



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS – VII GOVERNADOR ANTÔNIO MARIZ
CENTRO CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

ALLYSON TEIXEIRA RIBEIRO

**A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO NOS
COMPÓSITOS DE CIMENTO PORTLAND**

**PATOS - PB
2017**

ALLYSON TEIXEIRA RIBEIRO

**A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO NOS
COMPÓSITOS DE CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
graduado em Licenciatura Plena em Física.

Área de concentração: Física

Orientador: Prof. Dr. Everton Cavalcante.

**PATOS - PB
2017**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

R484i Ribeiro, Allyson Teixeira.
A influência da adição de nanotubos de carbonos
compósitos de cimento portland [manuscrito] : / Allyson
Teixeira Ribeiro. - 2017.
21 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) -
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas
e Sociais Aplicadas, 2017.
"Orientação : Prof. Dr. Everton Cavalcante, Coordenação
do Curso de Física - CCEA."

1. Nanotecnologia. 2. Aplicação da Nanotecnologia. 3.
Nanotecnologia na Construção Civil. 4. Construção Civil.
21. ed. CDD 693

ALLYSON TEIXEIRA RIBEIRO

**A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO NOS
COMPÓSITOS DE CIMENTO PORTLAND**

Artigo apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Licenciatura Plena em Física.

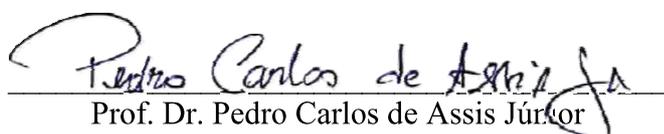
Área de concentração: Física

Aprovada em: 30 / 11 / 2017 .

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Everton Cavalcante (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Pedro Carlos de Assis Júnior
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Rodrigo César Fonseca da Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais, Antônio e Maria Recileide, pela educação, apoio, e orientações recebidas que conduziram-me até aqui, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo o dom da vida e que em todos os momentos esteve de mãos dadas a mim, iluminando e abençoando minha trajetória de vida e tornando os meus sonhos conquistas.

Aos meus amados pais, exemplos de honestidade e bom caráter, por toda a dedicação e amor fornecidos ao longo desses anos e por sempre estarem ao meu lado, incondicionalmente.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Everton Cavalcante, pela paciência e compreensão.

A toda minha família pelo apoio caloroso a mim, minha fonte de segurança, o meu porto seguro que sem eles o meu potencial não seria o mesmo. Então essa conquista se torna mais gratificante por não ser só um sonho meu, mas de toda a minha família. Essa conquista é nossa.

Em especial a minha tia Vânia a qual considero como minha segunda mãe, pelas palavras de incentivos e por sempre acreditar em mim.

Aos meus irmãos, Antonelly e Maria Alice, meus primos Raoni e José Marques e aos meus grandes amigos Antônio Neto, Cassiano, Jeferson, Paulo, Ítallo e a tantos outros que fariam essa listagem ficar extensa. Agradeço-lhes pela paciência, pelas palavras de conforto, pelo incentivo constante, pelo apoio e, acima de tudo, pelo carinho que me ofereceram nos momentos mais difíceis, provando o real valor de uma verdadeira amizade.

A todos os professores que passaram pela minha vida estudantil, tanto escolar como universitária, pois o sonho começa muito antes.

Aos professores convidados a participar da banca, Pedro Carlos e Rodrigo Fonseca, obrigado por contribuir em minha formação.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	NANOTUBOS DE CARBONO	11
3	APLICAÇÃO DE NTC EM CIMENTO PORTLAND	13
4	CONCLUSÃO	17

A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO NOS COMPOSITOS DE CIMENTO PORTLAND

Allyson Teixeira Ribeiro

RESUMO

Este artigo busca, inicialmente, rever os correntes conceitos de nanotecnologia e as aplicações de nanomateriais usados na indústria da construção. Um novo material que vem se destacando nessa área é o nanotubo de carbono. Suas propriedades físicas, químicas, e mecânicas, além da grande capacidade de associação com outros materiais, contribuindo para a sua aplicação no setor construtivo. Com suas excelentes propriedades mecânicas, elétricas e térmicas, os nanotubos de carbono poderiam revolucionar os principais materiais da engenharia civil, fazendo com que fosse possível produzir materiais ainda mais resistentes, além de melhorar suas características elétricas e térmicas. Nanotubos de carbono são cilindros de dimensões nanométricas, formados por folhas de grafeno. O grafeno é na atualidade um dos mais promissores nanomateriais em estudo no mundo, devido às suas excelentes propriedades elétricas, térmicas e ópticas. Para a sua produção diversos métodos têm sido pesquisados. O objetivo principal perseguido por esse trabalho foi investigar a importância da adição de nanotubos de carbono em compósitos de cimento Portland, fabricados em diferentes concentrações, e a comparação das suas propriedades com as do cimento convencional, sem nanotubos. Os nanotubos podem ser uma boa alternativa para reforço em matrizes de cimento Portland, pois mostrou ganhos benéficos quando adicionados ao cimento Portland.

Palavras chave: Nanotecnologia, aplicações, construção civil.

1 INTRODUÇÃO

Para a indústria da Construção Civil a inovação de seus produtos e processos, particularmente com a ajuda de tecnologias de ponta, deve ser considerada como fator principal para a sua evolução. Porém, é necessário compreender as barreiras ao uso destas tecnologias no setor e ter uma visão das tendências futuras. Novas tecnologias levam ao crescimento do setor como um todo, quer seja pela industrialização dos meios necessários a sua execução, como pela utilização de ferramentas e equipamentos apropriados às atividades, sejam eles de execução do produto edifício ou de caráter administrativo. Como consequência tem-se um produto final de melhor qualidade e a um menor custo (MORAIS, 2012).

O interesse pelo estudo e desenvolvimento de objetos e dispositivos na escala nanométrica teve seu marco inicial associado a uma palestra proferida em 1959 pelo físico americano Richard Feynman, intitulada "Há muito espaço lá em baixo". Nessa palestra, ele sugeriu que um dia o homem conseguiria manipular objetos de dimensões atômicas e assim construir estruturas de dimensões nanométricas segundo sua vontade. Desde então, a nanociência e a nanotecnologia vêm se tornando cada vez mais estudadas devido a uma grande expectativa de que os materiais nano-estruturados possam causar um grande impacto na melhoria da qualidade de vida das pessoas e na preservação do meio ambiente (LADEIRA et al. 2016).

A nanotecnologia e a nanociência são, sem sombras de dúvida, um avanço no campo do conhecimento e à aplicação deste conhecimento para a melhoria e bem estar das pessoas. Há diversas possibilidades de aplicação no campo da indústria da construção, através do uso de materiais químico e biologicamente modificados, de tal forma que sejam mais resistentes, mais leves e com maior capacidade de isolamento térmico, acústico e absorventes de energia eletromagnética e poluição (MORAIS, 2012).

Na área de materiais para a indústria da construção, a Nanociência e a Nanotecnologia apresentam um potencial enorme e que ainda não foi suficientemente explorado. Novas cerâmicas, polímeros e borrachas poderão ser desenvolvidos com propriedades superiores aos já existentes. Com a criação do novo produto a própria forma de produção dos materiais sofrerá grandes transformações. O estudo de um novo tipo de cimento, composto com nano partículas tão resistentes, abre espaço para uma nova era na engenharia. O controle da matéria pelo ser humano gerará enormes avanços no bem estar material das pessoas, na sua saúde e na

redução do impacto da atividade industrial sobre o planeta, tanto pela produção de bens mais duráveis quanto pela maior eficiência na utilização de energia.

Na busca por materiais de alto desempenho, o desenvolvimento de compostos com nanotubos de carbono (NTC) tem sido objeto de estudos da engenharia. Os NTC são estruturas com dimensões na bilionésima parte do metro, compostas apenas por átomos de carbono em arranjo tubular e que devido a isto, apresentam propriedades físicas excepcionais. Atualmente, estudos em compósitos de matrizes cimentícias com a incorporação de NTC mostram resultados importantes, principalmente devido ao fato destes nanomateriais promoverem o reforço na escala microestrutural. (SOUZA, 2015).

O cimento Portland é um pó de granulometria muito fina e com propriedades aglomerantes e aglutinantes sob ação da água. O cimento é o resultado da mistura entre o clínquer e sulfatos de cálcio, estes últimos em pequenas proporções; além de eventuais adições de certas substâncias que alteram suas propriedades ou melhoram as condições de emprego (BAUER, 2013).

Com as investigações realizadas por John Smeaton, no fim do século XVIII, cujo objetivo era encontrar um material mais resistente à ação agressiva da água do mar, a utilização das argamassas e dos concretos sofreu grande impulso, marcando o início de uma nova era. John Smeaton concluiu, a partir de vários testes, que calcários impuros contendo argila eram capazes de produzir cimentos que, posteriormente, em 1824 foi dada a denominação do cimento Portland pelo químico construtor Britânico Joseph Aspdin. Ele queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-a em um pó fino, daí obteve uma mistura, que após secar, tornava-se tão dura quanto às pedras que eram utilizadas nas construções, também observou que essa mistura não se dissolvia em água. Daí patenteou com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por a mistura apresentar cor e propriedades como durabilidade e solidez das rochas da ilha Britânica de Portland. A hipótese que gerou esta pesquisa foi a de verificar se a adição de nanotubos de carbono propicia efeitos benéficos ao cimento Portland. O estudo inclui uma análise das argamassas produzidas com o cimento Portland com adição de nanotubos de carbono, fabricados em diferentes concentrações, e a comparação das suas propriedades com as do cimento convencional, sem nanotubos.

2 NANOTUBOS DE CARBONO

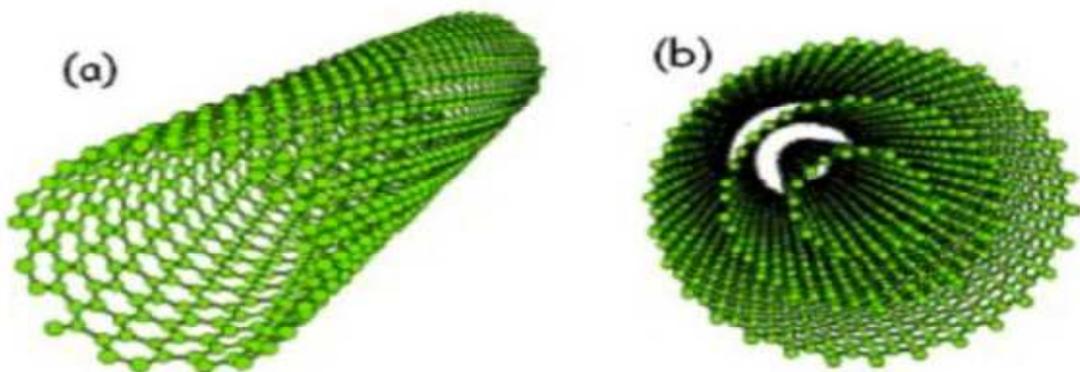
Materiais constituídos apenas de carbono, intensivamente estudados nos últimos anos, são: os fulerenos de dimensionalidade zero, os nanotubos unidimensionais, o grafeno bidimensional, o grafite e o diamante que são tridimensionais. Até a descoberta dos fulerenos, em 1985, apenas as duas formas alotrópicas cristalinas de carbono puro, o diamante e o grafite, eram conhecidas. Na década de 70, novos métodos levaram à produção de fibras de carbono menores, mais homogêneas e com propriedades mecânicas melhores. Mas, um grande salto na pesquisa de novos materiais feitos de carbono só ocorreu na década de 80, mais precisamente em 1985, quando Harry Kroto, da *University of Sussex*, Inglaterra, divulgou os resultados de suas pesquisas sobre a síntese de cadeias de carbono em condições análogas às que se encontram nas proximidades de estrelas. Com a ajuda de Richard Smalley, da Rice University (Houston-EUA), eles usaram técnicas de vaporização a laser no grafite e observaram, dentre os produtos da reação, uma nova estrutura chamada C₆₀. Essa nova estrutura, constituída apenas por átomos de carbono, possui geometria análoga à de uma bola de futebol com 20 anéis hexagonais e 12 anéis pentagonais. Sua fórmula é C₆₀. Os hexágonos mantêm a planaridade (como no grafite, que é plano por apresentar somente hexágonos) enquanto que cada pentágono inicia um ângulo de curvatura, sendo necessários 12 pentágonos para fechar a superfície sobre si mesma, formando uma bola. A descoberta dessa estrutura se tornou o marco de uma nova era na ciência do carbono (ARAÚJO, 2011).

Em 1991, o pesquisador japonês Sumio Iijima descobriu maneiras de se produzir um tipo diferente de estrutura de carbono que ficou conhecida como nanotubo de carbono, onde nanotubos de carbono são cilindros formados por átomos de carbono. Eles possuem escala nanométrica, e medem aproximadamente 3nm de diâmetro por 1000nm de comprimento sendo que um nanômetro corresponde a um bilionésimo do metro.

Os nanotubos passaram a chamar bastante atenção da comunidade científica devido às suas propriedades mecânicas e eletrônicas. Os nanotubos, são formados pelo enrolamento de folhas de grafite, podendo ser metálicos ou semicondutores, dependendo de sua estrutura. Os materiais metálicos são bons condutores de corrente elétrica pela mesma razão a qual são bons condutores de calor. Os elétrons de suas camadas mais externas estão "frouxos" e os materiais semicondutores que podem se comportar algumas vezes como isolantes e algumas vezes como condutores. Os nanotubos representam o limite microscópico para as fibras de

carbono, possuem espessura igual ao tamanho de um único átomo de carbono, alta resistência mecânica, pois não quebram quando dobrados ou submetidos à alta pressão. Devido a isso podem dar a um composto com plástico, por exemplo, as propriedades de dureza e condutividade, são importantes quando se precisa de um material resistente à tração e em situações em que se queira evitar o acúmulo de carga elétrica.

Figura 1: a- Nanotubos de carbono de paredes simples. b- Nanotubos de carbono de paredes múltiplas



Fonte: Google imagens.

Com relação ao diâmetro e comprimento dos nanotubos, os NTCPM (nanotubos de paredes múltiplas) são considerados como “grossos”, uma vez que possuem diâmetro externo de 10 a 50nm e comprimento variando de 100 a 1.000 nm, enquanto que os NTCPS (nanotubos de paredes simples) apresentam diâmetro externo na faixa de 1 a 3 nm e comprimento de, aproximadamente, 300 nm (BALAGURU; CHONG, 2008).

Por terem diâmetros muito menores que o comprimento de onda da luz visível, os nanotubos são individualmente invisíveis, mesmo se observados através de potentes microscópios ópticos. É necessário o uso de microscópios eletrônicos para que eles possam ser visualizados individualmente. Em grande quantidade, os nanotubos unem-se uns aos outros e formam feixes que se enovelam em um material que pode ser visto a olho nu, tendo, assim, um aspecto de fuligem (CAPAZ; CHACHAM, 2003).

Os nanotubos são considerados, atualmente, como o material mais resistente que existe, devida a grande resistência à compressão e tração (MORAIS, 2012).

3 APLICAÇÃO DE NTC EM CIMENTO PORTLAND

Como comentado anteriormente, a nanotecnologia pode ser entendida como a parte da ciência que trabalha com a matéria na escala da bilionésima parte do metro. Por serem tão diminutos, materiais desta escala possuem características particulares e que conferem propriedades importantes aos compósitos que os utilizam. Desde a sua descoberta, os nanotubos de carbono (NTC) se mostram capazes de potencializar outros materiais em várias propriedades e isto tem chamado a atenção para o uso dos NTC em matrizes cimentícias.

A evolução no desenvolvimento dos materiais sempre caminhou em paralelo a história de desenvolvimento da civilização, haja vista que essa sempre necessitou se valer de novas tecnologias para atender suas demandas. Este desenvolvimento passa ainda pela escolha de materiais que possuam características e disponibilidade que atendam aos requisitos tais que os viabilizem. Com maior aplicação no desenvolvimento de aparelhos estruturantes para a sociedade, o cimento Portland se tornou, ao longo dos dois últimos séculos, um dos materiais mais consumidos no mundo, principalmente pelo seu custo acessível, pelas suas propriedades particulares, atuando em conjunto com outros materiais e pela disponibilidade de seus insumos em várias partes do mundo (SOUZA, 2015).

Pesquisas com a incorporação de NTC em pastas de cimento, argamassas e concretos mostram que os compósitos cimentícios com este nanomaterial apresentam ganhos significativos de propriedades mecânicas e aumento da durabilidade, pontos muito importantes que geram benefícios diretos para a sociedade, principalmente os relacionados à infraestrutura urbana e de base que esta necessita para seu desenvolvimento econômico, social, tecnológico e sustentável (SOUZA et al., 2014).

O clínquer, base da fabricação dos cimentos Portland, é um produto obtido pela calcinação, por volta de 1.450°C , de materiais ricos em cálcio e sílica. O clínquer é finamente moído na presença de gipsita que funciona como inibidor da pega instantânea. Este material base somado a outros compostos como pozolanas, escórias e filer calcário, dá origem a gama de cimentos comercializados atualmente.

Desde a sua criação, o cimento Portland pode ser considerado um material que não passou por uma mudança significativa e que permita considerá-la uma evolução. Sobre este cenário, entende-se que uma real evolução deste material pode acarretar em vantagens importantes para a sociedade, sejam diretas ou indiretas. Sobre a ótica do desenvolvimento e da incorporação de tecnologia de ponta em materiais de construção, estudos e pesquisas

importantes estão sendo desenvolvidas com o cimento Portland, particularmente, no âmbito da nanotecnologia (SOUZA, 2015).

Entre os nanomateriais de maior destaque na atualidade estão a nanosílica (NS) e o nanotubo de carbono (NTC). O desenvolvimento dessa nova tecnologia pode possibilitar melhorias em concretos e argamassas. As melhorias em diversas propriedades dos concretos com adição de nanomateriais se devem ao minúsculo tamanho das partículas que contribuem para o preenchimento de vazios, além do fato que eles têm o potencial para aumentar a resistência, ou retardar a propagação de fissuras em compósitos de cimento e agem como agentes de nucleação de reações químicas de hidratação do cimento Portland. Foi feita uma análise bibliográfica de alguns trabalhos com relação à adição desses nanomateriais em compostos de cimento, procurando verificar os ganhos proporcionados após a adição.

A partir do trabalho de Ladeira et al.(2016) Foi feita uma análise para verificar os ganhos obtidos para os corpos de prova com adição de nanotubos de carbono em diferentes teores, variando de 0,1% a 0,3% em relação à argamassa de referência sem nanotubos, para os tempos de cura dos corpos de prova de 7 e 28 dias.

Foi feito um teste estatístico *t-Student* para duas amostras, com nível de confiança de 95%, comparando resultados de corpos de prova de determinado teor de NTC com a respectiva argamassa de referência. Através desse estudo estatístico, constatou-se que somente existiu ganho de resistência à compressão para a argamassa NTC 0,3% em 28 dias, aumentando em 7,3%, comparando com a referência. Para o caso de resistência à tração, foi constatado um ganho de 20,7% para a argamassa NTC 0,1% em 7 dias de hidratação e 39,1% para NTC 0,2% em 28 dias (LADEIRA et al. 2016).

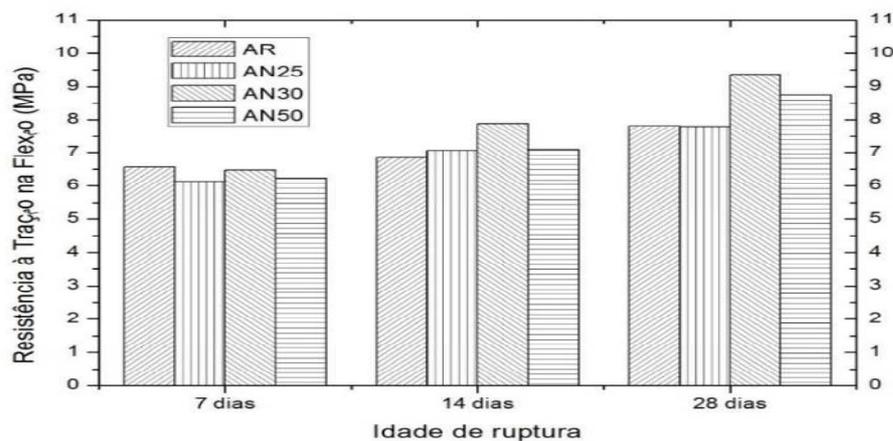
Ladeira et al.(2016) Avaliou que o uso de argamassa de cimento Portland fabricado com NTC apresenta ganhos em relação à resistência, comparando com o cimento Portland comum.

O ganho de resistência à compressão com o uso de NTC, quando houve, se mostrou muito baixo e somente ocorreu a 7 dias de hidratação. O ganho de resistência à tração em 39,1% a 28 dias de hidratação da argamassa com 0,2% de NTC em sua composição faz com que o uso desse material seja promissor. Atualmente, o termo alto desempenho estrutural, no caso do concreto, está relacionado à alta resistência e durabilidade e o uso de cimento Portland fabricado com NTC surge como um promissor material de alto desempenho (LADEIRA et al, 2016).

No trabalho de Lemes; Felix (2016) foi feita uma análise dos resultados da resistência à tração na flexão, onde os corpos de provas com adição de nanotubos em diferentes teores foi

de 0,25%, 0,3% e 0,5%. Os corpos de provas foram ensaiados nas idades de 7, 14 e 28 dias onde, foram rompidos 3 corpos de prova em cada idade. Foi possível notar que houve uma evolução da resistência à tração na flexão ao longo do tempo. Onde nas idades de 14 e 28 dias, as argamassas com nanotubos apresentaram valores superiores à de referência. Na idade de referência (28 dias), a amostra com um teor de 0,3% NTC apresentou maior ganho de resistência à tração na flexão, em torno de 20%.

Figura 2 - Resistência média à tração na flexão.



Fonte: Lemes; Felix, 2016.

Portanto, a argamassa com o teor de 0,3% NTC, foi a que apresentou melhor desempenho nas idades estudadas. Apresentado uma faixa “ótima” para inserção de nanotubos em matrizes de cimento, faixa esta que deve estar próxima aos 0,30% de nanotubo. De acordo com análise estatística, houve diferença significativa na inclusão de NTC na argamassa de referência (LEMES; FELIX, 2016).

As argamassas de cimento Portland com adição de nanotubos de carbono na porcentagem de 0,30%, foi a que apresentou melhor desempenho mecânico e térmico, entre as argamassas fabricadas, mostrando que as adições de nanotubos são eficientes no reforço de argamassas de cimento Portland (LEMES; FELIX, 2016).

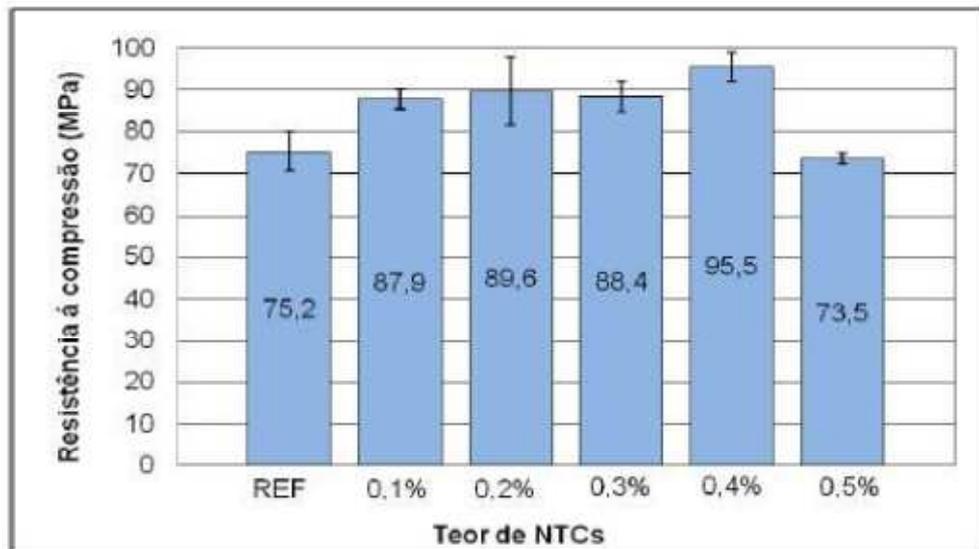
No trabalho de Medeiros et al. (2015) foi apresentado como variável de estudo o teor de nanotubos de carbono (NTC) em 0%, 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4% e 0,5% em relação à massa de cimento. Estes teores foram escolhidos de modo a abranger a faixa de teores mais usadas nas pesquisas sobre NTCs adicionados aos compósitos de cimento Portland.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão das argamassas com adição dos NTCs, cujos dados se referem a 28 dias de cura submersa. Mostrou, comparando com a série de referência, que houve elevação da resistência à compressão em praticamente todos os casos

de estudo. Neste caso, a exceção foi o teor de 0,5%, que indicou resistência estatisticamente semelhante à série de referência e o motivo desta ocorrência se deve ao fato de que este nível de adição de NTC comprometeu a fluidez de forma a dificultar o adensamento dos corpos de prova. O teor de 0,40% de NTC foi o que mais elevou a resistência à compressão, representando 27% de aumento em relação à série sem adição de NTC (MEDEIROS et al., 2015)

As argamassas com adição de NTCs apresentaram acréscimo na resistência à compressão aos 28 dias de idade, porém, os resultados não seguiram uma tendência linear. Relacionando o teor de adição de NTCs com a resistência, ficou evidente que o teor de adição de 0,5% de NTC travou a massa e comprometeu o adensamento dos corpos de prova de resistência à compressão. Este foi o motivo de este teor de adição não ter resultado na elevação da resistência à compressão, se comparado com a série de referência (MEDEIROS et al, 2015).

Figura 3: Resistência à compressão aos 28 dias de argamassa com adição de NTCs.



Fonte: Medeiros et al. (2015)

Com relação ao concreto, espera-se que a adição de partículas em nanoescala melhore o controle de sua porosidade. Atualmente, notam-se melhorias pela introdução de sílica ativa, mas com tamanhos bem menores; os nanotubos poderão preencher ainda mais os vazios presentes em concretos e em argamassas. Além disso, eles têm o potencial para aumentar a resistência, impedir ou retardar a propagação de fissuras em compósitos de cimento e agir como agentes de nucleação.

4 CONCLUSÃO

Diante do presente trabalho, foram notórias as excepcionais propriedades físicas mecânicas dos nanotubos de carbono. São componentes promissores para o desenvolvimento de materiais compostos de alta resistência, componentes eletrônicos e etc. Abrindo oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos com propriedades excelentes e superiores aos materiais usuais, estas características podem ser utilizadas nos desenvolvimentos de diversos materiais utilizados na construção civil.

Os nanotubos de carbono podem ser bem eficientes onde suas propriedades forem exigidas, como é no caso do cimento; o concreto à base de cimento continua sendo o material mais empregado nas construções, frente ao custo de reparação de obras, estruturas incrivelmente grandes ou qualquer outro tipo de estrutura, um concreto mais resistente e mais durável, poderia trazer uma economia financeira bastante favorável, e o uso dos nanotubos de carbono pode fornecer a chave para isto. Prevenindo fissuras, melhorando a durabilidade ao longo do tempo por meio da resistência a ataques químicos, além de prevenir problemas estruturais etc.

Os resultados apresentados nos trabalhos que tive como referências para meu artigo, demonstraram que em quase todos os casos onde se adicionou os NTCs houve melhorias significativas nas propriedades de resistência à compressão e à tração na flexão. Onde não apresentou-se melhorias foi em Medeiros et al (2015), para a argamassa com o teor de 0,5% de NTC, que travou a massa e comprometeu o adensamento dos corpos de prova de resistência à compressão, e em Lemes; Felix (2016) para as argamassas com idade de ruptura de 7 dias, pois a massa de referência sem adição de NTCs, apresentou resultado a cima para resistência média à tração na flexão em relação as argamassas com adições de NTCs. As argamassas de cimento Portland com adição de nanotubos de carbono, em alguns casos apresentam melhor desempenho mecânico, entre as argamassas apresentadas, mostrando que as adições de nanotubos são eficientes no reforço de argamassas de cimento Portland. Podendo concluir também, que pode haver uma faixa ótima para incorporação de nano partículas nos compósitos a base de cimento Portland, faixa essa que esta que deve estar próxima aos 0,30% de nanotubos.

Assim sendo, não só os nanotubos de carbono, mas a nanotecnologia com um todo, tem um grande potencial em todas as áreas da engenharia, pois pode melhorar as propriedades dos materiais, diminuir os custos e pode propiciar uma maior durabilidade.

THE INFLUENCE OF THE ADDITION OF CARBON NANOTUBES IN PORTLAND CEMENT COMPOSITES

ABSTRACT

This paper aims initially at reviewing the current concepts of nanotechnology and the applications of nanomaterials used in the construction industry. A new material that has stood out in this area is the carbon nanotube. Its physical, chemical and mechanical properties, as well as the great capacity of association with other materials, contributing to its application in the construction sector. With its excellent mechanical, electrical and thermal properties, carbon nanotubes could revolutionize the main civil engineering materials, making it possible to produce even more resistant materials, as well as improving its electrical and thermal characteristics. Carbon nanotubes are cylinders of nanometric dimensions, formed by sheets of graphene. Graphene is currently one of the most promising nanomaterials in the world, due to its excellent electrical, thermal and optical properties. For their production several methods have been researched. The main objective of this work was to investigate the importance of the addition of carbon nanotubes in composites of Portland cement, manufactured in different concentrations, and the comparison of their properties with those of conventional cement, without nanotubes. The nanotubes can be a good alternative for reinforcement in Portland cement matrices, since it showed beneficial gains when added to Portland cement.

Keywords: Nanotechnology, applications, civil construction.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. S. Estudo das Propriedades Eletrônicas e Estruturais de Defeitos Topológicos e Fronteiras de Grao em Grafeno por Primeiros Princípios. 2011. 125 p. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Física)-Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.
- BALAGURU, P.; CHONG, K. *Nanotechnology and concrete: research opportunities*. In: SOBOLEV, K. e SHAH, S. P. (Ed.). *Nanotechnology of concrete: recent developments and future perspectives*. United States of America: American Concrete Institute, 2008. SP-254-2, p. 15-28.
- BAUER, L. A. F. *Materiais de Construção -Novos Materiais para a Construção Civil*. 5°. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2013. 488 p.
- CAPAZ, Rodrigo B. e CHACHAM, Hélio. Nanotubos e a nova era do carbono. *Ciência Hoje*, vol. 33, n. 198, out. 2003. Disponível em: <<http://www.fisica.ufc.br/redenano>>. Acesso em: 20 abr. 2008.
- DINIZ, R. B. . A fabricação de nanoestruturas. *ComCiência*, 10 nov. 2002.
- LADEIRA, Lucas et al. Resistência Mecânica de Argamassas de Cimento Portland Fabricado com Nanotubos de Carbono. IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Everest Rio Hotel, 2016.
- LEMES, S. P. S.; FELIX, J. P. CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E TÉRMICO DE ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÃO DE NANOTUBO DE CARBONO.
- MARCONDES, Carlos Gustavo Nastari. Adição de nanotubos de carbono em concretos de cimento Portland-absorção, permeabilidade, penetração de cloretos e propriedades mecânicas. 2012. 8 p.
- MEDEIROS, Marcelo et al. Compósitos de cimento Portland com adição de nanotubos de carbono (NTC): Propriedades no estado fresco e resistência à compressão. *Matéria (Rio J.)* vol.20 no.1 Rio de Janeiro Jan./Mar. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620150001.0014>>. Acesso em: 17 Set. 2017.
- MELO, Valquíria Silva. Nanotecnologia aplicada ao concreto: efeito da mistura física de nanotubos de carbono em matrizes de cimento Portland. 2009. 147 f. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- MORAIS, J. Aplicações da Nanotecnologia na Indústria da Construção: Análise Experimental em Produtos Cimentícios com Nanotubos de Carbono [Ph. D. thesis]. 2012. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.

SANCHEZ, F.; SOBOLEV, K. Nanotechnology in concrete -A review. *Construction and Building Materials*, 15 May 2010. 2060-2071.

SOUZA, T. C. C.; CALIXTO, J. M.; PAULA, J. N.; LADEIRA, L. O.; LUDVIG, P. Nanotubos de carbono:um caminho para a sustentabilidade dos materiais cimentícios. 6° Congresso Brasileiro do Cimento. São Paulo: ABCP. 2014.