas del copolímero estireno y butadieno (*SBR*) y copolímero de acetato y versatato de vinila (*PAV 22*), presentados en las Tablas 2 e 3, respectivamente.

Tabla 2 - Propiedades del polímero *SBR* (estireno y butadieno)

<i>Diám. de la partícula</i> (μm)	<i>Viscosidad Brookfield</i> (fuso 2,50 rpm, 23 °C) mPa.s	<i>pH</i>	<i>Contenido de sólidos</i> (m/m)	<i>Masa específica</i> (g/cm ³)
160	750- 125	7,0 - 8,0	49% - 51%	1,02

Nota: temperatura de decomposición 320 °C

Tabla 3 - Propiedades del polímero *PAV 22* (acetato y versatato de vinila)

<i>Diám. de la partícula</i> (μm)	<i>Viscosidad Brookfield</i> <i>RTV</i> (mPa.s)	<i>pH</i>	<i>Contenido de sólidos</i> (m/m)	<i>Masa específica</i> (g/cm ³)
400	200 - 400	4,5 - 6,5	98% - 100%	0,45 - 0,60

Nota: temperatura de decomposición 220 °C

El desarrollo de la investigación de la dosis para las proporciones de los constituyentes de las mezclas tuvo como punto de partida los resultados publicados por otros investigadores en este tema. En la Tabla 4 se presentan las proporciones originales y modificadas con respecto a los constituyentes del cemento, residuos vegetales y agua, respectivamente. En la Tabla 5 se presentan las proporciones en los compuestos y el contenido de polímeros adoptados.

Tabla 4 – Proporciones iniciales y modificadas (cemento: residuo: agua, en masa).

BIOMASA VEGETALES	PROPORCIONES INICIALES	LITERATURA	PROPORCIONES MODIFICADAS
<i>Eucalyptus grandis</i>	1:0.375:0.75	<i>BERALDO et al (2002)</i>	1:0.36:0.84
<i>Pinus Cariabaea</i>	1:0.375:0.75	<i>BERALDO et al (2002)</i>	1:0.36:1.08
<i>Cascarilla de arroz</i>	1:0.36:0.50	<i>ZUCCO (1999)</i>	1:0.28:0.65
<i>Agave sisalana (Sisal)</i>	1:0.108:0.48	<i>BERALDO & FREITAS (2003)</i>	1:0.08:0.60

Tabla 5 – Contenido en masa de los constituyentes para cada compuesto.

Compuestos	CONTENIDO EN MASA DE LOS CONSTITUYENTES					
	cemento	biomasas vegetales	áridos minerales		polímero (SBR e PAV22)	água
			arena	polvo de piedra		
<i>Compuestos de Eucalyptus grandis</i>	1	0,36	1,50	3,00	0% - 3% - 5% - 7% e 9 %	1,08
<i>Compuestos de Pinus caribaea</i>	1	0,36	1,50	3,00	0% - 3% - 5% - 7% e 9 %	0,84
<i>Compuestos de Cascarilla de arroz</i>	1	0,28	1,50	3,00	0% - 3% - 5% - 7% e 9 %	0,65
<i>Compuestos de Agave sisalana (sisal)</i>	1	0,08	1,50	3,00	0% - 3% - 5% - 7% e 9 %	0,60

En una primera etapa el moldeo de los bloques fue realizado en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Unicamp, por medio de un aparato de moldeo manual equipado con un sistema de vibro-prensado, con frecuencia de vibración de alrededor del 60 Hz. Las cantidades fueron calculadas para permitir moldear simultáneamente tres bloques con dimensiones 9 cm x 19 cm x 39 cm.

Después del moldeo, los bloques fueron sometidos al curado en una cámara húmeda durante 28 días, recibiendo complementariamente la aspersion con agua. Con las mismas mezclas también se evaluó la fabricación de los bloques en una empresa comercial, de acuerdo con los procedimientos descritos por MEDEIROS (1993) El curado de los bloques en la empresa consistió en la aspersion del agua durante 3 días y su recubrimiento con una lámina plástica para evitar la evaporación prematura del agua.

Los ensayos para la determinación de la resistencia a la compresión y para la obtención de las dimensiones de los bloques fueron conducidos de acuerdo con las normas NBR-7184 y NBR 7173, respectivamente. En la condición seca al aire los bloques tuvieron sus fases regularizadas con un mortero de yeso con espesor máxima de 3 mm. A seguir, los bloques fueron ensayados en una prensa y los resultados de la resistencia a la compresión (MPa) fueron obtenidos dividiendo la carga máxima (N) por el promedio de las áreas de las dos fases de trabajo, sin considerar las áreas de los vacíos (mm²)

Los ensayos para la determinación de la absorción del agua, del contenido de humedad y del área líquida fueron efectuados de acuerdo con la norma NBR-12118. Para la

determinación de la masa seca, después del período de secado de 28 días (masa m_3), los bloques fueron colocados en una estufa (110 ± 5) °C por un período de 24 h. En seguida, los bloques fueron pesados y colocados nuevamente en la estufa por más 2 h. La operación se repitió hasta que entre dos pesajes sucesivos la diferencia entre las masas no ultrapasase 0.5% en relación al valor más grande, anotándose entonces las masas secas (m_1). Para la determinación de la saturación, después del enfriado naturalmente a la temperatura ambiente, los bloques fueron inmergidos en agua a la temperatura de $23 (\pm 5)$ °C por un período de 24 h. Los bloques fueron pesados en la condición saturada con superficie seca, anotándose los valores encontrados. La operación fue efectuada a cada 2 h, hasta que entre dos pesajes sucesivos no se registran diferencias de masas superiores al 0.5% en relación al valor más elevado (m_2). Para la determinación del área líquida fueron medidas las dimensiones con sensibilidad de 0.5 mm; el valor promedio de cada dimensión de los bloques fue obtenido a partir de tres determinaciones ejecutadas en diferentes puntos. Después de la saturación de los bloques, las masas fueron determinadas cuando sumergidas en agua (m_4) a la temperatura de $23 (\pm 5)$ °C, por medio de una balanza hidrostática. El contenido de humedad de cada bloque es expresado por la ecuación (1):

$$u\% = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (1)$$

El valor de la absorción del agua, expresado en porcentaje, de cada bloque es calculado por la ecuación (2):

$$a\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

El valor de la área líquida, expresado en cm^2 , es calculado por la ecuación (3):

$$Aliq = \frac{m_2 - m_4}{h \cdot \gamma \cdot 1000} \quad (3)$$

siendo:

$u\%$: contenido de humedad del bloque en el momento de la entrega en laboratorio (%);

$a\%$: absorción del agua (%);

$Aliq$: área líquida (cm^2);

m_1 : masa del bloque seco (kg);

m_2 : masa del bloque saturado (kg);

m_3 : masa del bloque en el momento de la entrega en laboratorio (kg);

m_4 : masa aparente del bloque (kg);

h : altura del bloque en la dirección perpendicular a la sección de trabajo (cm);

γ : masa específica del agua (kg/m³).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 6 presenta el análisis de variancia de los resultados obtenidos en el ensayo de compresión de los bloques huecos fabricados en una empresa comercial y en laboratorio. Los resultados indicaron que los factores biomasa vegetal (tipo de los residuos) y el tipo de tratamiento (referencia, SBR y PAV) no presentaron una influencia significativa, al nivel del 5% de probabilidad estadística, mientras que el local de fabricación (empresa o laboratorio) fue altamente significativo para los resultados. Las interacciones entre la biomasa y el local, y entre la biomasa y el tratamiento también fueron significativas.

Tabla 6 – Análisis de variancia (ANOVA) de los resultados de la compresión.

Analysis of Variance for Compresión MPa - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Biomasa	0,0815148	2	0,0407574	1,04	0,3613
B:Local	8,74431	1	8,74431	224,06	0,0000
C:Tratamiento	0,0101593	2	0,00507963	0,13	0,8783
INTERACTIONS					
AB	3,42869	2	1,71435	43,93	0,0000
AC	0,933585	4	0,233396	5,98	0,0007
BC	0,0114704	2	0,0057352	0,15	0,8638
RESIDUAL	1,56107	40	0,0390269		

TOTAL (CORRECTED)	14,7708	53			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Las resistencias promedios para las biomásas de eucalipto, pino y cáscara de arroz fueron de 1.84 MPa, 1.87 MPa y 1.93 MPa, respectivamente. La diferencia más significativa ocurrió cuanto al local de fabricación de los bloques, pues aquellos fabricados en la empresa

presentaron una resistencia promedio del 1.48 MPa, muy inferior al de los bloques hechos en laboratorio (resistencia promedio del 2.28 MPa) Como la fabricación de los bloques fue similar, la explicación para este hecho se debe a la forma inadecuada de efectuar el curado de los bloques en la empresa, pues los residuos vegetales se comportan de una manera muy diferente de los áridos clásicos empleados en la fabricación convencional.

La Tabla 7 presenta los resultados obtenidos en el ensayo de compresión aplicado a los bloques huecos fabricados en laboratorio, destacándose que varias combinaciones permitieron alcanzar los valores mínimos preconizados en la norma brasileña (superior al 2.0 MPa) Para las tres biomazas consideradas individualmente el empleo de los polímeros no proporciona ninguna ventaja del punto de vista de la resistencia a la compresión de los bloques huecos.

Tabla 7 – Resistencia a la compresión (en MPa), desvio estándar y coeficiente de variación (%)

Biomasa	Tratamiento	Promedio	Desv. st.	CV (%)
EG	Referencia	2.47 ^a	0.18	7.39
	3% SBR	2.63 ^a	0.08	3.11
	3% PAV	2.66 ^a	0.36	13.46
PC	Referencia	2.30 ^a	0.24	10.25
	7% SBR	1.79 ^b	0.07	3.92
	7% PAV	1.97 ^a	0.22	10.99
OS	Referencia	2.08 ^a	0.03	1.44
	9% SBR	2.40 ^a	0.28	11.80
	5% PAV	2.25 ^a	0.33	14.56

Valores seguidos de la misma letra, para el mismo residuo, no presentan diferencia significativa al nivel del 5% de probabilidad estadística.

Leyenda EG = *E. grandis* PC = *P. caribaea* OS = *O. sativa*

Los valores de resistencia a la compresión para los bloques con residuos provenientes de la especie *Agave sisalana* (7.0 MPa), fueron muy superiores a los mínimos preconizados por la norma técnica para bloques de divisorias (2,0 MPa de valor mínimo individual y 2,5 MPa de valor promedio mínimo) La masa utilizada para este residuo (8%) fue el máximo valor posible de aplicación en el proceso de fabricación, debido a la dificultad de homogeneizar la

mezcla. Para este caso el desempeño mecánico del bloque fue similar al de los bloques de hormigón comercial. Para este residuo se obtuvo un compuesto clasificado en la categoría de los fibrocementos, pues la densidad fue mucho más elevada de lo que aquellas de los compuestos obtenidos con otras biomásas investigadas.

La Tabla 8 presenta el análisis de variancia (ANOVA) de los resultados obtenidos en el ensayo de absorción del agua. Todos los factores fueron significativos, incluso las interacciones entre la biomasa y local, y entre la biomasa y el tratamiento.

Tabla 8 – Análisis de variancia de los resultados del ensayo de absorción.

Analysis of Variance for Absorción % - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Biomasa	119,969	2	59,9846	71,04	0,0000
B:Local	190,444	1	190,444	225,53	0,0000
C:Tratamiento	14,041	2	7,02051	8,31	0,0010
INTERACTIONS					
AB	26,7988	2	13,3994	15,87	0,0000
AC	48,2584	4	12,0646	14,29	0,0000
BC	2,6594	2	1,3297	1,57	0,2196
RESIDUAL	33,7766	40	0,844414		
TOTAL (CORRECTED)	435,948	53			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

La Tabla 9 presenta los resultados de la absorción del agua para los bloques huecos fabricados en laboratorio. Varias combinaciones permitieron alcanzar los valores preconizados en el estándar brasileño para bloques huecos para uso en divisorias (15% para un valor mínimo individual o 10% para el valor promedio mínimo).

Tabla 9 – Absorción (%), desviación estándar y coeficiente de variación (%)

Biomasa	Tratamiento	Promedio	Desv. st.	CV (%)
EG	Referencia	11.66 ^a	0.38	3.23
	3% SBR	12.79 ^b	0.30	2.31

	3% PAV	12.34 ^b	0.24	1.98
PC	Referencia	13.57 ^a	0.42	3.09
	7% SBR	16.25 ^b	0.48	2.96
	7% PAV	16.69 ^b	1.47	8.82
OS	Referencia	14.36 ^a	0.75	5.21
	9% SBR	12.66 ^{ab}	0.92	7.27
	5% PAV	11.90 ^b	0.42	3.53

Valores seguidos de la misma letra, para el mismo residuo, no presentan diferencia significativa al nivel del 5% de probabilidad estadística.

Leyenda EG = *E. grandis* PC = *P. caribaea* OS = *O. Sativa*

La absorción de los bloques huecos fabricados con los residuos de la especie *A. sisalana* (Henequén) se mantuvo en un rango de valores muy inferiores al de los demás residuos (alrededor del 8%).

En la Figura 2 son presentados los bloques huecos fabricados con los diferentes residuos vegetales.



Figura 2 - Bloques huecos de *Eucalyptus*, *Pinus*, Cascarilla de arroz y *Agave sisalana*.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitieron la obtención de las proporciones para cada residuo utilizado, indicando la posibilidad de fabricación de bloques huecos, alcanzando las recomendaciones de las normas específicas para aplicaciones en divisorias. Todavía, el proceso de curado es un parámetro fundamental en la magnitud de los resultados de los ensayos considerándose la naturaleza higroscópica de los residuos vegetales. De una forma

general, los polímeros empleados fueron eficientes para mejorar el manoseo de las mezclas, aunque no se hayan mostrado adecuados para la obtención de la resistencia en las primeras edades y en la disminución de la absorción del agua por los bloques . De entre las especies utilizadas, los residuos de *Agave sisalana* (Henequén) dificultaron la homogeneización de la mezcla, inclusive al emplearse un porcentaje inferior al de los demás residuos.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa de pre-moldeados *CIMBAC*. A los técnicos del Laboratorio de Materiales y Estructuras de la Facultad de Ingeniería Agrícola y a los técnicos de la Facultad de Ingeniería Civil.

LITERATURA CITADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1991. NBR 12118 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Método de ensaio.

_____. 1991. NBR 7184 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Determinação da resistência à compressão. Método de ensaio.

_____. 1982. NBR 7173 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Especificação. Rio de Janeiro.

_____. 1994. NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Especificação. Rio de Janeiro.

_____.1983. NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial. Especificação. Rio de Janeiro.

AMICO, S. C., COSTA, T. H. S., CARRERA, L. C., GALVÃO, D. A. 2001. Caracterização de fibras de sisal da região nordeste do Brasil. Proceedings of COBEM, 2001. Materials Science, vol. 2, p.33-41.

BERALDO, A. L, ARRUDA, A. C., STANCATO, A. C., SAMPAIO, C. A. P., FERNANDES, O. P., LEONEL, V. M. 2002. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento portland. In:

VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Uberlândia, vol.1, p. 120-126.

BERALDO, A. L., VIEIRA, F. F. 2003. Ensaio não destrutivo (END) aplicado à argamassa com adição de fibras de sisal. In: Congresso Pan-americano de ensaios não destrutivos - PANNDT, Rio de Janeiro, vol.1, p. 1-8.

MEDEIROS, J. S. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. 449 p. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1993.

SIQUEIRA, L. V. M., STRAMARI, M. R., FOLGUERAS, M. V. 2004. Adição de Poliuretano Expandido para a Confecção de Blocos de Concreto Leve. ISSN 1517-7076: Revista Técnica "Matéria", vol. 9, nº 4, p. 399-410.

SOUZA, J. G. G. 2001. Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto: Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

STANCATO, A. C., BURKE, A. K., BERALDO, A. L. 2005. Mechanism of a vegetable waste composite with polymer-modified cement (VWCPM). Cement and Concrete Composites, vol. 27, p. 599-603.

ZUCCO, L. L. 1999. Estudo de viabilidade de fabricação de placas de compósito à base de cimento e casca de arroz. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, SP.