NANOTECNOLOGIA NO ENSINO SECUNDÁRIO

JOÃO VALE^{1,2} E JOÃO PAIVA^{1,*}

A década 2010-2020 trará avanços significativos na área da nanotecnologia, a julgar pelo incremento do investimento científico e tecnológico nesta área. Discutir o nanomundo em sintonia com os programas curriculares de química será uma boa oportunidade para aumentar a literacia científica do aluno, mantendo-o cidadão informado e incrementando a motivação. Neste artigo divulgam-se as potencialidades de abordagem à nanotecnologia nos programas curriculares de química. Mencionam-se alguns conceitos e contextos relevantes em nanotecnologia para o 3.º Ciclo e Ensino Secundário. São apresentadas algumas recomendações pedagógicas. São inequívocas as vantagens pedagógicas da integração dos alunos nestas dinâmicas sociais, capacitando-os para o confronto e a discussão sustentada em determinadas questões de índole científico e/ou tecnológico de «nano-assuntos».

POTENCIALIDADES DE ABORDAGEM DA NANOTECNOLOGIA NOS PROGRAMAS CURRICULARES DE QUÍMICA

Quando Heraclito de Éfeso, nascido na Jónia (atual Turquia), referiu, num dos seus pensamentos, a palavra «mudança» – «Nada existe de permanente a não ser a mudança» (540 – 480 a.C.) – não teria, certamente, noção da dimensão dessa palavra em determinadas situações. Sinónimo de alteração, impõe-se esclarecer que essa alteração pode emergir de forma gradual, mas também de forma abrupta. A mudança pode ser pouco significativa, mas casos há em que essa modificação é mais do que sentida. Quando relacionada, por exemplo, com o tipo de materiais usados em utensílios, «mudança» é uma palavra sinónima da expressão «aparição de novas qualidades»... ou seja, uma nova era, entenda-se. E foi em 1974 que o engenheiro Norio Taniguchi defendeu que o desenvolvimento da engenharia de precisão levaria ao aparecimento de uma nova era: a Era da Nanotecnologia [1].

Ao fazer-se uma questão individualizada a um grupo de 27 alunos a frequentar o 9.º ano de escolaridade – *Já ouviste falar em nanotecnologia? Se sim, menciona o que pensas ser* –

verificou-se que dez alunos já tinham ouvido falar. Destes, quatro referiram somente que já tinham ouvido falar e os restantes adiantaram um entendimento. As respostas dadas foram: «São tecnologias extremamente pequenas, são mais práticas mas é preciso habituar-se»; «Partículas muito pequenas com vida»; «Tecnologia em circunstâncias pequenas. Nano- muito pequeno»; «Tecnologia microscópica»; «Usada pelos robôs»; «Tentativa de construir materiais tecnológicos cada vez mais pequenos». Destas respostas conclui-se, no geral, que é feita uma nítida associação da palavra «nanotecnologia» a pequenez.

É possível abordar alguns conceitos ao nível do Ensino Secundário mas também ao nível do 3.º Ciclo do Ensino Básico numa dimensão nanotecnológica. Neste campo, e sobretudo no Secundário, convirá esclarecer que os químicos têm vindo a desenvolver um tipo de nanociência, considerando a sua intervenção ao nível da manipulação de um número elevadíssimo de nano-estruturas, as moléculas, mas, refira-se, sem aquele domínio individual que caracteriza a nanotecnologia [2].

Nas Orientações Curriculares para as Ciências Físicas e Naturais, os programas de Ciências nos três ciclos do Ensino Básico surgem organizados em quatro temas: Terra no Espaço, Terra em Transformação, Sustentabilidade na Terra e Viver melhor na Terra. Segundo estas guias, a exploração

destes temas deve reger-se pela interdisciplinaridade em que «a interação Ciência – Tecnologia – Sociedade – Ambiente deverá constituir uma vertente integradora e globalizante da organização e da aquisição dos saberes científicos» [3]. Os alunos poderão aceder a produtos da Ciência e compreender as potencialidades e limites da Ciência e suas aplicações na Sociedade.

É necessário estar atento às atualizações/novidades a nível da Ciência e Tecnologia para que todo o cidadão ao ser confrontado na praça pública com questões de índole científico e/ou tecnológico possa emitir opinião. É certo, neste âmbito, que o professor poderá focar várias situações, mas sempre em alerta quanto à profundidade a usar.

O programa de Física e Química A 10.º ano [4] propõe a consecução de vários objetivos de aprendizagem na esfera da Unidade 2 – *Na atmosfera da Terra: radiação, matéria e estrutura*. Interpretar o modo como atua um filtro solar é exemplo de um objetivo que pode ser extensível à potencialidade dos fulerenos como limitadores óticos.

No programa de Física e Química A 11.º ano, toda a Unidade I, *Produção e controlo – a síntese industrial do amoníaco*, desenvolve-se em torno do amoníaco. Assinala-se, neste contexto, os argumentos a serem usados pelos alunos na apreciação a esta

¹ Centro de Investigação em Química, Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, P-4169-007 Porto

² Escola EBI/JI Padre Joaquim Flores

* E-mail: jcpaiva@fc.up.pt

Unidade. Os alunos devem usar «argumentos técnico-científicos, sociais e económicos e (...) reconhecer (...) na actividade industrial um dos elementos caracterizadores da cultura actual» [5]. Neste sentido, debater produtos da nanotecnologia, ao nível de catalisadores, com potencial nesta indústria, mostra-se pertinente.

Já a Unidade II, *Da Atmosfera ao Oceano: Soluções na Terra e para a Terra*, têm o seu ênfase na água. Ao longo da Unidade, a interpretação da qualidade da água como dependente do «uso de alguns artefactos tecnológicos» pode ser aproveitada para debate de soluções nanotecnológicas neste domínio.

Para o 12.º ano de Química, e atendendo ao respetivo programa [6], na Unidade I, quando se debatem os metais, designadamente as ligas metálicas, a possibilidade de extensão à nanotecnologia assume-se como tarefa quase que impossível de não realizar. Reconhecer a importância das ligas metálicas em determinadas utilizações, pelo facto de se poder controlar a sua composição e, conseqüentemente, «desenhar» as suas propriedades, especificamente identificar a composição e conhecer domínios de aplicação da solda, são objetivos pedagógicos estipulados no programa e cuja abordagem numa dimensão nanotecnológica permitirá a sua concretização. É saudável debater uma temática atual em sintonia com o cumprimento de objetivos pedagógicos estipulados no programa.

Ainda na esfera do 12.º ano de Química, mas agora na Unidade 3, quando se debatem os Novos Materiais, poder-se-á, mais uma vez, mergulhar na nanotecnologia. O professor poderá frisar o impacto da nanotecnologia na produção/viabilização de Novos Materiais que podem, por si só, substituir materiais pouco aconselháveis do ponto de vista ambiental ou servir de matéria-prima para a concretização de Novos Materiais, especificamente biomateriais. É possível atingir determinados objetivos programáticos abordando a nanotecnologia. Reconhecer os compósitos como um grupo que se insere na categoria de biomateriais; distinguir as duas fases de um compósito: a fase contínua (matriz),

escolhida de forma a conferir a maleabilidade ou ductilidade, e a fase descontínua (fase dispersa ou fase de reforço), escolhida de forma a conferir resistência, são exemplos.

ALGUNS CONCEITOS E CONTEXTOS RELEVANTES EM NANOTECNOLOGIA PARA O ENSINO SECUNDÁRIO

Uma primeira abordagem à nanotecnologia pode ser feita já no 7.º ano de escolaridade. Tal referência passa por mencionar o desenvolvimento de um material que possibilitaria a união do planeta Terra à Estação Orbital Internacional [7]. Esse material funcionaria como uma corda servindo de suporte ao movimento de um elevador, Figura 1, cuja concretização abriria uma janela de oportunidades para o fluxo de objetos e pessoas.

Como se trata de um assunto que normalmente suscita muita curiosidade pelos alunos, o professor poderá adiantar o carbono como fundamental na constituição de tubos que serão o berço desse material e mostrar imagens, Figura 2, desses tubos de carbono frisando que as suas dimensões

em termos de diâmetro são cerca de 1 000 000 de vezes inferior ao milímetro... daí chamarem-se nanotubos.

Na Tabela 1 apresentam-se algumas propriedades dos nanotubos de carbono em comparação com dois outros materiais: o aço e o alumínio.

Sendo o 7.º ano de escolaridade ano de iniciação dos alunos às Ciências Físico-Químicas, convirá surpreender os alunos com diversos projetos de centros portugueses. O CeNTI, por exemplo, apresentou, no final de 2010, dez projetos inovadores desenvolvidos em associação com outras entidades nacionais. Tais projetos incidiram sobre diversas áreas: saúde e bem-estar, desporto e lazer, proteção individual, segurança, automóvel, aeronáutica, construção e arquitetura, energias renováveis e fotovoltaica, entre outras. Alguns desses projetos [11]: peúgas com capacidade de monitorizar os batimentos cardíacos; *Nanoleather* – desenvolvimento de couros biocoloridos, reflectores de luz e antimicrobianos; luvas técnicas funcionalizadas à escala nanométrica; ladrilhos com libertação lenta de

Tabela 1 – Propriedades de nanotubos de carbono, aço e alumínio [9, 10]

	Resistência à tração/ GPa	Módulo de Young/ GPa	Densidade/ g cm ⁻³
SWNT (single-walled carbon nanotubes)	20 – 100	500 – 1 500	≈ 1
MWNT (multi-walled carbon nanotubes)	10 – 60	200 – 1 000	2,16
Aço (0,2% C)	0,380	210	7,86
Alumínio	0,11	70	2,71

Figura 1 – Imagem virtual de um elevador rumo à Estação Orbital

Figura 2 – Aspecto dos nanotubos de carbono [8]

fragrâncias; toalha *easy-clean*. A toalha *easy-clean* – um tecido à prova de nódoas – possui a capacidade de repelir a sujidade. O diretor do CeNTI, em entrevista aos *media*, sublinhou o papel importante dos nanomateriais na conceção de um material que impeça os líquidos de penetrar no tecido. Realçou que o tecido demonstrara bons resultados em contacto com vinho, café e óleo, e resistira a várias lavagens. Dependendo da sensibilidade dos alunos o professor poderá adiar este assunto para o 8.º ano pois é nesse ano que é introduzido o nanómetro.

No 9.º ano de escolaridade, aquando da referência às substâncias covalentes, especificamente o diamante e a grafite, o professor pode questionar os alunos, ou mesmo autointerrogar-se em voz alta, sobre a possibilidade de existência de outras formas de carbono. Neste seguimento pode informar, entre outras, que é possível encontrar moléculas constituídas unicamente por carbono e exemplificar com o fulereno C_{60} . Poderá acrescentar que esta molécula, inicialmente, foi batizada como buckminsterfulereno, em homenagem ao arquiteto americano B. Fuller, responsável pela invenção dos domos geodésicos e que perante um nome algo extenso, a molécula C_{60} é comumente conhecida como *buckyball*, em português «futeboleno», devido à sua semelhança com uma bola de futebol, Figura 3 esquerda.

Poderá ainda mencionar algumas aplicações dos fulerenos: matéria-prima para a produção de diamantes ou materiais super-resistentes [13] e lubrificantes [14]. No caso dos lubrificantes, acrescentar que os nanofluidos podem aumentar significativamente a condutividade térmica dos habituais fluidos usados em máquinas, Figura 4.

Para o 10.º ano, no âmbito da Unidade 2 – *Na atmosfera da Terra: radiação, matéria e estrutura*, poder-se-ão fazer duas observações. A primeira, que salienta a potencialidade dos fulerenos como limitadores ópticos [16], verificando-se que, quando uma certa quantidade de luz visível incide no fulereno C_{60} , ocorre a formação da espécie excitada $^*C_{60}$. Como a espécie

Figura 3 – Estrutura de alguns fulerenos: C_{60} , C_{70} e C_{76} [12]

Figura 4 – Nanopartículas (em cima) e micropartículas (em baixo) no interior de um tubo – influência da massa na deterioração do tubo e absorção de calor [15]

$^*C_{60}$ absorve mais luz que a anterior, assiste-se a uma alteração de cor... a solução torna-se mais preta - facto que pode ser aproveitado para elaborar filmes para posterior deposição em equipamentos sensíveis a superexposições acidentais de raios de luz, Figura 5. A segunda, que constata a aplicação de nanopartículas de óxido de zinco na produção de cremes solares – a utilização de nanopartículas de óxido de zinco na produção de cremes protetores solares torna o creme transparente, ou seja, extingue o branco característico dos cremes.

A Unidade I do programa de Física e Química A 11.º ano, *Produção e controlo – a síntese industrial do amoníaco*, desenvolve-se, como citado anteriormente, em torno do amoníaco. O processo de Haber-Bosch remonta ao século passado. Trata-se de um processo industrial catalítico, em que o ferro é catalisador, que visa a obtenção de amoníaco.

Investigações recentes [17] mostraram que a atividade do catalisador de ferro

para síntese do amoníaco pode ser superada em 33,5%-37,6% pelo catalisador de ruténio, para condições de reação $T = 375-400^\circ\text{C}$ e $p = 10\text{ MPa}$. Por outro lado, ao serem testados vários catalisadores de ruténio no processo de síntese do amoníaco, verificou-se que aquele que possuía fulerenos era o mais eficiente, Figura 6.

Urge abordar os fulerenos, referindo-os como uma forma alotrópica do carbono, e citar outros exemplos de aplicação citados neste artigo.

Já a Unidade 2 tem a sua essência na água. A água, sendo um bem

Figura 5 – Representação do comportamento de um limitador óptico

indispensável ao planeta, insta ao desenvolvimento de métodos para a sua purificação. Um método recente consiste em recorrer à nanotecnologia para que, de forma mais rápida e eficiente, se obtenha água doce a partir de água do mar. Os métodos tradicionais exigem uma certa pressão para que a água do mar atravesse um filtro, onde o sal fica retido, e essa pressão aumenta à medida que o sal se deposita nesse filtro. Recorrendo a simulações de dinâmica molecular constatou-se que o recurso a nanotubos de nitreto de boro poderia levar à eliminação de 100% do sal em águas com o dobro da quantidade de sal da água do mar, além de permitir a fluidez da água com o quádruplo da velocidade [19].

Intitulada *Metais e Ligas Metálicas*, a Unidade I de Química do 12.º ano começa por abordar os metais. Recordando que a palavra «metal» deriva de *métallon* (que significa mina, em grego) e apresenta, nos nossos dias, vários significados, conforme o contexto em que é utilizada, os metais assumem uma estrutura tal que viabilizam a formação de ligas metálicas, normalmente misturas homogêneas de um metal com um ou mais elementos metálicos ou não-metálicos. A solda usada em circuitos eletrónicos consiste numa liga de Sn/Pb com temperatura de fusão que ronda os 183°C, dependendo da sua constituição. São conhecidos os efeitos prejudiciais à saúde e ambiente pelo chumbo. A impossibilidade de usar ligas de Sn/Ag nesta situação, motivo da sua temperatura de fusão que ronda os 222°C, pode ser ultrapassada por recurso à nanotecnologia. A conceção de diferentes diâmetros das nanopartículas ocasiona diferentes pontos de fusão. O tamanho das nanopartículas de

Tabela 2 – Ponto de fusão em função do tamanho de nanopartículas de Sn96,5/Ag3,5 [20]

Diâmetro de nanopartículas de Sn96,5/Ag3,5 nm ⁻¹	Ponto de fusão/ °C
64	220,0
24	209,5
17	206,0
10	194,3

Figura 6 – Desempenho de diferentes catalisadores de rutênio na síntese do amoníaco em mL de NH₃/hora/grama de catalisador [18]

uma liga metálica Sn/Ag (96,5% Sn e 3,5% Ag) determina o seu ponto de fusão (Tabela 2).

Numa área de grande investigação, motivada, em primeiro grau, pela escassez de recursos energéticos não renováveis, pode referir-se o uso de nanotubos de carbono como elétrodos em baterias de iões lítio [21]. Segundo o MIT (Massachusetts Institute of Technology), investigadores deste centro terão usado nanotubos de carbono como elétrodo positivo numa bateria de iões-lítio, constatando um aumento de dez vezes na quantidade de energia a debitar em relação à bateria normal. Além disso, a bateria foi capaz de armazenar cinco vezes mais energia do que um ultracondensador convencional, Figura 7. A elevada área superficial e condutividade dos nanotubos terão sido as propriedades que desafiaram os investigadores a usá-los como elétrodos.

Ainda na esfera do 12.º ano de Química, mas agora na Unidade 3, quando se debatem os Novos Materiais, poder-se-á mais uma vez mergulhar na nanotecnologia.

Figura 7 – Os espaços entre os nanotubos podem armazenar iões-lítio [21]

Recentemente, o Centro de Tecnologia Mecânica e Automação da Universidade de Aveiro (TEMA), em parceria com o Centro de Investigação em Materiais Cerâmicos e Compósitos (CICECO) e o Georgia Institut of Technology, desenvolveu um novo nanocompósito para aplicações biomédicas que apresenta uma elevada resistência mecânica e permite a criação de interfaces biocompatíveis com o osso circundante e consequentemente crescimento ósseo no nanocompósito [22]. Trata-se da hidroxiapatite modificada com poli(metacrilato de metilo) e reforçada com nanotubos de carbono. Este nanocompósito consegue melhores propriedades mecânicas quando a concentração em massa de nanotubos de carbono em relação à mistura hidroxiapatite-poli(metacrilato de metilo) é 0,1%.

Nanocompósitos de hidroxiapatite também já se revelaram eficientes em implantes para restauração de dentes [23] e biomateriais à base de fosfato de cálcio e têm-se mostrado importantes na reparação de dentes devido à sua biocompatibilidade e bioatividade [24]. A hidroxiapatite, Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂, é o principal componente mineral dos dentes e ossos, sendo o produto final estável na precipitação de iões fosfato e cálcio em soluções neutras ou básicas (7 ≤ pH ≤ 9; T = 37°C). A camada remineralizada comporta-se exatamente como material próprio do dente.

Aprocura de materiais que se apresentem o mais próximo possível dos tecidos ósseos é um dos grandes desafios para o desenvolvimento de ossos

artificiais. Exige-se uma réplica ao nível das propriedades biológicas e mecânicas – condição de extrema importância para sucesso na implantação.

Foram estudadas as vantagens do uso de MWNT em associação ao polímero PmPV – poli(*m*-fenilenovinileno-co-2,5-dioctoxi-*p*-fenilenovinileno) [25]. Constatou-se que o compósito MWNT-PmPV apresenta uma condutividade elétrica 8 vezes superior quando comparado ao PmPV. Este compósito, ao ser usado em LEDs, díodos emissores de luz, leva a que ocorra um aumento significativo do brilho. A incorporação de MWNT no poliuretano também foi estudada [26]. Sendo o poliuretano combustível, parece ter sido encontrada uma forma capaz de contrariar esta propriedade. A solução passa pela inclusão de 1-2% em massa de MWNT no compósito PU-MWNT. Tal procedimento reduz em cerca de 50% a temperatura de ignição.

A importância da nanotecnologia em diversos domínios poderá ficar demonstrada com apelo à Tabela 3.

Na área da computação, o ónus reside na construção de nanomáquinas. Em maio de 2010, a *Nature* publicou um artigo intitulado «Molecular robots guided by prescriptive landscapes» [28], no qual cientistas de universidades americanas terão criado uma molécula... robotizada. Apelidada de aranha molecular, a molécula moveu-se ao longo de ADN, sendo capaz de virar e parar.

RECOMENDAÇÕES

Embora vários estudos de opinião pública sobre a nanotecnologia apontem para um público bastante entusiasta por parte dos EUA, a captação pública da nanotecnologia na Europa é mais contida [29]. Facto assente é o incremento no investimento na área da nanotecnologia que se tem verificado na generalidade dos países. Os cientistas terão encontrado um campo de investigação que semeia a realização do inimaginável e os governos começam a acreditar que essa realização será vantajosa [30]. Pensa-se que a década de 2010-2020 trará avanços significativos na área da nanotecnologia, Figura 8. A discussão desta área em sintonia com os programas curriculares será uma forma de ir preparando o aluno, enquanto cidadão, para que ao ser confrontado na praça pública com determinadas questões de índole científico e/ou tecnológico possa emitir opinião. Assim, recomenda-se:

- no Ensino Básico, 7.º ano de escolaridade: aquando do estudo do Universo fazer referência ao facto da NASA estar empenhada no desenvolvimento de um material suficientemente resistente para ligar o planeta Terra à Estação Orbital Internacional. Dessa forma, poderá discutir com os alunos o berço desse material nas suas dimensões transversais e comparar algumas das suas propriedades com materiais comuns, como o aço e o alumínio. (Dependendo da sensibilidade dos alunos o professor poderá adiar este assunto para o 8.º ano pois é nesse ano que é introduzido o nanómetro);
- no Ensino Básico, 9.º ano de escolaridade: aquando do estudo das substâncias covalentes, provocar o seguinte: *Vimos que o diamante e a grafite são constituídos unicamente por átomos de carbono e que dizem respeito a substâncias covalentes.*

Figura 8 – Previsão da evolução da nanotecnologia [31]

Tabela 3 – Áreas de maior impacto da nanotecnologia [27]

Área	Aplicações	Observações
Materiais	Nanocristais, nanopartículas, nanotubos e monocamadas em automontagem	Dispositivos/sistemas que conseguem explorar a nano-escala mecânica, elétrica, magnética, atômica e os efeitos quânticos para melhorar a funcionalidade
Energia	Baterias avançadas, células fotovoltaicas, células de combustível e microfones de energia	Dispositivos/sistemas que aumentam o armazenamento de energia e a sua distribuição através do controlo de materiais e superfícies ao nível atômico
Biotecnologia	Biochips, biossensores, descoberta e distribuição de fármacos, diagnóstico e nanocirurgia	Dispositivos/sistemas que localizam ou identificam processos biológicos para melhorar o diagnóstico, a síntese e distribuição de fármacos
Computação	Computadores quânticos, computadores moleculares, computadores óticos, computadores de ADN	Sistemas que pretendem utilizar métodos alternativos aos eletrónicos para representar e processar dados mais rapidamente ou de novas formas
Eletrónica	Bens inteligentes, nano-eletrónica, eletrónica pervasiva e sistemas de imagiologia	Os sistemas eletrónicos (ou óticos) têm dimensões tão reduzidas que são praticamente invisíveis e podem ser usados em qualquer local e de quaisquer formas

Existirão moléculas constituídas unicamente por átomos de carbono? No seguimento desta questão exemplificar com os fulerenos, mostrar imagens e enumerar algumas aplicações.

- no Ensino Secundário, 10.º ano de escolaridade: aquando do estudo da radiação solar focar a potencialidade dos fulerenos como limitadores óticos e a vantagem estética do uso de nanopartículas de óxido de zinco em protetores solares.
- no Ensino Secundário, 11.º ano de escolaridade: aquando da discussão acerca do processo de Haber-Bosch, debater o possível uso de catalisadores de ruténio na produção de amoníaco e, mais uma vez, debater os fulerenos; e aquando da discussão do papel da água na vida do planeta Terra, confrontar com um método que permite obter água potável a partir de água do mar por recurso à nanotecnologia.
- no Ensino Secundário, 12.º ano de escolaridade: aquando da discussão dos metais/ligas metálicas, debater a liga Sn/Ag como possível candidata a substituir a liga Sn/Pb nos circuitos eletrónicos; e aquando da discussão dos Novos Materiais, frisar exemplos de aplicação de nanocompósitos. O uso de nanotubos de carbono como elétrodos em baterias de iões lítio poderá ser inserido na temática Energia e Recursos Energéticos.

REFERÊNCIAS

- [1] Morgado, J. (2010). *Boletim da SPQ* Vol. 116. Janeiro – Março. p. 116.
- [2] Fiolhais, C. – «Nanotecnologia: o futuro vem aí!». [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/jspui/bitstream/10316/12377/1/NANOTECHNOLOGIA.pdf>.
- [3] Galvão, C. et al. (2001) – «Ciências Físicas e Naturais – Orientações Curriculares 3.º ciclo». *Ministério da Educação, Departamento da Educação Básica*. p. 9.
- [4] Martins, I. et al. (2001) – «Programa de Física e Química A 10.º ano». *Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário*.
- [5] Martins, I. et al. (2003) – «Programa de Física e Química A 11.º ou 12.º anos». *Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias. Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário*. p. 2.
- [6] Martins, I. et al. (2004) – «Programa de Química 12.º ano». *Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias. Ministério da Educação, Direção Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular*.
- [7] Zyga, L. (2009) – «Long, Stretchy Carbon Nanotubes Could Make Space Elevators Possible». *Physorg.com*. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://www.physorg.com/news151938445.html>.
- [8] Reilly, R. (2007). *Journal of Nuclear Medicine*. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://jnm.snmjournals.org/content/48/7/1039.full>.
- [9] Paiva, M. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://www.dep.uminho.pt/mcpaiva/pdfs/PED/0607F01.pdf>.
- [10] Aços Salgueiro (2010) – [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://www.acosalgueiro.com/ASPX/mundodoaco.aspx>.
- [11] Soares, R. (2010) – «CeNTI apresentou dez projectos inovadores desenvolvidos em Portugal». *Público*. 16 de Dezembro. p. 35.
- [12] Santos, M. (1996). *Revista Portuguesa de Química*. N.º 3. p. 3.
- [13] Regueiro, M. (1992). *Advanced Materials*. Vol. 4. Artigo 6. Weinheim: Verlag GmbH & Co. KGaA. p. 438.
- [14] Ginzburg, B. et al. (2002). *Russian Journal of Applied Chemistry*. Vol. 75. N.º 8. p. 1330.
- [15] Choi, S. (2005) – «Nanofluids Could Make Cool Work of Hot Truck Engines». *Argonne National Laboratory*. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: http://nano.anl.gov/news/highlights/2005_choi.html.
- [16] Filho R. (1996) – «Os Fulerenos e a sua espantosa geometria molecular». *Química Nova na Escola*. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc04/atual.pdf>.
- [17] Pan C. et al. (2011). *Chinese Journal of Chemical Engineering*. Vol. 19. N.º 2. p. 273-277.
- [18] Wei, G. et al. (1999). *Chinese Chemical Letters*. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://www.imm.ac.cn/journal/ccl/1005/100530-0433-98563-p2.pdf>.
- [19] Unicamp (2011). «Dessalinização: a nanotecnologia oferece método rápido e eficiente para transformar a água do mar em água doce». [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: http://lqes.iqm.unicamp.br/canal/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2009/lqes_news_novidades_1334.html.
- [20] Jiang, H. et al. (2007). *Electronic Components and Technology Conference*. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://ecadigitallibrary.com/pdf/57thECTC/s02p2li.pdf>.
- [21] Bourzac, K. (2010). *Technology Review*. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://www.technologyreview.com/energy/25634/?ref=rss>.
- [22] Singh, M. et al. (2008). *Advanced Functional Materials*. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: http://www.ua.pt/uaonline/upload/med/med_901.pdf.
- [23] Sung, Y. et al. (2007). *Nanotechnology*. Vol. 18. N.º 6. p. 65602–65607.
- [24] Chow, L. et al. (2009). *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3056554/>.
- [25] Monthioux, M. et al. (2001) – *Springer Handbook of Nanotechnology: Introduction to Carbon Nanotubes*. New York: Springer Science & Business Media, Inc. pp. 80-95.
- [26] Mittal, V. (2010) – *Polymer Nanotube Nanocomposites: Synthesis, Properties, and Applications*. Massachusetts: Scrivener. p. 157.
- [27] Roughley, D. (2004) – «Nanotechnology in a Nutshell». p. 2. [online] [consultado em 2 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://www.smallcap-media.com/pdf/Nanotechfinal.pdf>.
- [28] Lund, K. et al. (2010). *Nature*. Vol. 465. N.º 7295. p. 206-210.
- [29] Burri, R. e Bellucci, S. (2008). *Journal of Nanoparticle Research*. Springer Science & Business Media B.V. p. 387.
- [30] Gannon, F. (2003) – «Nano-nonsense». *EMBO reports*. [online] [consultado em 4 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://www.nature.com/embor/journal/v4/n11/full/embor7400014.html>.
- [31] Technolytics (2001) – [online] [consultado em 4 de janeiro de 2011]. Disponível em: <http://www.technolytics.com/Technology%20and%20our%20Future.pdf>.