

## Uso de geoceldas HDPE rellenas con concreto para pavimentación de vías rurales de bajo costo

*Vialidad y Tránsito*

M.Sc. Wladimir Caressato Junior – [wcaressato@tdmbrasil.com.br](mailto:wcaressato@tdmbrasil.com.br)

Ing. Fernão Nonemacher Dias Paes Leme – [fernao.dias@abcp.org.br](mailto:fernao.dias@abcp.org.br)

D.Sc., Prof. José Orlando Avesani Neto – [avesani@usp.br](mailto:avesani@usp.br)

Ing. Carlos Antônio Centurión Panta – [ccenturion@grupotdm.com](mailto:ccenturion@grupotdm.com)



## RESUMEN

- **Introducción**
- **Histórico de las geoceldas**
- **Pavimento de Concreto de Cimento Portland Celular (CCP-C)**
- **Diseño de la sección experimental**
  - **Elección de los modelos de Geocelda**
  - **Metodología para definición del material de relleno**
  - **Elección del sitio y tramos de prueba**
- **Proceso constructivo do CCP-C**
- **Seguimiento posterior a la construcción**
- **Conclusiones**



## Introducción

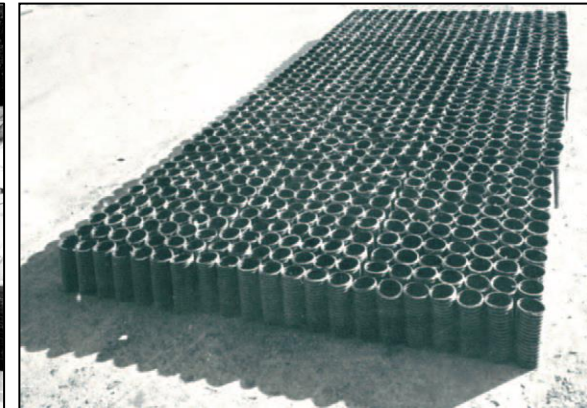
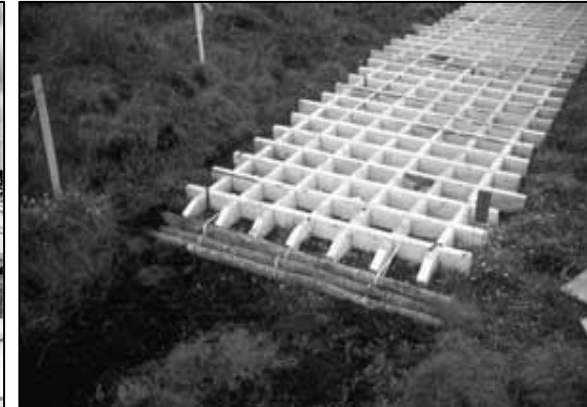
El transporte carretero brasileño es extremadamente importante, tanto que cerca del 70% de la producción del país se realiza por carretera. Esto se debe a que Brasil tiene la cuarta red vial más grande del mundo, con un 68,1% de caminos de terracería, lo que equivale a aproximadamente 785 mil kilómetros.

Debido a la alta concentración de camiones que transitan, las vías terminan siendo perjudicadas por la excesiva circulación de cargas. Por ello, las inversiones realizadas en pavimentación juegan un papel protagónico.



## Histórico de las geoceldas

Debido a problemas de carga en las playas, se propone utilizar un sistema de confinamiento para estabilizar la arena (USCE).





## Histórico de las geoceldas

De esta manera, a través del **confinamiento celular** relleno con la arena del lugar, se logró garantizar el acceso de los vehículos por la playa.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EUA nombró al producto "Sand-Grid". Sand-Grid se fabricó a partir de tiras lisas de **Polietileno de Alta Densidad (HDPE)**, adaptando las características de la tira a esta aplicación.

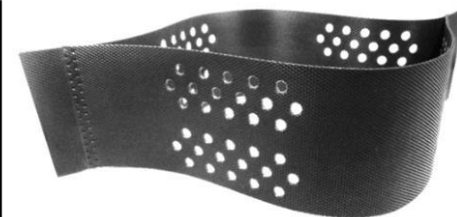


## Histórico de las geoceldas

Con el aporte de R. Koerner y con la aparición a fines de los 80's del Instituto de Geosintéticos en EUA (GSI), se logra incorporar el estándar **GRI-GS-15** para Geoceldas de HDPE, que permite disponer de una geocelda genérica para usos en Obras Civiles. (Fierro, 2021)

**Table 1 –Geocells Made From High Density Polyethylene Strips**

Test Properties	Test Method	Test Value (S.I. Units)	Testing Frequency (minimum)	Test Value Standard (US) Units	Testing Frequency (minimum)
Wall Thickness Nominal – 10%)	GRI-GS14	1.25 mm	per bundle	50 mils	per bundle
Density (min. ave.)	ASTM D 1505/D 792	0.940 g/cc	90,000 kg	0.940 g/cc	200,000 lb
Seam Efficiency (min. ave.)	GRI-GS13	100%	9,000 kg	100%	20,000 lb
Tensile Properties (min. ave.) (1) • yield strength • break strength • yield elongation • break elongation	ASTM D 6693 Type IV	18 kN/m 13 kN/m 12% 100%	9,000 kg	105 lb/in. 75 lb/in. 12% 100%	20,000 lb
Tear Resistance (min. ave.)	ASTM D 1004	155 N	20,000 kg	35 lbs	45,000 lb
Puncture Resistance (min. ave.)	ASTM D 4833	330 N	20,000 kg	75 lbs	45,000 lb
Direct Shear Friction Angle (4)	ASTM D5321	30°	20,000 kg	30°	45,000 lb
Carbon Black Content (range) (2)	ASTM D 4218	2-3%	9,000 kg	2-3%	20,000 lb
Carbon Black Dispersion (3)	ASTM D 5596	note (5)	20,000 kg	note (5)	45,000 lb
Oxidative Induction Time (OIT) (min. ave.) (5) (a) Standard OIT — or — (b) High Pressure OIT	ASTM D 3895	100 min.	90,000 kg	100 min.	200,000 lb
Oven Aging at 85°C (5) (a) Standard OIT (min. ave.) - % retained after 90 days — or — (b) High Pressure OIT (min. ave.) - % retained after 90 days	ASTM D 5721 ASTM D 3895	55%	per formulation	55%	per formulation
UV Resistance (6) (a) Standard OIT (min. ave.) — or — (b) High Pressure OIT (min. ave.) - % retained after 1600 hrs (8)	ASTM D 7238 ASTM D 3895	N.R. (7)	per formulation	N.R. (7)	per formulation
	ASTM D 5885	50%		50%	








## Pavimento de Concreto de Cimento Portland Celular (CCP-C)

El uso de la geocelda en esta condición no es reciente. Algunas aplicaciones de este sistema de revestimiento de suelos CCP-C se remontan a 1990 (Visser y Hall, 1999).

Maher et al. (2005) cita que el PCC-C tiene una **vida útil de 20 años**, buena calidad de rugosidad superficial, menor necesidad de mantenimiento, buen desempeño a lo largo de su vida útil.

Route and environment classification	Design traffic during structural life (E80)		
	< 0,2 x 10 <sup>6</sup>	0,2-0,8 x 10 <sup>6</sup>	0,8-3,0 x 10 <sup>6</sup>
Minor arterial, wet climate, 3 - 7 CBR*		A	A
Minor arterial, wet climate, CBR > 7		A	A
Minor arterial, dry climate, 3 - 7 CBR		B	B
Minor arterial, dry climate, CBR > 7		C	B
Access street, wet climate, 3 - 7 CBR	D	C	B
Access street, wet climate, CBR > 7	E	C	B
Access street, dry climate, 3 - 7 CBR	D	C	B
Access street, dry climate, CBR > 7	E	C	B

\* Special precautions have to be taken if the design CBR < 3

Pavement Code	Pavement Structure
A	 75/30 MPa Cell Slab 150 G5 or 150 C4 In-Situ *
B	 75/30 MPa Cell Slab 150 G5 or 125 C4 In-Situ *
C	 75/30 MPa Cell Slab 125 G5 or 100 C4 In-Situ *
D	 75/20 MPa Cell Slab In-Situ *
E	 50/20 MPa Cell Slab In-Situ *



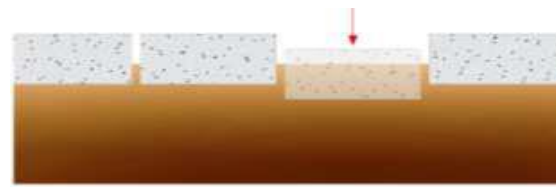


## Diseño de la sección experimental

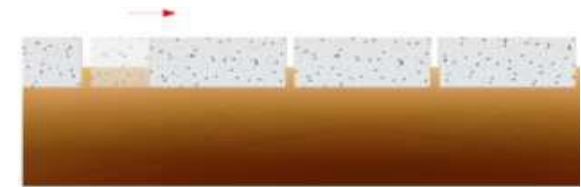
Debido al concepto de trabajo de CCP-C de formar bloques de concreto individuales que funcionan de manera entrelazada, existe cierta **similitud con los bloques entrelazados**.

El principio de los bloques entrelazados es generar resistencia a los movimientos, a saber: desplazamiento vertical, debido a las tensiones verticales; y desplazamiento horizontal, proveniente de solicitudes de aceleración y frenado.

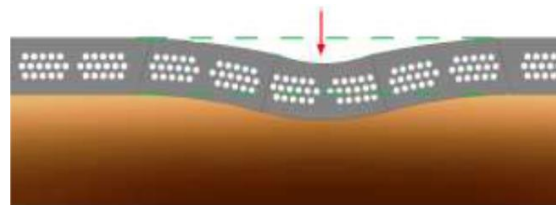
En el CCP-C, además de estas dos porciones de resistencia, también está el aporte de las **paredes de las geoceldas** que, por su expresiva rigidez y resistencia a la tracción, aportan una parte importante en el fortalecimiento de la misma



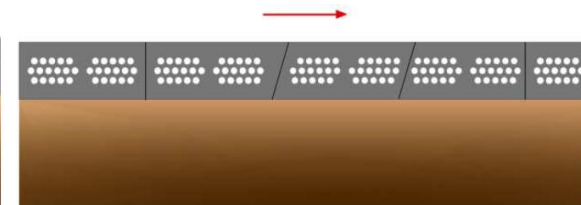
DESLOCAMIENTO VERTICAL



DESLOCAMIENTO HORIZONTAL



DESLOCAMIENTO VERTICAL



DESLOCAMIENTO HORIZONTAL



## Elección de los modelos de Geocelda

Para cumplir adecuadamente los mecanismos en coherencia con los bloques entrelazados, existe la necesidad de una alta interacción entre las paredes celulares y el relleno. La eficiencia de esta interacción se mejora cuando existen **texturización y perforaciones** en las paredes de las celdas, proporcionando mayor fricción entre los materiales y generando una interconexión entre celdas adyacentes.

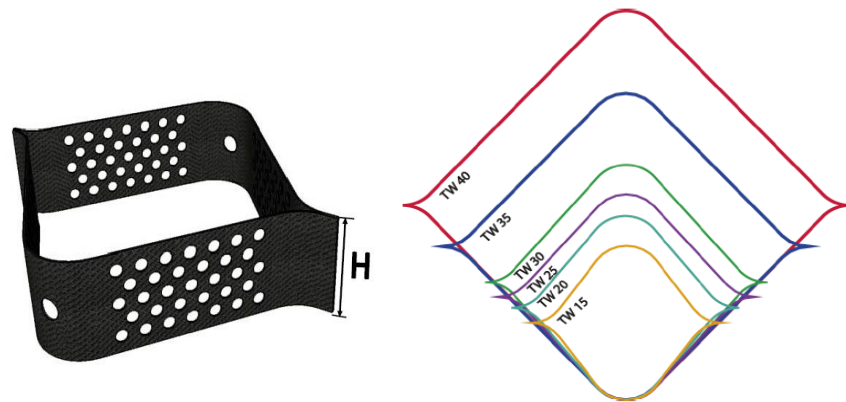


## Elección de los modelos de Geocelda

En Brasil, los bloques entrelazados se rigen por la norma **ABNT NBR 9781 (2013)**. Según esta norma, el CCP-C encajaría en un bloque Tipo II y dimensión máxima de la pieza el valor de **250 mm** y el espesor mínimo de **60 mm** - con el índice de forma máximo (IF) igual a 4.

Así, utilizando la ABNT NBR 9781 (2013), se definen alturas de **50mm** y **75mm** y aperturas (diámetro equivalente) de **200mm** y **250mm** para las dimensiones de las geoceldas.

Aunque la celda con una altura de 50 mm tiene una dimensión menor a la recomendada, se seleccionó debido a la mejor condición de desempeño debido a la presencia de **textura** y **perforación** de las paredes de la celda.



## Metodología para definición del material de relleno

Para la definición del CCP, se utilizó el método de dosificación de hormigón pobre laminado para pavimentos, de la Asociación Brasileña de Concreto Portland.

La dosificación con consumo de 100 kg/m<sup>3</sup> y 8% de humedad presentó un resultado de revenimiento del cono del tronco de 30mm.

La dosificación con consumo de 130 kg/m<sup>3</sup> y 8% de humedad presentó un resultado de revenimiento del cono del tronco de 30mm.

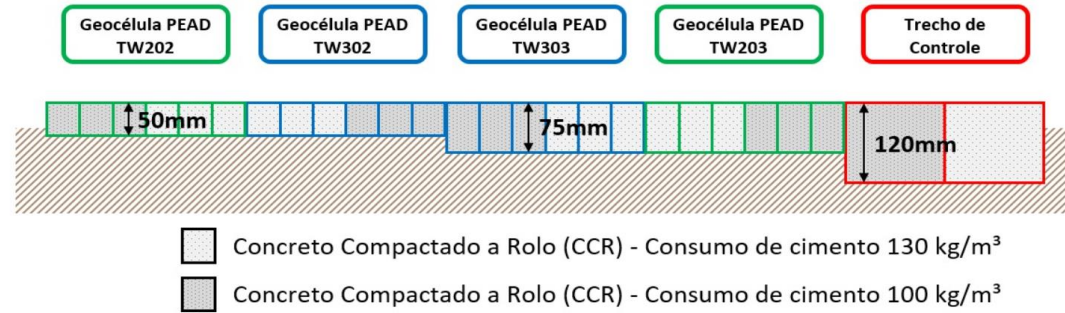
Se realizaron pruebas de abrasión, encontrándose valores entre 22,1 y 26,7 mm de cavidad máxima.

Consumo de cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Energía de Compactación	Masa específica (g/m <sup>3</sup> )	Compresión Simple Resistencia (Mpa)	Edad dos ensayos
100	Normal (N) 5 Capas 30 Golpes	2,419	1,94	1
		2,419	3,41	3
		2,43	3,27	7
		2,421	3,52	7
		2,449	3,88	28
	Intermediário (I) 5 Capas 65 Golpes	2,448	2,23	1
		2,455	3,75	3
		2,469	4,11	7
		2,483	4,17	7
		2,458	5,00	28
130	Normal (N) 5 Capas 30 Golpes	2,455	2,36	1
		2,437	3,27	3
		2,437	3,5	7
		2,435	3,39	7
		2,439	4,8	28
	Intermediário (I) 5 Capas 65 Golpes	2,473	3,33	1
		2,48	5,22	3
		2,471	5,41	7
		2,473	5,27	7
		2,457	6,53	28



## Elección del sitio y tramos de prueba

La sección experimental celebró cuatro soluciones, y una sección de control, ejecutada con CCP. El tramo tendrá una longitud total de 250 m, utilizando 50 m para cada solución, 25 m para cada dosificación de CCP.





## Proceso constructivo do CCP-C

Antes de colocar las geoceldas, se debe limpiar, excavar y nivelar la superficie de aplicación, eliminando los materiales inadecuados del sitio. En cualquier caso, se debe asegurar que no habrá movimiento de maquinaria sobre las geoceldas vacías.





## Proceso constructivo do CCP-C

Se recomienda el uso de barras metálicas para fijar la geocelda al suelo, manteniéndola correctamente abierta y tensada, para mejorar el desempeño de la capa y evitar que flote después del lanzamiento del CCP. Proceso constructivo de interferencias mantengo las celdas completas.





## Proceso constructivo do CCP-C

Antes de comenzar el llenado de las celdas, se debe tener en cuenta la humedad del suelo, asegurándose de que el suelo no esté demasiado seco para que no haya pérdida de humedad del material de relleno al suelo. Se recomienda lanzar el CCP desde una altura máxima de 1,00 m





## Proceso constructivo do CCP-C

Debe haber un espesor adicional por encima de la altura de las geoceldas solo para garantizar el acceso a la maquinaria sin afectar su rendimiento o dañar las celdas. Para el llenado se requerirán herramientas manuales y equipos pequeños.





## Proceso constructivo do CCP-C

Se recomienda mantener un contenido de humedad óptimo del CCP durante el proceso de compactación. Si se presentan vacíos de material dentro de las celdas, estos deben ser llenados inmediatamente, para no dañar la sección.





## Proceso constructivo do CCP-C

La compresión del CPP debe asegurar la nivelación total del tramo, antes de someterlo al tránsito, para evitar deformaciones. Después de la compactación, el resultado final debe ser tal que el material de relleno no supere la altura de las geoceldas.



## Seguimiento posterior a la construcción

- Para la evaluación del desempeño de la vía, a **corto y largo plazo**, se deben realizar inspecciones visuales periódicas de las condiciones del recubrimiento CCP-C, ensayos de viga Benkelman para registrar la deflexión y ensayos de rugosidad superficial.
- Las pruebas de viga Benkelman, no se registraron deformaciones en la estructura de la vía.
- Adicionalmente, se tomaron muestras para evaluar el posicionamiento de las geoceldas y la resistencia a la compresión simple del CCP, lo que demostró que las geoceldas mantuvieron su forma, como la resistencia a la **compresión simple fue de 15 a 20% superior a la realizada en el laboratorio.**





## Conclusiones

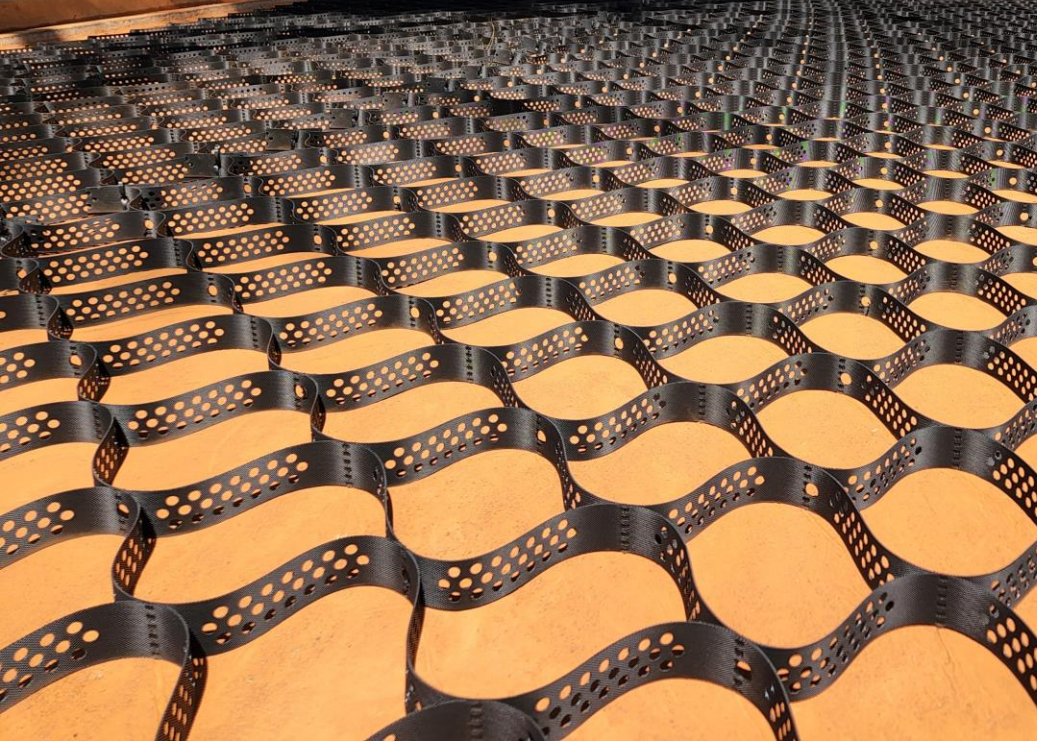
Las ventajas constructivas: proceso constructivo sumamente sencillo, que puede ejecutarse sin necesidad de equipos especiales, como es el caso de las lanzadoras de asfalto, alta productividad, debido a que las geoceldas al ser materiales prefabricados, eliminación de juntas de dilatación y reducción de espesores.

Materiales poliméricos flexibles. La posibilidad de realizar cortes, permite que las geoceldas se adapten a interferencias, sin comprometer la integridad estructural de la vía.

Al aplicar agentes de curado a la superficie del CCP-C, es posible liberar el acceso dentro de las 24 horas posteriores a la finalización del proceso de instalación.

Por lo tanto, analizar el comportamiento a corto plazo de la estructura y sentar las bases para futuras investigaciones dirigidas a evaluar el desempeño de este tipo de tecnología a largo plazo, es posible generar metodologías de diseño de modo a tenermos ábacos para los diferentes tipos de vías y volumen de tránsito.

ASUNCIÓN  
2022



# Gracias! Obrigado!

M.Sc., Ing. Wladimir Caressato Junior  
[wcaressato@tdmbrasil.com.br](mailto:wcaressato@tdmbrasil.com.br)  
+55 19 98102-8275

