

Evaluation over time of the mechanical properties of soil-cement blocks used in semi-permeable pavements

Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables

M. Carvalho *, F. Ramos *, J. Zegarra ^{1**}, C. Pereira ^{***}

* Universidade Católica do Salvador, Salvador. BRASIL

** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. BRASIL

*** Universidade Federal da Bahia, Bahia. BRASIL

Fecha de Recepción: 30/09/2015

Fecha de Aceptación: 28/11/2015

PAG 61-70

Abstract

A semi-permeable pavement was built with a coating layer of soil-cement blocks made of construction debris (stabilized with 30% sand) and cement (20% of the mix), and manufactured with a press. This type of block does not rely on additional studies dealing with changes in the mechanical properties over time; so, for this study, a certain number of blocks were selected (7, 14, 28, 130 and 1650 molding days) to measure the mechanical properties (durability, water absorption and simple compressive strength). The results showed no changes in the blocks' absorption and durability properties after 1650 days. The compressive strength had a slight increase of 9MPa (28 molding days) for 12MPa (1650 molding days, blocks of the pavement in use), which can be attributed to reactions still occurring between cement, soil and water or to the variability of raw materials and the equipment used. It can be concluded that the environmental conditions and light pedestrian traffic did not affect the blocks' mechanical properties; therefore, they can be used in semi-permeable pavement.

Keywords: Soil cement blocks; durability; water absorption; compressive strength, semi-permeable pavement

Resumen

Un pavimento semipermeable fue construido con una capa de revestimiento de bloques de suelo-cemento hechos de suelo de desmonte (estabilizado con 30% de arena) y cemento (con 20% de la mezcla) y fabricados con una prensa. Este tipo de bloque no tiene estudios adicionales acerca de las mudanzas del comportamiento de las propiedades mecánicas a lo largo del tiempo, entonces para realizar el estudio se seleccionaron algunos bloques (con 7, 14, 28, 130 y 1650 días de moldeado) para medir las propiedades mecánicas (de durabilidad, de absorción de agua y de resistencia a compresión sencilla). Los resultados demostraron que no hubo mudanzas en las propiedades de absorción y de durabilidad de los bloques, después de 1650 días. La resistencia a la compresión tuvo un leve incremento de 9MPa (28 días de moldeados) para 12MPa (1650 días de moldeados, bloques del pavimento en uso), lo que puede ser atribuido a las reacciones que todavía suceden entre cemento, suelo y agua o a la variabilidad de materia prima y de los equipamientos utilizados. Concluyese que las condiciones ambientales y el tráfico leve no afectaron las propiedades mecánicas de los bloques, entonces ellos pueden ser utilizados en pavimento semipermeable.

Palabras clave: Bloques de suelo-cemento, durabilidad, absorción de agua, resistencia a compresión, pavimento semipermeable

1. Introducción

El suelo-cemento es producto resultante de la mezcla de suelo, cemento Portland y agua que compactados en un porcentaje óptimo de humedad, bajo la máxima densidad, adquieren resistencia y durabilidad a través de las reacciones de hidratación del cemento. A partir de 1936 (año en que fue reglamentado su uso por la *Associação Brasileira de Cimento Portland* - ABCP), paso a ser utilizado en la confección de bases y sub bases de caminos y bien como en elementos de albañilería. Empleado en las construcciones brasileñas en 1948, cuando residencias hechas con paredes monolíticas fueron construidas en la Hacienda Inglesa, en Petrópolis (RJ). Al año siguiente, fue construido el famoso Hospital Adriano Jorge, del Servicio Nacional de Tuberculosis, en Manaus, edificio con 10.800 m² aun en funcionamiento y en buen estado de conservación, Téchne (2004).

En la actualidad, la escasez de materia prima y la demanda creciente del uso de materiales ecológicamente correctos, refuerzan la utilización del suelo cemento en la construcción de vías y albañilería. En el proceso de fabricación de los bloques existe un consumo menor de energía en la moldura por ser hecho con prensado y, en la ejecución de la mezcla, por exigir menor cantidad de cemento. Comparados a los bloques convencionales (bloques cerámicos), cooperan para la reducción de la emisión de gases tóxicos, CH₄ (metano), CO₂ (dióxido de carbono) y CO (monóxido de carbono), debido a la supresión del proceso de la quema. Además, proporcionan una mayor permeabilidad cuando utilizados como camada de revestimiento en pavimento, cuando comparados con los revestimientos asfálticos y de concreto (Grande, 2003; Souza et al., 2008).

Los costos en las obras con la utilización de bloques de suelo-cemento pueden ser reducidos en 30% a 40%, principalmente por la reducción del desperdicio y de los costos con transporte (los bloques pueden ser fabricados en el propio cantero de obras), Penteadó y Marinho (2012). Algunos factores pueden dificultar, ó mismo inviabilizar el uso del suelo cemento, visto que el suelo en general presenta

¹ Autor de Correspondencia:

Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, Campus Pampulha da UFMG, Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos – CPH, Sala G 406, Bairro Pampulha, Belo Horizonte
E-mail: jlzarqui@yahoo.com.br



SPANISH VERSION.....

grande variación en su composición, pues es un material venido del proceso de transformación de roca contiene humus, cloretos, sulfatos y sustancias deletéreas. Entonces, es necesario la corrección y dosificación lo que elevan el costo de producción, ya que requiere personal calificado y constante análisis del material (Téchné, 2004).

El suelo más adecuado para utilización en mezclas de suelo cemento son suelos mas arenosos, pues se estabilizan con menores cantidades de cemento, con todo el suelo debe contener arcilla en su composición, ya que ella influencia directamente en la composición de los bloques, proporcionando mayor liga (cohesión) entre las partículas de los materiales de la mezcla, impidiendo perdida de resistencia debido a las intemperies despues de la moldaje.

Existen ejemplos de estudios de suelo-cemento contemplando: su fabricación con resinas (Estebagh, 2011); confección de bloques de suelo-cemento con adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar (Ferrari et al., 2014); su comportamiento estructural (Tennant et al., 2013); y del efecto de la humedad en la base y sub base de pavimentación (Cancian, 2013), también existen estudios de su empleo con suelo contaminado (Rojas et al., 2008). Su aplicación como bloques de suelo-cemento como capa de revestimiento para pavimento de tráfico leve es descrita por Marchioni y Silva (2010), pero no hay estudios adicionales de la evaluación de

las propiedades mecánicas (durabilidad, absorción de agua y resistencia a compresión) a lo largo de su vida útil.

2. Procedimiento experimental

2.1 Antecedentes

Bloques de suelo-cemento fueron construidos con suelo proveniente del desmonte de la obra Canal de la Av. Jorge Amado, Barrio Imbuí, Salvador – Ba. Después de estudios geotécnicos del suelo (ensayos de análisis granulométrico (NBR 7181), límite de liquidez (NBR 6459), masa específica de los granos (NBR 6508)), se hizo la corrección del mismo con incorporación de 30% de arena fina de construcción, a fin de encuadrarlo en la clasificación A4 de la Highway Research Board (HRB) conforme la American Association of State Highway Officials (AASHTO). El suelo estabilizado fue utilizado en la confección de mezclas de suelo cemento con porcentajes de 8%, 10%, 12% y 20% de cemento en relación a la masa seca de suelo corregido, NBR 12253.

La Tabla 1 presenta los resultados de los ensayos de caracterización, de compactación del suelo (NBR 7182), del suelo estabilizado con 30% de arena, bien como resultados de compactación de las mezclas de suelo-cemento.

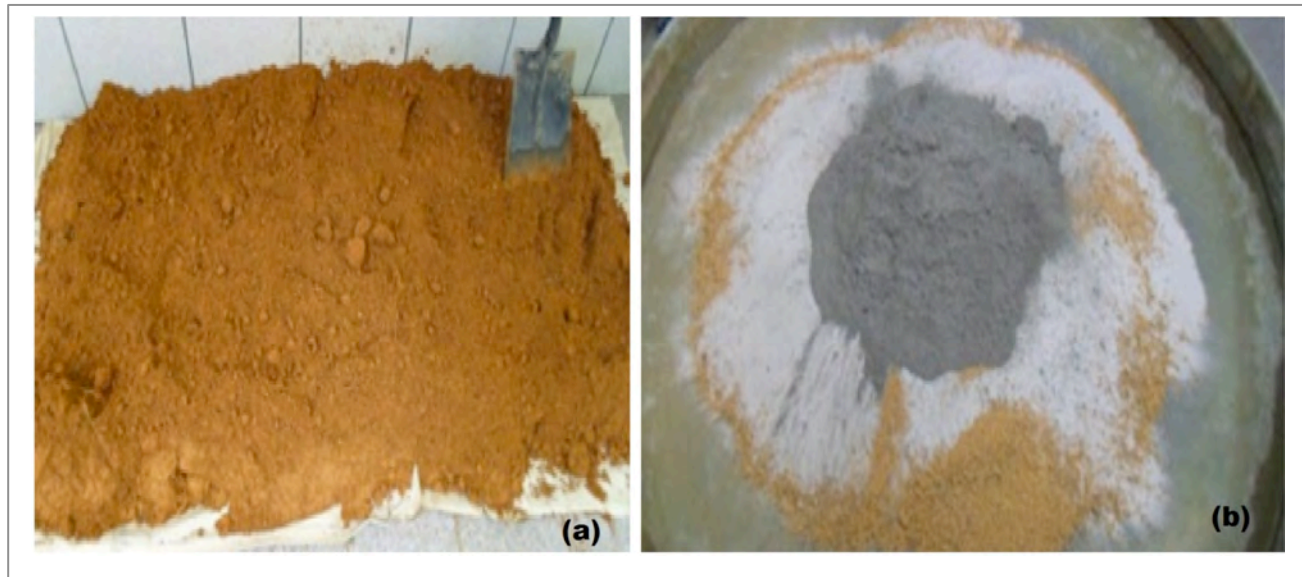


Figura 1. a) Suelo Imbuí; e b) Suelo estabilizado y 20% de Cemento

Tabla 1. Resultados de ensayos de caracterización y compactación

Resultados		Suelo Imbui	Suelo Imbui+ 30% arena
Composición (%)	Pedregullo	2	2
	Arena	47	60
	Limo	16	12
	Arcilla	35	26
Límites de consistencia (%)	LL	39	27
	LP	22	17
	IP	17	10
γ_s (kN/m ³)		27.75	27.52
Clasificación	SUCS	CL	SC
	HRB	A6	A4
Ensayo Compactación	W óptima (%)	-	14.8
	γ_d (kN/m ³)	-	18.44
Ensayo compactación	Mezcla suelo-cemento		
		8%	10%
W óptima (%)	15.3	15.6	14
γ_d (kN/m ³)	18.28	18.27	18.56

Nota: LL: Límite de Liquidez; LP: Límite de Plasticidad; IP: Índice de Plasticidad; W: humedad; γ_s : Peso específico seco; SUCS: Sistema Único de Clasificación de Suelos; HRB: Highway Research Board; SC: arena- arcillosa; CL: limo-arcillosa (IP>7); A6 e A4: Materiales limo-arcilloso

Los bloques fueron contruidos mezclando manualmente las debidas cantidades de suelo estabilizado, cemento y agua. El material fue trabajado hasta completa homogenización, que era identificada cuando la mezcla adquiría una coloración uniforme. La cantidad de agua especificada para atngir la humedad óptima fue adicionada a los pocos con una probeta. En la secuencia se hacia el teste de la bola, apretando la mezcla con la mano y observando la

marca dejada por los dedos, luego se suelta la masa de una altura de cerca de un metro sobre una superficie dura y esperar que se deshaga al chocar con la superficie, sino la masa está muy húmeda (CEPED, 1984). Después del humedecimiento, la masa fue pasada por el tamiz de 2mm visando deshacer los terrones y obtener una mayor homogeneidad del material

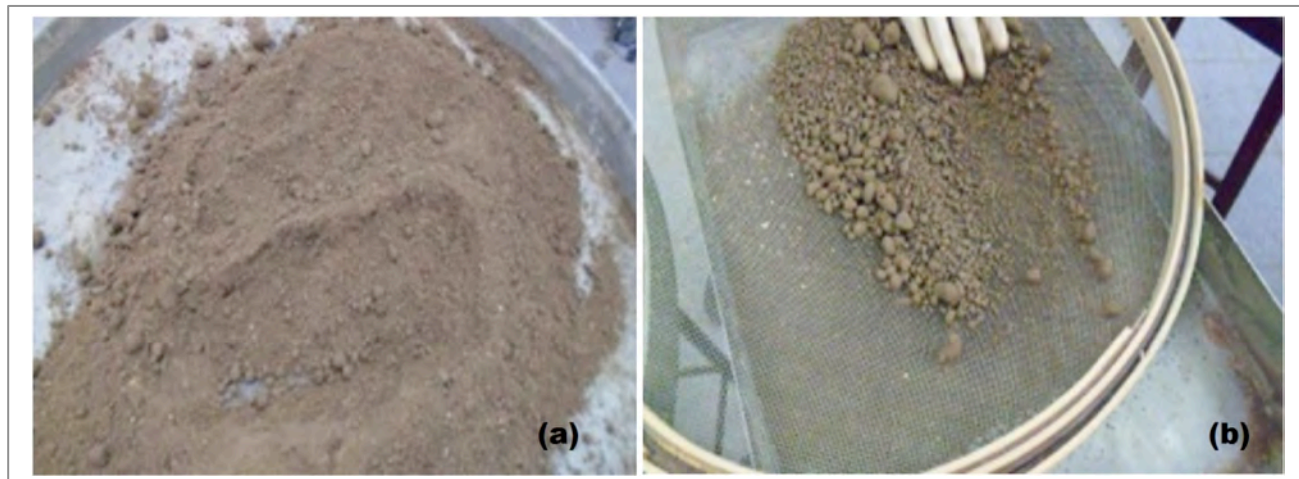


Figura 2. a) Mezcla después humedecimiento; y b) Pasaje de la mezcla por el tamiz 2mm

Los bloques fueron moldeados en una prensa (VIMAQ V2) de compactación manual, con dimensiones de 12.5 cm x 25 cm x 6.25 cm (ancho x largura x altura), posteriormente

colocados a la sombra sobre una superficie plana a una altura de 0.5m (aproximadamente) y sometidos a la cura por siete días (Figura 3).



Figura 3. a) Prensado de los bloques; y b) Cura de los bloques de suelo cemento

Los bloques fueron sometidos a ensayos de resistencia a compresión, absorción de agua y durabilidad (humedecimiento y secado), los cuales serán detallados en 2.2.1 a 2.2.3, donde se verificó que la mezcla con 20% de cemento en masa presentó mejores condiciones para aplicabilidad en pavimento aparejado por obtener mayor resistencia (cerca 10.61 MPa a los 28 días), a pesar que este valor esta debajo de lo recomendado para pavimentos con bloques de concreto para tráfico leve (35MPa). Esta mezcla también presentó la menor absorción de agua (15%) y menor pérdida de masa cuando sometida a cepilladas con un cepillo de cerdas metálicas. Debido a la falta de parámetros de referencia del desempeño de bloques de suelo-cemento como pavimento aparejado fue construida una pista de bloques de suelo-cemento (con dosificación de 20%) en el Campus de la *Universidad Católica de Salvador*, Estado de Bahía, Brasil, la cual es monitoreada para evaluar a lo largo del tiempo el desempeño mecánico de los bloques y su eficiencia como pavimento semipermeable en la reducción del escurrimiento superficial.

2.2 Construcción de los bloques y control de calidad

El moldeado de los bloques para construcción de la pista (más 2000 bloques) siguió el mismo proceso de confección de aquellos usados para especificar la dosificación de cemento en laboratorio, apenas se substituyó la homogenización manual por la homogenización dentro de un mezclador de tambor, lo que permitió trabajar con mayor cantidad de masa, pero determinó el empleo de 3% de agua a más con relación a la humedad óptima obtenida de ensayo de compactación, pues el proceso de homogenización en el mezclador era más demorado y el suelo presentaba una tendencia de secar.

Para el control del proceso de fabricación fueron retirados un lote de bloques a cada 500 bloques construidos, más o menos, sumando un total de cuatro lotes, identificados como lote 1, lote 2, lote 3 y lote 4. Unos bloques de 130 días de moldeado, tiempo medio correspondiente al inicio de construcción de la pista, fueron retirados conformando el lote 5. Luego fueron realizados los ensayos de resistencia a compresión, absorción de agua y durabilidad (mismos ensayos usados previamente para definición de la dosis de cemento) en todos los lotes descritos.

La productividad del servicio fue cerca de 50 bloques por día, donde fueron necesarios cerca de 60 días para la conclusión de los trabajos con un equipo de 4 personas.

2.3 Ensayos de resistencia a compresión

Los ensayos de compresión fueron realizados de acuerdo con las NBR 8492 y NBR 9781 usando bloques con diferentes edades después del moldeado. Los bloques fueron inmersos en agua por 6 horas y, en seguida, secados superficialmente, con ayuda de un paño absorbente. La superficie de ensayo de los cuerpos-de-prueba se refiere al ancho de 12.5 cm y largura de 25 cm, debido a la posición de asentamiento y contato en el pavimento (Figura 4). Los bloques moldados en la prensa manual salen con lados regulares, de este modo, no fue preciso el capeamiento de los cuerpos de prueba para ruptura. El rompimiento se dio en la prensa de compresión usando de 6 a 9 bloques para cada edad (7, 14, 28, 100 días y 4.5 años).

2.4 Ensayos de absorción de agua

El ensayo de absorción de agua envuelve la NBR 8492 (Ladrillos de suelo cemento – Determinación de la absorción del agua) y fue realizado en tres cuerpos-de-prueba para identificación de la absorción del agua media de los bloques sometidos a la saturación.

Después de curados a los siete días, los tres cuerpos-de-prueba fueron pesados y conducidos al horno hasta que no registren diferencia de masa. Según la NBR 9781 (Piezas de concreto para la pavimentación – Especificación), el cuerpo-de-prueba adquiere masa constante cuando la diferencia entre las masas no sea superior a 0.5% del último valor encontrado. Luego del horno, debieron ser inmersos en un tanque con agua por 24h, después retirados del agua, y secados superficialmente con un paño levemente humedecido, pesados (antes de transcurridos 3min), determinando así, cuanto de agua fue absorbida por los bloques.



Figura 4. Ruptura de bloques

2.5 Ensayos de durabilidad por humedecimiento y secado

Los equipamientos empleados en el ensayo fueron: balanza con capacidad de 10 kg y resolución de 1 g; un tanque para inmersión de los cuerpos-de-prueba en agua a la temperatura ambiente; un horno capaz de mantener la temperatura entre 105°C y 110°C; un horno capaz de mantener la temperatura entre 71 ± 2 °C; un cepillo compuesto por cerdas de chapa de acero do tipo SAE 1020 n° 26, de 50.8 mm de largura por 1.6 mm de ancho, reunidas en 50 grupos de diez cerdas cada y montadas en cinco filas longitudinales y diez transversales, en un bloco de madera dura de 190 mm por 65 mm (Figura 5a); e un vernier para medición.

El ensayo de durabilidad por mojado y secado sigue la NBR 13554 (Suelo-cemento – Ensayo de durabilidad por mojado y secado), que determina la pérdida de masa, la variación volumétrica y la variación de humedad producida por los ciclos de humedecimiento y secado en tres cuerpos-de-prueba (bloques), identificados como n°1, n°2 y n°3. Luego los tres cuerpos-de-prueba fueron sometidos a seis ciclos de desgaste, que constaron de los siguientes pasos:

- El bloque n°1 fue pesado y medido para determinar su volumen, antes y después del término de la cura;
- Inmersión en agua de los tres cuerpos-de-prueba, por un tiempo de 5 h, al término del cual fueron retirados del tanque, secados con un paño húmedo, y el bloque n°1 fue pesado y medido el volumen. Los bloques n°2 y n°3 solo fueron pesados;
- Los tres bloques permanecieron en un horno con temperatura de 71 ± 2 °C por 42 horas, después de retirados el n°1 fue pesado y medido el volumen. Los bloques n°2 y n°3 solo fueron pesados;
- Cepillado de los bloques n°2 y n°3, en el plazo de una hora, luego secado en horno. La norma NBR 13554 se refiere a la aplicación de un cepillado con intensidad de 15 N sobre una superficie de un cuerpo-de-prueba de forma cilíndrica. Menciona que en la superficie lateral son requeridos de 18 a 20 cepillados verticales, con el cepillo colocado con su eje longitudinal paralelo al eje longitudinal del cuerpo de prueba. En cada base son cuatro

cepillados, siendo dos en un sentido y los otros dos en el sentido perpendicular al anterior. Como en el ensayo se usó bloques de forma paralelepípedo rectangular, no cilíndrica, entonces fue hecha una adaptación de la norma del número de cepillados proporcional a cada lado del bloque. Así, fueron realizados ocho cepillados en cada lado de asentamiento del bloque, debido que estos lados (12 cm x 25 cm) van sufrir cargamento directo en el pavimento, Figura 5b. En los lados laterales (6.5cm x 25 cm) fueron dos cepillados en cada lado, y en los lados extremos (12cm x 6.5 cm) fueron cuatro cepillados en cada lado, se respetó la indicación de norma de cepillar dos veces en un sentido y dos veces en el sentido perpendicular al anterior. El cepillado y resfriamiento de los bloques tienen que ser hechos en el plazo de una hora;

- La duración de cada ciclo de humedecimiento y secado corresponde a 48 h, este procedimiento se repitió por cinco veces más;
- Después del sexto ciclo, los tres bloques fueron puestos en el horno a una temperatura entre 105 °C y 110 °C, hasta alcanzar masa constante;

Con los valores de masa y volumen obtenidos durante los seis ciclos, es posible calcular la variación de volumen y humedad del bloque n°1 y las pérdidas de masa de los bloques n°2 y n°3, para evaluación de la durabilidad de mezclas de suelo cemento.

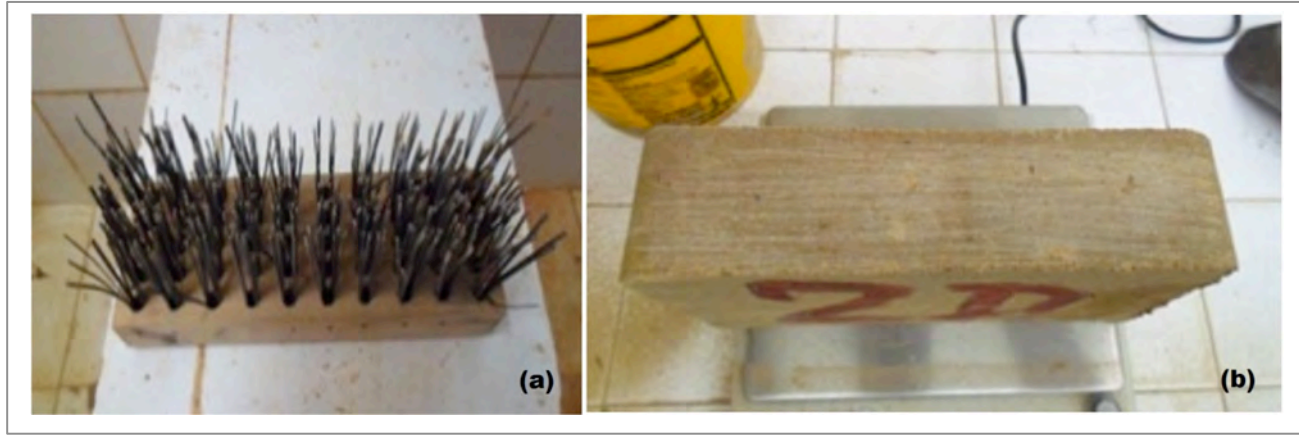


Figura 5. a) Detalle del cepillo; y b) pesado del bloque después del cepillado

2.6 Construcción del pavimento semipermeable

En el estacionamiento de la UCSAL, Campus de Pituacu, fue construido un pavimento con una capa de bloques de suelo-cemento, con largura de 20.70 metros, ancho de 3 metros y pendiente del terreno de 6%. Estudios geotécnicos a partir de dos muestras colectadas en perforaciones de sondaje a taladro la profundidad de 3m mostraron que el suelo local es clasificado como arcilla arenosa-limosa con vestigios de pedregullos (4% de pedregullos, 32% de arena, 18 % de limo y 46% de arcilla), el peso específico medio de los granos es de 29,13 kN/m³, LL=54%, LP=28% e IP= 26%. Los resultados de clasificación del suelo apuntan ser un suelo bastante arcilloso con alto índice de plasticidad y con coeficiente de permeabilidad obtenido por medio de ensayo Guelph de 10⁻⁵ cm/seg. A pesar de la elevada pendiente del área y coeficiente de permeabilidad relativamente bajo, esta área fue usada debido a la imposibilidad de usar otro local en el campus, Brandão (2009).

El aparejado fue impuesto a los bloques por medio de confinamiento lateral a través de medios filos, pero también en la parte interna por medio de vigas de concreto (de 3 m de largo y 15 cm de anchura y altura) colocadas de forma transversal y colocadas a cada 3 metros, aproximadamente, con la finalidad de evitar el deslizamiento de los bloques debido a la pendiente (Marchioniet et al., 2010). La Figura 6a muestra el proceso de construcción del pavimento en campo, detallando el aparejado y colocación de los medios filos y de las vigas transversales.

Los bloques fueron asentados y colocados a tizón, cada dos bloques alternado el sentido, sobre una base de arena de 5.3 cm de espesura que funciona como un pequeño reservatorio de agua (Figura 6b). La base de arena tiene porosidad de aproximadamente de 46% que permite un volumen de almacenamiento de agua de 1500 litros, aproximadamente. Los bloques fueron rejuntados con arena fina lo que permitió la percolación da agua a través de las juntas para a base de arena.



Figura 6. a) Proceso de colocación de los medios filos y de las vigas transversales; b) asentamiento de los bloques en la capa de arena

2.7 Exhumación de bloques de suelo cemento del pavimento semipermeable

Para evaluación del comportamiento de los bloques a lo largo del tiempo, después de 1640 días (4.5 años) de fabricados y expuestos a la intemperie, fueron retirados 20 bloques del pavimento, de forma espaciada y aleatoria,

Figura 7. Los bloques retirados constituyeron el lote 6 de estudio, de los cuales se destinaron 14 bloques para el ensayo de compresión, 3 bloques para el ensayo de absorción y 3 bloques para el ensayo de durabilidad.

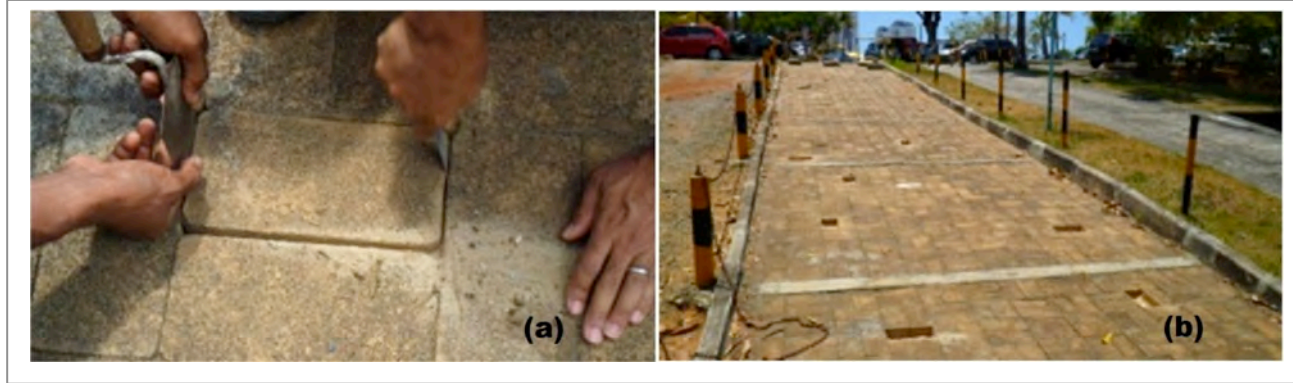


Figura 7. a) Exhumación del bloque; y b) distribución de los bloques exhumados en el pavimento

Los bloques retirados fueron substituidos por nuevos bloques de suelo cemento y marcados con un "X" para que no sean retirados nuevamente, Figura 8.

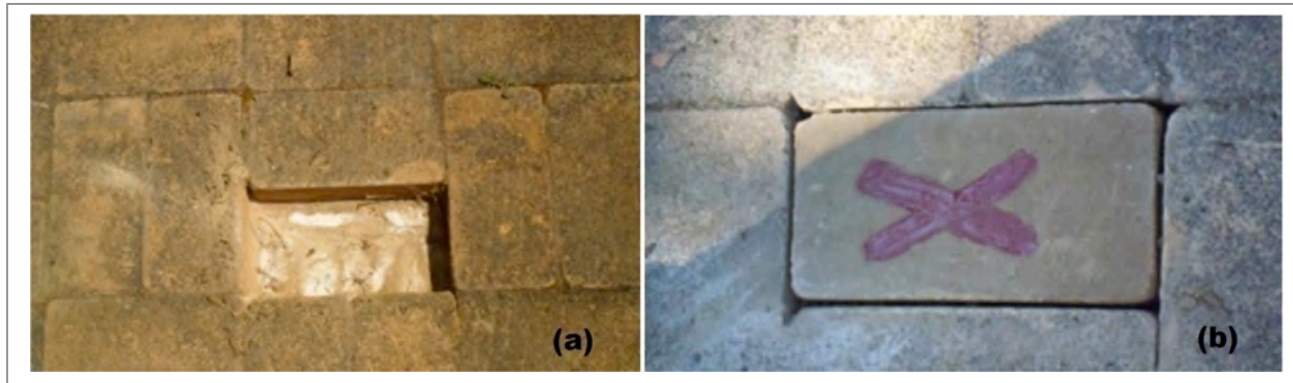


Figura 8. a) pavimento sin bloque; y b) substitución con bloque nuevo marcado con "X"

3. Resultados y discusiones

La Tabla 2 presenta los resultados obtenidos de los ensayos de resistencias a compresión en los lotes 1 a 4 a los 7, 14, 28 días, en el lote 5 a los 130 días (cuando fueron asentados en la pista) y en el lote 6 a los 1640 días después moldados (bloques exhumados del pavimento). Se presentan también resultados de ensayos de absorción del agua y durabilidad por humedecimiento y secado en los diferentes lotes. Para efecto de comparación, en la Tabla 2 se presentan también los resultados del Lote 7, referente a valores obtenidos anteriormente en los bloques con dosificación de porcentaje de cemento de 20, esta dosificación presentó mayor resistencia a compresión y menor absorción de agua y menor pérdida de masa (Tarqui et al., 2012), recordando que su proceso de mezcla y homogenización fue totalmente manual, sin uso de mezclador.

Los resultados de la Tabla 2 referentes a la variación de resistencia a compresión para bloques de diferentes edades son mostrados en la Figura 9, donde se puede observar acrecimientos en la resistencia a medida que los bloques ganan más edad. El lote 7 (dosificación 20%) presentó mayores valores de resistencia a compresión (5.8;

7.55; 10,61 MPa para 7, 14 e 28 días, respectivamente) que los valores medios obtenidos en los lotes de 1 al 4 (4,8; 7,1; 8,9 MPa para las edades de 7, 14 y 28 días, respectivamente). Probablemente esa diferencia sea en virtud del empleo de mayor cantidad de agua (3% a más) usada en el moldeamiento de los lotes, los cuales fueron homogenizados en el mezclador de tambor, para la confección de los bloques necesarios para construcción de la pista (cerca de 2000 bloques). Como ya se comentó, la homogenización en el mezclador era más demorada y la masa presentaba una tendencia a secar.

Los bloques exhumados (lote 6), con edad de 1640 días (4.5 años) aproximadamente, presentaron resistencia a la compresión de 12.2MPa, mostrando que no hubo reducción de la resistencia con la exposición de los bloques a las condiciones ambientales (lluvia, sol y pequeño flujo de pedestre), por lo contrario, tuvo un leve incremento.

Tabla 2. Resultados obtenidos para los diferentes lotes ensayados

Identificación	Resistencia a Compresión (MPa)					Absorción del Agua (%)	Durabilidad - pérdida de masa (%)	
	7 días	14 días	28 días	130 días	1640 días (4.5 años)		Cuerpo-de-prueba n°2	Cuerpo-de-prueba n°3
Lote 1	5.78	7.55	9.99	-	-	15.00	1.00	0.80
Lote 2	4.03	6.57	7.38	-	-	-	-	-
Lote 3	5.08	7.29	9.04	-	-	15.67	0.30	0.30
Lote 4	4.15	6.29	9.19	-	-	12.50	0.06	4.51
Media	4.76	6.93	8.90	-	-	14.39	0.45	1.87
Lote 5	-	-	-	10.77	-	13.82	4.33	3.50
Lote 6 exhumados	-	-	-	-	12.20	15.33	0.03	-0.87
Lote 7 dosificación 20%	5.80	7.55	10.61	-	-	15.00	0.42	0.1

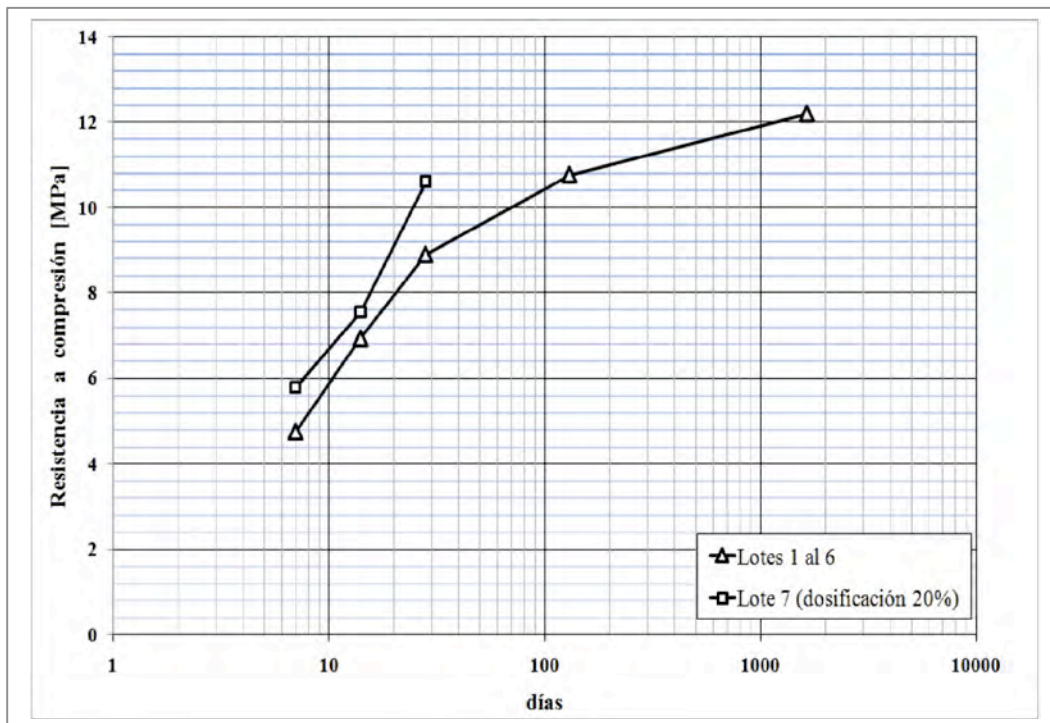


Figura 9. Resistencia a compresión media (MPa) para los diferentes lotes ensayados

En cuanto a la absorción de agua, todos los lotes están de acuerdo con lo que exige la NBR 8491 (Ladrillo macizo de suelo-cemento), en que la media de la absorción de agua no debe ser superior a 20% y la absorción individual no debe ser superior a 22%. Los datos presentes en la Tabla 2 permiten afirmar que no hubo variación significativa en relación al porcentaje de agua adsorbido por los bloques con el pasar del tiempo, presentando de una forma general una adsorción de 15% de agua.

Referente a la pérdida de masa, los bloques usados en lote 7 (dosificación 20%) presentaron menores valores cuando comparados con los otros lotes, excepto al lote 6 (bloques exhumados) que tuvieron pérdida de masa en la orden de 0.03% y de -0.87% (para el n°2 y n°3, respectivamente), donde el n°2 no presentó pérdida en su masa y el n°3 debido al "moho" (materia orgánica) en su superficie, adquirido con la acción de la intemperie a lo largo del tiempo, absorbió una pequeña cantidad de agua.

4. Conclusiones

Los resultados indicaron que los bloques moldeados con mayores contenidos de agua y en mezcladora (lotes 1 al 6) presentaron, en general, menor resistencia a la compresión de aquellos moldeados manualmente (lote 7), posiblemente, la relación de agua con cemento y de las reacciones resultantes de ella es la causa de esta variación de la

resistencia. La utilización de los bloques en el pavimento y la actuación de las condiciones ambientales no produjeron reducción de la resistencia, aumento de absorción de agua y pérdida de masa. La resistencia a la compresión sencilla aumento con la edad del moldeado, variando de cerca de 9MPa (con 28 días de moldeado) para 11MPa (con 130 días de moldeado) y para 12MPa (bloques exhumados del pavimento con 1650 días de moldeado). Se observa que los bloques exhumados presentaron un leve aumento de la resistencia (menos de 10%) en relación a los bloques de 130 días de moldeados, lo que puede ser atribuido a las reacciones que todavía suceden entre cemento, suelo y agua o a la variabilidad de materia prima usada y equipamientos empleados. Así, se puede afirmar que los bloques presentaron comportamiento adecuado cuando sometidos a condiciones de tráfico leve peatonal y a condiciones de intemperie.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen la beca de iniciación científica cedida por las agencias de fomento: Fundação de Amparo de Pesquisa da Bahia (FAPESB) y del Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq). Así como el apoyo de la Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) para realización de la investigación.

6. Referencias

- Cancian M. A. (2013)**, Influência do teor de umidade, porosidade e do tempo de aplicação na mistura solo cimento para pavimento rodoviário de um solo da bacia do Paraná. Dissertação de mestría. Universidade Federal de Londrina: Londrina. Disponible en: <http://www.uel.br/pos/enges/portal/pages/arquivos/dissertacao/85.pdf>. [Accesado el 24 de noviembre de 2014].
- CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (1984)**, Manual de construção com solo – cimento. São Paulo: ABCP.
- Estabragh, A. R.; Beytolahpour, I.; Javadi, A. A. (2011)**, Effect of Resin on the Strength of Soil-Cement Mixture. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 23 (7): 969-976. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000252](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000252).
- Ferrari V. J., Souza A. H. C., Baltazar H. P., Dotto W. y Vieira Neto J. G. (2014)**, Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná. Ambiente Construído, v. 14 (3): 131-148. Accesado en <http://www.scielo.br/pdf/ac/v14n3/11.pdf>
- Grande F. M. (2003)**, Fabricação de tijolos modulares de solo cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. Dissertação de Mestría. São Carlos: Universidade de São Paulo.
- Marchioni M. y Silva C. O. (2010)**, Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas. Cartilha. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Disponible en: http://ninamartinelli.com.br/downloads/cartilha_pav_intertravado_permeavel.pdf. [Accesado en: 24 de noviembre de 2014].
- NBR 10833. (2012)**, Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo cimento com a utilização de prensa hidráulica. Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- NBR 7181. (1988)**, Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- NBR 6459: (1984)**, Determinação do limite de liquidez – Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- NBR 7182. (1988)**, Ensaio de compactação – Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- NBR 6508: (1984)**, Grãos de solo que passam na peneira 4,8mm - Determinação da massa específica – Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- NBR 12253. (2012)**, Solo cimento – Dosagem para pavimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- NBR 9781. (2013)**, Peças de concreto para a pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro..
- NBR 8492. (2012)**, Tijolo de solo cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- NBR 13554. (2012)**, Solo cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem – Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- NBR 8491. (2012)**, Tijolo maciço de solo cimento. Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- Penteado P. T. y Marinho. R. C. (2012)**, Custos de construção solos cimento vs convencional. Trabajo de Conclusión de Pregrado. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponible en: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/375/1/CT_EPC_2011_2_22.PDF. [Accesado en 10 noviembre 2014].
- Revista Tèchne (2004)**, Alvenaria de solo cimento. Revista Tèchne, Edição 85, mês de Abril. Disponible en: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>. [Accesado en 24 de noviembre de 2014].
- Rojas J. W. J., Consoli N. C. y Heineck K. S. (2008)**, Durabilidad de un suelo contaminado y tratado con cemento portland. Revista Ingeniería de Construcción. 23 (3): 163-170. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732008000300004>.



SPANISH VERSION.....

- Silva F. S. y Castro A. P. S. (2009)**, 26 de noviembre. Incentivo ao uso de produtos de baixo impacto ambiental através da disciplina de materiais de construção civil, ponencia. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Recife: ABENGE. Disponible en: www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2009/artigos/579.doc. [Accesado en 24 de noviembre de 2014].
- Souza V. P., Toledo R., Holanda J. N. F., Vargas H y Junior R. T. F. (2008)**, Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água. *Cerâmica*, 54 (331): 351–355. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132008000300013>
- Tarqui J. L. Z., Carvalho M. F., Brandao C. P. (2012)**, 15 de setiembre. Avaliação da resistência a compressão de misturas de solo-cimento para aplicação em pavimentos de trafego leve, ponencia. XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – Cobramseg. Porto de Galinhas: ABMS.
- Tennant A. G., Foster C. D. y Reddy B. V. V. (2013)**, Verification of Masonry Building Code to Flexural Behavior of Cement-Stabilized Soil Block. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 25: 303-307. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000566](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000566)

