

Rendimiento Mecánico Cuánto a la Flexión y Compresión Axial de Ladrillos de Suelo-Cemento Frente al Uso de Agregado Reciclado

(Mechanical Performance in Flexural and Axial Compression of Soil-Cement Bricks on the Use of Recycled Aggregates)

J. V. Cunha Oliveira¹; F. F. D. A. Meira¹, K. F. M. Lucena¹

¹Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande

R. Tranqüilino Coelho Lemos, 671 - Dinamérica - Campina Grande – Paraíba, Brasil.

CEP: 58.432-300 / Telefone: (83) 2102.6233

joaovictorwo@gmail.com

Resumen

Las tecnologías no convencionales confeccionadas actualmente poseen potencial sustentable por objetivar incorporar residuos y/o desechos en su composición, con la finalidad de dirimir los impactos ambientales causados por diversos subproductos industriales. Este trabajo busca diagnosticar el efecto del uso del rechazo mineral de la scheelita como agregado reciclado en ladrillos de suelo-cemento sustituyendo parcialmente el suelo para aplicación en pisos entrelazados. Los prototipos producidos involucraron cemento de clase CP II Z-32, suelo de recorte de vertedero para descarte, rechazo mineral de la scheelita, y agua de amasamiento proveniente de drenajes de aire acondicionado del IFPB Campus Campina Grande. La conformación se dio de forma manual con la ayuda de prensa hidráulica, con posterior curado a temperatura ambiente y mojado periódico durante los 7 primeros días de hidratación, hasta alcanzar las edades de realización de las pruebas de laboratorio. Los resultados de la prueba de flexión demostraron que la resistencia mecánica de los ladrillos es superior cuando se incorpora el rechazo mineral, fenómeno también observado a través de la prueba de compresión axial.

Palabras-clave: Suelo-cemento, rechazo mineral, ladrillo ecológico, flexión, compresión

Abstract

Unconventional technologies nowadays have a sustainable potential because they aim to incorporate waste and / or waste into their composition, in order to resolve the environmental impacts caused by several industrial by - products. This work tries to diagnose the effect of the use of the mineral reject of the scheelite as a recycled aggregate in soil-cement bricks replacing partially the soil for application in interlocked pavements. The prototypes produced involved CP II Z-32 class cement, landfill trimming soil, scheelite mineral tailings, and kneading water from air conditioning drains of IFPB Campus Campina Grande. The conformation was done manually with the aid of hydraulic press, with subsequent curing at room temperature and periodic wetting during the first 7 days of hydration, until reaching the ages of the laboratory tests. The results of the flexural test demonstrated that the mechanical strength of the bricks is superior when the mineral waste is incorporated, a phenomenon also noticed through the axial compression test.

Keywords: Soil-cement, mineral waste, ecological brick, flexion, compression

INTRODUCCIÓN

Los materiales de construcción que se encuentran disponibles en los días de hoy, cargan enorme gasto medioambiental por liberar dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros materiales particulados en la atmósfera en el momento de la fabricación, y esto ocurre por los mismos demandar de la quema como mecanismo esencial en la producción, como el acero, materiales a base de cemento Portland, y bloques de cerámica quemada [1].

Se vuelve innegable el hecho de que los bloques de cerámica quemada siempre produjeron efectos intensos en el consumo de materias primas y energía consumida a través de la quema, pudiéndose observar que para cada tonelada de ladrillos producida, se estima 706kWh de energía consumida, además de la emisión de 150kg de dióxido de carbono, convirtiéndose en una contradicción en el actual concepto de desarrollo sostenible [2].

La tecnología del suelo-cemento es ampliamente difundida en el mundo, y ha ganado mayor atención por el mejor costo beneficio que la técnica posee, además de denotar potencial ecológicamente correcto por la reducción del consumo de energía [1]. Tradicionalmente, las arcillas utilizadas como insumos en la producción de ladrillos quemados consumen cantidad relevante de suelos fértiles utilizados en la agricultura [3], y de esa forma, el suelo-cemento se enmarca alternativa en la producción de artefactos cerámicos/cementíceos sin utilizar volumen excesivo de esa materia -prima, ya que la cantidad necesaria es mínima.

Esta cantidad mínima actúa como estabilizador dimensional en el momento de la conformación, que muchas veces ocurre manualmente, pues no se necesita mano de obra especializada o maquinaria moderna, lo que abarata aún más el producto final. Sin embargo, con el paso del tiempo, la fuerza de cohesión inicial conferida por la arcilla se pierde conforme el contacto con el agua se vuelve más presente [4]. Así se hace necesario el uso de estabilizadores alcalinos para el suelo, que en gran parte es más arenoso que arcilloso, y entre los varios disponibles, el cemento se volvió el más utilizado por conferir la ganancia de resistencia al ladrillo después del período inicial de curado [1].

La tecnología del suelo-cemento posibilita, además, la viabilidad de incorporar al material productos de origen residual, contribuyendo, bajo el aspecto sustentable, con el direccionamiento correcto de subproductos industriales que actúan como mecanismos agresivos al medio ambiente. El rechazo mineral, del beneficiamiento fino, de la extracción de la scheelita, debido a su granulometría similar al suelo utilizado en la tecnología, se vuelve pasible de uso como agregado reciclado, preconizando ventajas ambientalmente correctas, vinculadas a la práctica de producción ladrillos con materias primas recicladas [5].

En consonancia con el tema, se objetiva con ese trabajo diagnosticar el efecto del uso del rechazo mineral de la extracción de la scheelita como agregado reciclado en ladrillos de suelo-cemento, sustituyendo parcialmente el suelo, para aplicación en pavimentos intertrabados, midiendo el comportamiento de los especímenes, con la inserción parcial del rechazo, a través de ensayos mecánicos de resistencia a la compresión axial, y flexión directa.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

La investigación fue desarrollada en los Laboratorios de Materiales de Construcción y Geotecnia del Instituto Federal de Paraíba - Campus Campina Grande (-7° 14' 24.845", -35° 54' 54.651", 498m). Las composiciones fijadas para la confección de los especímenes se determinaron a partir del cuantitativo de cemento, componiendo el 10% en peso [6], con el 90% constituido de suelo previamente tamizado en malla ABNT nº4 (4,76mm) y destorroado, buscando desagregar los granos mayores para conferir propiedades arcillosas al suelo por el aumento del contenido de finos.

El agua de homogeneización fue proveniente de los drenajes de aire acondicionado de la Biblioteca del IFPB Campus Campina Grande, variando entre 5 y 10% en peso total del material seco, definido al final de la planificación para poseer 2,0Kg. La inserción del rechazo mineral fue realizada en fracciones del 9% (Tabla 1).

Tabla 1. Formulaciones aplicadas en el desarrollo de los ladrillos de suelo-cemento.

Composición	Porcentajes		
	<i>Cemento</i>	<i>Suelo</i>	<i>Rechazo</i>
B	10%	90%	0%
B1	10%	81%	9%
B2	10%	72%	18%
B3	10%	63%	27%
B4	10%	54%	36%
B5	10%	45%	45%

El rechazo procede de Mina Brejuí, situada en el municipio de Currais Novos-RN. El suelo es proveniente de recorte de bota-fuera, es decir, suelo para descarte, de condominio cerrado situado a los márgenes de la BR-104 en la ciudad de Campina Grande-PB, y el cemento viene del fabricante Elizabeth Cementos, de clase CP II Z-32 (Cemento Portland Compuesto con Adición de Pozolana y Resistencia a los 28 días de 32 MPa).

El trazado estándar, después de la planificación, resultó en 1:9,0:1 (cemento, suelo y agua) para fabricación del trazo de referencia y de los demás con adición del rechazo. El procedimiento adoptado se inició con la mezcla de los materiales en seco con el auxilio de bolsas plásticas, para luego ser realizada la homogeneización con el agua de amasamiento, de forma manual, con etapa de 1 ladrillo a la vez en prensa hidráulica (Figura 1).



Figura 1. Homogeneización en seco, húmedo, y confección en prensa hidráulica.

Después de la etapa de conformación, los ladrillos permanecieron a temperatura ambiente hasta alcanzar las edades previstas para las pruebas. Durante los 7 primeros días de curado al aire, se realizó un humedecimiento periódico, 2 veces al día, para garantizar la perfecta producción de las fases hidratadas del cemento Portland, teniendo en cuenta la pérdida de la humedad del material para el ambiente relacionado al proceso exotérmico relativo al calor de hidratación del aglomerante (Figura 2).



Figura 2. Presentación visual después de prensado, y disposición en bancada durante cura inicial.

Para la realización del test de resistencia a la flexión directa, se adoptó la edad de 180 días para rompimiento de los ladrillos, justificando el período de espera por la poca presencia de cemento en la mezcla, que posee resistencias más bajas cuando se compara a rasgos con mayor porcentaje del aglomerante. Además, los resultados de las pruebas de flexión corresponden en hasta un 5% del valor obtenido en la prueba de resistencia a la compresión axial para materiales a base de cemento Portland de uso convencional.

Se adaptó la ABNT NBR 13279:2005 [8] para realizar el ensayo, y la misma determina que, las superficies de los prototipos sean planas y paralelas, y que la velocidad de la carga de ruptura sea a razón de 50N/s. Se utilizó la prensa hidráulica EMIC Línea DL con célula de carga de 100kN, equipo perteneciente al Laboratorio de Caracterización de Materiales de la UFCG - Campus Campina Grande (Figura 3), para rompimientos de los ladrillos.

Para la realización del test de resistencia a la compresión a los 28 días, se utilizó prensa hidráulica SHIMADZU Modelo ServoPulser con capacidad para 10 Toneladas, equipo perteneciente al Laboratorio de Ingeniería de Pavimentos de la UFCG - Campus Campina Grande (Figura 3). Conforme preconiza la ABNR NBR 10836:2013 [7], para realizar el ensayo, las superficies del cuerpo de prueba deben ser planas y paralelas, y la velocidad de la carga de ruptura debe ser uniforme a razón de 500N/s, o 50Kgf /s.



Figura 3. Realización de las pruebas de resistencia a la compresión (izquierda), y flexión (derecha).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de la evaluación de la resistencia a la flexión en 3 puntos de los ladrillos de suelo-cemento, la Figura 4 siguiente expone las curvas de fuerza x desplazamiento de cada composición de suelo-cemento estudiada. Se pudo entender que el ladrillo de suelo-cemento se caracteriza como un material frágil, por no avanzar hasta la zona elástica y estabilizando su ruptura en el límite de proporcionalidad y próximo al límite de flujo. Se puede observar en la Tabla 2 los resultados correspondientes a cada composición, obtenidos a través del software TESC de operación de la EMIC, conforme instrumentación utilizada y espaciamiento de 140mm entre los apoyos inferiores de los especímenes ensayados.

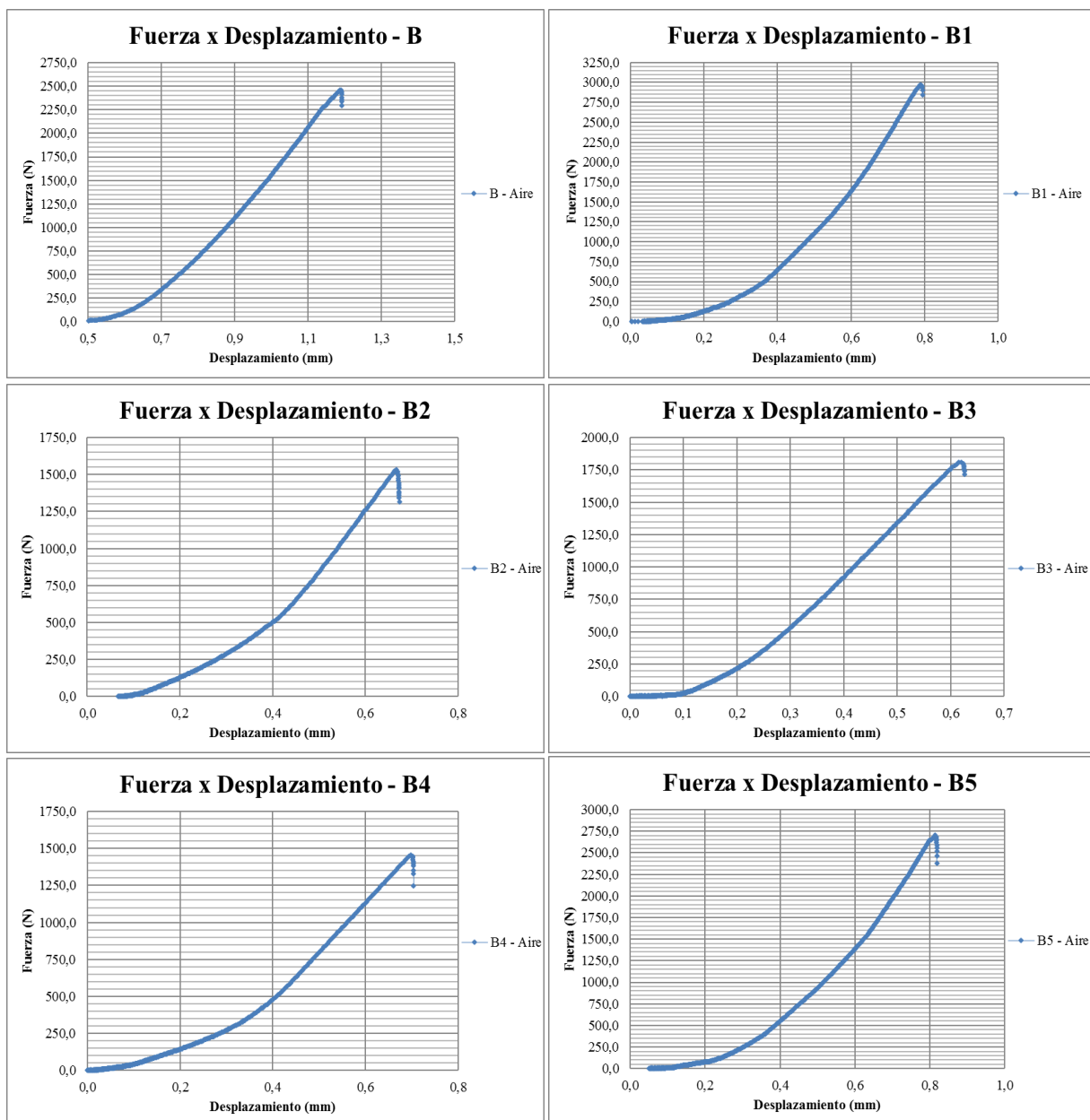


Figura 4. Curvas de fuerza x desplazamiento obtenidas en la prueba de flexión directa a los 180 días.

Tabla 2. Valores de flexión para las composiciones probadas, secas al aire.

Composición	B	B1	B2	B3	B4	B5
Resistencia	0,18 MPa	0,21 MPa	0,11 MPa	0,13 MPa	0,10 MPa	0,19 MPa

Se observa que el trazo B1 con un 9% de rechazo de la scheelita superó positivamente el trazo de control (B), así como el trazo B5, que incorpora la mitad del cuantitativo de agregado natural como agregado reciclado. En el caso de las curvas ya presentadas en la Figura 4, se observaron los desplazamientos máximos de cada traza probado (Tabla 3), de la misma forma que las curvas ya presentadas en la Figura 4 demuestran comportamiento poco sinuoso y ausente de deformaciones más lentas, poseyendo al final de cada pico rompimientos abruptos.

Tabla 3. Desplazamientos máximos aproximados para las composiciones probadas, secas al aire.

Composición	B	B1	B2	B3	B4	B5
Desplazamiento	±1,20 mm	±0,80 mm	±0,67 mm	±0,62 mm	±0,70 mm	±0,81 mm

El trazado que poseyó menor desplazamiento fue el trazado B3, con 27% de rechazo incorporado, con 0,62mm, superando con holgura el trazo control B que alcanzó 1,20mm. Se observa también que, además del trazado B3 con el menor valor registrado, todos los demás poseyeron desplazamientos inferiores al trazo de referencia, con un valor más cercano de 0,81 mm para el B5 en comparación con el B.

Para la prueba de resistencia a la compresión axial, realizada a los 28 días de edad, la ABNT NBR 10834: 2013 [9] enfatiza que la velocidad de carga de ruptura sea del orden de 500N/s, como también, que para las muestras ensayadas, se presenta una media de los valores de resistividad mecánica igual o superior a 2,0 MPa, y ninguno de los valores individuales debe ser inferior a 1,7 MPa, con una edad mínima de 7 días. La Tabla 4 a continuación presenta el promedio de los valores medidos en laboratorio.

Tabla 4. Valores de resistencia a la compresión para las composiciones probadas, secas al aire.

Composición	B	B1	B2	B3	B4	B5
Resistencia	6,86 MPa	6,63 MPa	6,65 MPa	5,88 MPa	6,33 MPa	5,55 MPa

Se observó que todos los valores obtenidos, en promedio aritmética, superan el mínimo de 2,0MPa establecido por la normativa [9], con todas las composiciones superando el valor de 3 a 4 veces. El trazado B de referencia permaneció como el más resistente, seguido del trazo B2 con 18% de rechazo en su composición, que supera la norma en casi 4 veces con 6,65MPa. El trazo que denotó menor valor fue el B5, de resistencia de 5,55MPa con un 45% de rechazo en su composición. La diferencia entre el mejor trazo con rechazo y el de referencia es sólo 0,21MPa, o 3,06%, pudiendo afirmar que el mismo A través de la realización de los rompimientos, se pudo producir la curva de tensión x deformación, siendo posible identificar que el material, frente a ese parámetro, se comportó como dúctil, absorbiendo de forma equilibrada las tensiones recibidas durante el ensayo (Figura 5).

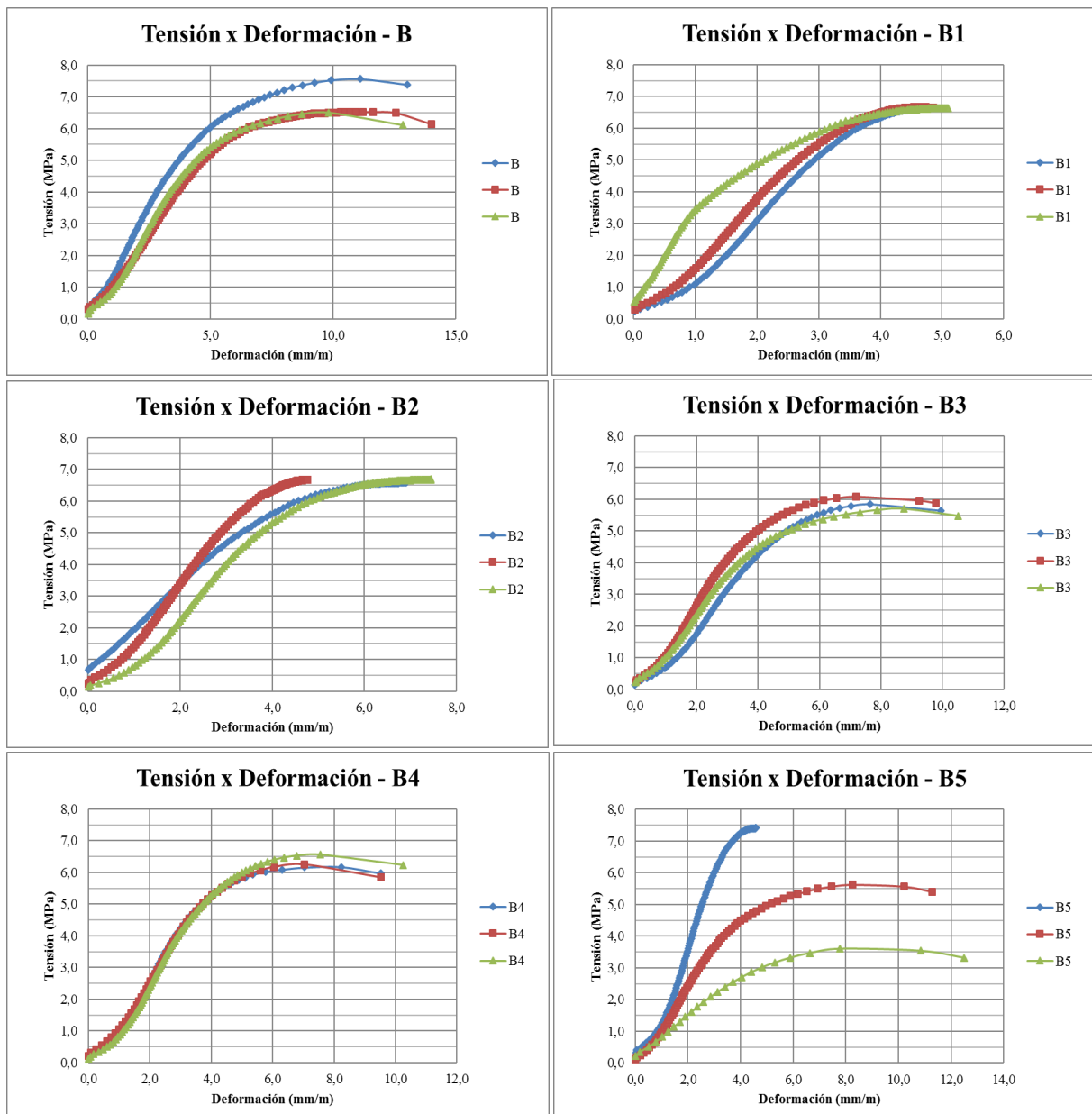


Figura 5. Curvas de tensión x deformación obtenidas en la prueba de compresión axial a los 28 días.

CONCLUSIONES

Los resultados de la prueba de flexión demostraron que la resistencia mecánica de los ladrillos es superior cuando se incorpora el rechazo mineral, ya que mientras el trazado B de control registró 0,18MPa, el B1 con un 9% de rechazo exhibido 0,21MPa, y el B5 con un 45% de rechazo superó con 0,19MPa, ratificando que para ese parámetro, el agregado reciclado mejora el comportamiento mecánico.

A través de la prueba de compresión axial, se observó que todos los trazos fabricados superan el mínimo establecido por la normativa de 2,0MPa, sin embargo, ninguno de los trazos con rechazo llegó a superar la marca mensurada con el trazado B con 6,86MPa, pero expusieron valores cercanos, como la composición B2 con 18% de rechazo con 6,65MPa, seguido del trazo B1 con un 9% de rechazo con 6,63MPa, valores ínfimos cuando analizados de forma global, ratificando el potencial del rechazo como agregado reciclado en ladrillos de suelo-cemento. El menor valor obtenido fue el trazado B5, con 5,55MPa, diferenciando del trazo de referencia en 1,31MPa, inferior en 19%.

En el lado de aplicación de la tecnología en pavimentos intertrabados, el trazo B5, con un 45% de rechazo incorporado, se adapta a las variables estudiadas en ambos ensayos. A pesar del valor reducido en su resistividad mecánica frente al trazo de control, se ratifica de forma vehemente el cumplimiento del concepto de desarrollo sostenible al utilizar el agregado reciclado en la mitad de su contenido de suelo, o sea, el 45%.

AGRADECIMIENTOS

Al CNPq por la concesión de la beca, al primer autor, en la modalidad PIBITI a través del Edicto n° 25/2016 - PRPIPG/IFPB. Al Instituto Federal de Paraíba - Campus Campina Grande por el apoyo financiero y soporte de laboratorio para el desarrollo de esta investigación. Al Laboratorio de Ingeniería de Pavimentos (LEP/DEC/CTRN) de la UFCG - Campus Campina Grande, en especial a la profesora Lêda C. de F. L. Lucena, por auxiliar en la realización los ensayos de resistencia a la compresión axial. Al Laboratorio de Caracterización de Materiales (LCM/UAEMa/CCT) de la UFCG - Campus Campina Grande, en especial a la Renato Correia dos Santos por el soporte en la realización del ensayo de flexión. Los autores también agradecen a Yokiny Chanti Cordeiro Pessoa por la disponibilidad de la prensa hidráulica utilizada en la conformación de los ladrillos.

REFERENCIAS

- [1] K.Q. Tran, T. Satomi, H. Takahashi, Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers, *Construction and Building Materials*. 178 (2018) 204-210.
- [2] Z. Zhang, Y.C. Wong, A. Arulrajah, S. Horpibulsuk, A review of studies on bricks using alternative materials and approaches, *Construction and Building Materials*. 188 (2018) 1101-1118.
- [3] S.K. Singh, S. Kulkarni, V. Kumar, P. Vashistha, Sustainable utilization of deinking paper mill sludge for the manufacture of building bricks, *Journal of Cleaner Production*. 204 (2018) 321-333.
- [4] A.L. Murmu, A. Patel, Towards sustainable bricks production: An overview, *Construction and Building Materials*. 165 (2018) 112-125.
- [5] M.A.M. Castro, F.G. Costa, S.C. Borba, E. Fagury-Neto, A.A. Rabelo, Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos, *Matéria (Rio de Janeiro)*. 21 (2016) 666-676.
- [6] R.C. Ferreira, A.H.N. Cunha, Quality evaluation of soil-cement-plant residue bricks by the combination of destructive and non-destructive tests, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 21 (2017) 543-549.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10836 – Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 13279 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10834 – Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.