

DIREÇÃO DE OBRA: INVESTIGAÇÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO

LUÍS FILIPE DIAS SANTOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

JUNHO DE 2013

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais e à eterna memória do meu irmão Pedro

*Um pessimista vê a dificuldade em cada oportunidade; um otimista vê a oportunidade em
cada dificuldade*

Winston Churchill

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio em todos os momentos e pela educação que me deu.

Ao orientador, Professor Doutor Alfredo Soeiro, pela proposta do tema e pela disponibilidade e apoio ao longo da execução deste trabalho.

Aos meus amigos pelos momentos de diversão e todo o companheirismo.

A todos os envolvidos no projeto de voluntariado FEUP+ que me permitiu evoluir como pessoa.

RESUMO

A pesquisa de soluções para os problemas na edificação sempre redundou em investigação e desenvolvimento de novos produtos e materiais. Com o passar do tempo e a evolução da tecnologia, mais e mais materiais foram encontrados. No entanto, agora há uma nova tendência: criar os materiais. Os nanomateriais são desenvolvidos para responderem a necessidades muito específicas. São integrados noutros materiais para lhes conferirem propriedades que tradicionalmente não possuíam.

A presente dissertação aborda essencialmente a definição de nanomaterial, algumas aplicações atuais na construção e as implicações na direção de obra. Revela-se assim um contributo para empresas de desenvolvimento de materiais e para empresas relacionadas com a construção em geral obterem conhecimento destas novas soluções.

É uma abordagem que carece de casos de estudo em ambientes reais para se obter uma maior perceção da valia destes materiais e das suas implicações, mas serve de base para conhecimentos mais aprofundados relacionados com o tema.

Ainda assim, pode-se concluir que apesar de atualmente os nanomateriais terem um impacte limitado, no futuro serão elementos vulgares na indústria da construção.

PALAVRAS-CHAVE: construção, direção de obra, nanomateriais, nanotecnologia, sustentabilidade.

ABSTRACT

The quest for solutions to the building problems has always resulted in research and development of new products and materials. In the course of time and along with the evolution of technology, more and more materials were found. However, there is now a new tendency: creating materials. Nanomaterials are developed to respond to very specific needs. They are integrated in other materials to give them properties they wouldn't traditionally possess.

The present dissertation addresses essentially the definition of nanomaterial, some of the current applications on construction and the implications on construction management. It is therefore a contribution to material development companies and other firms related to construction in general to obtain knowledge of these new solutions.

It's an approach that lacks case studies in real environments to obtain a better perception on the value of these materials and its implications, but it serves as a basis for deeper knowledge related to the subject.

Still, it can be concluded that in spite of nowadays nanomaterials having a limited impact, in the future they will be ordinary elements on the construction industry.

KEYWORDS: construction, construction management, nanomaterials, nanotechnology, sustainability.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	2
1.3. OBJETIVOS DO TRABALHO	2
2. NANOMATERIAIS	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. DEFINIÇÃO E ESCALA	4
2.2.1. DEFINIÇÃO	4
2.2.2. ESCALA	4
2.3. PROPRIEDADES	5
2.4. TIPOS	7
2.5. VISUALIZAÇÃO	8
2.6. PRODUÇÃO	9
2.7. HISTÓRIA E INVESTIGAÇÃO	9
3. APLICAÇÕES	13
3.1. INTRODUÇÃO	13
3.2. BETÃO	14
3.2.1. SÍLICA DE FUMO	14
3.2.2. HEMATITE	15
3.2.3. DIÓXIDO DE TITÂNIO	15
3.2.4. NANOTUBOS DE CARBONO - CNT	15
3.2.5. AUTORREGENERAÇÃO (<i>SELF-HEALING</i>)	16
3.3. AÇO	16
3.4. REVESTIMENTOS E PINTURAS	17
3.4.1. AUTO-LIMPEZA E PURIFICAÇÃO DE AR	17

3.4.2. ANTIBACTERIANO	18
3.4.3. PROTEÇÃO CONTRA O FOGO	18
3.4.4. METAIS	18
3.4.5. MADEIRAS	19
3.4.6. CERÂMICAS	20
3.4.7. CORANTES E PIGMENTOS.....	20
3.5. VIDRO	20
3.5.1. CONTROLO DE OPACIDADE.....	20
3.5.2. AUTO-LIMPEZA	22
3.6. ISOLAMENTO	23
3.6.1. AEROGEL E ESPUMA DE POLÍMEROS.....	23
3.6.2. TINTA DE ISOLAMENTO	24
3.6.3. PCM (<i>PHASE CHANGE MATERIAL</i>).....	24
3.7. ENERGIA SOLAR	24
3.7.1. MELHORIA DA TECNOLOGIA ATUAL	25
3.7.2. FILMES FINOS.....	25
3.7.3. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ORGÂNICOS - OPV	26
3.7.4. CÉLULAS SOLARES DE CNT-SILÍCIO E GRAFENO-SILÍCIO.....	27
3.8. OUTRAS APLICAÇÕES	27
3.9. SÍNTESE.....	27
4. DIREÇÃO DE OBRA	29
4.1. INTRODUÇÃO	29
4.2. PREÇOS, PRAZOS E TECNOLOGIA.....	29
4.2.1. PREÇOS	29
4.2.2. PRAZOS	31
4.2.3. TECNOLOGIA	32
4.3. SEGURANÇA E SAÚDE.....	32
4.3.1. SÍLICA	33
4.3.2. DIÓXIDO DE TITÂNIO.....	33
4.3.3. CNT	33
4.3.4. AEROGÉIS E ESPUMAS DE POLÍMEROS.....	34
4.3.5. PRATA.....	34

4.3.6. APLICAÇÕES NO METAL.....	34
4.3.7. FLUOROCARBONOS.....	35
4.3.8. MEDIDAS PREVENTIVAS	35
4.4. SUSTENTABILIDADE.....	36
4.4.1. DEFINIÇÃO DE SUSTENTABILIDADE.....	36
4.4.2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO E OS NANOMATERIAIS.....	37
5. CONCLUSÃO.....	39
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
5.2. PERSPETIVAS.....	40
5.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Conhecimento de Mercado. Van Brokhuizen <i>et al.</i> , 2009.....	3
Fig.2 – Alteração de cor conforme tamanho. Silva, 2010.	6
Fig.3 – Divisão pelo número de dimensões na nanoescala. Adaptado de Bax, 2007.....	7
Fig.4 – Comparação entre imagem AFM (em cima) e representações moleculares (em baixo). Fischer <i>et al.</i> , 2013.....	9
Fig.5 – IBM escrito através da manipulação individual de átomos de Xénon. Site da IBM.....	10
Fig.6 – Evolução do número de patentes registadas no EPO (European Patent Office), totais e relativas às aplicações da nanotecnologia. Kallinger, 2007.	10
Fig.7 – Evolução Orçamental dos Programas/Quadro (PQ). Brochura do PQ7, Comissão Europeia, 2007.....	11
Fig.8 – Exemplos de Aplicação. Adaptado de van Brokhuizen, 2009.	13
Fig.9 – Fotografia mostrando partículas individuais de Sílica de fumo. Fidjestöl e Lewis, 1998.....	14
Fig.10 – Representação de Estruturas Moleculares de SWNT e MWNT. Donaldson <i>et al.</i> , 2006.....	15
Fig.11 – Método de Atuação da Autorregeneração do Betão por polímeros. Quando há fissuração da superfície, as cápsulas libertam o seu conteúdo (b) e em contato com o ar, este solidifica tapando a fissura (c). Adaptado de Chung <i>et al.</i> , 2013.....	16
Fig.12 – Fachada Prosolve370e. Usa nanopartículas de TiO ₂ para combater a poluição atmosférica. Site da Elegant Embellishments Ltd.	17
Fig.13 – Espectros de reflectância de vários sistemas. De notar os valores mais elevados para os sistemas compostos por ambos os óxidos (ZnO:CeO ₂). Adaptado de Lima <i>et al.</i> , 2009.....	19
Fig.14 – Superfície de madeira com aplicação de revestimento Nanowood da NanoProtect.....	20
Fig.15 – Representação esquemática (fora de escala) de um vidro electrocrómico. Composto por camadas de vidro, ITO, trióxido de tungsténio e cristais líquidos. Alexe-Ionescu <i>et al.</i> , 2001.....	21
Fig.16 – Controlo da opacidade com sgg Priva-Lite [®] da Saint-Gobain. Sem passagem de corrente é opaco, com a passagem de corrente torna-se transparente.	21
Fig.17 – Observação da superhidrofobia das folhas através da forma quase esférica das gotas de água na sua superfície. Site Bavana Jhagat.....	22
Fig.18 – Imagens MEV de folha de lótus (a e b) e gota de água na superfície (c); imagens MEV da estrutura artificial (d e e) e gota de água na superfície artificial (f). Stratakis <i>et al.</i> , 2009.....	22
Fig.19 – Capacidade de Fotovoltaicos ligados à rede instalada anualmente nos Estados Unidos por mercado (serviço público, comercial e residencial), entre 2001 e 2010. Adaptado de SunShot, 2012.25	
Fig.20 – Célula Solar flexível CIGS. Site da Empa.	26
Fig.21 – Ilustração da estrutura de TiO ₂ -Grafeno-Silício (esquerda) e imagem MEV da seção transversal mostrando o revestimento uniforme de TiO ₂ (espessura aproximada de 65 nm) por cima da célula de Grafeno-Silício. Cao <i>et al.</i> , 2013.....	27
Fig.22 – Repartição do consumo de energia por setor. DGEG, 2010.	30

Fig.23 – Qualidade do Sistema e Sustentabilidade. Reflete possíveis evoluções temporais da qualidade do sistema e a qualificação como sustentável ou insustentável em conformidade com a evolução, baseado num indicador único. Bell e Morse, 2008.....36

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Escala.....	5
Tabela 2 – Área Superficial e Volume.....	5
Tabela 3 – Propriedades Alteradas pela Nanoescala e algumas Aplicações Potenciais. Adaptado de Luther, 2004.	6
Tabela 4 – Tipos e Descrições de Materiais	7
Tabela 5 – Comparação Aerogel (Spaceloft) vs Wallmate CW-A	23
Tabela 6 – Principais Nanomateriais e Aplicações	28
Tabela 7 – Gastos médios mensais (entre Abril e Outubro) com energia no Caso de Estudo (Nansulate, 2010).....	31

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Presentemente vive-se um mundo em que a mudança é constante. A evolução tecnológica é mais rápida que nunca e com eterna tendência para essa velocidade aumentar. Assim, importa perceber um pouco do que temos perante nós. Este trabalho aborda precisamente um tipo de materiais relativamente recentes. Como material em si não é novidade, mas como produto comercial aplicável na construção é efetivamente recente. A aplicação em larga escala ainda não é uma realidade, mas mesmo sem querer prever o futuro, dificilmente teremos um mundo que não esteja abundado destes materiais. Fala-se de nanomateriais.

A pesquisa por novas soluções para os problemas teve como ponto de passagem a procura de soluções *out of the box*. Mais do que procurar soluções compostas de materiais existentes, houve necessidade de criar materiais novos. Aliás, diga-se que esta personificação de Criador levou a muitas manifestações “Anti-Nano”.

Os nanomateriais começam a ter um papel importante na construção, alterando a forma como vemos os materiais e como usamos a edificação. Têm potencial para reduzir custos de construção e utilização, para melhorarem a qualidade de vida e criarem uma maior relação de simbiose entre os edifícios e a cidade. Aqui, introduz-se a questão da sustentabilidade. Todos estes aspetos associados à construção têm influência no trabalho de um diretor de obra. Como elemento fundamental da construção e um dos principais elementos decisores, o diretor de obra deve ter conhecimento das implicações que os nanomateriais poderão ter na construção.

Mas não são só os diretores de obra que desconhecem estas novas soluções. Professores, alunos, projetistas, equipas de fiscalização e empreiteiros ainda apresentam um baixo nível de informação relativo a este tema. Associado ao fator novidade, há o problema da parca bibliografia existente. Daí este trabalho ganhar ainda mais sentido. Não pretende ser um “manual avançado” sobre nanomateriais, mas uma base de conhecimento para trabalhos futuros e para um espalhar de conhecimento sobre o assunto.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em 4 partes essenciais: o básico sobre nanomateriais, as suas aplicações em edifícios, as implicações na direção de obra e uma conclusão e projeções de desenvolvimentos na área.

A primeira parte reflete sobre as definições de nanomateriais, sobre a perceção da escala nano, as propriedades destes materiais, os tipos existentes, os métodos produtivos e o financiamento e investigação existente.

Após se conhecer o essencial, são abordadas algumas das aplicações atuais dos nanomateriais. Desde integração no betão, nos revestimentos e no vidro, até às aplicações nos sistemas de captação de energia solar e nos isolamentos, são passados em revista os mais abrangentes usos.

De seguida, a direção de obra e os nanomateriais. A integração na construção terá necessariamente implicações nos custos, prazos e tecnologias, elementos principais da definição de qualidade de uma edificação. Também a saúde e segurança é um tema bastante importante na construção e é abordado neste capítulo, abordando os perigos dos nanomateriais mais usados e apontando algumas medidas preventivas. Para terminar, uma questão cada vez mais em foco: a sustentabilidade. A procura de uma definição e a sua afetação derivada do uso de nanomateriais são os principais temas deste subcapítulo.

Por último, na conclusão é feita uma prospeção do mercado dos nanomateriais (não só a compra/venda como a investigação e desenvolvimento) e uma abordagem ao que deverá ser feito no futuro, incluindo algumas ideias de aplicações.

1.3. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tinha como objetivos a investigação sobre o uso de nanomateriais, as suas aplicações em edifícios e as implicações dos mesmos na construção civil.

Reduzindo este objetivo em metas a cumprir até o atingir, podem ser abordadas duas fases. A primeira fase corresponde à investigação. Desde conhecimento sobre os nanomateriais em si, a cronologia de acontecimentos e o que está a ser feito em termos de investimento, passando pelos produtos existentes no mercado e as investigações correntes e acabando nos perigos para a saúde e outros temas abordados no capítulo 4. Outra fase deste trabalho prende-se com a necessidade de perceber a atualidade e veracidade da informação recolhida. Tendo em conta que é um tema muito recente é fácil encontrar informação que tendo sido verdadeira ontem não a é hoje. Após estas duas fases, procede-se à escrita do trabalho.

Como fonte de conhecimento que este trabalho pretende ser, tem como objetivo último a disponibilização de conhecimento para todos de uma matéria que ainda não é muito divulgada principalmente no âmbito académico nacional.

2

NANOMATERIAIS

2.1. INTRODUÇÃO

Em 1959, Richard P. Feynman dá uma palestra intitulada “*There’s Plenty of Room at the Bottom*” (tradução literal: Há muito espaço no fundo) em que discute a existência de um campo da física ainda por estudar. Fala de enciclopédias escritas na cabeça de um alfinete e de peças à escala angström (10^{-10} metros). Não lhe dá o nome, mas marca o início do estudo da nanotecnologia e, conseqüentemente, dos nanomateriais. Só em 1974, Norio Taniguchi, na altura professor na Universidade de Ciência de Tóquio, usa pela primeira vez o termo nanotecnologia. Nos anos 70 e 80, K. Eric Drexler, motivado pela palestra de Richard Feynman, estuda este fenómeno e escreve o livro *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* onde usa precisamente o termo nanotecnologia sem ter conhecimento do trabalho de Taniguchi. No entanto, tanto o trabalho de Taniguchi como Drexler são puramente teóricos e a nanotecnologia só começa a ser uma realidade com a evolução dos métodos de visualização ampliada, que deram o prémio Nobel a Gerd Binnig e Heinrich Rohrer (com o desenvolvimento do microscópio de corrente de tunelamento). Este tema será desenvolvido no subcapítulo 2.5.

As potencialidades são enormes, tal como os eventuais problemas que podem causar. Importa agora perceber o conhecimento que o mercado da construção civil tem deste tipo de tecnologia. Após um inquérito feito em 2009 em países da União Europeia, as respostas apontavam para 21% de pessoas relacionadas com a construção com conhecimento de que trabalhavam com nano-produtos e um pouco menos sem conhecimento mas com suspeitas de que o estariam a fazer (suspeitas levantadas após confrontação com lista de produtos), tal como mostra a figura 1. Na mesma figura podemos observar que há ainda uma percentagem próxima de 20% que suspeita da sua utilização mas que não está ciente desse facto.

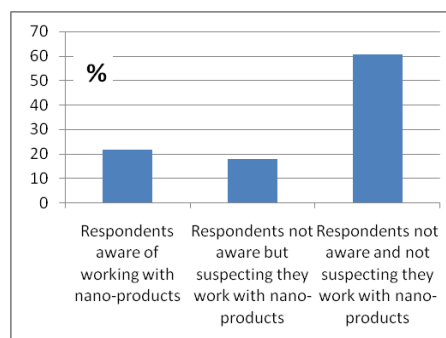


Figura 1 - Conhecimento do mercado. Van Broekhuizen *et al.*, 2009.

Em relação a estes valores falta perceber a validade que têm. Sendo um inquérito não-obrigatório, é fácil pôr em causa com o simples argumento de que havia mais tendência para responder se a resposta fosse positiva, logo os resultados associados às respostas positivas estariam inflacionados. Ainda assim, estes valores podem ser tomados como não-representativos, mas indicativos da realidade. Pode-se então afirmar que uma pequena parte dos envolvidos no setor da construção estão a par do uso de nanomateriais, uma parte equivalente pode estar a usar sem saber e, acima de tudo, que a maioria desconhece ou não usa.

2.2. DEFINIÇÃO E ESCALA

2.2.1. DEFINIÇÃO

Historicamente, a primeira definição de nanotecnologia foi dada por Norio Taniguchi (já referido anteriormente). Essa definição foi enunciada como: “Nanotecnologia consiste maioritariamente no processo de separação, consolidação e deformação de materiais por um átomo ou por uma molécula” (Taniguchi, 1974). Etimologicamente, nanomateriais são materiais à escala nano (que vem do grego *nanos*, que pode ser traduzido para anão), isto é, com dimensões na ordem dos 10^{-9} metros. No entanto, esta definição é muito vaga e poderia dar origem a muitas confusões. Então, o British Standards Institution (BSI) procurou estandardizar o conceito. Define-o como um material com qualquer dimensão externa na escala nano ou com estrutura interna ou superficial na escala nano. Já é uma definição mais rigorosa, mas ainda não é satisfatória porque há materiais nessa escala que são criados naturalmente. Pode ser feita uma distinção entre os materiais naturais e os materiais concebidos. Os materiais naturais são designados de partículas ultrafinas e os materiais concebidos pelo Homem são os nanomateriais.

Ainda assim, a U.S. National Nanotechnology Initiative (NNI) é mais restritiva e rigorosa e define nanotecnologia como tecnologia que envolve os seguintes três pontos:

- Pesquisa e desenvolvimento de tecnologia envolvendo estruturas com pelo menos uma dimensão no intervalo de 1 a 100 nanómetros (nm), frequentemente com precisão atómica/molecular;
- Criação e uso de estruturas, equipamentos e sistemas que tenham propriedades e funções únicas devido às suas dimensões à escala nanométrica;
- A capacidade de controlar ou manipular à escala atómica.

Aplicando isto aos nanomateriais, temos a redução do intervalo para 1 a 100 nanómetros, a necessidade de propriedades únicas e controlo/manipulação à escala atómica. Importa referir que estes nanomateriais serão usados como “aditivos” dos materiais de larga escala (de outra maneira, as construções teriam que ser feitas em laboratórios especializados).

2.2.2. ESCALA

Para se perceber melhor a escala, segue-se uma tabela com alguns exemplos de coisas que nos rodeiam e os seus tamanhos normais:

Tabela 1 - Escala

Elemento	Tamanho	Tamanho em metros	Se NM tivessem 1 cm
Diâmetro de molécula de água	282 pm	$2,82 \cdot 10^{-10}$	-
Nanomateriais (NM)	1 - 100 nm	$1 - 100 \cdot 10^{-9}$	1 cm (0,02 – 2 cm)
Comprimento de Onda visível pelo olho humano	390 - 700 nm	$3,9 - 7,0 \cdot 10^{-7}$	7,8 - 14 cm
Diâmetro de Cabelo Humano	25 μ m	$2,5 \cdot 10^{-5}$	5 m
Diâmetro de Bola de Futebol	22 cm	0,22	44 km

Olhando para a tabela anterior, facilmente se percebe que estamos a tratar de materiais com uma dimensão atômica e não-visível pelo olho humano.

2.3. PROPRIEDADES

Cada nanomaterial tem as suas propriedades únicas, mas também se podem observar algumas propriedades que são comuns a todos. Uma delas, e talvez a mais importante, é a razão entre área superficial e volume ou massa quando comparada ao mesmo material na escala “normal”. Por exemplo, imaginando um cubo de 1 metro de aresta que vamos cortando em cubos mais pequenos, temos:

Tabela 2 - Área Superficial e Volume

Comprimento de Aresta (m)	Número de cubos	Área Superficial Total (m^2)	Volume (m^3)	Área Superficial / Volume
1	1	$(6 \cdot 1 \cdot 1) = 6$	$(1 \cdot 1 \cdot 1) = 1$	6
0,5	8	12	1	12
0,25	64	24	1	24

Conclui-se que quanto mais pequenas são as partículas que compõem o material, maior é a razão entre área superficial total (aumenta) e o volume (que se mantém). Sendo a superfície que reage (numa reação química), esta característica é determinante para uma maior reatividade dos nanomateriais face aos materiais tradicionais, tornando-os mais eficientes.

A alteração de tamanho do material, não influencia só a área superficial. Outras características também são alteradas. A cor, por exemplo, como podemos ver na figura 2. Esta figura mostra a alteração de cor de esferas de prata (Ag) conforme o tamanho.

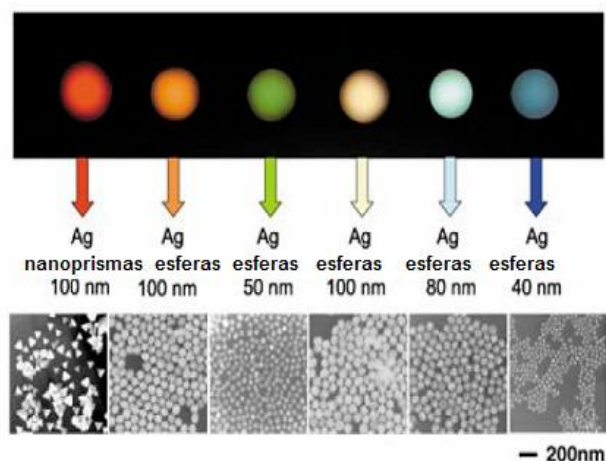


Figura 2 - Alteração da cor conforme tamanho. Silva, 2010.

Este caso não tem tanta utilidade prática, é só uma manifestação da alteração das propriedades do material mais evidente que a área superficial.

Outras propriedades que se alteram são as mecânicas, de reação à água, térmicas, químicas, biológicas, eletrônicas, magnéticas e óticas.

Tabela 3 - Propriedades Alteradas pela Nanoescala e algumas Aplicações Potenciais. Adaptado de Luther, 2004.

Propriedades	Exemplos de Aplicação
Mecânica	Proteção ao desgaste de equipamento, proteção mecânica de materiais macios
Reação à água	Anti graffiti, Efeito de Lótus, Auto-Limpeza
Térmica e Química	Proteção à corrosão de equipamento, resistência ao calor para turbinas e motores, isolamento térmico
Biológica	Implantes biocompatíveis, revestimentos antibacterianos
Eletrónica e Magnética	Transístores, sensores
Ótica	Janelas electrocrómicas e fotocromicas, ecrãs antirreflexo e células solares

2.4. TIPOS

Neste subcapítulo procede-se à divisão dos nanomateriais usados na construção em vários tipos diferenciando entre todos principalmente a forma. Primeiro a divisão será feita conforme o número de dimensões na escala nanométrica.

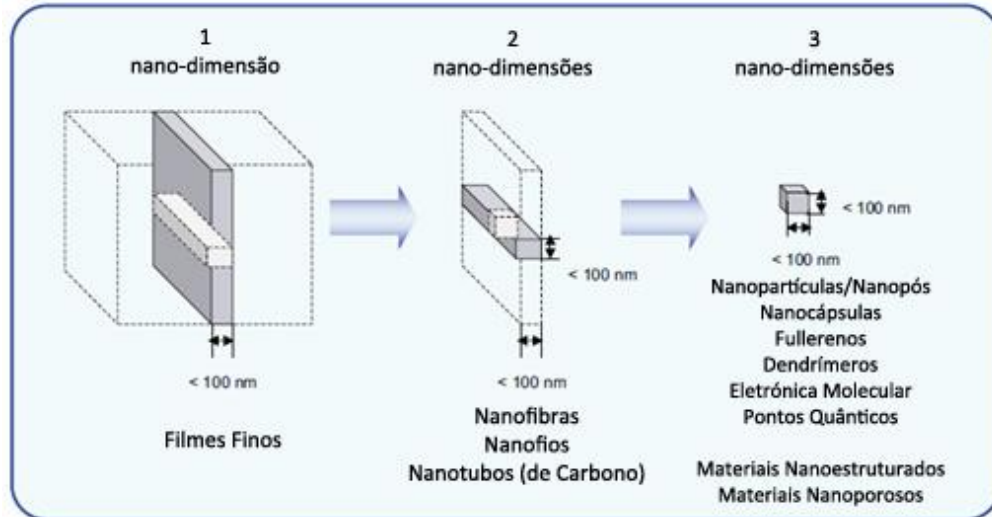


Figura 3 - Divisão pelo número de dimensões na nanoescala. Adaptado de Bax, 2007.

Após esta divisão é importante perceber o que representam estas nomenclaturas. De referir que as definições apresentadas baseiam-se nas propostas do BSI (2011), Mantovani (2005) e o sítio na Internet da NNI.

Tabela 4 - Tipos e Descrições de Materiais.

Tipo	Descrição
Materiais Nanoestruturados	Materiais com nano-estrutura interna ou nano-estrutura superficial
Nanopartículas / nanocompósitos	Nano-objeto com as três dimensões na nano-escala
Nanocápsulas	Colóide no qual as partículas têm dimensões em nanómetros
Materiais nanoporosos	Estrutura orgânica ou inorgânica regular que suporta uma estrutura porosa
Nanofibras	Nano-objeto com duas dimensões externas similares em dimensões nano e uma terceira dimensão significativamente maior

Fulerenos	Molécula composta somente por carbono, sendo a terceira forma alotrópica mais estável após diamante e grafite
Nanofios	Nanofibra condutora ou semi-condutora
Nanotubos de Carbono	Nanofibras ocas compostas por camadas curvas de grafeno
Dendrímeros	Macromoléculas que se desenvolvem em ramos (tipo árvore)
Eletrónica Molecular	Blocos de construção moleculares para fabrico de componentes eletrónicas
Pontos Quânticos	Nanopartícula cristalina que exhibe propriedades dependentes do tamanho devido ao efeito de confinamento quântico
Filmes Finos	Camada de material que tem um intervalo de frações de nanómetros a micrómetros em espessura.

2.5. VISUALIZAÇÃO

Tal como já foi referido, em 1981 Gerd Binnig e Heinrich Rohrer desenvolveram o microscópio de corrente de tunelamento (STM - *Scanning Tunneling Microscope*), que lhes valeu o Prémio Nobel da Física em 1986 (Wikipédia). Só a partir da criação deste equipamento é que passou a fazer sentido trabalhar nesta área. Até então seria impossível obter resoluções que permitissem estudar este tema.

Após o desenvolvimento do STM, foi trabalhado um novo equipamento, o microscópio de força atómica (AFM – *Atomic Force Microscope* ou SFM – *Scanning Force Microscope*). Binnig volta a estar envolvido no desenvolvimento, junto com Calvin Quate e Christoph Gerber. O primeiro equipamento AFM aparece em 1986 (Wikipédia).

Tanto um como outro funcionam a partir efeito de túnel como estudado na mecânica quântica. A explicação do fenómeno não é simples, mas pode ser imaginado um eletrão a ser atirado contra uma parede. Se a parede tiver muita espessura, o eletrão ressalta, mas sendo o eletrão uma partícula quântica, também se comporta como uma onda. Então, se a parede for fina, o eletrão pode ser encontrado dos dois lados da parede. Com recurso a um computador, isto permite elaborar uma imagem em função da corrente elétrica que passa entre a ponta do equipamento e o material em cada ponto.

Outro método de visualização usado nesta área é o Microscópio Eletrônico de Varrimento (MEV ou SEM em inglês para *Scanning Electron Microscope*). Inventado por Manfred Von Ardenne em 1937 (Wikipédia), só recentemente ganhou resoluções que permitissem a sua integração no estudo da nanotecnologia.

Similar ao MEV, existe o Microscópio eletrônico de transmissão (MET ou TEM para *Transmission Electron Microscope*). O primeiro foi criado por Max Knoll e Ernst Ruska em 1931. Atualmente conseguem resoluções na ordem dos 50 picómetros (Wikipédia).

Com a evolução destas tecnologias, foi possível obter uma imagem de uma molécula em reação para formar outras moléculas.

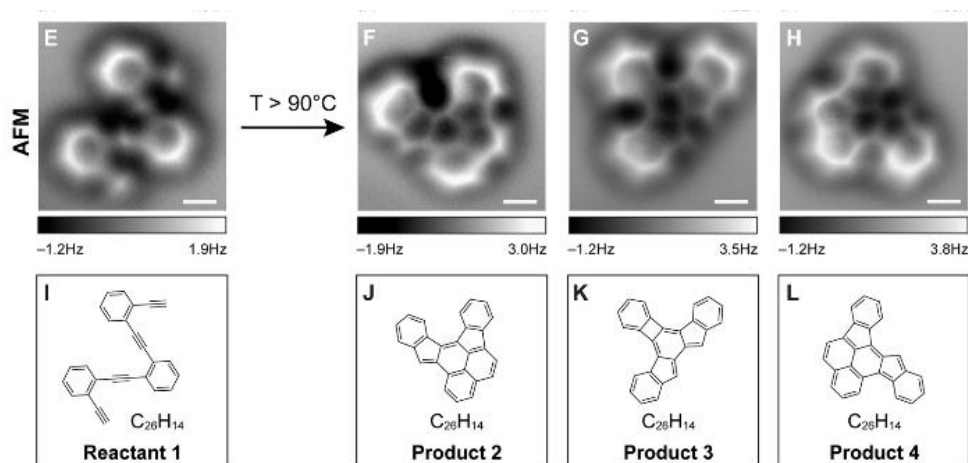


Figura 4 - Comparação entre imagem AFM (em cima) e representações moleculares (em baixo). Fischer *et al.*, 2013.

2.6. PRODUÇÃO

A produção dos nanomateriais é feita com recurso a técnicas muito específicas. Podem ser definidas duas categorias: *Bottom-Up* e *Top-Down*. Normalmente estes termos estão associados a processamento de informação sob o nome de método de indução e método de dedução, respetivamente. Neste caso, não está relacionado com informação, mas com o processamento de materiais. No caso dos primeiros, a ideia passa por montar átomo a átomo. Na segunda categoria, o processo de produção passa pelo desfazer de materiais maiores para obter os nanomateriais. Metaforicamente pode-se pensar na primeira categoria como o ato de pegar em pequenas peças e construir um modelo de avião e na segunda categoria como pegar num bloco de madeira e esculpir o modelo de avião. Exemplificando, temos na categoria *Bottom-Up*, o processo sol-gel que se traduz na transformação de uma solução ou coloide (estado líquido) em gel (estado sólido). Por exemplo, o aerogel (nanoporoso) e os filmes finos são fabricados desta maneira (Holister, 2003).

2.7. HISTÓRIA E INVESTIGAÇÃO

O uso de materiais na escala nanométrica não é uma novidade. Encontram-se peças do ano 4 d.C. com incorporações de ouro coloidal, sílica coloidal e negro de fumo (Silva, 2010). A diferença para o que temos agora é o controlo sobre as suas propriedades e o estudo das mesmas. Tal como foi referido antes, a investigação sobre a nanotecnologia e, por conseguinte, os nanomateriais inicia-se com Feynman em 1959 e Taniguchi em 1974. Desenvolve-se com a invenção do STM (Scanning

Tunneling Microscope) em 1981 por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer que permite resoluções da ordem dos 0,1 nanómetros. Em 1989, Don Eigler e a sua equipa usam o STM para escrever a palavra IBM usando 35 átomos de Xénon.

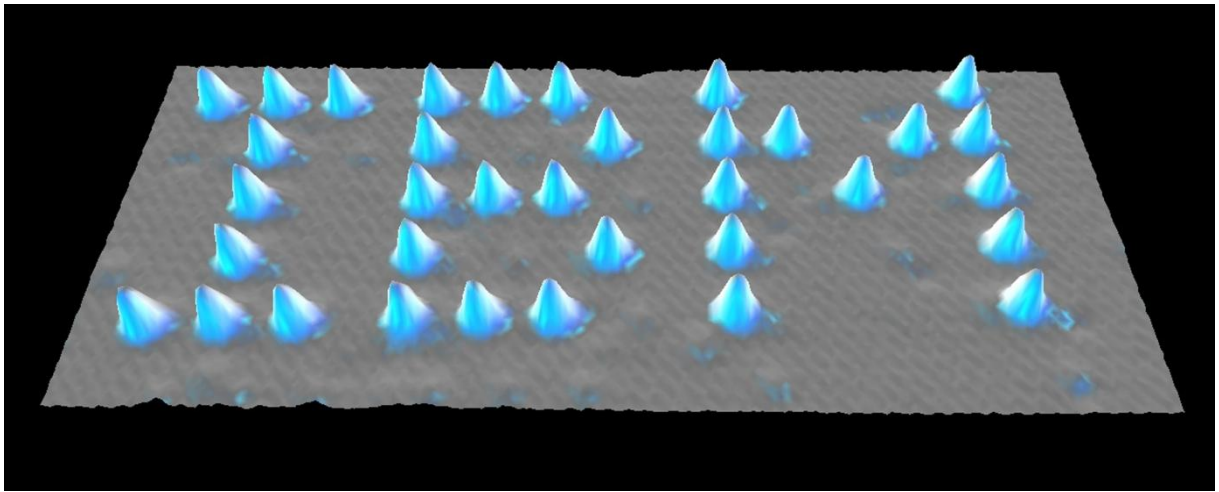


Figura 5 – IBM escrito através da manipulação individual de átomos de Xénon. Site da IBM.

Em 2013, a IBM volta a ser inovadora e lança o primeiro vídeo totalmente feito com o movimento selecionado de átomos. A partir daí, seguiram-se inúmeras descobertas e inovações relativas à nanotecnologia.

Prova de que a investigação tem estado muito ativa, é a quantidade de patentes, prémios e bolsas que estão em ação no momento.

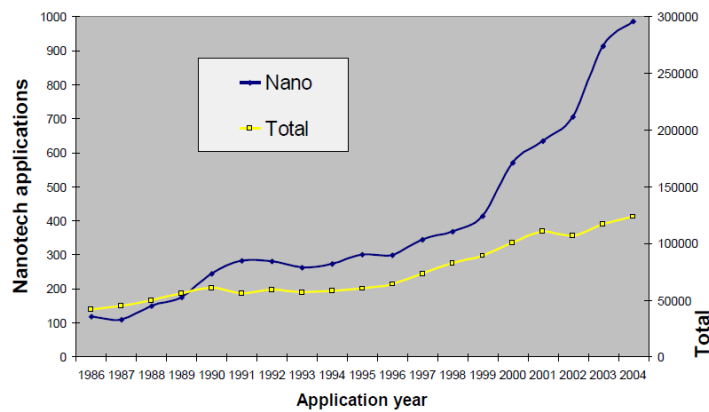


Figura 6 – Evolução do número de patentes registadas no EPO (European Patent Office), totais e relativas às aplicações da nanotecnologia. Kallinger, 2007.

Como se pode observar no gráfico acima, temos um crescimento praticamente linear no total de patentes, mas um crescimento mais acentuado de patentes relativas à nanotecnologia.

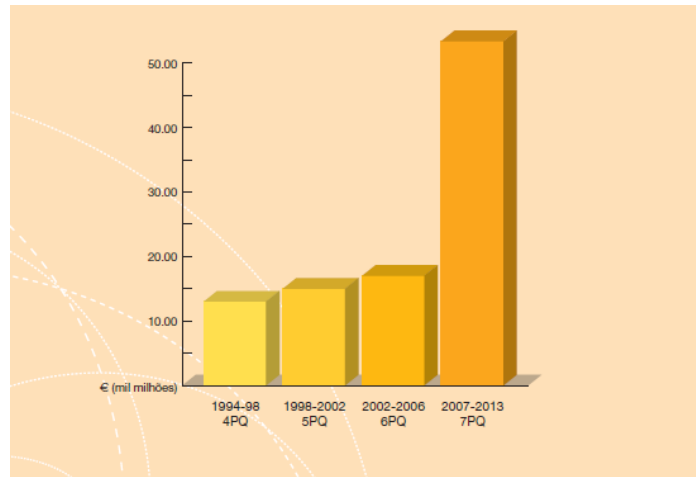


Figura 7 - Evolução Orçamental dos Programas-Quadro (PQ). Brochura do 7PQ, Comissão Europeia, 2007.

Neste gráfico podemos observar o aumento das verbas para fomento da investigação na Europa (em áreas diversas, mas onde se inclui a nanotecnologia).

Em França, foi criado em 2008 o programa Nano2012 com o objetivo de aumentar a competitividade da região na indústria tecnológica com um investimento de 2,3 milhares de milhões de euros distribuído por 5 anos para investigação e desenvolvimento e 1,25 milhares de milhões para investimento em capital dos quais 457 milhões são governamentais (Site Grenoble-Isere).

Na Alemanha, em 2006 foi lançado o *Nano-Initiative – Action Plan 2010* e em 2011 o *Nano-Initiative – Action Plan 2015* (BMBF, 2011). Apesar de haver fundos para a investigação, esta iniciativa contempla sobretudo um método de atuação da indústria.

Na Finlândia, foi o Tekes (Agência de Investimento Finlandesa para Tecnologia e Inovação) a dar início ao programa FinNano em 2005 (Tekes, 2011). Neste caso, o interesse não é ser líder de mercado, mas ser um parceiro atrativo a nível internacional para obter fundos estrangeiros através da cooperação com outros países.

Também a Noruega aposta na nanotecnologia. Em 2011, acabou o programa NANOMAT e em 2012 iniciou o NANO 2021. Durante o tempo de existência do NANOMAT, o Governo norueguês investiu mais de 95 milhões de euros e os parceiros industriais cerca de 24 milhões. O NANO 2021 apresenta um investimento anual a rondar os 12,5 milhões de euros (Høvik e Skagestad, 2012).

De acordo com o Statistics Canada (equivalente ao português Instituto Nacional de Estatística), em 2005, de 11800 empresas inquiridas, 88 estavam a trabalhar em nanotecnologia, as quais registaram receitas de aproximadamente 20M€ (convertido à taxa atual: 1 CAD = 0.7668 EUR), traduzindo-se num aumento de 19% em relação ao ano anterior.

A Lucintel (2011) apresenta valores de 1,7 milhares de milhões de dólares americanos para o valor da indústria dos nanomateriais a nível mundial, com um crescimento médio anual de 10,4% nos cinco anos anteriores e crescimento superior a 20% na América do Norte, Europa e Ásia no ano anterior ao estudo.

As grandes causas para o contínuo crescimento desta indústria são as participações dos governos através de fundos de fomento (como o já abordado 7PQ), mas também o investimento privado de

grandes empresas em universidades, *spin-offs* e outras pequenas ou médias empresas que fazem investigação e desenvolvimento.

Em termos de prémios, existe, por exemplo, o Feynman Prize atribuído pelo Instituto Foresight da Califórnia em homenagem a Richard Feynman.

3

APLICAÇÕES

3.1. INTRODUÇÃO

Apesar de a construção variar conforme a geografia (devido a matérias-primas e cultura, por exemplo), temos materiais e componentes que são regularmente usados. Betão, aço, isolamento, revestimentos (pedra, gesso, estuque), cerâmicos (seja como revestimento ou como elemento estrutural/divisório) e vidro são materiais tradicionais na construção. Também os painéis solares (ou equipamentos similares para aproveitamento de energias alternativas) se tornam cada vez mais utilizados. Neste capítulo será feito um sumário das aplicações dos nanomateriais em cada um destes materiais.

Para já, a atenção será centrada na construção em geral, para se perceber melhor como e onde os nanomateriais podem ser integrados.

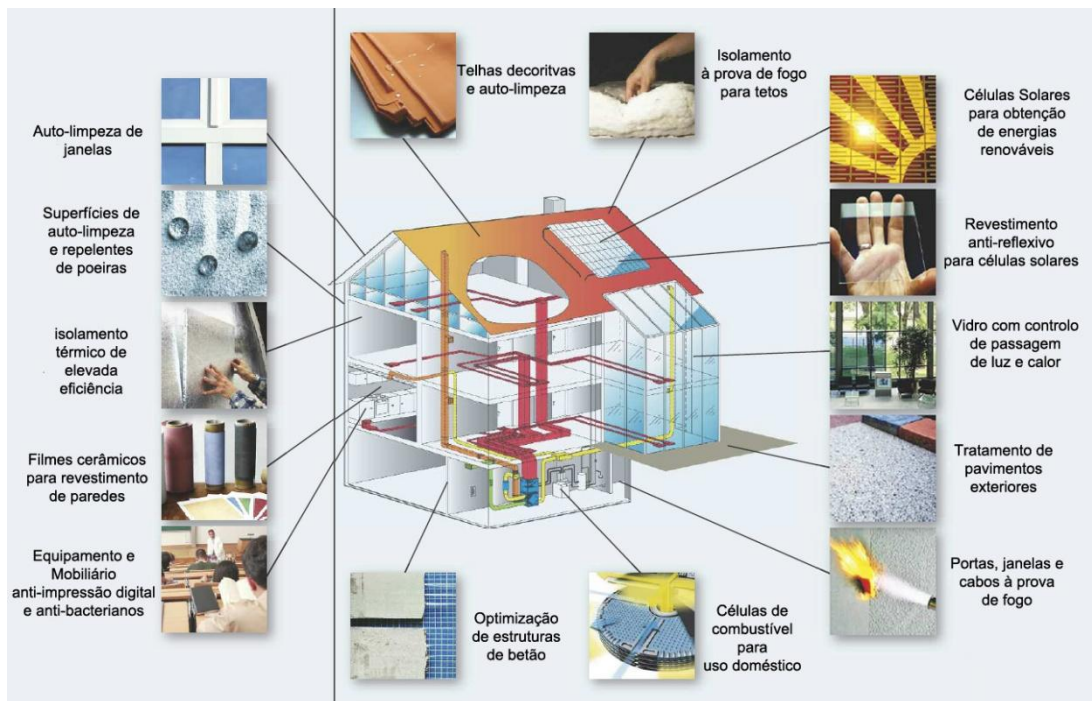


Figura 8 – Exemplos de aplicação. Adaptado de van Broekhuizen *et al.*, 2009.

Como se pode ver na figura anterior, existem muitas possibilidades. Da cobertura, às paredes, dos elementos decorativos às instalações, podemos melhorar a funcionalidade de tudo o que está presente nas nossas casas. Ainda assim, a quota de mercado associada aos nanomateriais é muito baixa, estando apenas presente em alguns nichos. Por agora a ênfase está no betão (e outros produtos cimentícios), no isolamento e nos revestimentos e pinturas no que toca a materiais de construção propriamente ditos. Também na área do aproveitamento de energia se verificam alguns avanços.

3.2. BETÃO

O betão é um material de muito valor na construção. Apresenta algumas características que o tornam muito útil: tem alta resistência à compressão, durabilidade, é fácil de preparar (mesmo em grandes quantidades) e é barato. Estas características vantajosas para a construção representam um entrave para a introdução dos nanomateriais. Isto é, se já é um material tão bom, para quê alterá-lo?

Importa então perceber como o betão pode ser melhorado. Resistência e durabilidade já são vantajosas, mas se puderem ser mais elevadas, melhor. A degradação, através da fissuração e da carbonatação é um dos maiores problemas associados ao betão. Por fim, a complexidade química do betão torna o seu estudo complexo e o conhecimento das suas propriedades ainda não é total, logo o material também não é otimizado a nível funcional. Para esta última característica, os nanomateriais propriamente ditos ainda não podem ajudar muito, mas alguns processos de estudo associados à nanotecnologia podem ajudar a ganhar conhecimento dos materiais de maior escala. Quanto às restantes, em seguida serão apresentados alguns nanomateriais que melhoram o seu desempenho.

3.2.1. SÍLICA DE FUMO

O primeiro nanomaterial a ser abordado é a sílica de fumo (SiO_2). Já tem um uso generalizado na construção desde os anos 80 (Coutinho, 2006), apesar de não ser do conhecimento geral que é um nanomaterial. As partículas têm uma dimensão média aproximada de 100 nm.

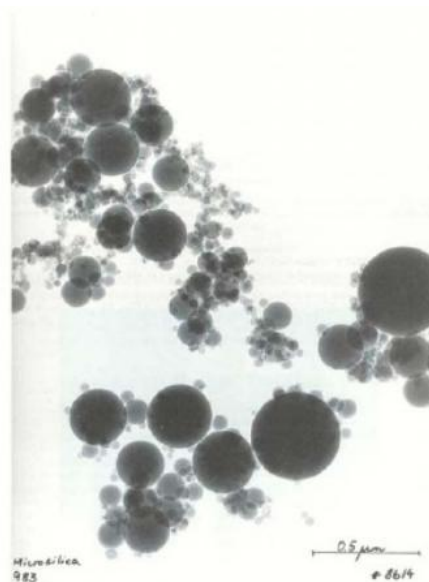


Figura 9 - Imagem mostrando partículas individuais de Sílica de fumo. Fidjestöl e Lewis, 1998.

A sílica de fumo melhora as propriedades mecânicas do betão, nomeadamente a resistência à compressão e reduz a permeabilidade do betão através da redução do tamanho dos poros o que conduz a uma maior durabilidade (tanto do betão como do aço no seu interior).

3.2.2. HEMATITE

Outro nanomaterial com aplicação no betão é a Hematite Cerâmica (Fe_2O_3). Tal como a sílica de fumo também aumenta a resistência do betão. Como aditivo também permite a monitorização das tensões instaladas no betão através da medição da resistência elétrica. Por agora não é muito usada, ainda assim é previsível que isso mude no futuro para controlo da degradação do betão.

3.2.3. DIÓXIDO DE TITÂNIO

O terceiro nanomaterial de aplicação no betão é o dióxido de titânio (TiO_2). É uma das nanopartículas mais versáteis, como veremos ao longo deste capítulo. Quando integrado na mistura do betão, é utilizado como protetor da degradação, que acontece por decomposição da poluição orgânica. Para que isto aconteça necessita de radiação UV, logo só é aplicável em elementos de fachada ou exteriores. No entanto, este problema deverá ser resolvido através da alteração do comprimento de onda que ativa as propriedades. Associado ao problema da radiação UV está a necessidade de manter a superfície limpa. Como para além de decompor a poluição orgânica também reduz o tamanho dos poros (tal como a sílica de fumo) e tem propriedades de auto-limpeza, a água das chuvas torna-se menos gravosa para o betão e faz a limpeza da superfície.

3.2.4. NANOTUBOS DE CARBONO - CNT

Por último, os nanotubos de carbono, mais conhecidos por CNT (do inglês Carbon Nano Tubes). A pesquisa é recente, mas os resultados são prometedores. Espera-se conseguir aumentar consideravelmente a resistência do betão através da sua adição. Para já, os maiores problemas são os possíveis efeitos adversos para a saúde (que serão discutidos no capítulo seguinte) e principalmente a incapacidade de ter resultados fiáveis (para já tem sido difícil reproduzir resultados). Dentro dos CNT, há duas categorias: os nanotubos de carbono de parede simples, SWNT (do inglês *single-wall nanotubes*) e os nanotubos de carbono de paredes múltiplas, MWNT (*multi-wall nanotubes*). Tal como os nomes indicam, as diferenças refletem-se no número de camadas (paredes) exteriores. Além de garantir valores mais elevados de resistência, também aumentam a proteção ao fogo.

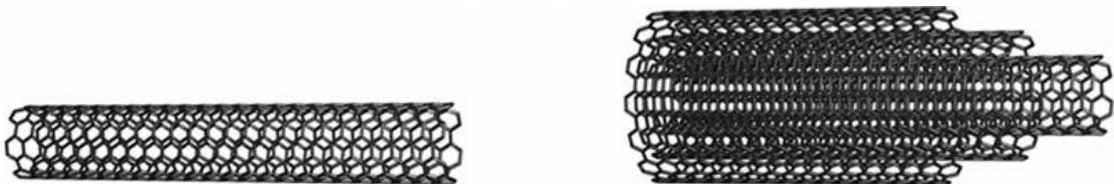


Figura 10 – Representação das estruturas moleculares de SWNT e MWNT. Donaldson *et al.*, 2006.

3.2.5. AUTORREGENERAÇÃO (SELF-HEALING)

Ainda não há conhecimento de nanomateriais que tenham esta propriedade de autorregeneração, mas já é possível obter através de polímeros (que apesar de se apresentarem de terem dimensões na nanoescala não devem ser considerados nanomateriais). Microcápsulas (ou nanocápsulas) formadas por uréia-formaldeído com *methacryloxypropyl-terminated polydimethylsiloxane* e *benzoin isobutyl ether* no seu interior conseguem reparar algumas fendas no betão. O método de funcionamento aproxima-se de uma bolha com cola em estado líquido dentro. Assim que a bolha rebenta (no momento da criação da fenda no betão), a cola entra em contacto com o ar e solidifica, tapando a fissura.

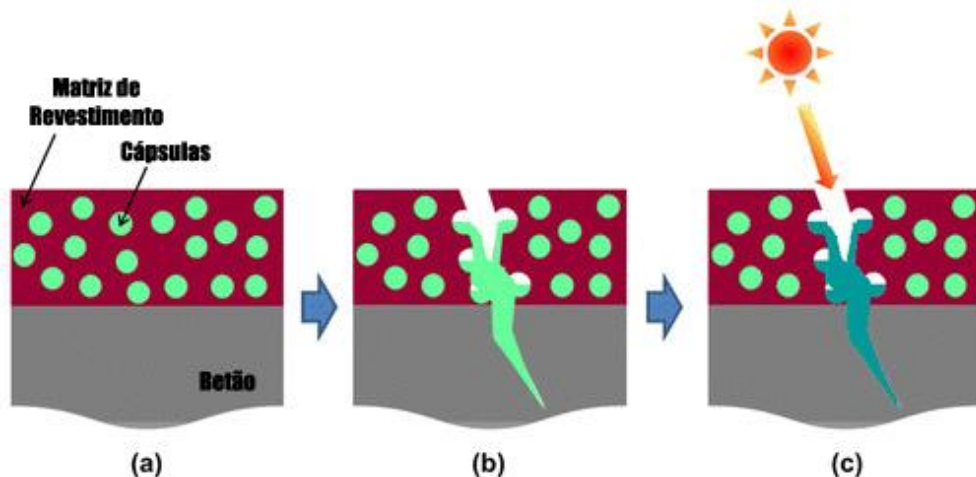


Figura 11 – Método de Atuação da Autorregeneração do Betão por polímeros. Quando há fissuração da superfície, as cápsulas libertam o seu conteúdo (b) e em contacto com o ar, este solidifica tapando a fissura (c). Adaptado de Chung *et al.*, 2013.

A Aquafin comercializa um produto capaz de reparar fendas na ordem dos 0,4 mm através de nanocristais, mas não é conhecida a constituição do produto.

Na Universidade de Delft, Henk Jonkers (2007) procura uma solução alternativa. Dá-lhe o nome de Bio-concrete e utiliza bactérias (*Sporosarcina pasteurii*) que na presença de água criam carbonato de cálcio (CaCO_3) que tapa a fissura.

3.3. Aço

As possibilidades de aplicação de nanomateriais no aço são muitas, mas a dificuldade em adicioná-los com uma boa ligação tem sido uma dificuldade. Por isso, de momento grande parte das aplicações não passa de investigações. Tendo em conta as características do material, interessa sobretudo pensar no aumento da resistência e na alteração da ductilidade. A adição de nanopartículas de vanádio e de molibdénio diminui a fragilidade do aço e a adição de nanopartículas de magnésio e cálcio aumenta a resistência das soldaduras. Outro nanomaterial considerado são os CNT que teriam como interesse o aumento da resistência, porém as altas temperaturas em que o aço é trabalhado causam degradação dos CNT e é difícil a interação entre CNT e aço (van Broekhuizen *et al.*, 2009). Outras aplicações no aço são aplicadas como revestimento e essas serão abordadas no subcapítulo seguinte.

3.4. REVESTIMENTOS E PINTURAS

A aplicação de nanomateriais na construção tem o seu caso de maior sucesso nos revestimentos e pinturas. Os mais abundantes são os revestimentos decorativos e os de alta-performance. As vantagens refletem-se na durabilidade, transparência e na possibilidade de acrescentar novas características aos produtos. Neste subcapítulo não serão abordados os casos de aplicação em vidro, pois haverá um subcapítulo exclusivamente dedicado a esse tema.

3.4.1. AUTO-LIMPEZA E PURIFICAÇÃO DE AR

Uma das propriedades que os nanomateriais podem adicionar é a auto-limpeza ou, pelo menos, maior facilidade de limpeza (*easy-to-clean*). Através da adição de Óxido de Zinco (ZnO) ou Dióxido de Titânio (TiO₂) é provocada uma reação química que decompõe a poluição através dos seus efeitos foto-catalíticos. No caso do TiO₂, também é conhecido por ser um “purificador” de ar, pois com a luz ultravioleta converte óxidos de azoto (NO_x, que reagem para criar o “smog” e as chuvas ácidas) em nitratos (NO₃⁻, não poluentes e usados como fertilizantes). O acréscimo destas nanopartículas permite obter a propriedade de auto-limpeza sem ter que sacrificar o aspeto visual da superfície. Isto revela-se uma enorme vantagem quando se quer manter a superfície de aplicação visível.



Figura 12 - Fachada Prosolve370e. Usa nanopartículas de TiO₂ para combater a poluição atmosférica. Site da Elegant Embellishments Ltd.

Além do efeito foto-catalítico, também se consegue obter a mesma propriedade através da hidrofobia. A hidrofobia caracteriza-se pelo efeito repelente da água. Assim, a água (das chuvas, por exemplo) escorre, levando todas as substâncias que se encontram no caminho. Este efeito é conseguido com moléculas de TiO₂ e Dióxido de Silício ou Sílica (SiO₂). O SiO₂ também aumenta a durabilidade do material através da melhoria da ligação entre o revestimento e a superfície.

A Clariant também desenvolveu um produto para auto-limpeza, os revestimentos Fluowet ETC (site da Clariant). Ao contrário dos nanomateriais mencionados anteriormente, este produto utiliza fluoropolímeros. Apesar de estar na escala nano, os polímeros não devem ser considerados nanomateriais pois não apresentam propriedades diferentes do material em escala maior. Este produto

pode ser aplicado em vários tipos de superfície (vidro, metal, cerâmica e esmalte são os mais indicados).

3.4.2. ANTIBACTERIANO

Através do emprego de prata em revestimentos, consegue-se esta propriedade. Não é muito importante na construção residencial, mas é uma propriedade interessante em hospitais ou similares. Ao nível residencial pode aplicado em eletrodomésticos associados a comida como frigoríficos ou associados à qualidade do ar como o ar condicionado. Na verdade não é exatamente a prata que atribui esta propriedade à superfície, mas o ião prata que se forma aquando da dissolução da prata em água.

Também o TiO_2 pode ser usado como antibacteriano.

3.4.3. PROTEÇÃO CONTRA O FOGO

Outra propriedade interessante adicionada pelos nanomateriais é a proteção contra o fogo. Os nanomateriais usados para se conseguir esta propriedade não são novidade: TiO_2 , SiO_2 e CNTs. O método de aquisição da propriedade passa pela transformação em cerâmica do revestimento através da exposição a altas temperaturas. Esse revestimento resistirá a temperaturas muito elevadas, protegendo assim a construção do fogo. Estes revestimentos têm como obstáculo à sua implantação a espessura que necessitam para serem eficientes aliado à necessidade de aditivos para aumentar a adesão, principalmente em estruturas de betão.

Também podem ser usadas nanoargilas para o mesmo efeito. As argilas retardam a transmissão de calor e são utilizadas em conjunto com polímeros. Além da retardação da transmissão de calor, também tem efeitos positivos no processo de envelhecimento do revestimento em que estão inseridas (Wang *et al.*, 2006).

Fora do âmbito deste trabalho, também com polímeros se pode conseguir este efeito, nomeadamente com termoplásticos como polipropileno (PP).

Outra questão associada à proteção contra o fogo é a necessidade de detetar o fogo. Também aqui a nanotecnologia pode desempenhar um papel importante através de nano-sensores.

3.4.4. METAIS

Passando das propriedades aos materiais, será agora abordado o caso dos metais. Neste material interessa sobretudo a proteção contra a corrosão. Para o conseguir é necessário aplicar um revestimento que aumente a adesão da tinta e melhore a resistência à corrosão. Isto é conseguido através de um nanomaterial com base em zircónio.

Relativamente à propriedade de auto-limpeza, é possível obter superhidrofobia através de uma base composta por hidróxido de sódio (NaOH), perfluorononano (C_9F_{20}) ou encerrado vinil polidimetilsiloxano (PDMSVT). Este revestimento seria aplicado em alumínio (Guo *et al.*, 2005), mas não há informação da disponibilidade no mercado deste revestimento ou mesmo do método teórico de aplicação (para o estudo foi mergulhado um bloco de alumínio na solução de NaOH e depois foi aplicado o método de *spin-coating*, baseado em centrifugação, para espalhar o filme fino de C_9F_{20} ou PDMSVT com secagem entre ambos os processos e no final).

3.4.5. MADEIRAS

Nas madeiras, as aplicações de revestimento abrangem três situações de proteção: água, riscos e raios ultravioleta (UV). No que toca aos riscos, não parece haver grandes problemas no desenvolvimento de produtos que contenham nanomateriais, mas no que toca a água e raios UV, é expectável uma melhoria da performance. Esta melhoria não é necessária pela função em si, mas pela necessidade de manutenção a que obriga, nomeadamente a reaplicação do revestimento devido ao desgaste.

Para a propriedade de proteção aos riscos pode ser feita a adição de SiO_2 ou de Al_2O_3 . A SiO_2 reage quimicamente com um ligante acrílico, formando uma rede de polímeros de silano (SiH_4). Já as partículas de Al_2O_3 conferem esta propriedade através do aumento de elasticidade da superfície de aplicação. Na verdade, este efeito não se refere à superfície mas à fina camada de revestimento (transparente). Notam-se melhorias na performance com a adição de silicone, mesmo em quantidades muito baixas.

Para manter a beleza natural da madeira, é importante não só proteger dos riscos como da radiação UV. Para que tal resultado seja conseguido, recorre-se a filtros seletivos que permitem bloquear a radiação UV mas não afetam a luz visível (para não alterar a aparência). Óxidos metálicos como o ZnO (também usado em protetores solares) e o Dióxido de Cério (CeO_2) são particularmente interessantes devido à baixa transmissão de comprimentos de onda do intervalo da luz UV. Academicamente, também está provado que um sistema constituído por ambos os óxidos apresenta melhores resultados que as mesmas substâncias separadas.

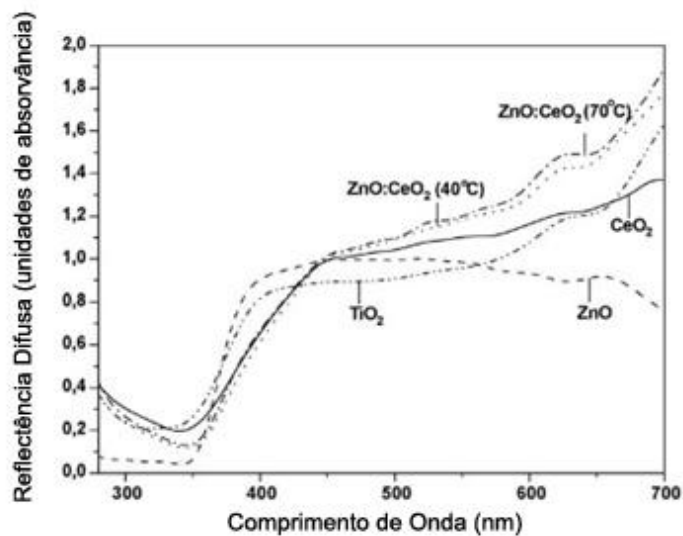


Figura 13 - Espectros de reflectância de vários sistemas. De notar os valores mais elevados para os sistemas compostos por ambos os óxidos ($\text{ZnO}:\text{CeO}_2$). Adaptado de Lima *et al.*, 2009.

Também o TiO_2 pode ser usado para este efeito, mas tem o problema de apresentar menor transparência e a reatividade à UV pode desencadear uma ação destruidora da madeira.

A terceira situação de influência externa que altera o aspeto da madeira é a água. Tal como na proteção aos riscos, podem ser usadas sistemas de silano, como é o caso da Nanowood desenvolvida pela Nanoprotect.



Figura 14 - Superfície de madeira com aplicação do revestimento Nanowood da NanoProtect.

O uso de micelas (aglomerados de moléculas de um composto redutor de tensões superficiais de um líquido ou de tensões de interação entre líquido e sólido) também pode ser pensado, mas para já não se encontra muita informação sobre o assunto.

3.4.6. CERÂMICAS

Nas cerâmicas não há grande novidade em termos de adição de propriedades. Proteção aos riscos, limpeza mais facilitada, proteção contra água e óleo e redução da poluição atmosférica. Também para todas estas propriedades já foram discutidas as nanopartículas que as podem acrescentar: TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 .

3.4.7. CORANTES E PIGMENTOS

Tal como foi escrito no capítulo anterior, existem peças que incorporam nanomateriais desde o ano 4 d.C. Estes materiais eram sobretudo usados como corantes. Além da alteração de cor, poucas propriedades oferecem atualmente, mas no futuro é expetável que sejam aumentadas, nomeadamente ao nível da condutividade para usar em sensores e iluminação como a Vorbeck Materials e a Henkel apresentam nos seus *sites*.

3.5. VIDRO

Neste material, os nanomateriais ganham muita importância. O vidro é um material que devido ao seu uso permite ter propriedades muito diversas, mas há sempre a dificuldade de acrescentar essas propriedades sem comprometer a transparência. Felizmente, os nanomateriais conseguem ultrapassar essa dificuldade. Para além das propriedades já referidas no subcapítulo anterior, o mercado tem-se focado no controlo climático.

3.5.1. CONTROLO DE OPACIDADE

Como fronteira exterior-interior de uma construção, o vidro desempenha um papel importante no controlo de luz e de calor. Tudo isto traduz-se em gastos de material e energia para criar opacidade e

arrefecer. Para se conseguir controlar isto usando apenas o vidro, há vários métodos. O primeiro passa pelos já falados filtros seletivos. No caso anterior interessava filtrar os UV, mas para controlar o calor temos que ir para o outro lado da escala: os infravermelhos (IV, comprimentos de onda no intervalo 700nm a 1 mm). Estimativamente, 49% do calor que chegue do Sol provém da radiação IV. Este tipo de proteção pode ser considerado uma solução passiva, pois está permanentemente a atuar. Por exemplo, a Saint-Gobain tem no mercado um produto que combina esta propriedade com auto-limpeza.

Nas soluções ativas, temos tecnologias de reação à temperatura (tecnologia termocrómica), luz (fotocrómica) ou passagem de corrente (electrocrómica). As duas primeiras são reguladas pelo meio, não exigindo atividade do ser humano. Já a terceira, pode ser considerada a mais interessante devido à multiplicidade de usos que pode ter. Neste caso, servirá para regular a opacidade através da passagem de corrente por uma camada de trióxido de tungsténio (WO_3). A composição deste tipo de vidros costuma incluir uma camada de ITO (Óxido de Índio-Estanho) e uma camada de cristais líquidos como se pode ver na figura seguinte.

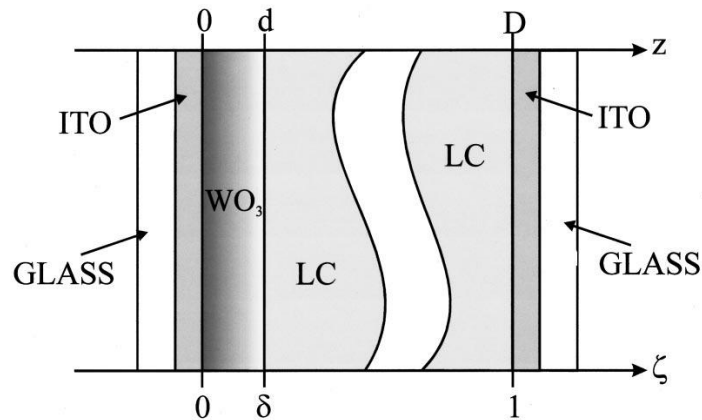


Figura 15 – Representação esquemática (fora de escala) de um vidro electrocrómico. Composto por camadas de vidro, ITO, trióxido de tungsténio e cristais líquidos. Alexe-Ionescu *et al.*, 2001.

A principal vantagem desta solução é o controlo em situações mais pontuais como no inverno ou no verão. Ao contrário das soluções reguladas pelo meio, a tecnologia electrocrómica pode ser desligada para se obter maior aproveitamento da pouca radiação existente no inverno ou ligada quando a intensidade é baixa, mas a temperatura interior já é elevada no caso do verão. Mais uma vez, a Saint-Gobain vende este tipo de produtos. Utiliza a tecnologia electrocrómica sobretudo para a indústria automóvel, mas tem um sistema equivalente para a luz visível para o controlo entre transparência ou opacidade para criação de privacidade (sgg Priva-Lite[®]).



Figura 16 - Controlo da opacidade com sgg Priva-Lite[®] da Saint-Gobain. Sem passagem de corrente é opaco, com a passagem de corrente torna-se transparente.

3.5.2. AUTO-LIMPEZA

Como elemento exterior, é também importante a parte estética. Para isso, é necessária uma propriedade já discutida noutros subcapítulos: auto-limpeza. A auto-limpeza nos vidros é adquirida através de dois métodos: alteração da superfície de maneira a que os poluentes não consigam aderir e degradação ativa dos poluentes aderentes à superfície.

O primeiro método é conseguido através da biomimética do efeito de lótus. É um efeito de superhidrofobia que ocorre naturalmente na natureza. Na procura de manter as folhas limpas, a lótus desenvolveu uma superfície rugosa com cristais de cera epicuticular. Além da auto-limpeza, também reflete radiação UV.



Figura 17 – Observação da superhidrofobia das folhas através da forma quase esférica das gotas de água na sua superfície. Site Bavana Jhagat.

Artificialmente, este efeito pode ser criado com superfícies de sílica (SiO_2) revestidas por soluções aquosas de carbonato de cálcio (CaCO_3) e nanopartículas de sílica (Zhang *et al.*, 2005). Também é possível recorrer a nanopartículas de prata para obter este efeito.

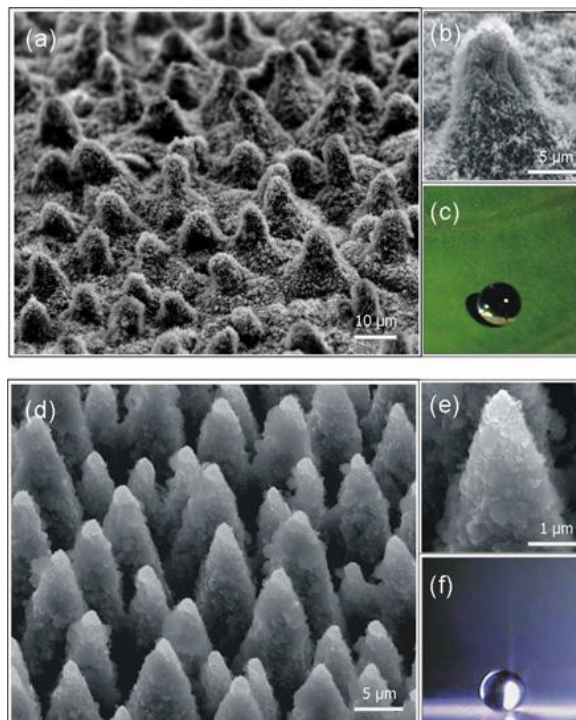


Figura 18 – Imagens MEV de folha de lótus (a e b) e gota de água na superfície (c); imagens MEV da estrutura artificial (d e e) e gota de água na superfície artificial (f). Stratakis *et al.*, 2009.

O segundo método, a degradação ativa, é conseguido através da ação da UV e da passagem de água na superfície, tal como foi falado no subcapítulo 3.4.2. a respeito do efeito de “purificação” do ar. Tal como nesse subcapítulo, o nanomaterial a usar são moléculas de TiO_2 . A Saint-Gobain compila estes 2 métodos num vidro comercializado sob o nome sgg Bioclean.

3.6. ISOLAMENTO

Noutros materiais de construção há alguma dificuldade em atrair investimento para investigação e desenvolvimento e em atrair o cliente (dono de obra e/ou utilizador final) a preferir um material melhorado através da nanotecnologia. No entanto, na vertente energética da construção, parece ser mais simples. Além de ser um assunto muito discutido atualmente, as alterações podem ser sentidas facilmente pelo utilizador final da construção através da redução das necessidades energéticas (ao contrário de materiais como o betão que não têm melhorias inteligíveis para quem não tem conhecimento dos materiais). Outro aspeto que pode facilitar a introdução dos nanomateriais em isolamentos é a necessidade de reabilitação de edifícios. Como os nanomateriais são mais eficientes, podemos ter isolamentos com espessuras mais reduzidas, o que leva a que sejam preferidos por se adequarem mais facilmente aos condicionalismos espaciais existentes.

3.6.1. AEROGEL E ESPUMA DE POLÍMEROS

Ao contrário do que acontece com os nanomateriais de aplicação no betão, no caso dos isolamentos é comum estes consistirem de partículas com “nano-buracos” (por oposição às nanopartículas). Podem então ser designados por nanoporosos. Dentro dos materiais nanoporosos existem aerogéis e espumas de polímeros. Estes materiais apresentam valores mais baixos de condutividade térmica (inclusive para menores espessuras) do que os materiais tradicionais. Aerogel é um material sólido poroso de baixa densidade derivado do gel, cuja parte líquida foi substituída por gás. São maioritariamente à base de sílica ou carbono com volume de vazios superior a 90%. O tamanho dos poros está na ordem dos 20 a 40 nm.

Tabela 5 - Comparação Aerogel (Spaceloft) vs Wallmate CW-A

Nome comercial	Espessura (mm)	Condutividade térmica [mW/(m*K)]	Densidade (kg/m ³)
Spaceloft [®] da Aspen Aerogels [®] (manta de aerogel de sílica)	5,0 – 10,0	14,0	150
Wallmate CW-A	30,0 – 80,0	35,0	30

Outros produtos do mesmo tipo têm aplicação em tetos, isolamento acústico, proteção contra o fogo e temperaturas excepcionalmente baixas. Também podem ser aplicados em tubos (por exemplo de abastecimento de água quente).

Tal como os aerogéis, também as espumas de polímeros integram a categoria dos nanomateriais pela sua estrutura nanoporosa. Estas espumas podem ser criadas pela reação de duas ou mais resinas epóxi.

3.6.2. TINTA DE ISOLAMENTO

Também poderia constar do subcapítulo referente aos revestimentos, pois trata-se disso mesmo, mas tem como principal função o isolamento térmico, logo irá ser enquadrado neste. Há conhecimento de pelo menos três produtos deste tipo. Nansulate da Industrial Nanotech, Inc., Thermoshield da Enviro QLD e MultiCeramics da Supertherm Inc. No caso do Nansulate, integra o nanocompósito *Hydro-NM-Oxide* que tem uma baixa condutividade térmica (na ordem dos 17 mW/(m*K)). O terceiro produto adquire a propriedade de isolamento térmico graças à capacidade de refletir a luz. Não há muita informação quanto à sua composição. Segundo o fabricante, é uma mistura de nano acrílicos e aditivos de resina. A refletividade é conseguida através da variedade de tamanhos das cerâmicas.

No entanto, é discutível a utilidade destas tintas. A Nansulate e a Multiceramics foram testadas pela Cold Climate Housing Research Center (CCHRC) e ficou provado que não acrescentam mais-valia em ambientes frios. Não será de estranhar, principalmente no caso da Multiceramics, pois baseia o seu funcionamento na refletividade e não na transmissão de temperatura.

3.6.3. PCM (*PHASE CHANGE MATERIAL*)

Ao nível do isolamento pode-se ainda falar dos PCM (*phase change material*). O que estes materiais fazem é armazenar e libertar energia através da mudança de fase (líquido-sólido e vice-versa). São escolhidos conforme o seu ponto de fusão e aproveita-se a grande quantidade de energia necessária para a mudança de estado para manter a temperatura da divisão (e/ou do edifício). Estes materiais não são nanomateriais por si só, mas normalmente apresentam-se integrados noutros elementos de construção através de microencapsulamento ou nanoencapsulamento ou integrado em compósitos nanoporosos de grafite (Zhang *et al.*, 2006).

3.7. ENERGIA SOLAR

Tal como foi explicado no caso do isolamento, é relativamente fácil obter financiamento para esta área de aplicação dos nanomateriais. O aumento do custo dos combustíveis fósseis implica a necessidade de ter alternativas mais baratas e a energia solar parece ser a solução mais viável, principalmente em países como Portugal que é rico em exposição solar.

Atualmente, grande parte dos painéis solares têm como base o silício, tendo eficiência relativamente baixa (12%) e custos elevados. Em termos de mercado, podemos ver no gráfico que se segue, o grande crescimento a nível global da procura deste produto.

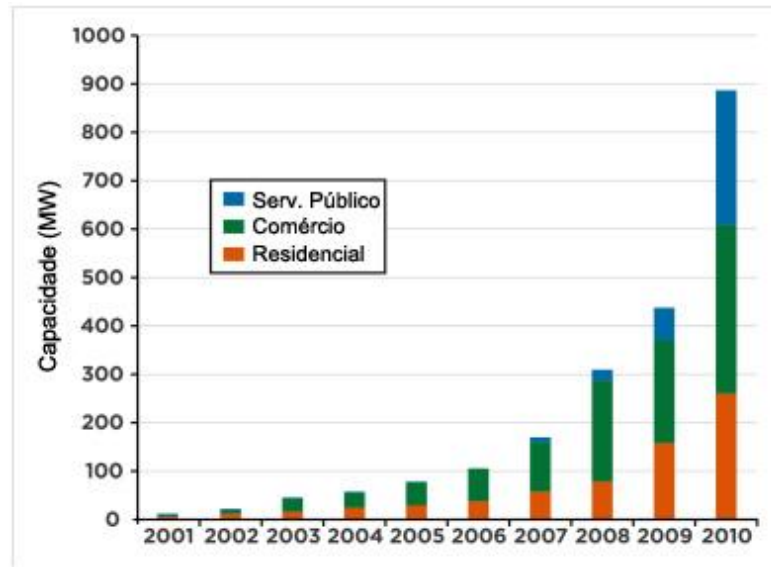


Figura 19 – Capacidade de Fotovoltaicos ligados à rede instalada anualmente nos Estados Unidos por mercado (serviço público, comercial e residencial), entre 2001 e 2010. Adaptado de SunShot, 2012.

É natural que este crescimento não se mantenha. Aliás, é até previsível um decréscimo nos próximos anos devido à subida do custo do silício. Então, os nanomateriais devem influenciar este mercado de dois modos diferentes. Como materiais capazes de assistir a melhoria da qualidade da tecnologia atual e como alternativa ao existente.

3.7.1. MELHORIA DA TECNOLOGIA ATUAL

No que toca à primeira situação, temos a adição de tinta de silício nanocristalino para tornar os painéis mais baratos e a criação de *wafers* de silício monocristalino que melhoram o processo de produção e também baixam o custo dos painéis tradicionais. Também estão em desenvolvimento as aplicações de silício negro que irão aumentar a eficiência dos painéis. Investigadores do Fraunhofer ISE da Alemanha e da Universidade de Aalto da Finlândia conseguiram obter 18.7% de eficiência com recurso ao silício negro, mas preveem que seja possível atingir eficiências superiores a 20% (*site* da Universidade de Aalto).

3.7.2. FILMES FINOS

Como alternativa, os nanomateriais podem ser utilizados em filmes finos. Estes produtos são mais baratos, principalmente os filmes de CdTe (telureto de cádmio) e os CIGS (cobre, índio, gálio e selênio, com fórmula química $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{Se}_2$). Outras tecnologias que envolvem o uso de nanomateriais são os filmes de polímeros e materiais nanocristalinos. Além do preço, outras grandes vantagens destes materiais são a flexibilidade e o peso (bastante menor que nas soluções tradicionais). Os filmes podem ser integrados em praticamente qualquer forma, e tendo em conta que são extremamente finos, ultrapassam os problemas estéticos que muitas vezes são um entrave para a utilização de painéis fotovoltaicos por parte dos arquitetos. No limite, poderemos ter toda a envolvente do edifício a transformar energia solar em elétrica. O maior obstáculo a esta tecnologia reside na necessidade de armazenar e transformar a energia e na sua relativa baixa eficiência.

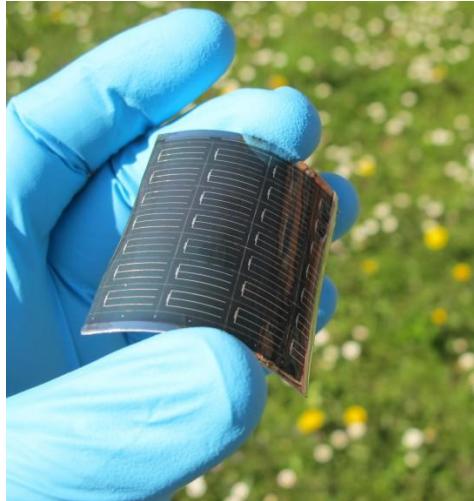


Figura 20 – Célula Solar flexível CIGS. Site da Empa.

Outro tipo de filme fino disponível no mercado é o CZTS (Cobre, Zinco, Estanho e Enxofre, com fórmula química Cu_2ZnSnS_4). Em relação aos já falados, tem a vantagem de ser constituído por materiais mais abundantes e mais baratos. A eficiência destes filmes ronda os 11%. A 6 de Maio de 2013, a Universidade de Utah (no *site* dedicado a notícias da universidade, News Center) consegue produzir estas células com recurso a um micro-ondas caseiro. Esta pesquisa também permitiu que dependendo do tempo passado no micro-ondas pode-se obter cristais de diferentes tamanhos e com diferentes propriedades. Cristais de maiores dimensões absorvem calor e convertem em eletricidade, enquanto cristais mais pequenos emitem luz em determinados níveis de energia. É credível que esta descoberta possa levar a LEDs que consumam ainda menos energia.

3.7.3. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ORGÂNICOS - OPV

Os nanomateriais também podem compor outra alternativa: os painéis fotovoltaicos orgânicos (OPV). Este material é constituído por polímeros ou pequenas moléculas de base carbónica (daí o orgânico, por oposição ao cobre e silício que são designados por inorgânicos). Comercializados, por exemplo pela Heliatek e anteriormente pela Konarka (abriu falência em 2012), tal como os filmes finos, têm espessuras muito reduzidas e são flexíveis.

No futuro, será expectável o aumento da eficiência tanto das soluções mais aproximadas das tradicionais com incorporação de nanomateriais, mas também dos filmes finos e dos OPV. A incorporação de pontos quânticos estima-se que poderá elevar a eficiência do dispositivo para 42%. Outros avanços nesta área incluem *sprays* de base de polímeros (investigação em curso essencialmente na Wake Forest University) e células que podem ser impressas ou pintadas em plásticos, combinando CNT com fulerenos (investigação do New Jersey Institute of Technology). Essencialmente, a prospeção passa pela possibilidade de impressão das células solares em casa e posterior colagem do produto em qualquer parte da casa (paredes, coberturas e outros). A Victorian Organic Solar Cell Consortium (VICOSC) – uma colaboração entre a *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO), a Universidade de Melbourne, a Universidade Monash e parceiros industriais - foi a primeira instituição a conseguir imprimir OPV em tamanhos de folhas de papel A3. A técnica é igual à que é usada para fazer a impressão em T-shirts. Ainda não é uma realidade a impressão em casa, mas não tardará a estar disponível essa tecnologia.

3.7.4. CÉLULAS SOLARES DE CNT-SILÍCIO E GRAFENO-SILÍCIO

Numa mistura entre células orgânicas e inorgânicas, desenvolvem-se as células de CNT-Silicone e Grafeno-Silicone (como já foi visto CNT é uma forma específica do grafeno). Com a adição de um revestimento de TiO_2 , a eficiência destas células solares já se aproxima dos 15% (Cao *et al.*, 2013).

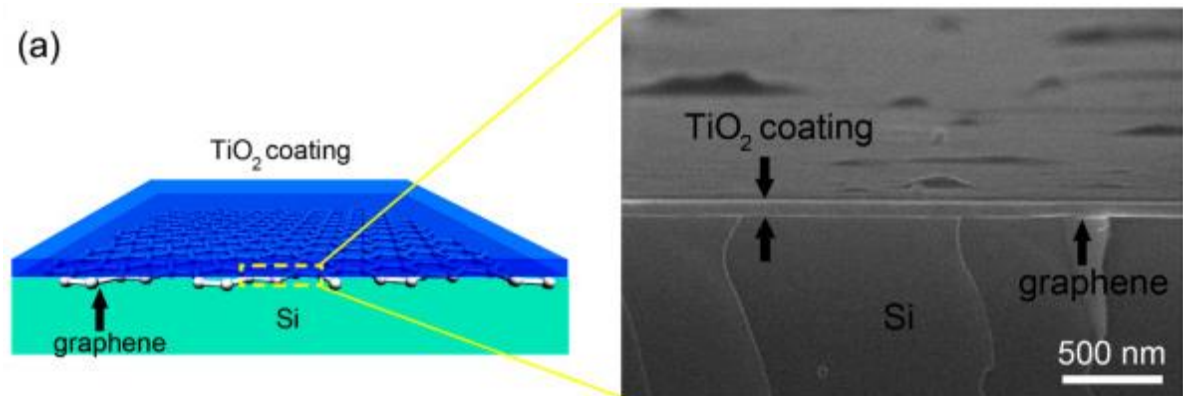


Figura 21 – Ilustração da estrutura de TiO_2 -Grafeno-Silício (esquerda) e imagem MEV da seção transversal mostrando o revestimento uniforme de TiO_2 (espessura aproximada de 65 nm) por cima da célula de Grafeno-Silício. Cao *et al.*, 2013.

3.8. OUTRAS APLICAÇÕES

Obviamente que não estão enumeradas todas as aplicações dos nanomateriais neste capítulo. Entre outras aplicações de interesse relacionadas com a construção pode-se ter em conta a título de exemplo: vias de comunicação, iluminação (dentro e fora de edifícios), armazenamento de energia, purificação de água e nano-sensores (Elvin, 2007; van Brokhuizen *et al.*, 2009).

3.9. SÍNTESE

Essencialmente pode-se agrupar as aplicações dos nanomateriais na construção em 2 temas: as substâncias e as propriedades.

Em termos de substâncias, os mais usados são o dióxido de titânio, a sílica, o óxido de zinco e o carbono. Outros materiais menos discutidos neste trabalho mas que também contam com algumas aplicações são a prata e o ouro. Estes materiais, apesar de apresentarem características interessantes para aplicação, têm como desvantagem o seu elevado custo, que os torna pouco interessantes no sector da construção. Também os polímeros, principalmente derivados dos fluorocarbonos (CF), têm aplicação na construção.

Relativamente às propriedades adquiridas com recurso aos nanomateriais podem ser observados: o aumento de resistência dos elementos estruturais (betão e ferro), a hidrofobia/auto-limpeza dos revestimentos e betão, a alteração das propriedades óticas do vidro e o aumento da eficiência e/ou da flexibilidade e peso dos painéis fotovoltaicos.

A tabela 6 faz a ligação entre os materiais e as propriedades.

Tabela 6 - Principais Nanomateriais e Aplicações

Nanomateriais	Aplicações
Dióxido de Titânio (TiO ₂)	Auto-limpeza, antibacteriano e purificação do ar
Sílica (SiO ₂)	Aumento de resistência do betão, retardador de fogo e proteção contra riscos
Óxido de Zinco (ZnO)	Auto-limpeza e filtros seletivos de luz
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	Proteção contra riscos
Prata (Ag)	Antibacteriano
Nanotubos de Carbono (CNT)	Aumento de resistência mecânica, proteção contra o fogo e transmissão de corrente em células solares

4

DIREÇÃO DE OBRA

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo versará sobre o impacto dos nanomateriais na direção de obra. A Lei n.º 31/2009 define o diretor de obra como “o técnico habilitado a quem incumbe assegurar a execução da obra, cumprindo o projeto de execução e, quando aplicável, as condições da licença ou comunicação prévia, bem como o cumprimento das normas legais e regulamentares em vigor”. Ainda segundo a mesma Lei, fazem parte dos deveres do diretor de obra coordenar, dirigir e executar os trabalhos, cumprir as condições de licença e outras normas legais e regulamentos, assegurar a qualidade da obra e a segurança e a eficiência no processo de construção. Associados a estes deveres pode-se então englobar nas preocupações da direção de obras os temas: custos, prazos, tecnologia, segurança e saúde. Atualmente, outra grande preocupação da direção de obra, ainda que não muito legislada, é a sustentabilidade.

Naturalmente que dentro de todas estas preocupações, algumas têm um peso mais elevado. Como empresas que representam, o objetivo primário dos diretores de obra é a obtenção de lucro e, como tal, a parte dos preços terá uma relevância maior comparativamente aos outros assuntos.

4.2. PREÇOS, PRAZOS E TECNOLOGIA

Encontrar uma definição de qualidade é difícil, seja no contexto global ou na construção. No caso da construção, a noção de qualidade está associada à tecnologia usada, ao cumprimento de prazos e ao preço. Muitas vezes, e principalmente num contexto económico desfavorável, preços e prazos assumem uma relevância muito superior às tecnologias. No que diz respeito aos nanomateriais, isto pode ser um problema. Ao nível tecnológico, é indubitável que são uma mais-valia para qualquer obra, mas só se tornam interessantes se ao nível do custo representarem uma boa escolha.

4.2.1. PREÇOS

Generalizadamente, os nanomateriais apresentam um investimento inicial superior em relação aos materiais tradicionais. Esta diferença ainda se reflete mais nos elementos de uso em grandes quantidades como o betão, por exemplo. Mesmo pequenas diferenças no preço unitário (seja peso ou por área ou outro similar) tornam-se uma grande diferença devido à elevada quantidade necessária.

Por outro lado, deve ser analisado o custo a longo prazo. Isto é um custo que englobe os custos de reparações, manutenção e utilização. Tome-se por exemplo, o LCC (*Life Cycle Costing*). Este método de comparação de soluções técnicas calcula um custo aproximado do ciclo de vida de um produto.

Assim, torna-se mais fácil perceber qual a melhor solução, não aquando do investimento inicial, mas a longo prazo. Isto revela-se bastante importante na construção pela durabilidade das construções. Uma situação relacionada com o LCC é o tempo de vida dos produtos. Olhando ao exemplo dos nanomateriais para proteção de superfícies (como nos metais ou nas madeiras), se as mesmas superfícies não necessitarem de intervenções de manutenção ou mesmo de recolocação, o investimento necessário no produto é menor do que no tradicional (possivelmente adicionado do produto de substituição). Outra questão relacionada com o LCC é a diminuição nos gastos em energia. Por exemplo, no caso dos painéis fotovoltaicos ou dos isolamentos, isto é extremamente relevante. O setor residencial consome aproximadamente 17,7% da energia consumida em Portugal.

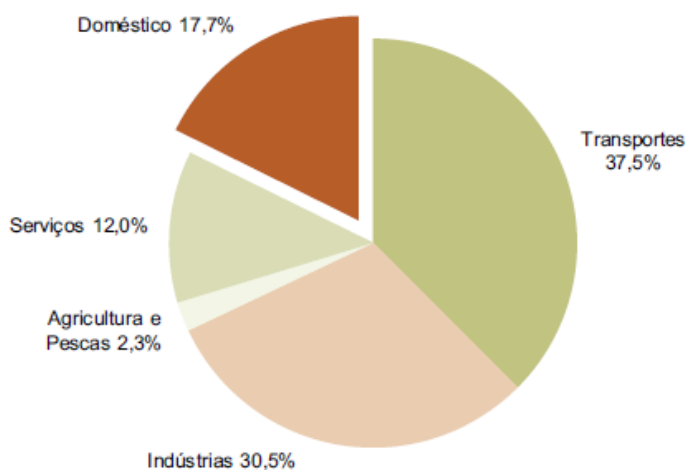


Figura 22 - Repartição do consumo de energia por setor. DGEG, 2010.

Existem ainda outros fatores que podem influenciar o preço. Por exemplo, acrescentando um nanomaterial ao betão que aumente a resistência à compressão, podemos ter secções mais pequenas, reduzindo assim a quantidade de material necessário. Isto é, o preço unitário será maior, mas com uma menor quantidade de material necessário podemos ter logo retorno desse “investimento”.

Um grande problema associado à questão dos preços é a limitação dos recursos gastos em investigação e desenvolvimento. Quando se percebe que um produto se torna demasiado caro para ser aplicável na indústria da construção, pode deixar de ser investigado.

Em termos de casos reais, é difícil encontrar casos de estudo e mesmo a informação de custos é limitada. Ainda assim, podem ser analisadas 2 situações: um vidro da Saint-Gobain Glass e uma tinta de isolamento da Nansulate.

No primeiro caso, os únicos dados disponibilizados estão no sítio da Saint-Gobain Portugal, logo deverão ser tratados com o valor que têm. É um vidro duplo SGG KlimaPlus Bioclean (térmico e com auto-limpeza) e apresenta um custo 30% superior em relação a um vidro duplo normal e uma amortização relativa à diminuição dos gastos em energia em prazo máximo de 3 anos.

O segundo caso refere-se à tinta de isolamento Nansulate e os dados foram retirados de um caso de estudo de uma moradia residencial (Nansulate, 2010). Este caso de estudo compara os custos de aquecimento da mesma casa antes e após a aplicação desta tinta. O custo total (aplicação e materiais) foi de 3.700 dólares americanos. A aplicação foi feita em Janeiro de 2008. Antes da aplicação, a energia média consumida entre Abril e Outubro rondava os 2500 kWh. Após a aplicação, este valor foi

reduzido para aproximadamente 1200 kWh. Mesmo tendo em conta as alterações dos custos de energia, revela-se uma grande diferença nos gastos.

Tabela 7 - Gastos médios mensais (entre Abril e Outubro) com energia no Caso de Estudo (Nansulate, 2010).

Ano	Gastos em dólares americanos (\$)	Média por período	Estado
2005 (custo médio de 0,08 \$/kWh)	\$255.75	\$225.77	Pré-Aplicação
2006 (custo médio de 0,09 \$/kWh)	\$210.00		
2007 (custo médio de 0,09 \$/kWh)	\$211.57		
2008 (custo médio de 0,11 \$/kWh)	\$148.29	\$117.98	Pós-Aplicação
2009 (custo médio de 0,07 \$/kWh)	\$87.98		
2010 (custo médio de 0,09 \$/kWh)	\$117.66		

Pela diferença das médias de consumo entre as situações de pré-aplicação e de pós-aplicação, obtém-se uma poupança média mensal de \$107.80, o que equivale a aproximadamente \$750 anuais (considerando apenas os 7 meses). Assim, o retorno do investimento inicial seria obtido após aproximadamente 5 anos.

Interessa sobretudo perceber que é um mercado ainda não estabilizado. A procura é crescente, os produtos ainda não geram total confiança (aos projetistas, construtores, clientes e/ou utilizadores finais), é um mercado recente e em enorme expansão e os fundos estão muito concentrados na investigação e desenvolvimento e não na produção. Tudo isto leva a que os preços estejam em constante alteração.

Sobra ainda uma questão: será que não se consegue obter estas propriedades a um custo mais baixo? Há a hipótese de usar as partículas em microescala. Tornam-se mais baratas, mas não apresentam a mesma eficiência (no caso das que apresentam a propriedade, o que pode não acontecer). Num futuro próximo até poderá ser solução, mas tudo aponta para que não passe de uma medida efémera.

4.2.2. PRAZOS

Na questão dos prazos, não há muita alteração. A montagem em obra até poderá ser feita de maneira diferente em alguns casos, como será abordado no ponto seguinte, mas a alteração nos prazos em tempo de obra a acontecer é mínima. Mais impacto poderá existir nos prazos de entrega do material. Por enquanto, os produtos que contêm nanomateriais ainda não são produzidos em massa. A necessidade de os fabricar especificamente para uma obra pode levar a prazos mais alargados para entrega do material. No entanto, isto será ultrapassado assim que os nanomateriais se tornem mais vulgares.

4.2.3. TECNOLOGIA

Voltando à definição de qualidade, é normal a associação da mesma a três fatores: requisitos implícitos, requisitos explícitos e propriedades adicionais. Grande parte dos nanomateriais são aditivos, logo pode ser enquadrada no último fator (propriedades adicionais). No entanto, outros como o aerogel podem ser vistos como uma mais-valia de qualidade no fator de requisitos implícitos.

No caso dos “aditivos” a tecnologia do produto final quase não se altera. Como é o caso da sílica de fumo no betão, por exemplo. É um adjuvante tal como qualquer outro adicionado à mistura. Porém, ainda no caso dos aditivos, há uma situação particular. Em alguns nanomateriais adicionados ao vidro, temos corrente (como o caso do controlo de opacidade). Para fazer o controlo da passagem de corrente, há necessidade de instalar um interruptor. Este interruptor pode ser integrado de várias maneiras. Em alguns casos reais analisados, estava incluído no elemento de trinco da porta (em casas de banho de bares, por exemplo, quando a porta está fechada com o trinco, não há passagem de corrente e o vidro fica opaco).

Nestes casos, muitas vezes são as próprias marcas que exigem formação específica dos instaladores. Não é diretamente devido aos nanomateriais, mas às suas funções e à tecnologia que lhe está associada.

4.3. SEGURANÇA E SAÚDE

A área da segurança e saúde é cada vez mais uma preocupação nas obras. Atualmente, o Decreto-Lei n.º273/2003 define (entre outras coisas) a obrigatoriedade do plano de segurança e saúde e os maiores riscos na construção. Entre os riscos especiais declarados no artigo 7.º, salienta-se para o caso dos nanomateriais, os riscos químicos e biológicos e a montagem de elementos prefabricados.

Os nanomateriais têm várias possibilidades de interação com o corpo humano e assim tornarem-se um perigo para a saúde. Destacam-se três interações principais: inalação pelo sistema respiratório, ingestão e contacto com a pele. De acordo com estudos feitos em animais e pessoas, as nanopartículas transportadas pelo ar podem ser inaladas e depositam-se no trato respiratório. Ainda de acordo com estudos feitos em animais, as nanopartículas podem entrar na corrente sanguínea e chegar a todos os órgãos.

Também já é um dado adquirido que uma massa equivalente de nanopartículas é mais potente que partículas de tamanhos maiores com composição similar, no que toca a inflamações pulmonares e tumores do pulmão. Além do tamanho, outras características que podem influenciar a toxicidade dos nanomateriais são a composição química e a estrutura cristalina.

A exposição a aerossóis com partículas finas (microscópicas) e/ou ultrafinas provoca reações adversas pulmonares incluindo fibroses e diminuição das funções pulmonares. A transposição destas conclusões para as nanopartículas incorpora alguma incerteza.

Acima de tudo, é necessária mais pesquisa para determinar as características físicas e químicas das nanopartículas que provocam o potencial de perigo.

Na questão da segurança em obra, os perigos maiores estão relacionados com a possibilidade de combustão ou explosão e as reações catalíticas que os nanomateriais podem provocar. Quanto à possibilidade de combustão, os nanomateriais, tal como no caso dos perigos para a saúde, têm mais área superficial que os materiais tradicionais, logo são mais reativos. Isto torna-os mais perigosos que os materiais tradicionais. Ainda assim, não há casos conhecidos deste tipo de acontecimentos. No que

diz respeito às reações catalíticas, importa não só conhecer a composição química como a estrutura para se poder antecipar essas reações.

4.3.1. SÍLICA

Na versão amorfa, é tratada como qualquer poeira não-nano e não-tóxica de sílica. Porém, em casos raros foram detetados efeitos fibrogénicos (que promovem o desenvolvimento de fibras) causados por exposição ocupacional. Por segurança, devem ser evitadas exposições superiores a $0,3 \text{ mg/m}^3$ (regulamentar na Alemanha para poeiras) ou 10 mg/m^3 (regulamentar nos EUA e em França).

Na forma cristalina, apresenta uma morfologia próxima de uma agulha. É considerada muito tóxica e pode causar silicose e outras doenças pulmonares (Merget *et al.*, 2001). Esta doença está bem relatada, principalmente em casos relacionados com a atividade mineira. A exposição deve ser limitada a um valor bastante inferior ao da sílica amorfa, seja $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valor recomendado pelo National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH).

De notar que a própria sílica amorfa pode estar contaminada com sílica cristalina. Logo, os limites devem sofrer algumas adaptações, principalmente se houver total conhecimento da composição. No caso da sílica de fumo, a contaminação é muito diminuta, até deverá ser inexistente, pois é um produto sintético.

Como já foi visto, um dos usos da sílica é como aditivo do betão. Se for misturada em obra pode ser um risco maior, mas atualmente é mais recorrente ser misturada em sistemas fechados de fábricas de produção de cimento reduzindo o potencial de risco. Após a reação para formar o cimento não é expectável que ainda exista a possibilidade de exposição pois já está integrado na matriz cementícia, deixando de ser uma nanopartícula.

4.3.2. DIÓXIDO DE TITÂNIO

A NIOSH classifica o Dióxido de Titânio como possível carcinogénico e apresenta como sintomas a fibrose pulmonar. Na última revisão (NIOSH, 2011) estabeleceu como limite de exposição $2,4 \text{ mg/m}^3$ para Dióxido de Titânio microscópico (entre 100 nm e $4 \text{ }\mu\text{m}$) e $0,3 \text{ mg/m}^3$ para nanopartículas. Esta diferenciação advém do facto das nanopartículas terem uma reatividade maior do que os materiais de tamanhos maiores.

Ainda assim, há mais preocupações a nível ambiental do que a nível da saúde humana. Não se desprende da matriz de pintura ou do revestimento, mas pode chegar ao meio ambiente através do desgaste da superfície.

4.3.3. CNT

Os CNT apresentam uma dúvida maior. Nos CNT, há vários aspetos a considerar no que toca à análise da toxicidade. Entre eles estão o comprimento das fibras, a área superficial e as impurezas presentes na sua composição (metais e orgânicos).

No caso do comprimento das fibras, se o mesmo ultrapassar os $20 \text{ }\mu\text{m}$, quando inalados é expectável que causem as mesmas patologias que outras fibras biopersistentes causam em ratos e humanos se o número de fibras for suficiente (Donaldson *et al.*, 2006). Entre as patologias contam-se fibrose, cancro e mesotelioma (também associado ao amianto). Aqui, o problema é a contagem das fibras. Os CNT

têm um comportamento que leva ao entrelaçar de várias fibras, tornando muito difícil a previsão (da quantidade) ou contagem das fibras.

Quanto à área superficial, é análogo aos outros materiais já discutidos. A nanopartícula mais similar é o negro de fumo (*carbon black*) que provoca *stress* oxidativo (ligado a doença de Parkinson e Alzheimer). Este efeito é motivado pela elevada área superficial, comum a outras partículas de baixa toxicidade que devem as suas propriedades pró-inflamatórias somente a essa particularidade. Estudos comparativos entre o negro de fumo e os CNT provam que os CNT são mais patogénicos, especialmente no que toca à formação de granulomas.

Residualmente, nos CNT podem ser encontrados impurezas. Destas podem constar metais, orgânicos e material de suporte. Também estas impurezas comportam riscos para a saúde.

Dependendo do modo de síntese, os CNT podem conter metais tóxicos que podem ser vistos como contaminantes, visto que não são necessários para a função desempenhada pelos nanotubos. Entre os metais incluem-se: Cobalto, Ferro, Níquel e Molibdénio, todos com efeitos tóxicos documentados. Todos estes metais de transição em forma de poeira podem causar *stress* oxidativo. Importa então determinar a importância da presença destes metais na toxicidade dos CNT.

O argumento para o potencial papel dos orgânicos na toxicidade dos CNT advém das PM10 (partículas suspensas de diâmetro inferior a 10 µm) constituídas, entre outros, por moléculas de derivados de combustão. Também estas partículas causam *stress* oxidativo.

Outro fator a ter em conta é a agregação. Os MWNT têm muita tendência para se agregarem formando “cordas”. Estas “cordas” são consideravelmente mais longas e maiores (em diâmetro) do que cada nanotubo que a forma. Este facto pode alterar a toxicidade, sem que haja conhecimento do nível de alteração que pode provocar.

4.3.4. AEROGÉIS E ESPUMAS DE POLÍMEROS

Visto que a sua componente nano deriva da ausência de matéria (por oposição aos outros nanomateriais) a existência de riscos a nível de saúde derivados do seu carácter nano são inexistentes.

4.3.5. PRATA

Não é conhecido como tóxico para o ser humano, porém há algum desconhecimento sobre as nanopartículas de prata. Os perigos não devem estar presentes no momento da construção, mas no momento de manutenção dos revestimentos, isto é, de utilização da construção. No entanto, esta exposição não é relativa às nanopartículas de prata, mas aos iões Ag^+ que são bem conhecidos e têm os seus problemas catalogados. Mais uma vez, ao desconhecimento deve estar associado uma postura preventiva.

4.3.6. APLICAÇÕES NO METAL

A aplicação dos nanomateriais e dos produtos que os contêm em superfícies metálicas são feitos em locais apropriados e não em obra, logo a exposição não deverá apresentar problemas para a saúde. No entanto, os mesmos poderão surgir aquando da soldagem, por exemplo, mas são desconhecidos os riscos que poderão levantar.

4.3.7. FLUOROCARBONOS

Um dos fluorocarbonos é o PTFE (politetrafluoroetileno) também conhecidos pela designação comercial Teflon. Os fumos de PTFE são altamente tóxicos para os pulmões, chegando mesmo a causar a morte em ratos para uma exposição inferior a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estudos em humanos notaram edemas pulmonares em trabalhadores expostos aos fumos de PTFE (NIOSH, 2009). Apesar de os fluorocarbonos não serem nanomateriais tal como foram definidos no capítulo 2, os estudos relativos a estas partículas mostram que partículas ultrafinas podem ser associadas a grandes perigos para a saúde humana.

4.3.8. MEDIDAS PREVENTIVAS

Tendo em conta a informação limitada sobre os riscos para a saúde associados aos nanomateriais, é prudente tomar medidas preventivas para minimizar a exposição dos trabalhadores a estes materiais.

Para o controlo da inalação, por exemplo, podem ser seguidos as mesmas medidas de segurança associadas à exposição a aerossóis.

A NIOSH (2009) apresenta algumas indicações que devem ser seguidas em obra:

- Avaliação do perigo imposto pelo nanomaterial com base nos dados conhecidos relativos às propriedades químicas e físicas, toxicidade e efeitos na saúde;
- Avaliação da tarefa para determinar o potencial de exposição;
- Educação e treino dos trabalhadores para o manuseamento dos nanomateriais;
- Estabelecimento de critérios e procedimentos para instalação e avaliação de controlos (ventilação, por exemplo) em locais em que pode ocorrer a exposição a nanomateriais;
- Desenvolvimento de procedimentos para determinação da necessidade de selecionar equipamento de proteção individual (roupa, luvas, máscaras, entre outros);
- Avaliação sistemática das exposições para garantir que as medidas de controlo estão a funcionar apropriadamente e que os trabalhadores têm os EPIs apropriados;
- Técnicas de controlo como sistemas de ventilação local devem capturar nanopartículas suspensas no ar. Conhecimento atual indica que um sistema de ventilação com filtros HEPA (do inglês *High-efficiency particulate air*)
- Limpeza das áreas de trabalho com aspirados HEPA e limpeza molhada, prevenção do consumo de comida e bebida em locais de trabalho de nanomateriais, locais de lavagem de mãos, banho e balneários.

Os limites de exposição já foram abordados em cada tópico dos materiais respetivos, porém não há ainda grande informação e limites para as nanopartículas propriamente ditas. Deve ser tido em conta que os limites para os materiais tradicionais podem não providenciar condições de segurança para os nanomateriais. Ainda assim, esses limites podem servir de guia, assim como outras informações relativas à toxicidade.

4.4. SUSTENTABILIDADE

4.4.1. DEFINIÇÃO DE SUSTENTABILIDADE

Antes de discutir a sustentabilidade do uso dos nanomateriais, interessa encontrar uma definição para sustentabilidade. De acordo com Schaller (1993), sustentabilidade “é como a verdade ou a justiça – conceitos não facilmente capturados em definições concisas”. Ainda assim, procurando outras fontes, pode-se chegar a uma ideia do que é sustentabilidade.

Segundo um relatório da Comissão de Brundtland para as Nações Unidas (1987), desenvolvimento sustentável é “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”.

Outra definição (Bell e Morse, 2008) aborda a necessidade de manter a qualidade do sistema, podendo-se traduzir em 2 situações: em qualquer momento que se baixa a qualidade entra-se numa situação de insustentabilidade e sempre que o nível se mantém ou aumenta, há sustentabilidade.

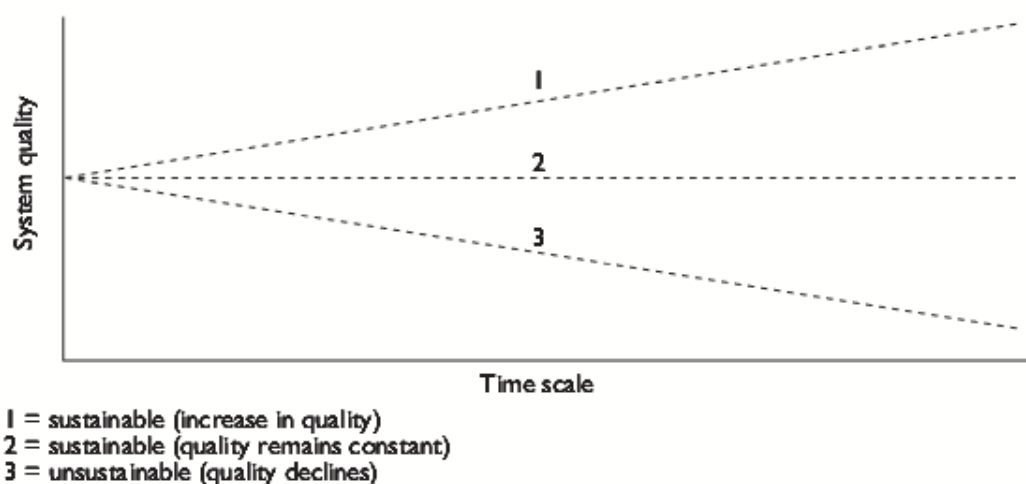


Figura 23 – Qualidade do Sistema e Sustentabilidade. Reflete possíveis evoluções temporais da qualidade do sistema e a qualificação como sustentável ou insustentável em conformidade com a evolução, baseado num indicador único. Bell e Morse, 2008.

Juntamente com o gráfico reproduzido em cima, Bell e Morse apresentam mais dois gráficos que relacionam a qualidade do sistema com a sustentabilidade. Este gráfico traduz a qualidade através de medições da qualidade do sistema em dois espaços temporais distintos, usando um indicador único. Os outros diferem na complexidade (mais espaços temporais analisados) e no número de indicadores. Este serve essencialmente para se perceber que a sustentabilidade de uma forma simples é uma avaliação da qualidade do sistema com a evolução temporal.

Há ainda a definição proposta pela enciclopédia inglesa Merriam-Webster:

- “Capaz de ser sustentado;
- De, relativo a, ou sendo um método de colheita ou utilização de um recurso de modo que o recurso não seja esgotado ou danificado permanentemente;
- De ou relacionado com um estilo de vida que envolve o uso de métodos sustentáveis”.

Dentro das necessidades abordadas por este conceito temos três vertentes (“domínios”): económica, social e ambiental. A economia reflete a necessidade de lucro e dos gastos em investigação e desenvolvimento. A vertente social refere-se à qualidade de vida, à educação e à comunidade. Por fim,

o ambiente aborda o tema da prevenção da poluição e da gestão do ambiente. Entre eles, podem ser estabelecidos “subdomínios”: social-ambiental (justiça ambiental e equidade inter-geracional), económico-social (ética de negócios, comércio justo e direitos humanos) e económico-ambiental (eco-eficiência, impostos ecológicos).

4.4.2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO E OS NANOMATERIAIS

No caso da construção, é necessário entender que um edifício tem 4 fases de “vida”: projeto, construção, utilização (pode-se incluir nesta fase a reabilitação e manutenção) e demolição. Logo, a análise à sustentabilidade deveria ser feita em todas as fases. De um modo simplificado, no projeto devem ser analisadas as quantidades e os materiais usados (betão, aço, entre outros), os custos associados e o uso do solo; na construção, os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e os materiais componentes dos materiais finais (água e inertes para betão, entre outros), os gastos com pessoal (treino/formação e salários); na utilização, o consumo de energia (uso e custos associados), a emissão de poluentes e produção/gestão de resíduos e na demolição, os já mencionados RCD, a nova ocupação do solo e a vertente económico-financeira da operação. Os indicadores associados às fases são exemplificativos. Poderiam ser muitos outros numa análise mais detalhada.

No que toca ao tema deste trabalho e tomando como exemplo os indicadores mencionados no parágrafo anterior, interessa a comparação entre os materiais tradicionais e os nanomateriais.

Em termos de quantidades de materiais (finais) usados, pode haver alteração em 4 tipos de materiais: isolamento, estruturais, captação de energia e vidro. Nos isolamentos, já foi visto o caso dos aerogéis. A redução de espessura do material em que se integra e a sua eficiência pode traduzir-se numa redução de uso dos poliestirenos e outros materiais atualmente usados para esses mesmos fins. No caso dos materiais estruturais, para já, não há grande alteração, mas a manipulação de grafeno e CNT pode traduzir-se numa redução das espessuras das peças, reduzindo significativamente a quantidade necessária, não só numa obra como, por efeito de acumulação, em todo o Mundo. Os painéis solares e toda a tecnologia similar estão em constante expansão, logo é de prever que se tornem cada vez mais comuns, principalmente em Portugal e noutros países com similar capacidade de aproveitamento deste tipo de energia. Em relação ao consumo de materiais, pode haver uma redução do consumo de silício (nos painéis solares, pois como já foi visto, o silício pode ter aplicações para melhoria de propriedades de outros materiais) devido ao uso de filmes finos com diferentes compostos. Por agora, não é uma realidade, mas num futuro próximo (5-10 anos) poderá ser. Os vidros são um caso muito particular. Eles já existem na construção e já são amplamente usados. Mas com as novas características que lhe podem ser introduzidas pelos nanomateriais, é expectável que se tornem ainda mais utilizados. Apesar da quantidade e área utilizada poder aumentar, a redução de espessura poderá permitir compensar esse aumento.

Falta discutir as componentes. Por exemplo, o dióxido de titânio já começa a ganhar alguma expressão na construção e o seu consumo deverá aumentar, tendo em conta a multiplicidade de aplicações desse nanomaterial. A pesquisa e posterior utilização dos CNT também deverá levar a um aumento do consumo de carbono. Por contraponto, a água utilizada no betão poderá ser reduzida.

Relativamente aos custos, o tema já foi abordado no subcapítulo 4.2.

O uso de solo pode ser alterado devido á necessidade de áreas menores de construção resultantes das inovações nos materiais estruturais e nos materiais de isolamento (supondo a mesma área útil interior). Neste aspeto resta só referir que os nanomateriais também podem ser aplicados nas vias de construção que podem ter impacto no uso do solo e sobretudo na interação construção-solo.

Em relação aos RCD, só há previsões, visto que as aplicações e situações reais de demolição de construções com nanomateriais ainda não são uma realidade. Ainda assim, tudo aponta para que não existam alterações ao que acontece aos resíduos/materiais. A única preocupação prende-se com a saúde, mas essa discussão já foi feita noutra subcapítulo. Mais uma vez, se na construção forem usados menos recursos, também haverá menos resíduos.

Para que o pessoal afeto à construção mantenha as boas práticas, deverá haver uma preocupação com a formação. Não só ao nível de segurança e saúde, mas também ao nível dos materiais. A análise aos gastos de uma empresa com a formação de pessoal indica a importância que dá à manutenção da qualificação dos seus trabalhadores. A análise aos salários praticados na empresa permite fazer uma leitura da qualidade de vida dos trabalhadores.

Na fase de utilização, o maior caso de estudo é o consumo de energia. Já vimos que associado ao consumo de energia vai estar também a produção/gestão (com a tecnologia de captação de energia solar). No geral, o consumo de energia deve baixar e a produção aumentar. Tudo aponta para que se chegue a (ou ultrapasse) um equilíbrio, tendo como resultado uma independência energética a nível residencial. Tanto a evolução nos isolamentos como a redução dos consumos de aparelhos domésticos (estejam relacionados diretamente com a temperatura como os AC ou não, como é o caso dos computadores) irão contribuir para estes resultados.

A vertente económico-financeira de uma demolição terá que ser abordada caso a caso. Interessa abordar indicadores objetivos como os custos de demolição e a previsão de custos da nova construção, mas também outros indicadores mais subjetivos como o impacto ao nível da arquitetura.

5

CONCLUSÃO

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Naturalmente, em Portugal é difícil fazer previsões do que pode ser a inclusão dos nanomateriais na construção. Na situação de crise em que o país se encontra, há pouco investimento em novos materiais, investigação e também na construção.

A nível mundial, esse esforço já é feito. E num mundo global, como atualmente temos, é fácil trazer tecnologia produzida fora para o país. Num setor que consome tantos recursos financeiros, seria trágico que ainda houvesse mais dependência do estrangeiro. Por outro lado, a globalização tem os seus benefícios. Se é fácil comprar ao estrangeiro, também é fácil vender. Logo, a hipótese de abstração do mercado interno, procurando soluções no mercado externo é viável.

A nível financeiro, é necessário abordar dois temas: desenvolvimento e venda do produto. No desenvolvimento, há muitos exemplos noutros países de parcerias. Principalmente em países mais pequenos devem ser envolvidos o maior número de agentes. Um dos casos mais interessantes é o uso de financiamento estatal e industrial e do conhecimento e tecnologia das universidades. Quanto à venda do produto, tal como foi abordado no capítulo 4, a estabilização do mercado dos nanomateriais deve levar a uma redução nos custos de produção, traduzida na redução do preço de venda ao cliente. Não se sabe quando irá acontecer esta estabilização, pois é um mercado ainda novo, mas para os produtos apresentados no capítulo 3, isso deverá acontecer num espaço de tempo relativamente reduzido (5 anos).

Falando dos clientes, interessa conhecer o perfil do mesmo. Geralmente, não é muito conhecedor dos materiais e das suas propriedades. A preocupação prioritária é o preço. Ao nível de qualidade, a preocupação maior é a segurança. Então, os nanomateriais terão que ser financeiramente competitivos, seguros e as suas propriedades têm que ser notórias. O caso dos vidros, por exemplo, é ambíguo. As novas propriedades que pode adquirir são facilmente visíveis, mas ao vidro está associada uma visão de fragilidade. São estes problemas que dificultam a integração dos nanomateriais.

Para a direção de obra, todos estes temas são importantes, mas há um que adquire uma especial relevância pelo atual nível de desconhecimento: saúde e segurança. É preciso investir tanto na descoberta das implicações para a saúde (não só humana como ambiental e biológica) como no desenvolvimento dos materiais. Sem a certeza dos malefícios (se existirem) e das maneiras de os prevenir, todo o atual trabalho com estes materiais é perigoso para a vida humana. Este caso é particularmente importante nos CNT.

Outra preocupação da direção de obra é a sustentabilidade. Os nanomateriais devem traduzir soluções sustentáveis nas quatro fases de construção: projeto, construção, utilização e demolição. Dentro destas

fases devem ser abordados dois critérios importantes: durabilidade e eficiência. Os novos materiais ainda não foram muito expostos a situação de “vida real”. Principalmente em exposições prolongadas. Logo, o conhecimento sobre a sua durabilidade ainda não é muito fundamentado. Principalmente no caso dos painéis solares importa saber a duração do ciclo de vida. Com investimento inicial alto, não se podem decompor em pouco tempo, senão obrigam a sucessivos gastos que se tornarão incomportáveis. Também a eficiência pode ser analisada do ponto de vista dos painéis solares. As novas tecnologias, não devem ser só acompanhadas de melhorias estéticas (como os filmes finos, por exemplo). É importante que a eficiência das soluções seja mais elevada. Por agora, há muita pesquisa há volta deste assunto, mas ainda não há muitos resultados.

Por último, a questão que realmente importa responder é: estes materiais são úteis à construção? Fazendo uma analogia com o mercado automóvel, atualmente, não representam mais que um “extra”. Já no futuro, é crível que se tornem vulgares e façam parte do “modelo-base” de uma edificação.

5.2. PERSPETIVAS

As áreas de conhecimento associadas à inovação tecnológica são vitais para o desenvolvimento científico de um país. Assim, Portugal deverá seguir o exemplo de outros países (nomeadamente Alemanha, Estados Unidos e China) e investir na formação de profissionais relacionados com estas áreas, nomeadamente com os nanomateriais e a nanotecnologia. O conhecimento deverá ser transmitido nas universidades, tendo as mesmas capacidade para investigação e desenvolvimento de produtos/materiais. Devido à complexidade do tema, a interligação interdisciplinar é quase obrigatória. Engenharia civil, eletrotécnica e química devem unir esforços para que o desenvolvimento seja atingido mais facilmente. Importa ainda reforçar a importância da criação de parcerias. Estado, indústria e ensino devem procurar as soluções em conjunto. Separadamente, dificilmente se conseguem fundos para uma investigação séria e de qualidade.

Voltando ao tema do conhecimento, não se deverá cingir às universidades e a titulares de licenciaturas/mestrados. Todos os envolvidos na construção (incluindo utilizadores finais) devem ter conhecimento dos materiais que os rodeiam. Ações de formação para quem está mais ligado à construção e transmissão de informação clara (via redes sociais, por exemplo) podem contribuir para uma adaptação mais rápida a um mundo em mudança, que se revela muito importante pois a mudança acontece em elementos próximos e que fazem parte da nossa rotina.

Quanto mais cedo estas alterações acontecerem, mais preparado estará o país para o futuro e menos esforço terá que fazer para se manter competitivo nos mercados internacionais.

Quanto aos materiais em si, a evolução é difícil de ser prevista. As propriedades vão sendo encontradas à medida das necessidades. A imaginação é (quase) o único limite. De monitorizações ativas de consumos de energia (materiais mudarem de cor à medida que os consumos aumentam, por exemplo), a controlo de emissões de CO₂ ou até conversão do mesmo noutros produtos menos tóxicos, tal como as plantas fazem através da fotossíntese (por exemplo, as algas em ambiente aquático transformam CO₂ em oxigénio, álcool etílico e água fresca). Tal como no caso da fotossíntese, a natureza já encontrou soluções para muitos dos seus problemas e isso deve ser aproveitado através da biomimética. Este processo consiste na reprodução das estratégias e soluções da Natureza em vários domínios da ciência. Tal como já foi referido isto já é aproveitado através da hidrofobia criada pelo efeito de lótus, mas poderá ser aproveitado em muitos outros casos.

5.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Tal como foi referido no capítulo 1, este trabalho pretende ser uma base de conhecimento para outros trabalhos. Tendo isso em conta, de seguida serão apresentadas algumas propostas de trabalhos a serem realizados no futuro para se obter mais informação sobre este tema.

Um tema pouco abordado neste trabalho, mas que também é de vital importância no setor da construção, especialmente nos países mais desenvolvidos, é a aplicação dos nanomateriais na reabilitação. Com grande parte do solo utilizado e, principalmente, edificado há necessidade de pensar em soluções para reaproveitar as edificações já existentes. Além da reutilização como medida de desenvolvimento sustentável, há muitas vezes interesse em manter o património arquitetónico e histórico. Para casos específicos terão que ser desenvolvidos materiais e produtos para proteção e reparação de materiais de construção que outrora foram correntes. Tendo em conta o potencial dos nanomateriais, até se poderá falar não só na proteção e reparação como na melhoria dos materiais.

Apesar de haver muitos nanomateriais no mercado e com propriedades que indicam melhor funcionamento que materiais tradicionais, importa fazer essa comparação baseada em estudos de casos reais. Provar que as propriedades dos nanomateriais são válidas em ambientes reais, poderá facilitar a sua entrada no mercado e indicar quais os materiais com mais facilidade de serem integrados na construção.

Além da comparação material a material, seria interessante fazer uma análise ao nível de preço e sustentabilidade de uma casa composta por nanomateriais (aplicado ao máximo, mas sem cair no exagero). No fundo, não podia ser dissociado do trabalho anterior, mas daria uma visão geral da evolução da construção.

Dentro do tema dos novos materiais, há dois assuntos que podem ser interessantes de abordar: materiais compostos por bactérias e fungos e materiais com adição de polímeros (ligeiramente abordados neste trabalho). Dentro do primeiro grupo, a auto-regeneração do betão poderá ser uma realidade (como foi abordado no capítulo 3), mas há outras aplicações, não diretamente relacionadas com a construção, mas afetas ao uso doméstico como a possibilidade destruir plástico através de fungos e a iluminação através de bioluminescência provocado por bactérias. Também devem ser estudadas combinações de vários materiais (por exemplo nanomateriais e polímeros).

BIBLIOGRAFIA

- Aalto University (<http://www.aalto.fi/en/current/news/view/2013-04-03-002/>). 06-06-2013.
- Alexe-Ionescu, A., Ionescu, A.T., Scaramuzza, N., Strangi, G., Versace, C., Barbero, G. e Bartolino, R. (2001). *Liquid-crystal–electrochromic-material interface: A p-n-like electro-optic junction*. PHYSICAL REVIEW E, VOLUME 64, 011708.
- Aspen Aerogels (<http://www.aerogel.com/products/overview-product.html>). 06-06-2013.
- Bell, S. e Morse, S. (2008). *Sustainability Indicators: Measuring the Imeasurable?*. Earthscan, Londres.
- Bhavana Jagat (<http://bhavanajagat.files.wordpress.com/2009/07/1210697764-hr-385.jpg?w=450>). 06-06-2013.
- British Standards Institution (2011). *PAS 71:2011*. Encomendado por Department of Business, Innovation and Skills.
- Brundtland Commission (World Commission on Environment and Development) (1987), *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.
- Cao, A., Shi, E., Li, H., Yang, L., Zhang, L., Li, Z., Li, P., Shang, Y., Wu, S., Li, X., Wei, J., Wang, K., Zhu, H., Wu, D. e Fang, Y. (2013). *Colloidal Antireflection Coating Improves Graphene-Silicon Solar Cells*. Nano Letters, 21/03/2013.
- Chung, C., Song, Y., Jo, Y., Lim, Y., Cho, S., Yu, H., Ryu, B. e Lee, S. (2013). *Sunlight-Induced Self-Healing of a Microcapsule-Type Protective Coating*. ACS Appl. Mater. Interfaces, 01/02/2013, pp 1378–1384.
- Clarian - Fluowet ETC ([http://www.clariant.com/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/2006_PaintCoatings_Newsroom_Brochures_EasyToCleanFluowetETCRRange.pdf/\\$FILE/2006_PaintCoatings_Newsroom_Brochures_EasyToCleanFluowetETCRRange.pdf](http://www.clariant.com/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/2006_PaintCoatings_Newsroom_Brochures_EasyToCleanFluowetETCRRange.pdf/$FILE/2006_PaintCoatings_Newsroom_Brochures_EasyToCleanFluowetETCRRange.pdf)). 06-06-2013.
- Comunidades Europeias (2007). *O Sétimo Programa-Quadro (7PQ)*. Serviço das Publicações, Bélgica.
- Coutinho, J. (2010). *Materiais de Construção 2 – Ligantes*.
- CSIRO - Printing Australia's largest solar cells (<http://www.csiro.au/en/Portals/Media/Printing-Australias-largest-solar-cells.aspx>). 06-06-2013.
- Decreto-Lei nº 273/2003 de 29 de Outubro.
- Direção Geral de Energia e Geologia (2010). *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*. Instituto Nacional de Estatística, I.P., Lisboa.
- Donaldson, K., Aitken, R., Tran, L., Stone, V., Duffin, R., Forrest, G. e Alexander, A. (2006). *Carbon Nanotubes: A Review of Their Properties in Relation to Pulmonary Toxicology and Workplace Safety*. Oxford University Press, Oxford.
- Elegant Embellishments Ltd. (http://prosolve.elegantembellishments.net/pr_torre1.htm). 06-06-2013.
- Elvin, G. (2007). *Nanotechnology for Green Building*. Green Nanotechnology Forum 2007.
- Empa (<http://www.empa.ch/>). 06-06-2013.
- Enviro QLD (<http://www.thermoshieldqld.com.au/technical.html>). 06-06-2013.

- Federal Ministry of Education and Research (BMBF). (2011). *Action Plan Nanotechnology 2015*.
- Fidjestöl, P. e Lewis, R. (1998). *Microsilica as an addition*. Chapt. 12, *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Fourth Ed. Ed. By Peter C. Hewlett, Arnold.
- Fischer, F. R., Oteyza, D. G., Gorman, P., Chen, Y., Wickenburg, S., Riss, A. Mowbray, D. J., Etkin, G., Pedramrazi, Z., Tsai, H., Rubio, A. e Crommie, M. F. (2013). *Direct Imaging of Covalent Bond Structure in Single-Molecule Chemical Reactions*. 30 de Maio de 2013, página 1/10,1126, science.1238187.
- Garber-Slaght, R. e Craven, C. (2009). *Product Test: Nansulate® and Super Therm®*. Cold Climate Housing Research Center (CCHRC), Fairbanks.
- Grenoble-Isere (<http://www.grenoble-isere.com/eng/Why-invest-in-Grenoble-Isere/Technology-sectors/Information-and-communication-technology/Federative-projects/Nano-2012>). 16-06-2013.
- Guo, Z., Zhou, F., Hao, J. e Liu, W. (2005). *Stable Biomimetic Super-Hydrophobic Engineering Materials*. J. AM. CHEM. SOC. 2005, 127, 15670-15671.
- Heliatek (<http://www.heliatek.com/>). 06-06-2013.
- Henkel (<http://www.henkel.com/conductive-inks-coatings-27433.htm>). 06-06-2013.
- Holister, P., Vas, C. e Harper, T. (2003). *Bottom-Up Production Techniques*. Technology White Papers nr.15. Cientifica, Ltd.
- Høvik, D. e Skagestad, V. (2012). *Strategic Research Programmes within Nanotechnology and Advanced Materials in Norway*. The Research Council of Norway.
- IBM (<http://www-03.ibm.com/press/us/en/photo/28500.wss>). 15-06-2013.
- Industrial Nanotech Inc. (<http://www.nansulate.com/>). 06-06-2013.
- Jonkers, H.M. (2007). self healing concrete: a biological approach. In *Self Healing Materials. An Alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science*, 195–204, S. van der Zwaag
- Kallinger, C. (2007). *Nanotechnology at the European Patent Office*. OECD workshop on statistics and measurement of Nanotechnology, 14-11-2007, Paris.
- Lima, J. F., Martins, R. F., Neri, C. R. e Serra, O. A. (2009). ZnO:CeO₂-based nanopowders with low catalytic activity as UV absorbers. *Applied Surface Science*, Volume 255, Issue 22, 30 August 2009, Pages 9006–9009
- Lei n.º 31/2009 de 3 de Julho.
- Lucintel. (2011). *Global Nanomaterials Opportunity and Emerging Trends*. Lucintel, Irving, Texas.
- Luther, W. (2004). *Industrial application of nanomaterials – chances and risks*. Future Technologies Division of VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf.
- Mann, S. (2006). *Nanotechnology and Construction*. Nanoforum Report, Institute of Nanotechnology, 31-10-2006.
- Mantovani, E. (2005). *Nanotechnology and The Nanoroadmap Project*. Present Forecasts at 2015 of Nanotechnology Application in: Materials, Health and Medical Systems, Energy. 10-11-2005, Padova.
- McNiven, C. (2007). *Canadian Experience in Development of Nanotechnology Statistics: Pilot Survey On Nanotechnology*. Statistics Canada, Novembro, 2007.

- Merget, R., Bauer, T., Küpper, U., Philippou, S., Bauer, H. D., Breitstadt, R. e Bruening, T. (2001). *Health hazards due to the inhalation of amorphous silica*. Research Institute for Occupational Medicine (BGFA), Bochum.
- Nanoprotect (<http://www.nanoprotect.co.uk/wood-protection.html>). 06-06-2013.
- Nansulate (2010). *Case Study for Nansulate® HomeProtect Clear Coat Insulation & Mold Resistant Coating*.
- NIOSH (<http://www.cdc.gov/niosh/>). 06-06-2013.
- NIOSH (2009). *Approaches to Safe Nanotechnology - Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials*. Department of Health and Human Services.
- NIOSH (2011). *CURRENT INTELLIGENCE BULLETIN 63 - Occupational Exposure to Titanium Dioxide*. Department of Health and Human Services.
- NNI (<http://www.nano.gov>). 06-06-2013.
- Quantum Made Simple (<http://www.toutestquantique.fr/#tunnel>). 11-06-2013.
- Saint-Gobain Portugal (<http://pt.saint-gobain-glass.com/b2c/default.asp>). 06-06-2013.
- Saint-Gobain UK (<http://www.saint-gobain.co.uk/>). 06-06-2013.
- Schaller, N. (1993). *The concept of agricultural sustainability*. Agriculture, Ecosystems and Environment, vol 46, pp89–97.
- Schartel, B., Pötschke, P., Knoll, U. e Goad, M.A. (2005). *Fire behaviour of polyamide 6/multiwall carbon nanotube nanocomposites*. European Polymer Journal 41, 2005, 1061–1070.
- Silva, G. F. B. L. (2010). *Nanotecnologia: mitigação de riscos à saúde e ao meio ambiente por meio da adoção de novas práticas de gestão da segurança no desenvolvimento de novos produtos*. Simpósio Internacional: Impactos das Nanotecnologias sobre a Saúde dos Trabalhadores e sobre o Meio Ambiente, 25 a 27 de Maio de 2010, São Paulo.
- Statistics Canada (<http://www.statcan.gc.ca/start-debut-eng.html>). 06-06-2013.
- Stratakis, E., Zorba, V., Barberoglou, M., Spanakis, E., Rhizopoulou, S., Tzanetakis, P., Anastasiadis, S. e Fotakis, C. (2009). *Laser structuring of water-repellent biomimetic surfaces*. SPIE Newsroom, 19-01-2009.
- Sunshot (2012). *SunShot Vision Study – February 2012*. U.S. Department of Energy, Fevereiro, 2012.
- Supertherm Inc. (<http://www.supertherm.net/>). 06-06-2013.
- Taniguchi, N. (1974). On the Basic Concept of 'Nano-Technology', Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1974.
- Tekes (2011). *FinNano – Nanotechnology Programme*. Markku Lämsä e Laura Juvonen, Helsínquia, 2011.
- Universidade de Aalto (<http://www.aalto.fi/en/current//news/view/2013-04-03-002/>). 06-06-2013.
- Universidade de Utah - News Center (http://unews.utah.edu/news_releases/microwave-cooks-up-solar-cell-material/). 06-06-2013.

van Broekhuizen, F. e van Broekhuizen, P. (2009), *Nano-products in the European Construction Industry -State of the art 2009-*. Relatório encomendado por EFBWW (European Federation of Building and Wood Workers) e FIEC (European Construction Industry Federation).

Vorbeck Materials (<http://vorbeck.com/electronics.html>). 06-06-2013.

Wang, Z., Han, E. e Ke, W. (2007). *Fire-Resistant Effect of Nanoclay on Intumescent Nanocomposite Coatings*. Wiley Periodicals, Inc. J Appl Polym Sci 103: 1681–1689, 2007.

Wikipédia – AFM (http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_force_microscopy). 15-06-2013.

Wikipédia – MET (http://pt.wikipedia.org/wiki/Microscópio_eletrónico_de_transmissão). 15-06-2013.

Wikipédia – Metamaterial (<http://en.wikipedia.org/wiki/Metamaterial>). 25-06-2013.

Wikipédia – MEV (http://pt.wikipedia.org/wiki/Microscópio_eletrónico_de_varredura). 15-06-2013.

Wikipédia – SEM (http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope). 15-06-2013.

Wikipédia – STM (http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_tunneling_microscope). 15-06-2013.

Wikipédia – TEM (http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_electron_microscope). 15-06-2013.

Zhang, D., Tian, S. e Xiao, D. (2006). *PCM/Nano-Graphite composite and its application as thermal energy storage in green building in China*. International Conference "The case of energy autonomy: Storing Renewable Energies" (IRES I), Gelsenkirchen/Germany, 31-10-2006.

Zhang, G., Wang, D., Gu, Z. e Möhwald, H. (2005). *Fabrication of Superhydrophobic Surfaces from Binary Colloidal Assembly*. Langmuir 2005, 21, 9143-9148.