

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

APLICAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA VISÃO GERAL DE SUAS APLICAÇÕES, OS NANOTUBOS DE CARBONO E AS NOVAS TECNOLOGIAS EM ESTUDO

Autor: Viviane Eloise Tavares

Orientador: Prof. Roberto B. Figueiredo

Janeiro/2014

VIVIANE ELOISE TAVARES

**APLICAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA VISÃO
GERAL DE SUAS APLICAÇÕES, OS NANOTUBOS DE CARBONO E AS
NOVAS TECNOLOGIAS EM ESTUDO**

Monografia apresentada a Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Construção Civil.

Orientador (a): Prof. Roberto B Figueiredo

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2014

Dedico este trabalho ao meu filho Lorenzo
e ao meu marido

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Roberto B. Figueiredo.

À minha família por estar sempre presente.

Aos colegas pelo incentivo e carinho.

E a todos que tornaram este trabalho possível.

RESUMO

Com o desenvolvimento de tecnologias que permitem a observação e o estudo da matéria em escala nanométrica, diversas áreas de pesquisa partiram em busca de materiais inovadores. Assim, este trabalho tem o objetivo de levantar o quadro das atuais pesquisas nanotecnológicas e seus resultados. As pesquisas com nanotubos de carbono são bastante promissoras. Resultados significativos já foram obtidos a partir da incorporação de pequenos teores de nanotubos de carbono à matrizes cimentícias, o que vem fomentando grande expectativa no mercado da construção civil. Outros estudos da área da construção, como a incorporação do nano-TiO₂ à matrizes de tintas, vidros e argamassas, permitiram que tais produtos nano-estruturados já possam ser encontrados no mercado. Contudo, ainda há um longo caminho a percorrer até que os nanoproductos atinjam valores competitivos de mercado e que haja uma regulamentação voltada, não só para a qualidade, mas quanto aos possíveis impactos humanos e ambientais que tais produtos podem acarretar.

Palavras chaves: Nanotecnologia, Nanotubos de Carbono, Construção Civil

SUMÁRIO

RESUMO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 - OBJETIVO GERAL	12
2.2- OBJETIVO ESPECÍFICO	12
3. JUSTIFICATIVA	12
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4.1- NANOTECNOLOGIA	13
4.2-NANOTUBOS DE CARBONO	15
5-NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	16
5.1-APLICAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA EM BASES CIMENTÍCIAS	17
5.1.1-Nanotubos de Carbono em Bases Cimentícias.....	19
5.2-APLICAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA EM BASES POLIMÉRICAS	20
5.2.1-Nanotubos de Carbono em Bases Poliméricas.....	21
5.3- INOVAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	21
5.3.1- Aço na Construção Civil	21
5.3.2- Revestimentos na Construção Civil.....	24
5.3.3- Nano Sensores de Monitoramento na Construção Civil.....	30
5.3.3.1- <i>Tintas Inteligentes</i>	30
5.3.3.2- <i>Nanosensores Incorporados ao Concreto</i>	31
5.3.3.3- <i>Nanosensores Para Proteção Contra Incêndio</i>	32
6. METODOLOGIA	33
7. ANÁLISE CRÍTICA DOS NANOMATERIAIS	33

7.1 PROPRIEDADES DOS NANOMATERIAIS	35
7.2 DESEMPENHO DOS NANOMATERIAIS.....	36
7.3 CUSTOS E INVESTIMENTO EM NANOTECNOLOGIA	37
7.4 PERSPECTIVAS FUTURAS	39
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura de nanotubos de carbono de paredes múltiplas	15
Figura 2: Nanoestrutura de aço reforçado de MMFX.....	23
Figura 3: Projeto arquitetônico utilizando estrutura em aço de alta performance, idealizado por aluno do NANOSTudio da Universidade de Ball State (2009).....	23
Figura 4: Superfície nanorevestida.	24
Figura 5: TiO ₂ nanométrico na forma de anatase.	25
Figura 6: Reação de decomposição de poluentes e característica hidrófila do TiO ₂	25
Figura 7: Formação de gotículas e superfície sob a ação do dióxido de titânio.	26
Figura 8: Vidro sem nano-tiO ₂ à esq. e à direita vidro com nano-tiO ₂ incorporado.....	26
Figura 9: À igreja do Jubileu, em Roma, Itália.	27
Figura 10 - Tinta fotovoltaica.	29
Figura 11 - Tinta Inteligente.	30
Figura 12 - Nanosensor Encapsulado.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação da resistência dos nanotubos de carbono com materiais como aço.	16
--	----

1. INTRODUÇÃO

A nanotecnologia é a ciência onde novos materiais são desenvolvidos a partir da observação e manipulação da matéria em escala nanométrica, bilionésimo do metro. A capacidade de ver átomos e moléculas abriu as portas para o mundo nanométrico.

O desenvolvimento de microscópios potentes como o MEV, Microscópio Eletrônico de Varredura, que tem precisão de 10 nm (CASTRO, 2002), tornou possível o estudo da aplicação de diferentes materiais, para diferentes utilizações.

Por meio de transcodificação da energia emitida pelos elétrons com o auxílio de um monitor, o MEV transmite uma imagem virtual tridimensional onde se pode visualizar a superfície de um material (MALISKA, 2013). Embora tenha sido inventado na década de 30, apenas em 1965, foi construído o primeiro MEV comercial. A partir daí um maior número de pesquisas puderam iniciar-se, abrindo uma nova era para a nanotecnologia.

Dentre os materiais estudados destacam-se os nanotubos de carbono por sua versatilidade de aplicação. Os nanotubos de carbono, NC, foram descobertos em 1991, pelo japonês Sumi Iijima, (HERBST, 2004), desde então se tornaram alvo de pesquisas tecnológicas voltadas às suas propriedades físico-químicas.

Devido à tais propriedades, que conferem aos nanotubos de carbono resistência e um elevado módulo de elasticidade, podendo chegar a 10 vezes o módulo do aço (BATISTON, 2007), este material já começa a ser usado, mesmo que timidamente, em misturas de matrizes de compósitos cimentícios.

A propagação ainda pouco expressiva deve-se a alguns obstáculos a serem vencidos, como o alto custo e a dificuldade de dispersão homogênea nas

matrizes. Tais matrizes podem ser de base cimentícia, polimérica, cerâmica ou mesmo aço (BATISTON, 2007).

A não dispersão homogênea das nanopartículas pode interferir na qualidade do produto final, uma vez que depende do modo em que se é aplicado à mistura, devendo ser utilizados aditivos e feito um controle rigoroso para que sejam atendidas as especificações desejadas.

Nestes 22 anos, desde sua descoberta, as diversas aplicações dos nanotubos na construção civil, bem como, nas áreas da medicina, computação, entre outras, ainda estão sendo estudadas. Cientistas de todo mundo, vislumbram aplicações revolucionárias, com grandes expectativas de resultados, sabendo, contudo, que ainda há um longo caminho a ser percorrido.

Enquanto isso, a sociedade como um todo, aguarda por materiais de alto desempenho, com elevada resistência e durabilidade a um custo acessível. Tais materiais poderão não só transformar o universo da construção civil, mas também como enxergamos o mundo.

2. OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

Por meio de levantamento bibliográfico, estudo e análise de dados, o presente trabalho, objetiva verificar as aplicações da nanotecnologia na construção civil.

Neste estudo, serão focadas as aplicações ainda em estudo, bem como, aquelas já implementadas. As informações coletadas irão possibilitar o delineamento do quadro atual desta nova tecnologia no universo da construção civil.

2.2- OBJETIVO ESPECÍFICO

Revelar de forma simples e objetiva, as características que tornam as partículas nanométricas, substâncias tão fascinantes e almejadas em diversas aplicações na área da construção civil.

3. JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a constante demanda por novos materiais na construção civil, e por ser a nanotecnologia relativamente nova, há uma necessidade de uma abordagem cada vez mais acessível aos profissionais da área.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1- NANOTECNOLOGIA

O termo "nanotecnologia" foi criado e definido pela Universidade Científica de Tóquio, no ano de 1974 (JORDÃO, 2006). No entanto, apenas em 2000 a nanotecnologia iniciou seu processo de desenvolvimento em escala industrial, principalmente na eletrônica, estando presente em processadores de computadores.

A nanotecnologia, de forma simplificada, pode ser compreendida como a capacidade de criar novos materiais e produtos a partir de tecnologias que manipulam átomos e moléculas. É ainda, ter o controle dos materiais em escala nanométrica, onde os átomos revelam características peculiares, podendo apresentar tolerância à temperatura, cores, reatividade química, condutividade elétrica, entre outros (DURAN, *et al.*, 2006, Apud MELO 2009).

Embora pareça algo recente, a nanotecnologia na década de 50 já era vislumbrada por alguns cientistas visionários, como Richard Feynman. Em uma palestra em 1959, o físico americano comentou pela primeira vez a respeito do poder de manipulação de átomos e moléculas pelo homem (MORAIS, 2012), algo que poderia resultar na confecção de componentes em um tamanho tal, que seria impossível ver a olho nu. Mais tarde, equipamentos e tecnologias sofisticadas puderam tornar realidade a manipulação de partículas tão pequenas, visíveis apenas com microscópios de alta precisão, como o MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura.

Outro responsável pelo desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia é o STM - Scanning Tunneling Microscope, (Microscópio de varredura por tunelamento eletrônico) inventado em 1981, por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, do laboratório da IBM, em Zurique (MELO, 2009). Com o auxílio da tecnologia a

nanociência tem se tornado, cada vez mais acessível aos cientistas e comunidades acadêmicas, resultando em um maior número de experimentos e pesquisas.

Os estudos envolvendo a nanotecnologia concentram-se na criação de novas estruturas, com conformação peculiar, resultando em propriedades específicas de aplicações amplas e interdisciplinares. Ligando, desta forma, os campos da química, física, engenharia de materiais, bioquímica, biofísica, medicina e ciência da computação (MELO, 2009). Na construção civil pesquisas vem sendo desenvolvidas visando aumentar a resistência dos materiais, bem como, sua durabilidade e desempenho.

A tendência mundial à sustentabilidade, também fomenta estudos e investimentos na área da construção. Visando a economia de energia, proteção ambiental, com um menor uso de recursos naturais não renováveis, cuja utilização gera um déficit ambiental, os estudos nanotecnológicos têm sido o foco cada vez maior dos profissionais da área. Tais aspectos configuram um quadro onde a nanotecnologia se torna um elemento chave para o desenvolvimento de soluções tecnológicas e ambientalmente viáveis.

A busca de tais soluções tecnológicas levou a descoberta relativamente recente dos nanotubos de carbono-NTC. Substâncias estas que apresentam grande desenvoltura quando combinada a outros materiais. Propriedade esta que promove o interesse em diversas áreas, sendo a construção civil uma delas.

4.2-NANOTUBOS DE CARBONO

Os nanotubos de carbonos, NTC, são formados por cadeias de carbono hexagonais, que se posicionam na forma cilíndrica, que pode ter uma ou mais camadas. As propriedades dos NTC são conferidas pelo diâmetro e ângulo das cadeias (HERBST, 2004).

Este material possui estrutura de alta densidade, podendo chegar a um bilhão de nanotubos por centímetro quadrado (CONDLIFFE, 2012). Os nanotubos são 100 mil vezes mais finos que um fio de cabelo, contudo, atualmente é o material mais resistente conhecido (BUENO, 2004).

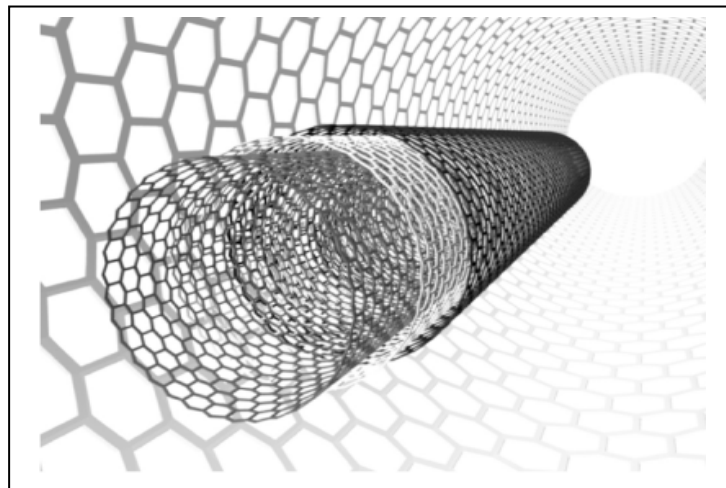


Figura 1: Estrutura de nanotubos de carbono de paredes múltiplas
Fonte: HANGEL, M., 2013 - <http://www.scielo.br/scielo.ph>

Inicialmente a descoberta dos nanotubos de carbono se restringia aos de paredes múltiplas, que são compostos por diversas camadas de grafeno¹. Contudo, apenas 2 anos mais tarde, segundo Melo (2009), com os estudos se aprimorando foi possível a descoberta dos nanotubos de paredes simples.

¹ Forma cristalina do carbono, assim como o grafite e o diamante. O grafeno é muito forte, leve, quase transparente, um excelente condutor de calor e eletricidade (MELO, 2009).

Para se obter um nanotubo de carbono tem que se enrolar uma folha de grafeno sendo que as ligações atômicas irão unir as extremidades da folha formando um tubo. A estrutura do grafeno depende de como seus átomos estão dispostos, o que pode influenciar no comportamento do nanotubo.

Devido às peculiaridades das folhas de grafeno e suas ligações atômicas, na formação dos tubos podem ocorrer defeitos estruturais que serão responsáveis pelas mudanças na curvatura dos nanotubos e conseqüentemente no comportamento físico dos tubos (HINOJOSA, 2007, apud MELO 2009).

Quanto às propriedades de resistência dos nanotubos a seguir tem-se a tabela comparativa da resistência entre os nanotubos e o aço inoxidável:

Material	Modulo de Young (TPa)	Resistência à tração (GPa)	Alongamento ate ruptura (%)
NTCPS	~1 (de 1 a 5)	13-53	16
NTCPS <i>Armchair</i>	0,94	126,2	23,1
NTCPS <i>Zig-zag</i>	0,94	94,5	15,6-17,5
NTCPS <i>Chiral</i>	0,92	-	-
NTCPM	0,8-0,9	150	-
Aço inoxidável	~0,2	~0,65-1	15-50
<i>kevlar</i> ⁽¹⁾	~0,15	~3,5	~2

Tabela 1 - Comparação da resistência dos nanotubos de carbono com materiais como aço. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube (adaptada, 2013).

De acordo com os resultados verifica-se que o nanotubo possui valores de módulo de elasticidade superiores aos do aço inoxidável.

5-NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os estudos da nanotecnologia na construção civil tem se voltado principalmente à incorporação dos nanotubos de carbono em matrizes cimentícias. No entanto, à medida que o conhecimento das microestruturas dos materiais da construção vai se revelando por meio das pesquisas acadêmicas, novas aplicações vão sendo vislumbradas. Outras aplicações estudadas estão ligadas diretamente às propriedades intrínsecas dos nanotubos como condutividade elétrica e térmica, além da resistência.

5.1- APLICAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA EM BASES CIMENTÍCIAS

A ação das nanopartículas na microestrutura e no desempenho de materiais à base cimentícia deve-se aos seguintes elementos segundo Sobolev (2008): *"1-Nanopartículas bem dispersas aumentam a viscosidade, ajudando na suspensão de grãos de cimento e agregados, melhorando a resistência à segregação; 2- As nanopartículas preenchem os vazios entre os grãos, tornando a estrutura mais densa; 3- Tais partículas agem como centros de cristalização na hidratação do cimento, acelerando, portanto, este processo; 4- Elas também favorecem a formação de pequenos cristais, como o hidróxido de cálcio, e pequenos grupos uniformes de silicato de cálcio hidratado²; 5-As nanopartículas melhoram a estrutura da zona de transição, resultando em melhores ligações entre agregados e pasta de cimento."*

De acordo com Melo (2009), pesquisas já comprovaram que a adição de nanopartículas em bases cimentícias apresenta bom desempenho, devido ao preenchimento dos vazios de tais matrizes.

² O hidróxido de cálcio tem propriedades cimentantes, ao carbonatar na presença do CO₂ pode se dissolver favorecendo a estabilidade estrutural.

Segundo Balaguru e Chong, 2008, apud Melo, 2009, a aplicação da nanociência em concretos e argamassas podem promover propriedades tais como, baixa retração e resistência a temperaturas acima de 600 °C. Assim, a partir de reações a nível nanométrico pode-se dar origem a novos materiais de alto desempenho. Outra pesquisa realizada por Li *et al.* (2007) apud Melo 2009, sobre as propriedades mecânicas de materiais de base cimentícia, quando incorporados nanopartículas, apontou para resultados que comprovam uma maior resistência a compressão proporcional à quantidade de nanomateriais adicionados.

Em algumas pesquisas publicadas tem-se a incorporação de nano-SiO₂. Nas pesquisas realizadas por Li *et al* (2007) e Sobolov *et al* (2008) apud Melo 2009, apresentaram bons resultados quanto à resistência da base cimentícia, contudo, Moura *et al* (2008) não obteve bons resultados. Ao se analisar os resultados das pesquisas supracitadas verifica-se que estes estão intrinsecamente ligados à qualidade da incorporação das nanopartículas nas matrizes. Ensaio realizados com materiais com pouca dispersão nanométrica podem apresentar resultados insatisfatórios.

Segundo Batiston (2007) a não dispersão homogênea das nanopartículas interfere na qualidade do produto final. A dispersão depende do modo em que as nanopartículas são aplicadas à mistura, devendo ser utilizado aditivo e feito um controle rigoroso para que sejam atendidas as especificações desejadas. Devido ao seu tamanho as nanopartículas agem como estrutura de ligação forte, aumentando a densidade do material. Outra característica é mudança da conformação atômica de superfície, alterando a reatividade química dos nanomateriais.

5.1.1-Nanotubos de Carbono em Bases Cimentícias

De acordo com Couto, 2006, apud Melo, 2009, os nanotubos de carbono - NTC apresentam grande resistência à tração. Contudo, podem apresentar significativo aumento da flexão e compressão. No estudo de Li *et al.* 2005 , apud Melo, 2009, ao incorporar os NTC em argamassa obteve-se um aumento de 25% na resistência a flexão. Isto se deve a interação entre os NTC e o cimento, que forma verdadeiras pontes que ligam os vazios e fissuras, estabelecendo transferência de carga.

De todos os materiais pesquisados, os nanotubos de carbono são um dos materiais mais resistentes atualmente conhecidos. Os NTC são a grande esperança da comunidade científica para concepção de produtos de alto desempenho, não somente quanto à resistência, mas também quanto à durabilidade. Outra vantagem dos NTC é a sua capacidade de deformação elástica de 12%, cerca de 60 vezes maior que a do aço, (Li *et al.* 2005, apud Melo 2009).

No estudo de Makar *et al.* , 2005, apud Melo, 2009, foi constatado que os NTC atuam como controladores de fissuras, ao estabelecer ligações na estrutura cimentícia, evitando a propagação de fissuras e conseqüentemente aumentando a resistência da matriz cimentícia.

5.2-APLICAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA EM BASES POLIMÉRICAS

Alguns materiais como nanopartículas de sílica, nano-dióxido de titânio, nano-argilas e nanocompósitos de carbono, estão sendo estudados em matrizes poliméricas para confecção de materiais ignífugos (PARAMÉS, 2010), isto é, materiais resistentes ao fogo, para serem empregados na construção civil.

De acordo com Paramés (2010) a incorporação de nano sílica em matriz polimérica é possível devido a uma grande área de interface entre as nano partículas e a matriz. A nano-estruturação melhora as características físicas do polímero e sua estabilidade térmica, conduzindo a uma capacidade eficiente de retardar a propagação das chamas (KASHIWAGI, 2003, apud Paramés, 2010).

Quanto à introdução de nanopartículas de dióxido de titânio em base polimérica, ainda há poucos estudos, contudo os resultados para retardo de propagação de calor são promissores. Quanto maior a concentração do dióxido, menor a taxa de propagação de calor, isto se deve à atuação das nanopartículas como barreiras de calor o que limita a condutividade térmica (KASHIWAGI, 2007, apud Paramés, 2010). Tal propriedade pode ser observada na introdução de nano-argila em bases poliméricas, de forma que, ao diminuir a permeabilidade aos gases, evita-se a propagação do fogo. Quando aplicada em tintas outras características são observadas como melhoria de resistência mecânica e trabalhabilidade.

5.2.1-Nanotubos de Carbono em Bases Poliméricas

Quanto aos nanotubos de carbono, estes apresentam propriedades de condutividade térmica, elétrica, entre outras, motivos pelos quais é sempre alvo de estudo de materiais para construção civil. Como apresentado nas sessões anteriores os nanotubos podem ser de parede única, apresentando diâmetros, entre 1 e 2 nm, ou de parede múltipla que têm um calibre mais elevado, usualmente entre 10 e 100 nm.

De acordo com Couto, 2006, apud Melo, 2009, a adição de pequenas quantidades de nanotubos de carbono em polivinilálcool e poliestireno pode aumentar a tensão elástica em aproximadamente 40% e a resistência à tração em 25%. E quando aplicados em bases poliméricas podem aumentar a resistência destes materiais ao serem incorporados de forma uniforme.

5.3- INOVAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As pesquisas realizadas no universo nanométrico nas diversas áreas do conhecimento tem se acirrado a cada ano. No ramo da engenharia civil, tais pesquisas, são cada vez maiores, fomentando inovações tecnológicas e trazendo a expectativa de novos produtos de baixo custo e de alto desempenho.

5.3.1- Aço na Construção Civil

Depois dos compósitos de base cimentícia, o aço é o elemento mais importante na construção civil. E assim como as matrizes cimentícias, o aço também é alvo das pesquisas de materiais inovadores. Buscando uma maior resistência desse elemento, quanto à corrosão e capacidade de solda, a FHWA-Federal Highway Administration, Departamento de Transporte dos EUA, junto com o Instituto Americano de Ferro e Aço e da Marinha dos EUA, desenvolveram novo aço de baixo carbono com alta performance em 1992 para pontes, por meio da

incorporação de nanopartículas de cobre nos contornos de grão de aço (GANESH, 2012)³.

Outro produto inovador é o Nanoflex™, aço inoxidável desenvolvido pela Sandvik Tecnologia nanoFLEX Materials, que já está disponível no mercado e vem sendo comercializado. A Sandvik é uma empresa sueca de ponta no desenvolvimento de materiais de alta tecnologia para os ramos da construção, mineração, entre outros. O Nanoflex foi projetado especificamente para aplicações que exigem alta resistência e boa ductilidade na construção civil. As principais características deste material são: alta resistência à tração, boa ductilidade, resistência ao calor a até 450°C sem apresentar deformação, boa soldabilidade (GANESH, 2012).

Seguindo a mesma linha do Nanoflex, o MMFX2 é um aço de alta performance produzido e comercializado nos Estados Unidos (GANESH, 2012). Este aço com nano-estrutura modificada é produzido pela MFX Steel Corporation dos EUA. Este aço apresenta propriedades mecânicas superiores aos outros aços de alta resistência, como por exemplo, maior resistência à tração, ductilidade e resistência à fadiga. Tais propriedades podem levar a maior vida útil em ambientes corrosivos e menores custos de construção.

De acordo com Ganesh (2012) o aço MMFX tem resistência à corrosão semelhante ao aço inoxidável, contudo, a um custo mais baixo. Devido a tais fatores e por apresentar características sustentáveis, com um baixo custo de ciclo de vida, o aço MMFX ganhou certificação para uso na construção civil em geral em todo EUA.

³ Edição europeia vol Revista Científica de Novembro. 8 , No.27 ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431

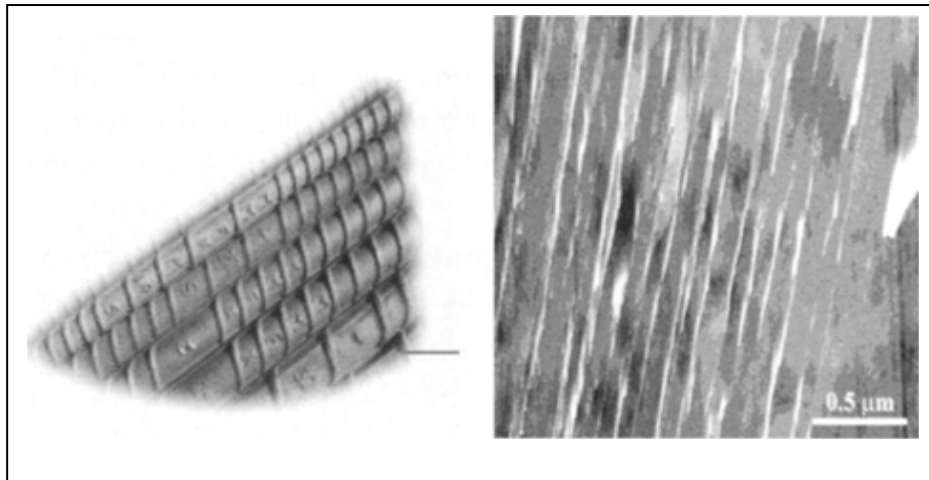


Figura 2: Nanoestrutura de aço reforçado de MMFX.
Fonte: GANESH, 2012.

Os aços de alto desempenho são voltados para projetos que requerem designs leves e rígidos, como o idealizado por um aluno do NANOSTudio da Universidade de Ball State, em Indiana nos EUA, (Figura 3)⁴.



Figura 3: Projeto arquitetônico utilizando estrutura em aço de alta performance, idealizado por aluno do NANOSTudio da Universidade de Ball State (2009)⁴.

⁴ Fonte: <http://arquitetogeek.com/2009/11/05/a-revolucao-da-nanotecnologia>

5.3.2- Revestimentos na Construção Civil

A nanotecnologia também tem sido empregada em técnicas de revestimento. Devido à poluição atmosférica, principalmente nos grandes centros urbanos, vem crescendo a necessidade de se desenvolver produtos para revestimento que impeçam a sujeira de aderirem às superfícies das construções. Um dos principais elementos já empregados são os nano-TiO₂, não só incorporado a pigmentos de tintas, mas também em vidros, concreto, aço e polímeros.

Os nano-TiO₂ quando incorporados às tintas agem quebrando e desintegrando a sujeira orgânica através poderosa reação catalítica. Sendo também hidrófilo, permite que a água se espalhe uniformemente sobre a superfície e lave a sujeira quebrada pela reação de catálise. No vidro, age também como auto-limpante, anti-incrustante, esterilizando a superfície envidraçada. Outros revestimentos especiais também foram desenvolvidos, tais como anti-grafite, controle térmico, economia de energia e anti-reflexo.

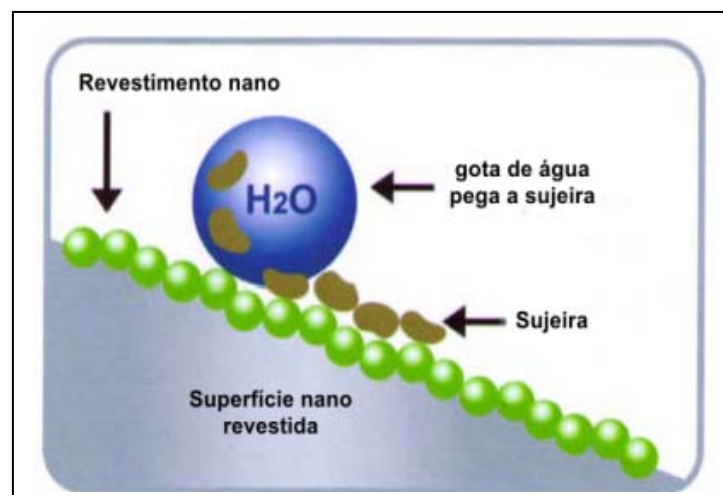


Figura 4: Superfície nanorevestida.
Fonte: RENDEIRO, 2013.

A figura 5 mostra a anatase⁵, uma das forma do TiO₂ , material com forte poder oxidante quando exposto à radiação ultravioleta, gerando a fotocatalise. Por meio desta, este material tem a capacidade de decompor matérias nocivas presentes no ar que entram em contato com a superfície do revestimento (PARAMES, 2010).

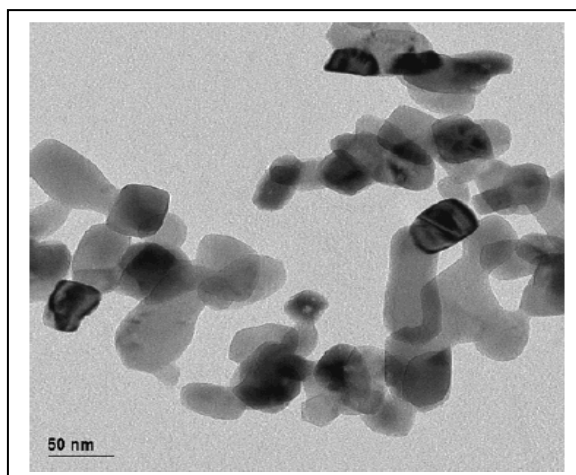


Figura 5: TiO₂ nanométrico na forma de anatase.
Fonte: PARAMES, 2010.

A Figura 6 mostra o gás carbônico, CO₂, sendo liberado na reação de decomposição de poluentes sob a ação dos raios ultravioleta e do nano-TiO₂. A figura da direita representa a característica hidrofílica do dióxido de titânio, carreando subprodutos da fotocatalise.

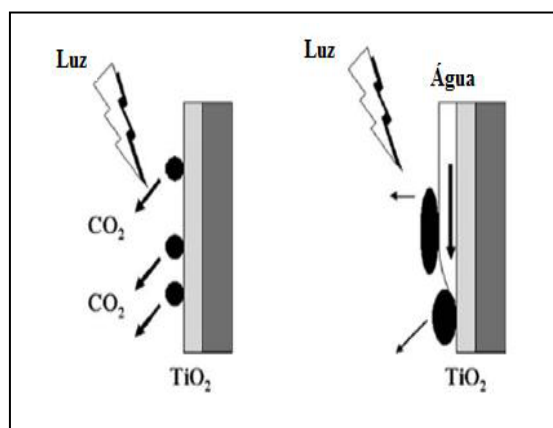


Figura 6: Reação de decomposição de poluentes e característica hidrófila do TiO₂.
Fonte: PARAMES, 2010.

⁵ É uma das três formas minerais do dióxido de titânio, sendo as outras duas o rutilo e a brookite.

Em superfícies vítreas a característica hidrofílica do dióxido de titânio, conforme mostra nas Figuras 7 e 8, evita a formação de gotículas. Tal propriedade faz com que a água escorra pelo vidro sem deixá-lo embaçado, formando um pano d'água.

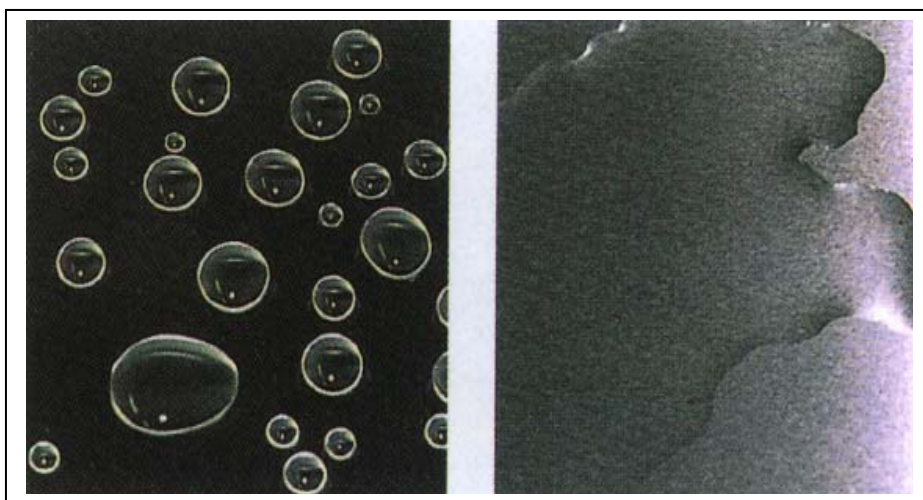


Figura 7: Formação de gotículas e superfície sob a ação do dióxido de titânio.
Fonte: PARAMES, 2010.



Figura 8: Vidro sem nano-tiO₂ à esq. e à direita vidro com nano-tiO₂ incorporado.
Fonte: PARAMES, 2010.

Embora a incorporação de nano-TiO₂ não garanta uma capacidade auto-limpante eterna dos revestimentos, dependendo das condições de iluminação,

precipitação e sujidade atmosférica da região, este prolonga as boas condições estéticas e de deterioração da superfície revestida.

A igreja do Jubileu, em Roma, Itália, concluída em 2003, foi construída utilizando-se concreto branco, com nano-TiO. Com tecnologia TX Active da Italcementi, empresa italiana, fabricante de cimento, pioneira em cimento de alta tecnologia, a estrutura da igreja conta com concreto auto-limpante de alta resistência. A figura 9 ilustra a fachada da igreja que mantém sua cor branca após 10 anos de concluída (PARAMÉS, 2010).



Figura 9: À igreja do Jubileu, em Roma, Itália.
Fonte: PARAMES, 2010.

Ainda há muito o que estudar para definir novos materiais que possam ser incorporados às nanopartículas de dióxido titânio, no entanto, alguns produtos já estão sendo comercializados. Este é o caso principalmente das tintas que já vêm sendo empregadas no mercado. Atualmente já podemos encontrar tintas mais duráveis e anti-pichação para edifícios e estruturas, com nanotecnologia a preços acessíveis.

Outros revestimentos que também já podem ser encontrados no mercado são (MORAIS, 2012):

_ revestimentos de proteção ou anti-corrosão;

- _ revestimentos auto-limpantes;
- _ revestimentos de controle térmico;
- _ revestimentos para economia de energia;
- _ revestimentos anti-reflexo para aplicação em janelas e fachadas;
- _ tintas e revestimentos de fácil limpeza e antibactericidas para uso *indoor* em ambientes de trabalho.

Quando falamos em revestimento para economia de energia, embora pareça algo futurista, tal tecnologia já se encontra acessível. Aqui, mesmo em Lagoa Santa, MG, a Nanum Nanotecnologia S/A⁶, criada em 2003 por professores e alunos da UFMG e apoiada por empresas mineiras, hoje tem um dos principais acionistas a Clamper Indústria e Comércio S/A, que atua no mercado nanométrico⁶.

A Nanum desenvolve e comercializa tintas Fotovoltaicas, a Nanum Solar Cell Technologies, capaz de transformar a energia luminosa, proveniente do sol ou de outra fonte de luz, em energia elétrica. O sistema de captação de energia solar, conta com quatro camadas de tinta, a primeira camada, mais superficial, trata-se de um verniz condutivo, a segunda camada é um filme de TiO_2 , a terceira é uma camada de tinta acrílica de nano $ZnTiO_2$, e a quarta camada é uma tinta condutora. As camadas funcionam como um gerador que transforma energia luminosa, lumens, em eletricidade⁶.

⁶ Fonte: www.nanum.com.br

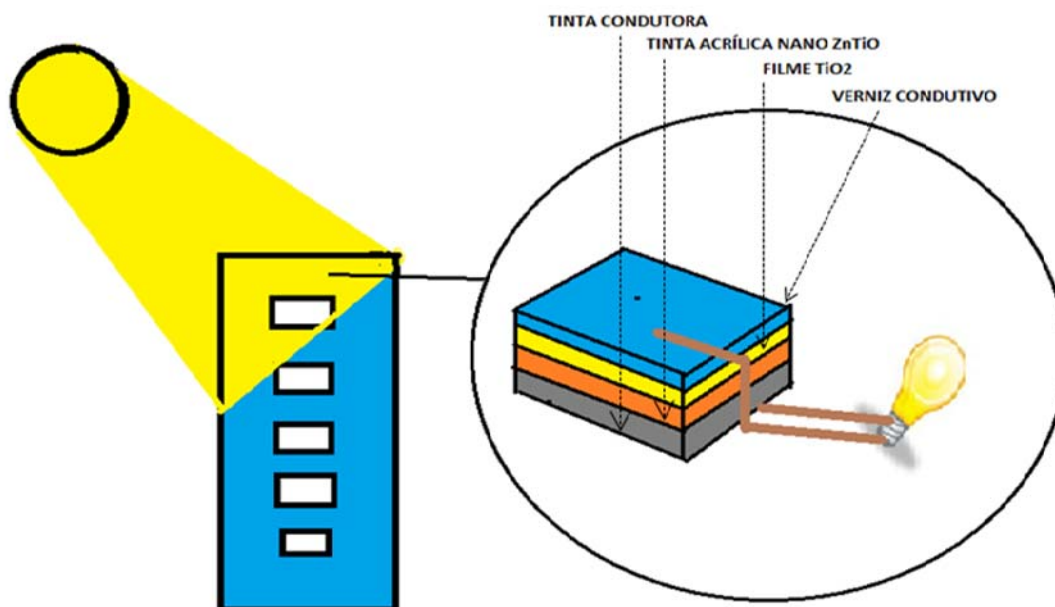


Figura 10 - Tinta fotovoltaica.⁷

Uma vez que podem ser aplicadas em qualquer superfície, aumentam a possibilidade de comercialização. Estas podem ser empregadas em iluminação pública, ou até mesmo, fonte de energia para veículos híbridos. E sendo uma fonte de geração de energia renovável, este sistema segue padrões de sustentabilidade que tendem a ser, cada vez mais, requisitados nas novas edificações.

⁷ Adaptado da Fonte: <http://www.nanum.com.br>

5.3.3- Nano Sensores de Monitoramento na Construção Civil

5.3.3.1- Tintas Inteligentes

As chamadas tintas inteligentes foram criadas para monitorar rachaduras em prédios e pontes. Inventadas pelo professor Mohamed Saafi, da Universidade de Glasgow, na Escócia em 31/01/2012, esta tinta é fabricada a partir de um subproduto da queima do carvão, conhecido como cinza volante (pozolana artificial), acrescida de nanotubos de carbono perfeitamente alinhados⁸.

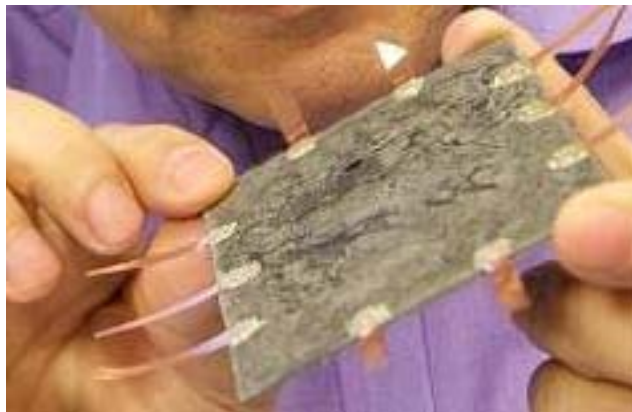


Figura 11 - Tinta Inteligente.
Fonte:<http://www.inovacaotecnologica.com.br>

A menor rachadura na estrutura de nanotubos que se forma depois que a tinta seca, altera a condutância do material, o que pode ser lido por meio de eletrodos simples (SAADI, 2012).

De acordo com o prof. Saadi, (2012) a tinta pode detectar fissuras microscópicas, em edifícios, pontes, turbinas de vento, grandes estruturas metálicas, interior de minas, prevendo riscos de desabamentos. A tinta equivale a colocar monitores em toda a superfície da estrutura.

⁸ Fonte:<http://www.inovacaotecnologica.com.br>

A rede de alerta exige um sistema de comunicação sem fio, com vantagem de ser de baixíssimo consumo de energia que pode ser gerada por nanogeradores. O cálculo do custo da tinta inteligente é aproximadamente 1% do custo dos sensores de monitoramento atuais, os quais são limitados a áreas específicas (SAADI, 2012).

5.3.3.2- Nanosensores Incorporados ao Concreto

Também conhecidos como agregados inteligentes, os nanosensores de monitoramento são dispositivos gerados a partir de material piezocerâmico de baixo custo, que podem ser incorporados ao concreto durante a fase de construção (RENDEIRO, 2013). Tais dispositivos têm a finalidade de controlar algumas propriedades do concreto, como, umidade, temperatura, resistência, bem como, corrosão e rompimento da estrutura de concreto. O objetivo é fornecer um informações a respeito das condições do concreto antes que ocorram falhas como rachaduras.

De acordo com Moraes (2012) uma estrutura com monitoramento constante de temperatura e umidade, equivale a obter informações sobre o processo de degradação da estrutura. Por meio dos nanosensores pode-se detectar reações de difusão de cloretos, álcali-sílica, carbonatação e mudanças dimensionais causadas pelas possíveis variações de temperatura.

Utilizando-se a tecnologia de fabricação de dispositivos microeletrônicos como microprocessadores e chips, permite-se que os Nanosensores sejam baratos o suficiente para serem incorporados e distribuídos nas estruturas em quantidade de centenas a milhões de unidades (MORAIS, 2012). Contudo, ao aplicar tais dispositivos em grandes quantidades, deve-se tomar cuidado para que as propriedades mecânicas e físicas da estrutura não sejam afetadas. Para isso, deve-se conhecer o tipo da estrutura de concreto e as condições ambientais a que esta, será submetida (MORAIS, 2012). O tamanho do sensor encapsulado é de 5 mm de diâmetro e 3 mm de espessura. A Figura 12 mostra um nanosensor

encapsulado ao lado de um Penny americano de aproximadamente 10mm de diâmetro.

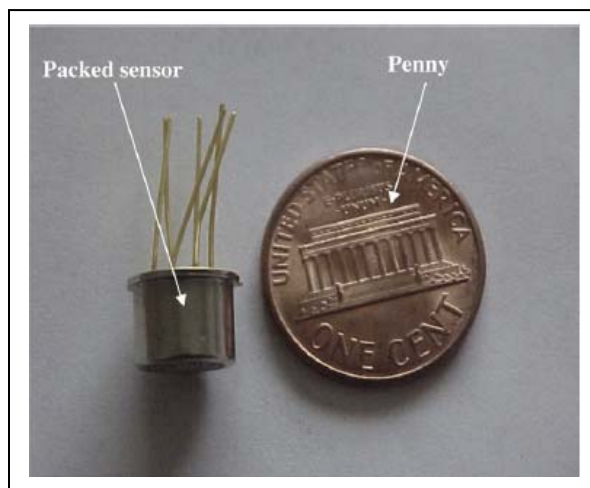


Figura 12 - Nanosensor Encapsulado.
Fonte: MORAIS, 2012.

5.3.3.3- Nanosensores Para Proteção Contra Incêndio

Alguns estudos, segundo Kashiwagi (2005, apud Paramés, 2010), demonstraram que nanocompósitos, contendo uma quantidade relativamente pequena de nanopartículas, podem melhorar o desempenho dos materiais no combate a incêndios.

A argila montmorillonita⁹ dentre as nanopartículas incorporadas em compósitos é a mais utilizada devido à suas propriedades de barreira do fogo, apresentando melhor capacidade de bloqueio de gás e de retardamento à propagação de fogo (Chang, 2004, apud Batiston, 2007).

⁹ Mineral composto por Silicato de alumínio, magnésio e cálcio hidratado.

6. METODOLOGIA

Foram realizados levantamentos bibliográficos abordando conceitos, pesquisas e estudos existentes, bem como a expansão da nanotecnologia no universo industrial. Foram realizadas pesquisas a arquivos físicos e virtuais. Por fim avaliou-se os prós e contras do uso da nanotecnologia, buscando realizar uma análise crítica de seu custo-benefício.

7. ANÁLISE CRÍTICA DOS NANOMATERIAIS

Embora os nanomateriais estejam em destaque nas pautas de discussões das inovações tecnológicas e desenvolvimento de novos produtos, com milhões sendo empregados em pesquisas anualmente, alguns estudiosos já começam a questionar os prós e contras de sua utilização: Estão realmente os nanomateriais trazendo inovações? ou apenas aperfeiçoando os materiais já existentes? Quais os impactos ambientais gerados na elaboração e incorporação de tais materiais nos diversos produtos? Podem tais nanopartículas gerar algum dano à saúde do homem?

De acordo com Christante (2011) os Estados Unidos investem cerca de 40 vezes menos em pesquisa que avaliem os impactos ambientais e sanitários relacionados aos nanoproductos do que em pesquisas de inovações relacionadas à nanotecnologia. No Brasil este cálculo nunca foi feito. A nanotecnologia está presente, não só em materiais da construção, mas em produtos do nosso dia-a-dia, como filtros-solares, cosméticos e pasta de dente, contudo, não há padrões para regulamentar seu uso. Surge a necessidade não só de pesquisas inovadoras, mas que também avaliem o ciclo de vida de tais produtos. A estimativa feita por cientistas é que até 2015 a produção do nanomaterial aumente em 10% (MATURANO, 2009).

Um dos produtos que mais tem preocupado os ambientalistas é o nano-TiO₂, material mais utilizado na indústria de nanomateriais. De acordo com a

estudante de engenharia civil e meio ambiente, Christine Robichaud, da Universidade de Duke, EUA, (apud Maturano, 2009) um dos problemas enfrentados na determinação dos riscos que as nanopartículas de TiO_2 oferecem ao ambiente deve-se ao não conhecimento do quanto deste material é liberado ao meio ambiente.

Em relação ao mercado norte-americano de produção de dióxido de titânio, pesquisadores chegaram à estimativa de que em torno 2,5 milhões de toneladas de materiais estarão na forma de nanopartículas até 2025. Contudo, os estudos só poderão ser realizados e padrões regulamentados a partir da cooperação das indústrias, o que já mostrou ser extremamente difícil. Um dos motivos da dificuldade de se levantar os nanomateriais incorporados é que muitas vezes, os elementos já fazem parte da constituição química do produto. No entanto, um mesmo material ao ser nanomodificado passa a ter diferentes propriedades, e se comportar como um material diferente.

Um ponto de equilíbrio deve ser criado de forma que as pesquisas sejam embasadas na sustentabilidade e no progresso. É preciso que seja estudada uma forma de se criar protocolos e regulamentos para se avaliar a toxicidade dos nanomateriais de forma eficiente sem, contudo, frear o desenvolvimento tecnológico.

7.1 PROPRIEDADES DOS NANOMATERIAIS

Um material ao ser nano-estruturado pode apresentar novas propriedades físico-químicas. Isto se deve à redução de tamanho, mudança de dimensionalidade e da mistura de diferentes elementos químicos (CAMPOS, 2005).

O nanomaterial apresenta características de auto-difusão elevada, isto é, a capacidade de transporte das moléculas em uma solução, transferindo massa, energia e quantidade de movimento. Segundo Campos (2005), quanto à solubilidade em nanomateriais, esta pode ser até 10^4 vezes maior do que o material convencional, o calor específico pode apresentar aumento de 10% a 50% .

De uma maneira geral, a nano-estrutura da maioria dos materiais apresenta melhoria de desempenho e performance. Pesquisas apontam para um aumento significativo da resistência às cargas, maior módulo de elasticidade, resistência a altas temperatura, entre outros. Contudo, as pesquisas para definição das propriedades destes materiais, se restringem a laboratórios em ambientes controlados. Desta forma, os estudos devem ser estendidos às situações reais de exposição à cargas e intempéries.

No ambiente industrial, além do controle da produção dos nanomateriais, as condições de exposição ocupacional, também devem ser avaliadas. O trabalhador ao produzir tais materiais não pode ser exposto a elementos tóxicos, cujos efeitos na saúde ainda não são conhecidos. Surge aí a necessidade da regulamentação do uso de tais produtos.

7.2 DESEMPENHO DOS NANOMATERIAIS

A busca de materiais mais resistentes, leves, rígidos, duráveis e sustentáveis, pela ciência dos materiais, levou a estudos que conduziram ao melhoramento das características físico-químicas dos materiais e por fim aos nanomateriais. Quando falamos das nanopartículas, aplicadas à construção, principalmente em matrizes cimentícias, a alta performance, está ligada diretamente ao método de incorporação deste material. Ou seja, a não incorporação de forma adequada interfere diretamente no desempenho das matrizes.

No caso dos nanotubos de carbono, quando não distribuídos de maneira uniforme na matriz cimentícia, pode afetar negativamente os resultados de resistência e durabilidade. Isto, porque ao serem aplicadas cargas, estas não se distribuem de maneira uniforme, levando a pontos de baixa resistência e à possíveis fissuras. Deve-se lembrar de que os nanotubos de carbono "são fortes, mas não inquebráveis" (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2006), logo tais estruturas também apresentam pontos de ruptura. Há pesquisas que estudam o padrão de tais rompimentos. Quando a folha que forma o nanotubo não está perfeitamente alinhada formam-se pontas denominadas quirais. Os padrões de ruptura devem-se a quiralidade do nanotubo de carbono, sendo o ponto frágil da estrutura. Desta forma, como todo material, as nanopartículas apresentam pontos vulneráveis. Contudo, quando controlados tais pontos, temos os materiais mais resistentes conhecidos.

7.3 CUSTOS E INVESTIMENTO EM NANOTECNOLOGIA

A redução de custos dos nanomateriais é um dos principais desafios à comercialização e o desenvolvimento de processos de produção em larga escala. O custo atual do grama de nanotubo de carbono gira em torno de US\$ 3,00. No entanto, estudos apontam para a viabilidade de se produzir cimento com nanotubos de carbono, o qual pode chegar a um custo equivalente a duas vezes o preço atual do cimento Portland convencional (MORAIS, 2012).

E embora concentrado em pequenos nichos, o mercado, vem apresentando um crescimento acelerado. Segundo Graham (2009) o investimento em produtos nanotecnológicos nos Estados Unidos é de US\$ 385 milhões por ano, com previsão de US\$ 20 bilhões para o ano de 2013. Vale ressaltar que os EUA são os terceiros do ranking de investimentos em nanotecnologia, perdendo para Japão, que vem em segundo lugar e para o Reino Unido em primeiro (RAMOS, 2008).

No Brasil o investimento em nanotecnologia é bem mais discreto, de acordo com Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA), em oito anos, de 2000 a 2007, o investimento federal em nanotecnologia alcançou R\$195 milhões, menos de 5% do investimento total do Brasil em pesquisa no período, 3,9 bilhões. Em 2009 a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) investiu apenas R\$15 milhões em novos projetos de nanotecnologia, em comparação com outros países, tais recursos são escassos. Somado ao baixo investimento, tem-se a precariedade de articulação entre as instituições de pesquisas universitárias e as indústrias brasileiras que não sabem o que está sendo desenvolvido nos laboratórios¹⁰.

10

https://ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_alphacontent&ordering=10&limitstart=7420&limit=10&Itemid=25

Fonte:

Com perspectivas de mudar tal cenário, em 2012 o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) anunciou o investimento de R\$ 110 milhões na área entre 2012 e 2015. O anúncio foi feito durante o Seminário Regulação, Inovação e Desenvolvimento da Nanotecnologia. Já em 2013 o governo federal anunciou que iria investir R\$ 440 milhões na área de nanotecnologia em 2014. Além disso, criou a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), com intuito de integrar e aproximar o universo acadêmico às empresas. Tendo ainda reestruturado o Sistema de Laboratórios em Nanotecnologias - SisNano. Composto por unidades especializadas de laboratórios, voltados à pesquisa, o SisNano, é responsável pelo desenvolvimento de inovação e nanotecnologias. O objetivo do SisNano é mobilizar as empresas brasileiras e apoiar suas atividades, além de reforçar a infra-estrutura existente e facilitar o acesso à comunidade acadêmica.¹¹

Como a Nanum Tecnologia S.A., fundada por pesquisadores da UFMG, alguns laboratórios ao redor do mundo, também estão se tornando empresas e se direcionando rumo ao mercado. Contudo, ainda a maioria dos nanoproductos é direcionada a trabalhos científicos. Desta forma, com um passo após outro, o Brasil vem investindo e criando recursos para o desenvolvimento tecnológico no país. As perspectivas são promissoras, tendo em vista o incentivo da integração entre cientistas e empresários de forma a promover a expansão do uso e comercialização dos nanoproductos.

11

https://ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_alphacontent&ordering=10&limitstart=7420&limit=10&Itemid=25

Fonte:

7.4 PERSPECTIVAS FUTURAS

O futuro da nanotecnologia na construção nos remete à sustentabilidade e ao estudo do ciclo de vida dos produtos. Faz-se necessário, a inserção de valores nas escolhas, bem como, em nosso modo de vida. A sustentabilidade na construção civil irá modular muito além dos materiais utilizados, fomentará um novo padrão de comportamento. Com as novas tecnologias, cada vez mais avançadas, os nanomateriais serão produtos inerentes ao processo de construção, desde a fase de projeto até a entrega do produto final.

A busca por economia energética, conforto térmico e acústico e segurança, leva a engenharia a criar ambientes que não só atendam às regulamentações e certificações, mas ao padrão de exigência dos proprietários. Materiais nano-estruturados, de alto desempenho, irão proporcionar padrões de qualidade das edificações cada vez mais altos, com revestimento de tintas fotovoltaicas que abasteçam os carros híbridos, fachadas vítreas que sejam auto-limpantes, e que proporcionem conforto térmico, resistência à propagação do fogo e segurança. À medida que forem consumidos em escala industrial o custo dos nanomateriais tende a ser menor.

No entanto, além de usufruir dos benefícios das inovações tecnológicas, cabe a nós certificarmos, dos possíveis impactos negativos que tais nanomateriais podem gerar, tanto ambientais quanto ocupacionais. As inovações devem estar intrinsecamente ligadas às bases mais sólidas da sustentabilidade, de forma que seja possível desfrutar das novas tecnologias, sem causar impactos negativos às gerações futuras.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nanotecnologia, no setor da construção civil, tem seu enfoque principal o entendimento de como as propriedades e desempenho dos materiais são afetados com a incorporação de nanoproductos. O principal foco são as matrizes cimentícias, as quais são produzidas em larga escala. O desenvolvimento de matrizes cimentícias de alto desempenho, a custos acessíveis, é um grande nicho de mercado.

Contudo, para proporcionar resultados econômicos altamente favoráveis, ainda há poucos estudos sobre as propriedades da nano-estruturação, incluindo nanotubos de carbono (MORAIS, 2012). Faz-se necessário um maior investimento em pesquisas nesta área e incentivos industriais para que bons resultados possam ser alcançados. Para o sucesso da inserção de novos materiais na construção, além da viabilidade custo-benefício, deve haver uma interação entre o universo acadêmico e o mercado. As empresas precisam conhecer os novos produtos e participar dos resultados.

Embora haja críticas, a qualidade da nanotecnologia em melhorar as propriedades dos materiais é inquestionável. As pesquisas cada vez mais, confirmam tal premissa. De acordo a pesquisa de Moraes (2012), os nanotubos de carbono apresentaram ótimos resultados quando incorporados a matrizes cimentícias a baixos teores. Segundo o pesquisador a mistura de 0,4% de nanotubos de carbono apresentou a melhor eficiência em relação à mistura de referência, chegando a um aumento de 40% na resistência de compressão, 30% na resistência de tração, 25% no módulo de elasticidade dinâmico e 15% na resistência de flexão. Os compósitos com 0,6% de NTC apresentaram resultados inferiores para essas mesmas características mecânicas.

Outro fator de grande importância para se obter bons resultados é a forma de dispersão do nanotubo à matriz. Caso não seja adequada os resultados podem

ser incongruentes. Este trabalho, bem como, outras pesquisas e estudos presentes na literatura, mostram que os resultados reafirmam as vantagens da incorporação dos nanomateriais, com ressalvas para o modo com que esta incorporação é realizada.

A industrialização dessa tecnologia levará a redução dos custos, a um patamar econômico que possa ser absorvido pela indústria da construção. Desta forma, a nanotecnologia poderá levar a uma utilização mais sustentáveis dos materiais de construção. Com produtos mais resistentes e duráveis, haverá menor desperdício, menor geração de resíduos e menor impacto ambiental. Proporcionando a concepção de projetos com maior eficiência energética, que não só impactarão o universo da construção, mas toda uma modelagem de escolhas e comportamentos de uma geração.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1-BATISTON, Eduardo R. - *Estudo exploratório dos efeitos de nanotubos de carbono em matrizes de cimento portland*, 78f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.
- 2-CAMPOS, Carlos Eduardo Maduro - *Estudo De Propriedades Físicas De Nanomateriais Produzidos Por Síntese Mecânica* - Universidade Federal de Santa Catarina - Centro de Ciências Físicas e Matemáticas - Departamento de Física - Florianópolis, Março/ 2005.
- 3-CASTRO, Luis Antônio Suita- *Processamento de Amostras para Microscopia Eletrônica de Varredura* - Embrapa- Pelotas, RS, 2002.
- 4-CHRISTANTE, Luciana - O Real Tamanho do Mundo Nano - publicação revista Unespciência, agosto 2011. Acessado em 28/1/2014 - http://www.unesp.br/aci_ses/revista_unespciencia/acervo/22/nanotecnologia-tamanho-real.
- 5-CONDLIFFE, Jamie - *Cientistas preparam os processadores do futuro com nanotubos de carbono*, Publicado na Web em 29/10/2012, acessado em 01/7/2013 20:36; <http://gizmodo.uol.com.br/processadores-nanotubos-carbono>
- 6-GANESH, V. Kartik, *Nanotechnology in Civil Engineering*, Department of Civil Engineering, SRM University, Kattankulathur, Chennai, India, publicado, European Scientific Journal November edition vol. 8, No.27 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 96 , 2012. <http://civil.neduet.edu.pk/ICCIDC-1/Conference%20Proceedings/Papers/025.pdf>, acessado em 24/01/2014 - 11:29
- 7-JORDÃO, Fábio - *O que é Nanotecnologia* - <http://www.tecmundo.com.br/amd/2539-o-que-e-nanotecnologia-.htm> , 16:53, agosto 2006, acessado em 11/11/2013.
- 8-HERBST, Marcelo H. - *Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- 9-HINOJOSA, Paola A. Ayala. *Efeitos de fonte precursora no controle da dopagem e ambiente químico em nanotubos de carbono dopados com nitrogênio*. 2007. Tese Doutorado em Física) – Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: http://www2.dbd.pucrio.br/pergamum/tesesabertas/0321141_07_cap_02.pdf>. Acesso em: 12/11/ 2013.
- 10-INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. *Nanotubos de carbono são fortes, mas não inquebráveis*. 2006. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br>>. Acesso em: 20 abr. 2008.

11-MALISKA, ANA MARIA, - *Microscópio Eletrônico de Varredura e Microanálise - Laboratório de Caracterização Microestrutural e Análise de Imagens*, Apostila, UFSC, 2013.

12-MATURANO, Arlei - *Dióxido de titânio pode causar impacto ambiental* - Artigo publicado no site <http://www.biotec-ahg.com.br/index.php/pt/acervo-de-materias/meioambiente/536-dioxido-de-titanio-pode-causar-impacto-ambiental>, em 29/05/2009. Acessado em 28/1/2014.

13- MELO, Valquíria Silva - *Nanotecnologia aplicada ao concreto: efeito da mistura física de nanotubos de carbono em matrizes de cimento portland*, Dissertação de Mestrado, UFMG, 2009.

14- MORAIS, Jorge Fernandes. *Aplicações da Nanotecnologia na Indústria da Construção: Análise Experimental Em Produtos Cimentícios com Nanotubos de Carbono*, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Fluminense, Niteroi/ RJ, 2012.

15-PARAMÉS, João , Jorge de Brito - *Adições nanoparticuladas para materiais de construção ignífugos*, artigo, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Construção, Lisboa, 2010.

16-PARAMÉS, João , Jorge de Brito - *Materiais de Construção Nanotecnológicos de auto limpeza*, artigo, Universidade Técnica de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Construção , Lisboa , 2010.

17-RENDEIRO, José Eduardo - *Aplicação da nanotecnologia na Engenharia Civil*, artigo, <http://blog.construir.arq.br/aplicacao-nanotecnologia-engenharia-civil/> outubro 9, 2013 As 8:11 Pm .

18-SAADY, Mohamed - *Tinta inteligente monitora rachaduras em prédios e pontes*-artigo ublicado o site no <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=tinta-inteligente-monitora-rachaduras-predios-pontes>, 31/01/2012.

19-SANDVIK NANOFLEX, <http://www.smt.sandvik.com/en-gb/materials-center/material-datasheets/strip-steel/sandvik-nanoflex/> atualizado 27/11/2013, acessado em 24/01/2013 s 22:40.