

## **ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO EM CIMENTO PORTLAND**

Wandercleiton da Silva Cardoso<sup>1</sup>; Arthur Eduardo Moreira<sup>2</sup>; Marco Antônio Valli<sup>2</sup>; João Pinto<sup>2</sup>; Vitor Toniato campana<sup>2</sup>

1. Mestre em engenharia de materiais e metalurgia pelo Instituto Federal do Espírito Santo, docente na Faculdade Multivix.

2. Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Multivix.

### **RESUMO**

Esta pesquisa está fundamentada no estudo do concreto como condutor elétrico como alternativa tecnológica em aquecimento de edifícios e instalações de modo geral. Para tanto, foi investigado o desenvolvimento dessa tecnologia na última década, suas potencialidades, viabilidades técnicas e econômicas. Nesse contexto foram analisadas as propriedades elétricas do cimento e aplicação de corrente contínua em concreto. A condutividade elétrica do cimento é possível devido à inclusão de nanotubos de carbono durante sua fabricação. Foi realizada a compreensão desse processo, a partir de referências especializadas sobre o tema. Os nanotubos de carbono possuem arranjo hexagonal que se enrolam em forma cilíndrica são formados somente por elementos de carbono e são excelentes condutores elétricos. Esse material é amplamente utilizado nas áreas de eletrônica, tecnologia de materiais biológicos e compósitos multifuncionais. Percebe-se algumas barreiras na utilização desse material na indústria da construção devido ao elevado custo seguido pelo impacto ambiental. No futuro os resíduos da construção civil com nanotubos de carbono devem ter um processo de reciclagem apropriado a fim de evitar contaminação desse resíduo com outros materiais e o ar atmosférico. Também se discute as suas consequências para a saúde, devido à possibilidade desses materiais serem absorvidos pelo organismo. Entretanto, à medida que os estudos forem avançando esses questionamentos serão esclarecidos. No momento podemos afirmar que os testes realizados em obras de engenharia civil apresentaram aumento de durabilidade da edificação. Em suma essa tecnologia pretende inovar a engenharia do futuro: essa é a expectativa para o cimento com nanotubos de carbono.

Palavras-chave: Corrente. Concreto. Cimento. Condutor. Elétrico. Nanotubos. Carbono.

### **ABSTRACT**

This study is about the concrete electrical conductor as a technological alternative for heating buildings and general facilities. It has researched the development of this technology in the last decade, its potential, technical and economic viability. In this context they were analyzed the electrical properties of cement and current application continues in cement. The electrical conductivity of cement is possible because of the addition of carbon nanotubes during your manufacturing. It was possible to understand this new technology from specialized references on the subject. The carbon nanotubes have cylindrical hexagonal array and are formed by carbon elements that are excellent electrical conductors. This material are widely used in electronics, biological materials technology and multifunctional composites. There are some barriers to the use of this material in the civil engineering industry because of the high cost and environmental impact. In future, the civil construction residues with carbon nanotubes need to have an appropriate recycling process as these residues can contaminate other materials and the atmosphere, as there is the possibility that these materials are absorbed by the human body. However, as the studies were advancing these questions will be clarified. At the moment we can confirm that the tests in civil engineering works increased by durability of the building. In sum this technology plans to innovate the future engineering: this is the expectation for cement with carbon nanotubes.

**KEYWORDS:** Current. Concrete. Cement. Electrical. Conductor. Carbon. Nanotubes.

## **INTRODUÇÃO**

Atualmente o cimento é um mau condutor de elétrico, mas essa característica está sendo modificada e esse material poderá ter outras aplicações além da função estrutural. A pesquisa do cimento como condutor elétrico é inovadora, pois atende aos critérios contemporâneos de sustentabilidade promovendo a resolução de problemas, como formação de gelo em edifícios e estradas através do aquecimento. Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho é avaliar as etapas de desenvolvimento do cimento condutor e aplicação dessa tecnologia na engenharia. (PÉREZ, CLIMENT, GARCÉS, 2010)

Essa nova tecnologia poderá ser usada, por exemplo, para aquecer edificações ou evitar a formação de gelo em infraestruturas como ruas, estradas, pistas de pouso entre outros elementos. (CHUNG, 2000)

A relevância do assunto é justificada em virtude da importância do uso das fontes energéticas do planeta de forma sustentável, pois essa nova tecnologia poderá ser usada, por exemplo, para aquecer edificações ou evitar a formação de gelo em infraestruturas como ruas, estradas e pistas de pouso. (CHUNG, 2000)

Esse assunto é de grande relevância internacional, mas para compreender o cimento condutor elétrico é necessário entender a tecnologia de mistura de nanotubos de carbono ao cimento. (WHITTINGTON, McCARTER, FORDE, 1981)

O cimento condutor é obtido através da adição de nanotubos de carbono na composição do cimento tradicional. A adição dos nanotubos de carbono não compromete as propriedades estruturais do concreto ou sua durabilidade. (VICENTE, 2010)

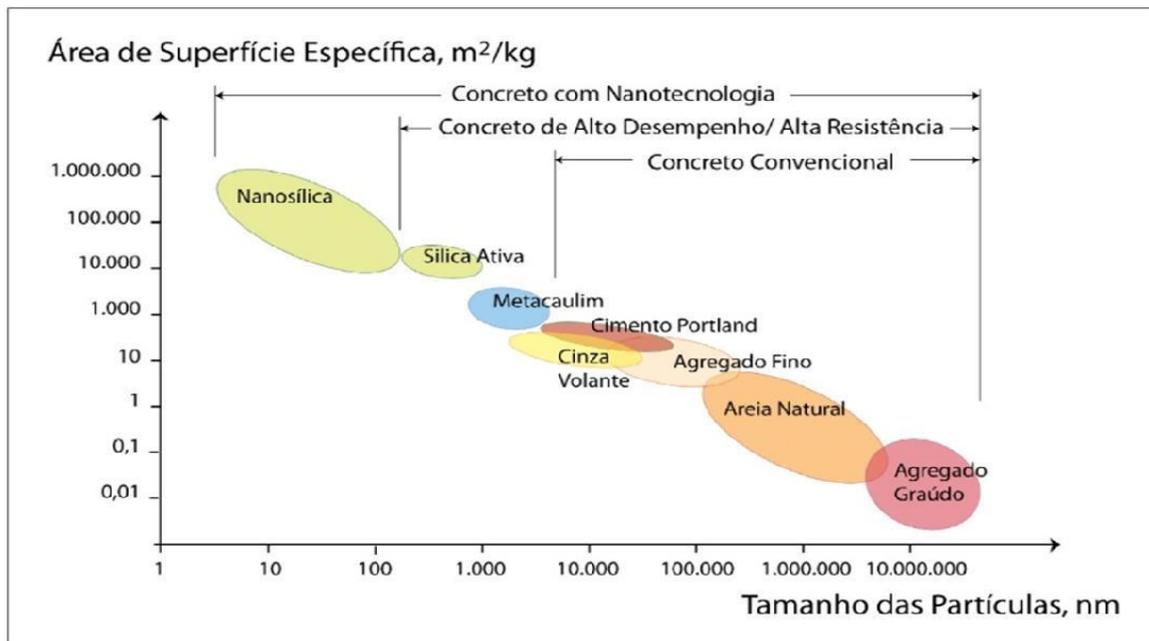
Para se obter um cimento que seja eficaz como elemento de aquecimento, ele deve ter uma baixa resistividade. Não se pode obter isso com os concretos convencionais, uma vez que eles são maus condutores de eletricidade. No entanto, isso pode ser feito com a adição de materiais condutores como os nanotubos de carbono. (VICENTE, 2010)

## **DESENVOLVIMENTO**

A possibilidade de construir edificações condutoras elétricas abre novos horizontes sobre dessa técnica na qual empreende-se o uso de nanotecnologia para mistura de nanotubos de carbono ao cimento, que garante a propriedade de condutividade de eletricidade adequada para o aquecimento de edifícios e estradas com fins de impedir maiores problemas de mobilidade impedindo a formação de gelo por meio do aquecimento através de corrente contínua aplicado ao concreto. (CARMONA, GARCÉS, 2015)

Para compreender como funciona a condutividade elétrica do cimento é necessário compreender as condições de condutividade da eletricidade desse material e do concreto. O avanço da tecnologia em concretos vem atraindo o interesse de cientistas e investidores, devido à possibilidade de manipular a matéria de uma maneira diferente obtendo benefícios expressivos. Essa nova geração de concreto pode ser classificada de acordo com as dimensões dos agregados e ou adições usadas em sua confecção. Dessa forma, o concreto com adição de nanomateriais seria considerado de terceira geração, conforme descrito na Figura 1. (KIM, 2014)

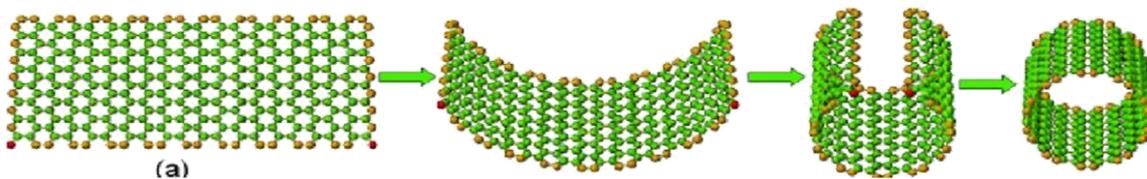
**Figura 1** – Tamanho de partículas e superfície específicas ao concreto.



Os nanotubos de carbono são formados apenas por elementos de carbono num arranjo hexagonal, os quais se enrolam em forma de cilindro. A ligação carbono-carbono é a mais forte encontrada na natureza. Esse elemento tem sido amplamente utilizado em áreas como a eletrônica, tecnologia de materiais biológicos e compósitos multifuncionais. (BALDWIN, 1998)

Tratam-se de tubos de folhas de grafeno de uma estrutura cristalina hexagonal com nano escala de diâmetro conforme figura 2:

**Figura 2** – Nanotubos de carbono – grafenos enrolados.



Atualmente na engenharia civil a cura do concreto é um parâmetro de controle, pois tem a finalidade de evitar a evaporação prematura da água, necessária para a hidratação do cimento, caso contrário rachaduras e fissuras podem aparecer e o concreto perder resistência mecânica não suportando grandes cargas. (FELDMAN, 2014)

O concreto é um aglomerante hidráulico e a água serve como meio de solução dos silicatos

e aluminatos de cálcio presentes no cimento, também é responsável pelas reações que promovem a formação dos cristais que garantem o endurecimento e o ganho de resistência. (CHUNG, 2000)

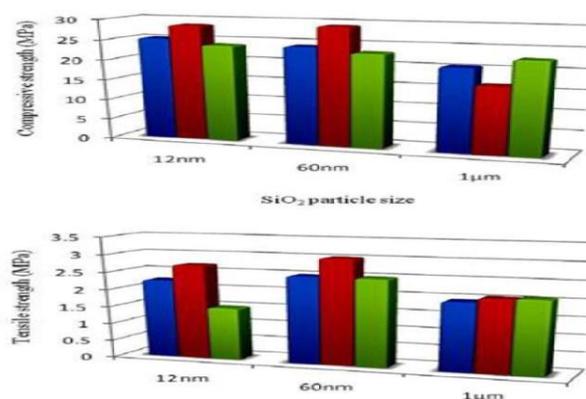
Nesse contexto o concreto condutor de energia terá um melhor controle de temperatura no momento da cura, isto é importante, pois mantendo a temperatura correta e controlando a evaporação das partículas de água mantendo a umidade ideal na mistura para que todo o processo de reação química do cimento se complete. A tabela 1 demonstra o tempo mínimo de cura dos tipos de cimento com relação água/cimento. (BATISTON, 2007).

**Tabela 1** – Tempo mínimo de cura do concreto conforme relação A/C

TIPO DE CIMENTO	FATOR ÁGUA /CIMENTO			
	0,35	0,55	0,65	0,7
CP I e II-32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP IV-32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CPIII-32	2 dias	5 dias	7 dias	10 dias
CPI e II-40	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias
CP V-ARI	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias

Nas etapas de protensão dos cabos, aplicaria a corrente contínua no concreto podendo haver uma mudança na sua estrutura química, de forma mais elástica e aderente facilitando o processo. Podemos sugerir também a aplicação de cimento condutor em aplicações estruturais de protensão. Na **Figura 3** podemos perceber o tamanho da partícula influencia os parâmetros de resistência à tração e compressão do concreto: compressão (a) e tração (b).

**Figura 3** – Influência do tamanho da partícula nos valores de resistência a compressão e tração



Atualmente há pouca interação entre os estudos do comportamento elétrico do concreto com relação aos materiais e procedimentos utilizados na construção civil. Os testes e experimentos realizados são parciais, ou seja, os que analisam as características do concreto pouco analisam as questões de descarga elétrica. Por outro lado, os que analisam as questões de dissipação de corrente elétrica em estruturas também não avaliam as condições reais do concreto atravessado por correntes elevadas. (BALDWIN, 1998)

## CONCLUSÃO

Algumas barreiras na utilização desses novos elementos na indústria da construção estão por vir. O primeiro deles é o financeiro, pelo elevado custo desses nanomateriais. Seguido pelo impacto ambiental, devido às demolições, como estes materiais se comportariam com a reciclagem e a contaminação do ar em função da mistura de materiais infinitamente pequenos. Do mesmo modo, se coloca também a questão de suas consequências sobre a saúde, pelo fato de sua facilidade de ingestão ou de assimilação pelo organismo, por simples contato. (NOKKEN, HOOTON, 2006)

O mercado global da nanotecnologia está a todo vapor no quesito de produção e comercialização. Uma previsão otimista chega e se comenta um faturamento de US\$ 3,5 trilhões em 2015. Esse tamanho de mercado, juntamente com o potencial multi-industrial da nanotecnologia, tem feito crescer o interesse de governos, corporações, empresas de capital de risco e pesquisadores acadêmicos pela nanotecnologia.

Atualmente o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) lançou a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), um conjunto de ações que tem por objetivo criar, integrar e fortalecer as atividades governamentais e os agentes ancorados na nanociência e nanotecnologia, para promover o desenvolvimento científico e tecnológico do setor, com foco na inovação.

Segundo o secretário do Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do MCTI, Álvaro Prata, estão previstos investimentos de aproximadamente R\$ 440 milhões em 2013 e 2014. A IBN visa aproximar a infraestrutura acadêmica e as empresas, fortalecendo os laços entre pesquisa, conhecimento e setor privado. “A iniciativa está alinhada com a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (Encti), de autoria do nosso ministério. O objetivo central da Encti é colocar ciência, tecnologia e inovação como eixo do desenvolvimento do país”, disse o ministro.

As ideias acima sugeridas pelo grupo podem melhorar a qualidade, ductilidade e eficácia e resistência do concreto. Além desses ganhos podemos também reduzir o tempo ocioso das obras fazendo com que a rapidez de entrega seja maior e conseqüentemente a satisfação do cliente e o lucro da empresa.

Contudo, à medida que os estudos forem avançando poderão esclarecer-nos sobre os questionamentos iniciais, mas o que podemos adiantar é que até o momento foram feitos testes mecânicos e de aplicação em obras, e vai começar o de durabilidade. Apesar dos outros testes que precisam ser feitos, esse é um grande passo para a construção civil nos próximos anos. Uma nova tecnologia que vai trazer benefícios para a engenharia do futuro: essa é a expectativa para o cimento nanoestruturado com nanotubos de carbono

## REFERÊNCIAS

BALDWIN, K., **Electrically conductive concrete: properties and potencial Construction Canada**, v. 89, nº 1, pp. 28-29, Mar. 1998

BATISTON, E. **Estudo Exploratório dos efeitos de nanotubos de carbono em matizes de cimento Portland.** UFSC, PPGEC, 2007.

CHUNG, D. D. L. “**Cement reinforced with short carbon fibers**”. *multifuncional material. Science Direct.*” New York, USA, v.31, n. 6-7, pp. 511-526, Feb 2000.

FELDMAN, R.; P., L.R., Jr.; and Chan, G., “Rapid Chloride Permeability Test on Blended Cement and Other Concretes: Correlations Between Charge, Initial Current and Conductivity,” ***Construction and Building Materials***, v. 13, n. 3, pp. 149-154, Mar. 2014

CARMONA, J. P., GARCÉS, M.A. CLIMENT. “Efficiency of a conductive cement-based anodic system for the application of cathodic protection, cathodic prevention and electrochemical chloride extraction to control corrosion in reinforced concrete structures”. ***Corrosion Science***, v.96, pp.102–111, Feb 2015.

KIM, H.S., SONG M., SEO J.W., SHIN U.S., “Preparation of electrically conductive bucky-sponge using CNT-cement: Conductivity control using room temperature ionic liquids”. ***Synthetic Metals***, n.196, pp.92–98, Feb. 2014.

NOKKEN, R., HOOTON R. “**Electrical Conductivity Testing**”. *Concrete international*, pp. 58-63, Feb 2006.

PÉREZ ,A., M.A. CLIMENT, P. GARCÉS. “Electrochemical extraction of chlorides from reinforced concrete using a conductive cement paste as the anode”. *Corrosion Science*, v. 52, Feb. 2010

VICENTE, O. Estudo sobre o comportamento elétrico do concreto utilizado em sistemas de aterramento estrutural. **Fenômenos Eletroquímicos relacionados ao concreto.** Londrina, 2010.

WHITTINGTON, H. W., McCARTER, J., FORDE, M. C. “The conduction of electricity through concrete”. ***Magazine of Concrete Research***, v. 33, pp. 48, Feb 1981.