

Aplicação da nanotecnologia aos pavimentos permeáveis: Uma solução tecnológica visando a eficiência econômica e o desenvolvimento sustentável das regiões que sofrem com os alagamentos

Luiz Fernando de Lima¹

Resumo

Os alagamentos a cada dia têm se tornado situações cotidianas de pessoas que vivem em áreas urbanizadas. A falta de um bom planejamento urbano permite o aparecimento desse problema, tendo com uma das principais causas a impermeabilização do solo que impede a infiltração da água da chuva no solo, causando um pico de vazão da água não infiltrada, o que por sua vez gera o escoamento superficial intenso causando os alagamentos. Os meios tradicionais de escoamento artificial são deficientes e ainda não foi concebido um sistema de drenagem viável que suporte um volume de água maior que o nível previsto para uma máxima pluviométrica. Nesse contexto, surgem, como uma possível solução, os pavimentos permeáveis, dispositivos dotados de estrutura permeável que facilitam a infiltração da água no solo, diminuindo a vazão para os sistemas de drenagem. A aplicação deste, porém, é limitada a locais sem grande acesso de pessoas, o que inviabiliza o objetivo de sua principal função que é retardar o tempo de alagamento em grandes centros urbanos. Para isso, esse trabalho pesquisa a aplicação de Nanotubos de Carbono ao concreto poroso buscando aumentar a resistência mecânica do pavimento permeável e viabilizar condições para sua aplicação em escala.

Palavras-chave: Alagamentos; Pavimento Permeável; Concreto Poroso; Nanotecnologia; Nanotubo de Carbono.

Abstract:

The flooding, every day have become everyday situations of people living in urbanized areas. The lack of a good urban planning allows the appearance of this problem, with taking one of the main causes soil sealing, which prevents the infiltration of rainwater into the ground, causing a peak flow of non-infiltrated water, which in turn generates intense runoff causing flooding. Traditional means of artificial drainage are deficient and has not yet designed a workable drainage system that supports a volume of water greater than the expected level for a maximum rainfall. In this context emerged as a possible solution, permeable pavements, devices equipped with permeable structure that facilitate water infiltration into the soil, reducing the flow to drainage systems, their application, but is limited to places with little access to people, which prevents the object of their main function is to slow the flooding of time in large urban centers. For this reason, the research works the application of Carbon Nanotubes porous concrete seeking to increase the mechanical strength of the permeable paving and enabling conditions for its application range.

Keywords: Flooding; Permeable pavement; Porous concrete; nanotechnology; Carbon Nanotube.

¹ Bolsista de Iniciação Tecnológica pelo Centro Universitário Salesiano de São Paulo – Campus Lorena: Rua Dom Bosco, 284, Centro Lorena SP (12) 3159-2033: fernandotrompete0609@gmail.com

INTRODUÇÃO

Com o atual mundo em desenvolvimento, problemas causados pela concentração populacional em grandes cidades levam, cada vez mais, ao aumento de áreas urbanas impermeáveis, justaposto a conseqüente interferência humana no ciclo hidrológico.

Como resultado, o aumento de alagamentos tem provocado a degradação proeminente da qualidade das águas, o aumento dos vetores patogênicos de transmissão de doenças e poluição, bem como prejuízos econômicos a toda população.

Isso tem obrigado à adoção de medidas que busquem a eliminação dos efeitos produzidos pelas chuvas intensas. Soluções criadas como redes de drenagem são incapazes de resolver todo o problema, pois visam apenas transferir a água de um ponto para outro.

A utilização de dispositivos que possibilitem a infiltração aumentando o tempo de retardo de escoamento superficial já se faz presente na literatura; o uso de pavimento permeável é dito como uma das principais soluções para o problema.

Contudo o seu uso não se aplica para grandes centros urbanos com grande quantidade de tráfego, isso se dá pela elevada quantidade de poros na estrutura do concreto poroso, uma vez que a vida de fadiga do concreto permeável diminui com o aumento da quantidade de poros ou vazios na estrutura. (KLAIBER E LEE, 1982).

Entretanto, uma solução racional para a eficiência desse dispositivo de infiltração em locais com grandes concentrações populacionais é a incorporação de materiais que ao serem adicionados à mistura do concreto poroso apresentam maior resistência à fadiga quando comparadas as misturas sem adições.

Para tal solução, a aplicação de NTCs ao concreto poroso é uma solução que aparenta ser viável do ponto de vista técnico, uma vez que, os NTCs podem desempenhar papel parecido com o dos cabos de aço, atuando como elemento de protensão do concreto em escala nanoscópica. (LADEIRA, 2009)

Com isso, este trabalho estuda o efeito da adição dos NTCs ao concreto poroso, analisando as propriedades mecânicas desse importante instrumento de infiltração.

1. URBANIZAÇÃO E DRENAGEM

Enquanto inundações e enchentes são problemas naturais que acontecem há milhares de anos, como no caso do rio Nilo e outras grandes bacias hidrográficas, os alagamentos são problemas causados pela urbanização descontrolada. São acúmulos momentâneos de água em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem provocados por chuvas intensas em áreas total ou parcialmente impermeabilizadas.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na frequência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água. (TUCCI, 1993)

A afirmação de Tucci se justifica, porque o resultado de uma urbanização não planejada ou mal planejada resulta na impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, entre outros.

Com a impermeabilização a água que infiltrava no solo passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava, lentamente, pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

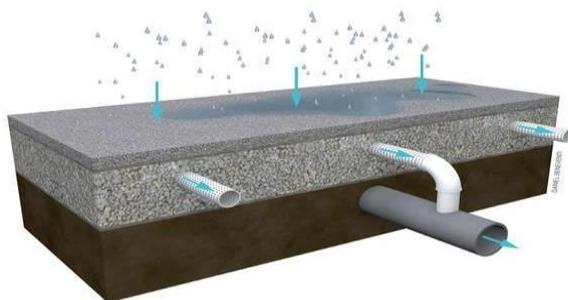
O mais preocupante é que o escoamento de águas pluviais sempre ocorrerá independentemente de existir ou não sistema de drenagem adequado. A qualidade desse sistema é que determinará se os benefícios ou prejuízos à população serão maiores ou menores. (SMDU, 2012)

Segundo a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano da cidade de São Paulo (SMDU, 2012, p.16), “quando o sistema de drenagem não é considerado desde o início da formulação do planejamento urbano, é bastante provável que esse sistema, ao ser projetado, revele-se ao mesmo tempo de alto custo e ineficiente. ”

1.1. Pavimento permeável

O pavimento permeável é uma estrutura que contribui para a redução do escoamento superficial, uma vez que, é dotado de uma estrutura porosa que permite a infiltração da água no solo, o que provoca o amortecimento de vazões e conseqüente redução na probabilidade de eventos como os alagamentos urbanos.

O pavimento permeável beneficia os processos hidrológicos que são alterados durante a urbanização, uma vez que criam artificialmente as condições que a água da chuva encontraria em uma área não urbanizada, com o solo impermeabilizado.



Fonte: Revista Infraestrutura Urbana 13 (abril/2012)
Figura 1: Detalhe Ilustrativo da Pavimentação de Concreto Poroso

As vantagens para a utilização do concreto poroso como pavimento permeável varia desde o retardamento do escoamento superficial reduzindo a probabilidade de alagamentos, a minimização do efeito da hidroplanagem.

Entretanto, o maior fator que impede a utilização desse tipo de pavimento permeável é a sua função estrutural, uma vez que quanto maior a permeabilidade do concreto (necessária para o escoamento das águas) menor a resistência mecânica do pavimento, que justifica a importância de se estudar métodos que melhorem as propriedades mecânicas do concreto poroso sem influenciar nas propriedades de condutividade hidráulica.

1.2. Nanotecnologia aplicada ao concreto

A nanotecnologia vem proporcionando a melhoria de diversos materiais utilizados no cotidiano. A nanotecnologia fundamenta-se na ideia de que as propriedades das substâncias mudam quando reduzidas a escalas muito pequenas. Garcia diz que:

Em escala nanométrica (10^{-9} m), os materiais invariavelmente, apresentam comportamento muito distinto de suas conhecidas propriedades físicas e químicas em escalas maiores principalmente no que tange à sua reatividade química, resistência mecânica e comportamento sob ação da luz. (GARCIA, 2011, p.13)

Segundo o mesmo autor, propriedades como resistência mecânica, ópticas e magnéticas são influenciadas quando reduzidas o tamanho de materiais para escala nanométrica.

Dentre as nanopartículas mais utilizadas para estudo estão os Nanotubos de Carbono (NTCs) e a Nanosílica, a aplicação desses nanomateriais a compostos cimentícios vem demonstrando que as propriedades mecânicas em argamassas de cimento referentes à resistência a compressão vêm aumentando significativamente (MARCONDES, 2012)

De acordo com Li et al. (2004) esse aumento da resistência é explicado por três fatores:

-Quando uma pequena quantidade de nanopartículas é uniformemente dispersa na pasta de cimento, as nanopartículas agem como uma ponte de ligação forte ao cimento hidratado e, também, contribui para a hidratação do cimento devido a sua alta atividade, o que é favorável para a resistência mecânica;

- As nanopartículas presentes entre os produtos hidratados irão impedir o crescimento de alguns cristais, como o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de cálcio), o que favorece a resistência mecânica;

- As nanopartículas preenchem os poros da pasta de cimento, tornando-a mais densa e aumentando a resistência, de modo similar ao efeito da sílica ativa.

Segundo MAKAR et al. (2005) acredita-se que a aplicação de nanotubos de carbono ao cimento proporcione uma maior resistência a este, uma vez que quando adicionando em proporções corretas os NTC's ao concreto são criadas pontes de aderência que influenciam no controle da fissuração conforme a imagem a seguir:

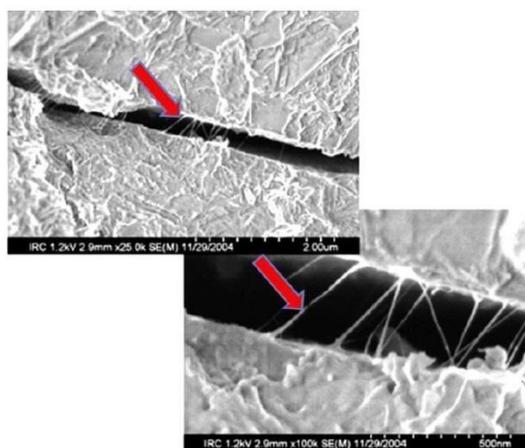


Figura 2: Micro fissura na pasta de cimento com a presença dos NTCs agindo como pontes de aderência. Fonte: Makar *et al.* (2005)

1.3. Nanotubos de Carbono

Os nanotubos de carbono (NTCs) são cilindros formados por átomos de carbono com aproximadamente 3 nanômetros de diâmetro por 1000 nanômetros de comprimento. Eles surgiram a partir de pesquisas realizadas pelo físico japonês Sumio Iijima no início da década de 90.

Segundo MARCONDES (2012) os NTCs são formados apenas por elementos de carbono em um arranjo hexagonal, os quais se enrolam em forma de cilindro. Para o Centro de Informações de Tecnologia Nuclear (CDTN) a ligação carbono-carbono é a mais forte encontrada na natureza.

Para CHAIPANICH et al. (2010) a estrutura dos nanotubos de carbono possui uma resistência muito alta que na teoria é cerca de 100 vezes maior que a do aço e sete vezes mais leve.

A forma de como o Nanotubo de Carbono é estruturado diz muito sobre suas propriedades. Segundo LI et al. (2005) os NTCs podem ser condutores metálicos ou semicondutores dependendo de sua estrutura.

Marcondes (2012) diz que:

Há vários modos de ligação dos átomos de carbono para a formação dos nanotubos de carbono e é essa forma de ligação a responsável pelo desempenho do material e, conseqüentemente, pela melhoria em suas propriedades. Sob o ponto de vista da geometria, propriedades importantes dos NTCs são determinadas pelo seu diâmetro e pela sua quiralidade, ou seja, pela forma como os hexágonos de átomos se orientam em relação ao eixo do tubo. (MARCONDES, 2012, p.38)

Segundo ZARBIN (2007), existem duas formas estruturais para o nanotubo de carbono: os de parede simples (com uma única folha de grafeno enrolada sob si para formar um tubo cilíndrico) e os de paredes múltiplas (com várias folhas de grafeno enroladas em forma de tubo).

Atualmente, os métodos para sintetizar os nanotubos de carbono são pela pirólise de eletrodo de grafite em atmosfera controlada de hélio (método de arco de corrente), pelo método de deposição de vapor químico (Chemical Vapour Deposition – CVD), pela decomposição do monóxido de carbono em altas pressões e altas temperaturas (HiPCO - High Pressure CO conversion) e pelo método de ablação a laser.

2. APRESENTAÇÃO DOS OBJETIVOS E NORMAS TÉCNICAS

Atualmente, no contexto bibliográfico brasileiro pouco se desenvolveu em relação à utilização do concreto permeável pesquisas que abordassem as propriedades desses importantes instrumentos de infiltração quando modificados alguns de seus principais constituintes.

Acredita-se que quando modificado a forma de produção desse dispositivo de infiltração muitas vantagens de cunho econômico e social são geradas aos seus usuários.

Assim, devido à falta de pesquisas em nível nacional que considerem o efeito que a incorporação de novos materiais possa gerar ao concreto poroso, esse trabalho tem como objetivo geral investigar através de levantamentos bibliográficos a possível viabilidade da aplicação de Nanotubos de Carbono ao concreto poroso e preparar tecnicamente uma literatura base para futuros trabalhos práticos.

Este trabalho baseou-se na pesquisa bibliográfica, realizando levantamento de literatura necessário à fundamentação teórica do estudo, como é habitual em investigações científicas.

A partir de uma extensa revisão bibliográfica e de informações já existentes, após identificar a viabilidade da aplicação dos Nanotubos de Carbono ao concreto poroso, preparou-se baseado através de documentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) um programa experimental (impossível de ser resumido nesse documento devido a quantidade paginas existentes) para auxiliar futuramente pesquisas práticas em laboratório.

O programa experimental que consiste desde a escolha e análise do material até testes mecânicos e hidráulicos baseou-se nas seguintes normas técnicas:

- NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova - Procedimento
- NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação.
- NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio.
- NBR 7583: Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico.
- NBR 10786: Concreto endurecido - Determinação do coeficiente de permeabilidade à água – Método de ensaio.

Assim, prospectou-se um sistema conceitual a partir da aplicação de nanotubos de carbono

aos pavimentos permeáveis que servisse como um dispositivo de infiltração eficiente em locais com tráfego pesado, visando uma eficiência técnica desse dispositivo de infiltração.

3. RESULTADOS E CONCLUSÃO

Após a análise da literatura e baseado nas afirmações de MARCONDES (2012), concluiu-se que a aplicação do nanotubo de carbono ao concreto poroso é uma solução viável para a aplicação em grande escala do pavimento permeável. Devido ao seu tamanho minúsculo, tais partículas contribuem para o preenchimento de vazios e poros da pasta de cimento tornando-a mais densa e conseqüentemente, aumentando a resistência mecânica do concreto poroso.

Segundo MARCONDES (2012), a dispersão uniforme de uma pequena quantidade de nanopartículas a pasta de cimento, faz com que pontes de ligações fortes sejam relacionadas ao cimento hidratado, contribuindo para a hidratação do cimento e impedindo o crescimento de alguns cristais na pasta cimentícia, favorecendo a resistência mecânica.

Embora não seja utilizado em grande escala devido ao seu elevado custo, o uso dos NTCs pode ser uma possível solução eficaz para favorecer a aplicação do pavimento permeável em grandes centros urbanos. Isso porque já existe a possibilidade da síntese dos NTCs durante a própria fabricação do clínquer (cimento), que aumenta as chances futuramente da aplicação dessa tecnologia ao concreto poroso por um preço acessível.

A partir das informações levantadas até agora, espera-se que em futuras fases experimentais de pesquisas com a aplicação dos NTCs ao concreto poroso constata-se um aumento nas propriedades mecânicas do concreto poroso, especialmente na resistência a tração na flexão e por compressão diametral.

Acredita-se que o coeficiente de permeabilidade do pavimento continue contínuo e permita que a água infiltre em sua superfície e diminua o escoamento superficial da água reduzindo as chances de alagamento em grandes centros urbanos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova - Procedimento**. Rio de Janeiro,

2003.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 7583: Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico.** Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 10786: Concreto endurecido - Determinação do coeficiente de permeabilidade à água – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1989.

CHAIPANICH, A. *et al.* **Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes–fly ash cement composites.** *Materials Science and Engineering: A*, v. 527, p. 1063–1067, 2010.

GARCIA, Marcus Vinicius Dias. **Síntese, caracterização e estabilização de nanopartículas de prata para aplicações bactericidas em têxteis.** 2011 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas, São Paulo 2011.

KLAIBER, F.W.; LEE, D. Y. **The Effects of Air Content, Water-Cement Ratio and Aggregate Type on the Flexural Fatigue Strength of Plain Concrete.** ACI SP-75, American Concrete Institute, Farmington Hills, p. 142-148, 1982.

LADEIRA, L. O. *et al.* **Process for the Continuous, Large-Scale Synthesis of Carbon Nanotubes on Cement Clinker, and Nanostructured Products.** WO/2009/132407 - PCT/BR2009/000119, 30/04/2009.

MARCONDES, Carlos Gustavo Nastari. **Adição de nanotubos de carbono em concretos de Cimento portland – absorção, permeabilidade, Penetração de cloretos e propriedades mecânicas.** 2012 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia. Curitiba, Paraná 2012.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. SMDU. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana.** São Paulo, 2012.

Science Direct Composites, [Local], p. 185-189, 2004.

TUCCI, C.E.M., 1993. **Controle de Enchentes, in: Tucci, C. (org). Hidrologia ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH cap 16, p621-658.: 952p.

ZARBIN, A. J. G. **Química de nano materiais. Quim. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 6, p. 1469-1479, 2007.