



Encontro Internacional
de Produção Científica
24 a 26 de outubro de 2017

ISBN 978-85-459-0773-2

ESTUDO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO EM BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR E DE PNEU

Silvia Paula Sossai Altoé¹; Almir Sales²; Carlos Humberto Martins³; João Pedro Lopes⁴

¹Doutoranda em Estruturas e Construção Civil da UFSCar, São Carlos, São Paulo, Docente na UTFPR, Apucarana;

²Professor Titular da UFSCar, São Carlos Paraná, São Paulo;

³Professor da UEM, Maringá, Paraná

⁴Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da UEM, Maringá, Paraná

RESUMO

O processo de urbanização das cidades traz consigo algumas consequências como a impermeabilização das vias, passeios públicos e praças. A existência de calçadas que possibilitam a infiltração da água da chuva pode colaborar para minimizar o escoamento superficial. O pavimento intertravado de concreto apresenta características peculiares, dentre as quais, àquelas que o configuram como piso drenante. A presente pesquisa tem como objetivo estudar a infiltração em uma calçada protótipo executada metade com *pavers* referência e outra metade com blocos de concreto para pavimentação (*pavers*) produzidos com resíduos da queima do bagaço da cana-de-açúcar e de pneu em substituição parcial do agregado miúdo, o teor de substituição do agregado miúdo por resíduos foi de 27%, sendo de 25% para a CBC (Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar) e 2% de resíduos de Pneu moído. Além da simples medição da infiltração nos dois trechos a pesquisa também tem como objetivo verificar se a utilização de resíduos influencia nesta característica, embasando mais ainda a hipótese de que os resíduos na composição dos *pavers* não trazem características negativas nesse tipo de pavimento. Para atingir os objetivos propostos foram realizados testes de infiltração nos dois trechos no mesmo dia, a fim de garantir as mesmas condições climáticas, foram realizadas medições mensais. Os resultados mostraram que a substituição de agregados miúdos pelos resíduos propostos não alteraram ou influenciaram na infiltração da calçada executada com *pavers*, fora isso foi comprovada a permeabilidade da mesma.

PALAVRAS-CHAVE: Infiltração; *pavers*; CBC; Pneu.

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é um desafio a ser vencido não só nos grandes centros, mas também em cidades menores. As vias devem permitir a fluidez do trânsito e meios de transporte público eficientes. Além disto, há a necessidade de calçadas niveladas, livres de obstáculos e que tenham capacidade de permeabilidade e de escoamento mínimo para que, em dias chuvosos, permitam que pedestres circulem de forma segura e confortável.

Para Canholi (2005), as áreas urbanas cresceram rapidamente e no tocante a drenagem urbana, pouco se pensou e se fez a respeito. O autor diz que é preciso adotar medidas não convencionais de drenagem, que diferem do conceito tradicional de canalização, pois elas promovem uma otimização do sistema. Dentre as medidas não convencionais, cita àquelas que visam incrementar o processo da infiltração da água.

Deste modo, depreende-se que praças, estacionamentos e calçadas com pavimento permeável, contribuem para aumentar a taxa de infiltração em regiões urbanas altamente impermeabilizadas com edificações e pistas pavimentadas de concreto asfáltico não poroso. Por consequência, podem contribuir de forma significativa para a drenagem pluvial urbana. Utilizado com sucesso nos Estados Unidos e em alguns países da Europa como Inglaterra e Alemanha, o uso de pisos permeáveis vem sendo cada vez mais utilizado no Brasil. (REVISTA PRISMA, 2011). Em âmbito nacional, há exemplo da prefeitura de São Paulo que recomenda o uso de blocos de concreto do tipo intertravado para auxiliar na infiltração da água da chuva. (SÃO PAULO, 2010).

O pavimento intertravado de concreto é apresentado atualmente, como uma solução que abrange duas questões essenciais, que são a drenagem e a mobilidade de áreas urbanas. Várias vantagens de aplicação do paver são conhecidas, como a capacidade de gerar economia de



Encontro Internacional de Produção Científica

24 a 26 de outubro de 2017

ISBN 978-85-459-0773-2

iluminação pública, pois é capaz de aumentar a reflexão em até 30% se comparado a outros pavimentos (Marchioni, Silva 2011). A facilidade de manutenção também é notória, visto que o pavimento pode ser instalado e removido a qualquer tempo, há um ganho de produtividade e de recursos quando se pensa no grande número de subsistemas existentes sob o pavimento. Cria espaços pavimentados com um belo efeito estético, pois são várias as formas, texturas e cores destas peças.

Define-se paver como bloco de concreto pré-moldado para pavimentos (ACI 116.R-00, 2002). Os pavers, devido ao forte desenvolvimento de seu setor produtivo, são aplicados nos mais diversos segmentos da construção como em pátios, calçadas, praças, ruas, caminhos, rodovias, pisos industriais, portos, aeroportos, em maior ou menor quantidade. O que era inicialmente utilizado em áreas com o objetivo de proporcionar melhores efeitos arquitetônicos ou paisagísticos, começou a ganhar lugar como um material versátil, que possibilita harmonização com qualquer ambiente (FIORITI et al., 2010).

Além das vantagens técnicas e de execução que os pavimentos intertravados apresentam, eles podem também contribuir muito para a drenagem urbana, devido às suas propriedades drenantes, o que garante também sua eficiência ambiental. Os pisos intertravados possibilitam que a água da chuva permeie entre as juntas e encontre o solo, facilitando a drenagem. Esta característica contribui, segundo Godinho (2009), para a redução do volume de água transportada para os coletores públicos, que geralmente acabam sobrecarregados, levando a ocorrência de inundações.

Grande parte das ações para minimizar problemas com drenagem urbana tem por princípio conduzir as águas das chuvas para jusante. Dispositivos que permitem o acréscimo de infiltração e o aumento do tempo de retardo do escoamento superficial são parte da solução. O pavimento intertravado de concreto nos passeios pode contribuir para uma maior infiltração da água da chuva. A contribuição se justificaria pelos espaços livres entre as peças, locais por onde a água irá passar e também pela execução das camadas de base, que permitem que a água infiltre. Marchioni e Silva (2011) apontam que sempre haverá um potencial de permeabilidade por meio das juntas, o atendimento da distribuição granulométrica recomendada, possibilita atingir o coeficiente de permeabilidade dos agregados na ordem de $3,5 \times 10^{-3}$ m/s, o que garante um eficaz funcionamento do sistema. Cria espaços pavimentados com um belo efeito estético, pois são várias as formas, textura e cores destas peças.

Outra questão também muito discutida é a utilização de resíduos na fabricação dos blocos intertravados de concreto, em substituição dos agregados naturais, porém para garantir que isso realmente é possível se faz necessário garantir que estes blocos tenham características compatíveis com os blocos fabricados com agregados naturais. Normalmente são analisadas as propriedades mecânicas e de absorção, porém os estudos precisam ser aprofundados na parte de aplicação do material desenvolvido em condições reais de uso. E no caso de pavimentos intertravados a capacidade de infiltração é um ponto importante a ser discutido.

O presente trabalho tem como objetivo conhecer a eficiência drenante de uma calçada protótipo construída na Passarela Central da Universidade Estadual de Maringá e executada com paver, sendo que parte dela foi executada com peças sem resíduos produzidos com resíduos da queima do bagaço da cana-de-açúcar e de pneu. A análise será feita através de ensaios de infiltração de acordo com a norma americana ASTM (American Society for Testing and Materials) C1701- Standard Test Method for Infiltration Rate of Place Pervious Concrete (ANSI - American National Standards Institute, 2009). Que descreve que o bloco por si só não é permeável, mas sim o sistema no qual está inserido, oferecendo juntas para infiltração.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Os materiais que serão utilizados no ensaio são, a Figura 01 mostra alguns deles:

- Cilindro de diâmetro interno de 300mm
- Massa de calafetar
- Recipiente graduado de 1L
- Balde
- Cronômetro
- Água.



Figura 01: Cilindro utilizado no ensaio

2.2 MÉTODOS

Uma das características dos pavimentos permeáveis é a perda da permeabilidade ao longo do tempo, seja pela acomodação do terreno ou pela selagem das juntas. Segundo Jabur (2013) um método indicado para a avaliação do coeficiente de permeabilidade de pavimento é o ensaio da ASTM C1701 (método de ensaio in situ para determinação de coeficientes de permeabilidade em concreto permeável). Em seu estudo Jabur(2013) analisou diferentes métodos de estudo de infiltração em pavimentos intertravados, pavimentos com blocos vazados e asfalto poroso, e o método da ASTM C1701 foi o que apresentou melhores condições de execução, sendo excelente para ser aplicado em pavimentos novos, o que seria o caso da calçada em questão.

O método consiste em utilizar um cilindro com diâmetro de 30 cm e altura mínima de 20 cm e posicioná-lo na superfície do pavimento. As bordas do cilindro devem ser vedadas com massa de calafetar de modo a evitar a perda de água, conforme Figura 02.



Figura 02: Dispositivo de Infiltração
Fonte: JABUR (2013)

Inicialmente o pavimento é pré-molhado, despejando-se 3,6 l de água no interior do cilindro, e então espera-se a água infiltrar. Isto é feito para que o solo seja saturado. Se o tempo da pré-molhagem for inferior a 30 s, utiliza-se 18 l de água no ensaio, ou novamente 3,6 l se o tempo de pré-molhagem for superior a 30 s. Desta forma, o ensaio será executado repetindo-se o procedimento anterior a fim de obter o tempo que a água irá levar para infiltrar totalmente no pavimento. Na pré-molhagem e durante o ensaio, o volume de água deve ser adicionado ao cilindro mantendo-se um fluxo constante e mantendo-se a altura de água dentro do cilindro entre 10 mm e 15 mm. O coeficiente de permeabilidade é obtido através da Lei de Darcy, segundo a equação abaixo:

$$I = \frac{K * M}{D^2 * t} \quad (09)$$

Onde:

I=Coeficiente de Infiltração (mm/h)

M=Massa de água infiltrada (kg)

D= Diâmetro interno do cilindro (mm)

t= Intervalo de tempo entre adição da água e seu desaparecimento na superfície

K=Constante= 4.583.666.000

As medições serão realizadas em pontos pré-determinados da calçada mensalmente, e comparados com os valores de permeabilidade descritos por Jabur (2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizado o teste de infiltração em ambos os trechos da calçada, de modo a configurar a capacidade de infiltração dos mesmos. Para identificar o grau de infiltração dos pavimentos, pois a Norma ASTM C1701 não apresenta valores para comparação resultados obtidos, considerou-se os coeficientes de permeabilidade dos solos (Terzagui; Peck, 1967, apud Sartori; 2013) constantes da Tabela 61 em comparação com os resultados dos ensaios.

Tabela 01: Valores típicos de coeficiente de permeabilidade do solo

Tipo de Solo	Concentração Coeficiente de permeabilidade K (m/s)	Concentração Grau de permeabilidade
Brita	>10 ⁻³	Alta



Encontro Internacional de Produção Científica

24 a 26 de outubro de 2017

ISBN 978-85-459-0773-2

Areia de brita, areia limpa, areia fina	10^{-3} a 10^{-5}	Média
Areia, areia suja e silte arenoso	10^{-5} a 10^{-7}	Baixa
Silte, silte argiloso	10^{-7} a 10^{-9}	Muito Baixa
Argila	$< 10^{-9}$	Praticamente Impermeável

Os testes de infiltração foram realizados em um ponto médio de cada um dos trechos da calçada, sempre no mesmo dia para garantir as mesmas condições climáticas e ambientais para cada um. A sequência de execução do ensaio está mostrada na Figura 62: foram utilizados balde, cilindro e recipiente graduado para a execução do ensaio (1); o cilindro recebeu massa de calafetar em todo seu perímetro para vedação da água (2); o cilindro foi instalado no ponto a ser feito o ensaio, a massa de calafetar foi regularizada interna e externamente (3); inicialmente foi realizada a pré-molhagem com 3,6 litros de água atentando-se para o tempo de infiltração (4); após a pré-molhagem foram lançados os 3,6 litros de água necessários para a execução do ensaio, cronometrando o tempo desde o início do ensaio até o completo escoamento da água no interior do cilindro.



Figura 02: Dispositivo de Infiltração

Os resultados dos testes de infiltração constam da Tabela 02.

Tabela 02: Resultados obtidos pelo teste de infiltração, ASTM C1701

Data	Horário	Local	Volume (l)	Tempo (s)	Infiltração (mm/h)	Infiltração (m/s)
12/03	9:00	REF	3,6	617	297,16	8,32E-5



08/04	9:15	CBC+PNEU	3,6	568	322,79	9,04E-5
		REF	3,6	672	272,84	7,64E-5
		CBC+PNEU	3,6	585	313,41	8,78E-5
07/05	9:05	REF	3,6	623	294,30	8,24E-5
		CBC+PNEU	3,6	302	304,56	8,53E-5
13/06	9:00	REF	3,6	743	246,77	6,91E-5
		CBC+PNEU	3,6	722	253,94	7,11E-5

Os resultados obtidos apresentaram valores superiores a 10^{-5} m/s, equivalente a areia de brita, areia limpa e areia, com isso os pavers apresentam um grau de permeabilidade média, o que é muito importante para este tipo de pavimento. Os resultados obtidos foram condizentes com os resultados de Jabur (2013), que adaptou o método ASTM de infiltração de pisos porosos para pavimentos intertravados.

Em relação à comparação dos dois tipos de pavers empregados na execução da calçada nota-se que não ocorreram grandes divergências entre os resultados, enquadrando-se na mesma condição de permeabilidade e capacidade de infiltração. Isto comprova que a substituição do agregado miúdo pelos resíduos propostos não influenciou nesta característica tão importante para pavimentos intertravados, podendo assim ser aplicado sem restrição.

4 CONCLUSÃO

A permeabilidade dos pavimentos pode contribuir de forma determinante na drenagem urbana, por este motivo o desenvolvimento de pavimentos e materiais que possam conferir uma maior taxa de infiltração é de extrema importância, e para garantir estas características devem ser executados testes que comprovem tal eficiência como o proposto no trabalho.

De acordo com os resultados apresentados e discutidos os testes realizados na calçada protótipo houve a comprovação da permeabilidade dos pavimentos construídos com blocos de concreto para pavimentação, sendo que a mesma pode ser comparada aos materiais naturais, como a areia, isto em termos práticos faz com que o pavimento possa ser aplicado em calçadas e praças, melhorando as condições de infiltração das cidades, colaborando para reduzir o número de alagamento de vias e para a percolação da água no solo.

Outro resultado interessante de ser ressaltado é que as taxas de infiltração não variaram com a utilização de resíduos na fabricação das peças. Esta informação permite afirmar que a utilização de resíduos é realmente viável na fabricação deste tipo de pavimento, não interferindo em suas propriedades mecânicas, como já pesquisado e mostrado por diferentes autores, e agora também comprovado, na capacidade de infiltração dos calçamentos executados com este material. Com isto podem ser elencadas várias contribuições deste material ao meio ambiente, como: a redução na extração de recursos naturais, a proposta de uma destinação adequada para os resíduos estudados e a redução de custos na fabricação das peças.

Os próximos passos da pesquisa é continuar a analisar as taxas de infiltração na calçada protótipo por mais algum tempo com a finalidade de estabelecer se a mesma é comprometida com o tempo, conforme afirmam alguns autores.

REFERÊNCIAS

ALTOÉ, S. P. S. **Estudo da potencialidade da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus inservíveis na confecção blocos de concreto para pavimentação.** 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – UEM. Maringá. 2013.



Encontro Internacional
de Produção Científica
24 a 26 de outubro de 2017

ISBN 978-85-459-0773-2

AMADEI, I. B. A. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do Município de Juranda/PR.** 153 f. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781. Peças de concreto para pavimentação- Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15953: Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução. Rio de Janeiro, 2011.

FIORITI, C.F.; AKASAKI, J.L.; NIRSHE, G.C. Estudo da viabilidade da produção de blocos estruturais de concreto com adição de resíduos de borracha. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 44, 2002. Belo Horizonte, Anais ... Belo Horizonte: Arte Interativa, 2002.

FIORITI, C. F. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneu como material alternativo. 202 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v. 32, n. 3, p. 237-244, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/6013>>. Acesso em 15 Jun. 2016.

CANHOLI, Aluísio Pardo, **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo-SP, 2005 p.21,22.

JABUR, Andrea Sartori, **Projeto de Pesquisa: MAPLU 2 - Manejo de Águas Pluviais em Meio Urbano - Técnicas Compensatórias,** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013

MARCHIONI, Mariana, SILVA, C.O., **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas** São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.

REVISTA PRISMA -**Pavimento intertravado: uma solução universal.** Disponível em: <http://www.revistaprisma.com.br/novosite/noticia.asp?cod=107>. Acesso em 02 de ago.2017.

_____. **Solução sustentável para combater enchente.** Disponível em: <http://www.revistaprisma.com.br/novosite/noticia.asp?cod=3080>. Acesso em 12 de jul. 2017.

SÃO PAULO (Prefeitura Municipal). Projeto de lei do município 01-0285/2010. **Dispõe sobre a obrigatoriedade do uso de pavimentação ecológica ou permeável nas vias internas dos condomínios verticais e horizontais, no Município de São Paulo e dá outras providências.** Disponível em: <http://camaramunicipalsp.qaplweb.com.br/iah/fulltext/projeto/PL0285-2010.pdf>. Acesso em 14 de ago. 2017.