

AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE PAVIMENTOS COM REVESTIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL

FERNANDO ALEXSANDER FERREIRA EVARISTO¹; JÚLIA CAMPREGHER CADORE²;
CAMILA GOSENHEIMER³; JOÃO VICTOR LUGARINI DA SILVA⁴; SILVIA SANTOS^{5*}.

¹Engenheiro Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, fernandoevaristosc@hotmail.com;

²Graduanda em Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, cadoreju@hotmail.com;

³Graduanda em Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, camilagosenheimer@hotmail.com;

⁴Graduando em Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, joao.lugarini@hotmail.com;

⁵Dra. Professora Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, ssantos@univali.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

RESUMO: Motivado pelo histórico de inundações decorrentes da impermeabilização do solo, a utilização de pavimentos de concreto permeável é uma solução utilizada internacionalmente. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo estudar e apresentar o comportamento do concreto permeável a fim de expandir o uso dessa técnica no país. Por meio de simulações de uma mesma chuva foram ensaiados 5 traços de concreto permeável, sendo um o traço referência e outros quatro com substituição parcial do agregado graúdo por agregado miúdo nos teores de 5%, 10%, 15% e 20%. O coeficiente de permeabilidade dos concretos em laboratório atingiu valores 30 vezes maiores do que o mínimo exigido pela NBR 16416:2015, norma que regula essa técnica, que é de $1,0 \times 10^{-3}$ m/s. Quanto à simulação do pavimento (protótipo) em laboratório, que foi comparado com o sistema de pavimento intertravado, o volume total drenado pelo concreto permeável atingiu valores 89,7% maiores. Além disso, o concreto permeável apresentou maior vazão do volume de água, demonstrando ser uma solução extremamente eficiente na redução dos problemas causados pela impermeabilização do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto permeável. Concretos especiais. Permeabilidade.

EVALUATION OF PERMEABILITY OF PAVEMENTS WITH PERVIOUS CONCRETE COATING

ABSTRACT: Motivated by the history of flooding due to waterproofing of the soil and the use of permeable concrete pavements to reduce these problems in the international scenario, this work aims to study and present the behavior of permeable concrete in order to expand the use of this technique in the country. By means of simulations of the same rain 5 traces of permeable concrete were tested, one the reference trace and other four with replacement of the coarse aggregate by fine aggregate in 5%, 10%, 15% and 20%. The permeability coefficient of concrete in the laboratory reached 30 times higher than the minimum required by NBR 16416:2015 (Standard that regulates this technique), which is 1.0×10^{-3} m/s. As for the simulation of the permeable pavements made in the prototype created in laboratory the total volume drained by the pervious concrete was higher, reaching values 89.7% higher than the interlocked pavement system, tested for comparison. In addition, the permeable concrete presented a higher flow rate of the water, proving to be an extremely efficient solution in the reduction of the problems caused by the waterproofing of the soil.

KEYWORDS: Pervious concrete. Permeability. Sustainability

INTRODUÇÃO

Os problemas relacionados à inundações e enchentes não são novidade, e afetam, historicamente, diversas regiões. Podem ocorrer pela ocupação indevida de várzeas ou pelos efeitos colaterais das grandes cidades, como a impermeabilização do solo. Canholi (2005, p. 21) enfatiza que: “Historicamente, os engenheiros responsáveis pela drenagem urbana tentaram solucionar o problema

da perda do armazenamento natural, provocando o aumento da velocidade dos escoamentos com obras de canalização”. No entanto, como o mesmo autor conclui, isso apenas transfere o problema a jusante, já que a redução do tempo de concentração aumenta o pico da vazão.

O solo, naturalmente, age como retardador das precipitações, fazendo com que o volume gerado seja levado gradativamente até os rios ou componha parte dos lençóis freáticos. A impermeabilização de grande parte das cidades inviabiliza a sua capacidade de diminuir o pico de cheias por meio desse efeito retardador, sendo necessários outros sistemas e obras como os piscinões e as galerias que passam a atender a este propósito.

Uma das soluções pouco utilizadas no Brasil no que tange a inundações é o uso do pavimento permeável, que permite a infiltração da água no solo, permitindo assim, que a mesma seja levada gradativamente até os rios ou reabasteça o lençol freático. Em muitas cidades é comum que o plano diretor exija uma área mínima permeável, que muitas vezes deixa de ser utilizada e que normalmente compõe as mesmas áreas verdes. Contudo, em grandes cidades, onde toda a flora nativa já foi removida, o cumprimento deste requisito é dificultado, sendo muitas vezes negligenciado. A utilização do pavimento permeável, além de suprir essa demanda, permite a utilização do espaço fazendo com que o proprietário possa otimizar o uso da área disponível sem deixar de cumprir a legislação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Como traço referência foi escolhido o traço 1:4 (cimento: agregado graúdo) e relação água/cimento 0,35. Levando em consideração que a substituição do agregado graúdo por agregado miúdo em pequenas quantidades proporciona um aumento de resistência ao custo de uma pequena perda na permeabilidade, foram elaborados quatro traços com substituição em massa do agregado graúdo por agregado miúdo nos teores de 5%, 10%, 15% e 20%. Os materiais utilizados para a produção do concreto foram:

- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
- Areia média de rio como agregado miúdo e brita 0 como agregado graúdo. Os materiais foram caracterizados de acordo com a NBR 7211:2009 (Tabela 1), onde a areia média ficou classificada na zona utilizável e a brita 0 não se enquadrou em nenhum dos limites.
- Aditivo superplastificante ADVA™ CAST 525 quando necessário, cuja dosagem, indicada pelo fabricante é de 0,15 a 0,8% sobre a massa de cimento

Tabela 1 – Propriedades dos agregados

Agregado miúdo		Agregado graúdo	
Módulo de Finura	2,61	Módulo de Finura	6,30
Diâmetro máximo (mm)	4,80	Diâmetro máximo (mm)	Entre 12,5 e 19,0
Massa Específica (g/cm ³)	2,60	Massa Específica (g/cm ³)	2,67
Massa Unitária (g/cm ³)	1,48	Massa Unitária (g/cm ³)	1,48
Classificação NBR	Zona utilizável.	Índice de vazios	46%

No processo de produção, inicialmente adicionava-se à betoneira todo o agregado graúdo e aproximadamente um terço da água do traço. Para garantir que toda a brita fosse umedecida, a betoneira era ligada por alguns segundos. Em seguida, eram acrescentados à mistura o cimento e o agregado miúdo, ligava-se novamente a betoneira e acrescentava-se o restante da água gradativamente. Ao fim do processo, realizava-se inspeção tátil e visual para verificar a homogeneidade da mistura, a existência de aglomerados, se as partículas de agregado graúdo estavam completamente cobertas pela argamassa e se a mistura apresentava o brilho metálico que deve apresentar quando o concreto é corretamente dosado. Caso a mistura não apresentasse essas características ou a consistência não fosse a esperada, adicionava-se o aditivo e realizava-se a inspeção e a avaliação novamente. Essa etapa foi repetida até que a mistura apresentasse as características desejadas.

Utilizando chapas circulares colocadas dentro de um anel de aço e carga equivalente de 61,15 kg/m, confeccionou-se um rolo para compactação do concreto com dimensões ligeiramente menores que a largura da forma, conforme indicado por CRMCA (2003) apud Batezini (2013). Na etapa de moldagem, o concreto era adicionado em duas etapas, até preencher pouco mais que a metade da forma, realizando uma passagem do rolo compactador no trecho longitudinal. Após a primeira

compactação, adicionava-se novamente o material até exceder a borda superior da forma e efetuava-se a passagem do rolo longitudinal e transversalmente três vezes, nivelando o concreto com a borda superior da forma. Por fim os concretos foram armazenados para o processo de cura.

Por meio de um protótipo disponível em laboratório foi simulado a ocorrência de uma mesma chuva. O protótipo foi adaptado a fim de garantir que os concretos fossem submetidos, da forma mais real possível, a um evento de precipitação. Contudo, vale ressaltar que a precipitação bem como a colmatação são eventos de distribuição irregular. Os ensaios de permeabilidade também foram realizados com peças pré-moldadas de concreto, para análise de eficiência do pavimento.

O ensaio foi realizado em uma caixa de drenagem bipartida desenvolvida por Tambosetti (2003). A estrutura é composta por dois compartimentos de 0,40 m de largura, 0,70 m de altura e 1,0 m de comprimento. Na frente de cada compartimento, a uma altura de 10 cm, foi inserido um tubo de PVC de 10 cm de diâmetro com inclinação de 1%, revestido com filtro para evitar que os resíduos fossem carregados. O tubo foi perfurado para agir como dreno coletor do sistema e a água recolhida era armazenada no reservatório inferior. A Figura 1 apresenta o protótipo utilizado.

Figura 1 - Caixa de drenagem bipartida



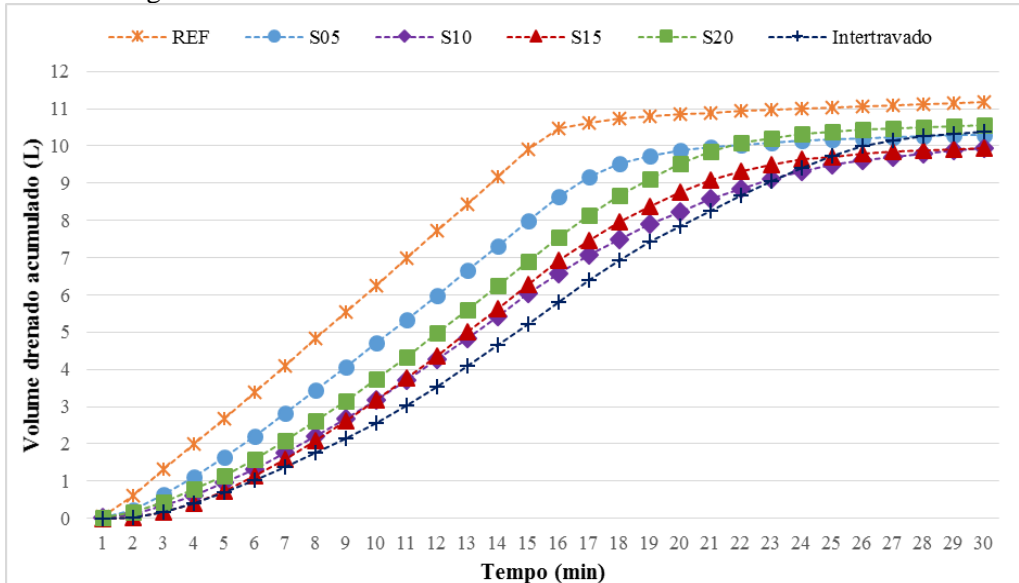
A chuva foi simulada por meio de um sistema de tubos de PVC perfurados com diâmetro de 2,5 cm, considerando-se uma chuva de intensidade 162,6 mm/h e duração de 15 minutos. O valor foi adotado com base nos dados de precipitação do município de Itajaí – SC, considerando-se os trabalhos de Nerilo (1999) e Araújo et al. (2009). A chuva simulada tem um TR (tempo de recorrência) de 10 anos e também foi utilizada para dimensionamento das camadas do pavimento conforme descrito na NBR 16416:2015.

Para realização do ensaio de permeabilidade, primeiramente o sistema de pavimento presente no compartimento era saturado, para garantir que nenhum sistema tenha seu resultado prejudicado devido a sua saturação. O ensaio era realizado ligando-se o simulador de chuvas por 15 minutos e pesando-se o volume drenado com o auxílio de dois béqueres de peso conhecido. Com auxílio de um cronômetro, a cada minuto o béquer que recolhia a água drenada era substituído, pesado e esvaziado para ser utilizado novamente. Ao chegar aos 15 minutos de ensaio o simulador era fechado e continuava-se a pesar o volume drenado por minuto até que a vazão no tubo PVC começasse a gotejar e o volume drenado fosse considerado inexpressivo. O término do primeiro ensaio se deu quando o volume drenado foi considerado pouco expressivo, e nos demais ensaios no mesmo tempo final, para que se mantivesse o mesmo número de dados coletados. Os principais valores analisados neste ensaio foram o volume drenado acumulado e a vazão do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se o volume total drenado de todos os sistemas (Figura 2), foi possível notar que os pavimentos feitos com concreto permeável drenaram mais rapidamente o volume precipitado se comparados ao pavimento intertravado. Nota-se uma variação entre os volumes totais, entende-se que a diferença no volume final está associada a uma “perda de água” durante a realização do ensaio, que pode ter sido ocasionada por imprecisões na medida e na absorção da camada de assentamento no processo de saturação.

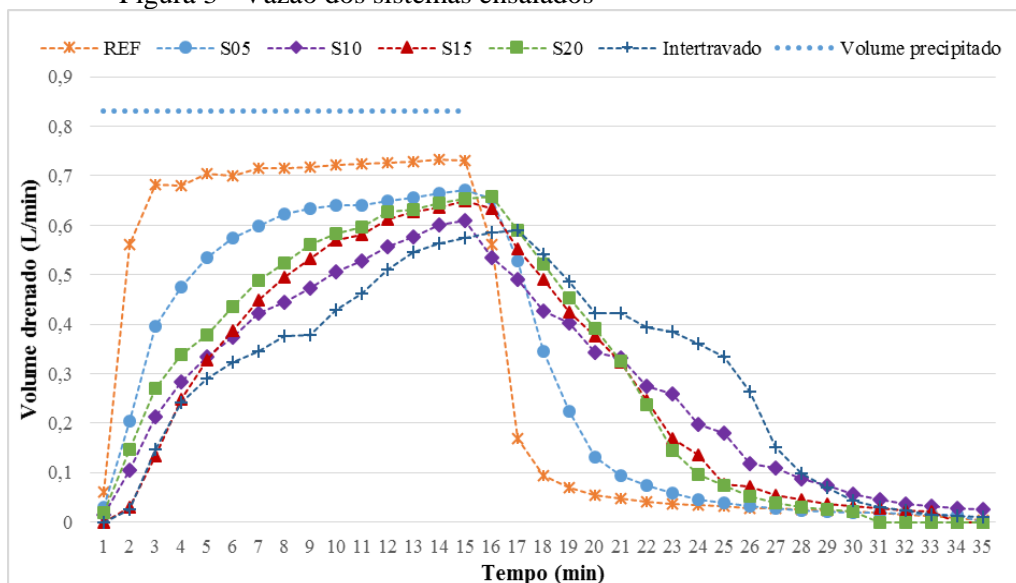
Figura 2 - Volume drenado acumulado dos sistemas ensaiados



Os concretos com teores de substituição de 10%, 15% e 20% não apresentaram o comportamento esperado quando comparados entre si, redução do volume com o aumento do teor de agregado miúdo, o que pode ter sido ocasionado pela distribuição irregular dos vazios comunicantes. Com base nisso, entende-se que o ensaio de permeabilidade no protótipo conseguiu representar melhor o desempenho do sistema em campo, onde os concretos permeáveis demonstraram ser mais eficazes.

Comparando-se o comportamento da vazão drenada por minuto em cada traço (Figura 3), é possível notar que, de modo geral, os pavimentos com concreto permeável apresentaram tempo de início de escoamento e de escoamento residual mais cedo do que o pavimento de concreto intertravado. Isso significa que, na prática, o concreto permeável consegue responder mais rapidamente ao escoamento das chuvas, permitindo que boa parte do volume precipitado infiltre antes que ocorra o acúmulo na superfície do pavimento.

Figura 3 - Vazão dos sistemas ensaiados



À medida que o teor de substituição aumentava, notou-se que esses tempos, de início de escoamento e escoamento residual, tendem a aumentar, já que a diminuição do volume de vazios dificulta a infiltração da água. Além de tornar mais tardias essas fases, notou-se também uma diminuição na vazão máxima alcançada nos pavimentos. É possível observar por meio dos resultados,

que as placas de concreto permeável possuem tempo de reação melhor quanto ao início do escoamento, em que o concreto referência apresentou o melhor tempo. Ao término da chuva, o retardo do pico nas placas também se apresentou menor, já que grande parte do volume já havia sido infiltrado. Assim, a resposta no valor da vazão após cessada a chuva foi mais rápida, o que resultou em menor tempo até o escoamento residual. O tempo de pico no concreto referência e no concreto com 5% de substituição ocorreu antes dos demais, tiveram como tempo de pico o tempo em que ocorreu a máxima vazão (15 min). A tendência é de que esses resultados sejam melhores com o aumento do volume precipitado.

CONCLUSÕES

O comportamento apresentado nos ensaios aproximou-se do hidrograma típico de áreas urbanizadas, que possuem pico mais acentuado e tempo de drenagem menor. Na prática, o sistema teve desempenho tão bom quanto o sistema de drenagem por tubulações. No entanto, a principal diferença entre eles se dá pelo fato de que, no pavimento com placas de concreto permeável, o volume drenado infiltra no solo e volta a compor o lençol freático. O volume em excesso fica retido na camada granular até que o solo seja capaz de infiltrar toda a água, tendo efeito semelhante às obras utilizadas para retenção, porém, em menor volume e sendo distribuído em todo o pavimento. A aplicação em larga escala dessa técnica recuperaria boa parte da capacidade de infiltração do solo, além de mitigar o impacto do volume escoado na vazão dos rios, reduzindo os problemas de inundações a jusante.

O coeficiente de permeabilidade apresentado pelos concretos atingiu valores 30 vezes maiores do que o mínimo exigido pela NBR 16416:2015, que é de $1,0 \times 10^{-3}$ m/s. Apesar de o índice de vazios afetar diretamente a permeabilidade, não foram observadas grandes mudanças no ensaio de coeficiente de permeabilidade. Como explicado anteriormente, a quantidade de agregado miúdo utilizada não foi suficiente para afetar de forma significativa a quantidade de vazios comunicantes.

Já nos ensaios de permeabilidade realizados no protótipo, foi possível notar a redução do desempenho do concreto permeável devido à incorporação da areia na mistura. Entende-se que estes resultados representam melhor o comportamento do concreto permeável na prática, visto que as demais camadas do pavimento influenciam a quantidade de água que o pavimento é capaz de drenar. Dessa forma, é necessário considerar a permeabilidade dos outros materiais, caso contrário, a alta permeabilidade do concreto permeável será limitada pelas demais camadas. Contudo, conclui-se ao final desta pesquisa que o concreto permeável se apresentou como uma solução extremamente eficiente para a diminuição dos problemas causados pela impermeabilização das áreas urbanas.

REFERÊNCIAS

- Araújo, S. A. et al. Climatologia do ecossistema Saco da Fazenda, Itajaí, SC. In: Branco, O. B. et al. Estuário do Rio Itajaí-Açu, Santa Catarina: caracterização ambiental e alterações antrópicas. Itajaí: Editora UNIVALI, 2009. Cap.3,p.43-62.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416. Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.
- Batezini, R. Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. São Paulo: EPUSP, 2013. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)
- Canholi, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 384p.
- Nerilo, N. Pluviometria e chuvas intensas no estado de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC,1999. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).
- GRACE BRASIL LTDA. ADVA™ CAST 525 Superplastificante para concreto pré-moldado. Disponível em:<http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/grace/adva_cast525.pdf>. Acesso em: 7 out. 2016.
- Tambosetti, E. S. V. Avaliação de sistemas de drenagem através de simulações de chuva em um modelo reduzido de laboratório. Itajaí: UNIVALI, 2003. 147f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil)