

A PROBLEMÁTICA DAS NANOPARTÍCULAS NO CONTEXTO OCUPACIONAL

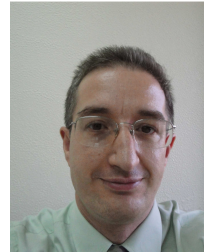
The problem of nanoparticles in the occupational context



Luísa, Matos
LNEG
luisa.matos@lneg.pt



Paula, Santos
A Ramalhão, Lda
paulasantos@aramalhao.com



Fernando, Barbosa
CINFU
fernando.barbosa@cinfu.pt

Resumo

A exposição ocupacional a nanopartículas é um risco simultaneamente novo e com tendência para aumentar, o que o classifica como um risco emergente. É objetivo deste artigo, alertar para este risco emergente, que encontramos numa diversidade de atividades e que pelo facto de ser ainda deficitário o conhecimento dos seus possíveis efeitos, não é possível avaliar o seu impacto a vários níveis. Assim desta pesquisa, concluímos que a avaliação e análise de riscos emergentes assumem um papel determinante na identificação precoce de medidas de prevenção eficientes.

Palavras-chave: nanopartículas, partículas ultrafinas, riscos emergentes, efeitos na saúde, prevenção.

Abstract

Occupational exposure to nanoparticles is a risk both new and with a tendency to increase, which classifies it as an emerging risk. The aim of this article, is to waking call to this emerging risk, that we can find in a variety of activities and because of the fact that it is still deficient the knowledge of the possible effects, we can not evaluate its impact at different levels. So, from this research, we concluded that the assessment and analysis of emerging occupational risks assumes a key role in early identification of effective prevention measures.

Keywords: nanoparticles, ultrafines particles, emerging risks, health effects, prevention.

1 Introdução

A perceção pública e em particular a dos profissionais que lidam direta ou indiretamente com as áreas da Segurança e Saúde Ocupacionais para os novos riscos, têm vindo a ser ampliada devido à permanente evolução do conhecimento científico, apoiado num sistema de divulgação extremamente rápido e acessível a todos.

A introdução de novas tecnologias, associadas a questões técnico-económicas, sociais e demográficas, originam mudanças constantes a nível dos ambientes ocupacionais, o que leva ao aparecimento de novos riscos, (físicos, químicos, biológicos e psicossociais) para a segurança e saúde dos trabalhadores.

No trabalho desenvolvido pelos peritos da Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho, sobre os riscos químicos emergentes relacionados com a segurança e a saúde no trabalho [1] um «risco de SST emergente» é qualquer risco simultaneamente novo e que está a aumentar.

Em que novo significa, por um lado, que não existia anteriormente, por outro, uma questão há muito existente que é agora considerada um risco devido à evolução do conhecimento científico ou à alteração da perceção pública.

Assim, segundo a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho [1], o risco está a aumentar, se:

- o número de perigos que conduzem ao risco estiver a aumentar;

- se a probabilidade da exposição aos perigos estiver a aumentar;
- ou então se os efeitos dos perigos na saúde dos trabalhadores estiverem a agravar-se.

Perante o aumento e a diversidade de aplicação industrial de nanopartículas e de partículas ultrafinas (cerca de 1015 aplicações) envolvendo cerca de 10 milhões de trabalhadores em todo o mundo, juntamente com o insuficiente conhecimento dos riscos potenciais para a saúde e toxicidade, entre outros fatores, as nanopartículas e as partículas ultrafinas surgem como um risco para a saúde humana e para o ambiente, liderando o Top Ten dos fatores de riscos químicos emergentes [1]. Em contrapartida, quer as nanopartículas, quer as partículas ultrafinas, possuem numerosas características vantajosas para a saúde e qualidade de vida da população, ao serem utilizadas na produção de medicamentos, produtos que contribuem para a segurança e enriquecimento dos alimentos, cosméticos, entre outros, gerando desta forma emprego e inovação [1].

2 Definições

2.1. Definição de Nano-Objetos e Nanopartículas.

De acordo com a norma ISO/TS27687:2008 [2], é definido nano-objecto como material de uma, duas, ou três dimensões externas com uma gama de tamanho de, aproximadamente, 1 a 100 nm (nanómetros). Existem 3 categorias de nano-objectos: nanotubos, nanofibras e nanopartículas. As nanopartículas e as partículas ultrafinas são partículas tridimensionais com diâmetro nominal inferior a 100 nm. Sendo as duas terminologias consideradas equivalentes, o termo nanopartícula é aplicado à partícula produzida intencionalmente e destinada a uso industrial, enquanto que o termo partículas ultrafinas se aplica às partículas que resultam de um processo de produção aparecendo como um subproduto ou resíduo. Muitos processos industriais produzem partículas que possuem dimensões de uma nanopartícula, mas efetivamente trata-se de partículas ultrafinas. Na Figura 1, apresentam-se imagens de materiais correntes que contêm partículas sub-micrométricas e com dimensões muito variadas, como é o caso de - partículas de toner (impressora laser) com uma granulometria base de alguns micrómetros, contendo partículas de Óxido de ferro com cerca de 200nm e partículas

à superfície com poucas dezenas de μm ; - partículas de cinza de carvões com partículas (Óxidos de silício,...) de dimensão também muito variada.

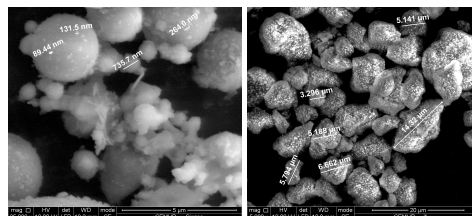


Fig. 1 - Exemplos de nanopartículas/partículas ultrafinas, respetivamente de toner e cinzas¹

2.2 Definição de Nanomateriais e Nanotecnologias.

As nanopartículas podem apresentar-se em diversas formas, podendo ser utilizadas como tal ou para produzir novos materiais, denominados nanomateriais. Os nanomateriais são materiais constituídos totalmente, ou parcialmente, por nano-objectos que lhes conferem propriedades melhoradas e específicas da dimensão nanométrica. [3]. O termo nanotecnologia refere-se à utilização de tecnologias que envolvem a criação e manipulação de materiais para o desenvolvimento de novos materiais e produtos de tamanho nanométrico de modo a explorar novas características muitas vezes mais eficientes.

As nanotecnologias manipulam substâncias em escala nanométrica, baseiam-se numa modificação das propriedades físicas dessas substâncias [4] e têm aplicações em muitas áreas, de modo que se prevê que do momento presente até 2020, aproximadamente, 20% de todos os produtos fabricados no mundo usarão as nanotecnologias. Estamos perante uma tecnologia emergente em que os riscos associados ao fabrico e à utilização de nanomateriais são ainda pouco conhecidos. Desconhecendo-se o impacto destes novos materiais, sobre a saúde e o ambiente, é provável, que em qualquer caso, os trabalhadores estejam entre os primeiros a sofrer exposição [4]. Na Figura 2, encontra-se a relação entre a fração das partículas e as diferentes regiões do sistema respiratório onde se depositam.

¹ Fonte: CEMUP, 2010

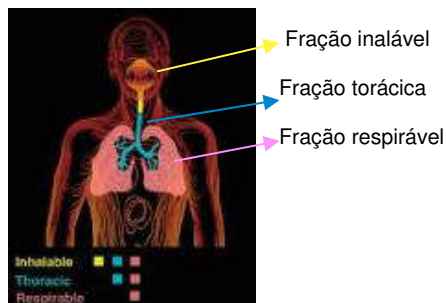


Fig. 2 - Distribuição da fração das partículas².

3 Domínios de aplicação das Nanotecnologias

As nanotecnologias permitem inovar de forma surpreendente em várias áreas/domínios, tais como, a saúde, a produção de energia não poluente, indústria agro-alimentar, comunicação e informação, entre outros, apresentando-se alguns exemplos no Quadro 1.

Quadro 1 – Áreas de aplicação de Nanotecnologias.

Setor de Atividade
Automóvel, Aeronáutica e Espacial
Químico e Construção
Energético
Saúde e cuidados médicos
Agroalimentar
Cosmética

3.1 Processos e Fontes de Exposição Ocupacional

Distinguem-se dois tipos principais de exposição profissional:

- 1) A exposição relacionada a processos cuja finalidade não é a produção de nano-objetos, mas cujo processo implica a libertação de partículas ultrafinas;
- 2) A exposição relacionada com a produção e utilização intencional de nano-objetos e nanomateriais.

Relativamente à exposição a partículas ultrafinas, esta pode ocorrer em vários cenários e contextos sendo um deles o industrial, como se ilustra no Quadro 2.

Quadro 2 – Processos e fontes potenciais de emissão de partículas ultrafinas.

Tipo de processos	Exemplos de fontes de emissão
Térmicos	Fundição de metais; Metalização e galvanização; Soldadura de metais; Corte de metais; Tratamento térmico de superfícies; Aplicação de resinas e ceras.
Mecânicos	Maquinação; Lixagem; Perfuração; Polimento.
Combustão	Emissões de motores diesel ou gás; Centrais de incineração, térmicas e crematórios; Fumeiros; Aquecimento a gás.

A natureza das nanopartículas, os métodos, as quantidades utilizadas, a duração, a frequência das tarefas, a capacidade dos produtos permanecerem no ar ou nas superfícies de trabalho e os meios de proteção existentes, constituem os principais parâmetros que influenciam o grau de exposição. A exposição ocupacional a partículas ultrafinas é tanto maior, quanto mais próximo da fonte estiver o trabalhador [8]. Algumas tarefas, etapas de processos produtivos ou operações produtivas que podem originar exposição profissional a nanopartículas são indicadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Situações ilustrativas de exposição ocupacional.

Operações produtivas/Etapas de processos

Transferência, amostragem, pesagem, adição e incorporação numa matriz mineral ou orgânica de nanopartículas (formação de aerossóis)
Transvasamento, agitação, mistura e secagem numa suspensão líquida que contem nanopartículas (formação de gotículas)
Mudança de óleo de reatores
Maquinação de nanocompósitos: corte, polimento, perfuração, lixagem, etc.
Acondicionamento, embalagem, armazenamento e transporte de produtos
Limpeza de equipamentos e de locais
Reparação e manutenção de equipamentos e locais, por exemplo: substituição de filtros usados
Recolha, acondicionamento, conservação e transporte de resíduos
Incidentes, por exemplo: fugas

² Fonte: www.skinc.com, acedido em 30.01.2012

4 Efeitos na Saúde *versus* Vias de Exposição

Segundo Wittmaack, [9] de momento, ainda não está claro qual das características métricas das partículas (massa, área superficial, número ou distribuição de tamanho) será mais importante medir para relacionar com a saúde do trabalhador.

As três vias de exposição potencial a nano-objects e a nanomateriais são a inalação, ingestão e contacto dérmico. Para os indivíduos que praticam uma atividade física ou que apresentam a função pulmonar alterada ou deficiente, o aparelho respiratório constitui a via principal de penetração de nano-objects no organismo. Esses nano-objects uma vez inalados, podem ser libertados ou depositados em diferentes regiões do sistema respiratório, não sendo essa deposição uniforme ao longo do sistema respiratório, variando em função do diâmetro, do grau de agregação e aglomeração e do comportamento no ar dos nano-objects, tal como é reportado na Figura 2. Os nano-objects podem igualmente ser encontrados no sistema gastrointestinal, após terem sido ingeridos ou após deglutição depois de inalados. Por sua vez a via de penetração por contacto dérmico dos nano-objects é uma área ainda em estudo. Algumas propriedades superficiais e de elasticidade dos nano-objects, aliadas a características do indivíduo como sejam: o sebo natural da pele, o suor, o tipo de poros, as irritações da pele, são no entanto, fatores que podem favorecer a penetração percutânea.

As pesquisas efetuadas até ao momento atual, sobre os efeitos na saúde e segurança dos nano-objects revelam-se ainda insuficientes. O facto de poderem apresentar propriedades muito diferentes, relativamente ao mesmo material em escala macro, implica, por si só, uma nova abordagem na avaliação de riscos.

Estudos levados a efeito pelo INRS [3], mostram que, após a entrada no corpo humano, os nano-objects podem-se translocar para órgãos ou tecidos distantes da zona por onde se deu a entrada. Dotados de características que lhes permitem possuir longa duração, biopersistência e serem bioacumulativos no organismo, em especial em órgãos como os pulmões, o cérebro e o fígado, têm o comportamento que pode ser apreciado na Figura 3. Não se encontrando totalmente estabelecida a base de toxicidade, esta parece ser, inicialmente expressa pela capacidade de causar a inflamação.

O facto de atualmente o conhecimento sobre os riscos toxicológicos e respetivos efeitos na saúde serem provenientes de estudos realizados em células ou animais, torna-os de difícil extrapolação para o Homem, conferindo-lhes um alcance limitado. No entanto, existem crescentes evidências de que a exposição a certos poluentes aéreos emitidos por unidades industriais e motores diesel pode aumentar a resposta aos alérgenos [4], e já está claro que os poluentes atmosféricos provocam a exacerbação da asma. Ao longo dos últimos anos, diversos estudos epidemiológicos têm associado os níveis de poluição atmosférica ao agravamento dos sintomas de asma, ao aumento do uso de medicação sintomática, à maior procura de serviços de urgência e maior quantidade de internamentos por problemas respiratórios agudos[5]. O movimento de translocação das nanopartículas no organismo humano desempenha um papel importante no desenvolvimento de determinadas patologias cardiovasculares, respiratórias e do sistema nervoso central, como se encontra evidenciado na Figura 3.

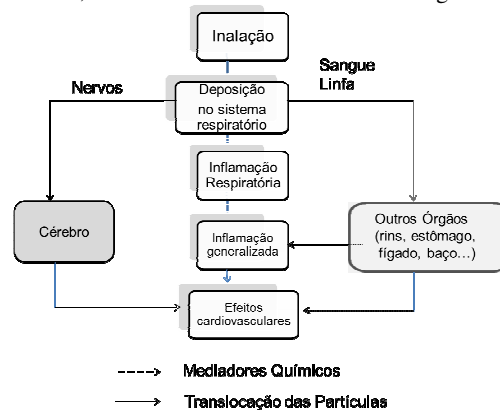


Fig. 3 – Efeitos potenciais sobre o organismo [3].

5 Métodos de Amostragem

Os métodos de amostragem tradicionais na HST, podem ser utilizados para a determinação da exposição profissional a nanopartículas:

- Avaliação estática com colocação de amostradores nos postos de trabalho;
- Avaliação pessoal com colocação de filtros ligados a bomba de amostragem, na zona de respiração do trabalhador;
- Avaliação estática ou pessoal com equipamentos de leitura em tempo real.

Os mais representativos são os métodos pessoais, pois aproximam-nos das condições em que o ar é respirado pelo trabalhador, enquanto os outros métodos são mais adequados no desenvolvimento de melhorias nas práticas de trabalho e nas medidas de prevenção [9]. A escolha do melhor método de amostragem deve ter por base a qualidade dos equipamentos relativamente à sua precisão, incerteza e intervalos de medição. O controlo do processo é fundamental para a confiança nos resultados e para tal devem ser realizadas amostragens prévias à existência de nanomateriais no ar, as quais funcionarão como brancos ou leituras de fundo do ambiente de trabalho, para posteriormente ser determinado o diferencial nas leituras, com a produção em laboração normal.

Os métodos atualmente disponíveis permitem determinar nas nanopartículas os parâmetros: Massa, Tamanho, Concentração, Área de superfície, Composição e Química da superfície. No entanto, a falta de portabilidade de muitos equipamentos, o seu elevado custo e baixo limite de deteção apenas possibilitam um limitado número de amostragens de rotina [9]. Um parâmetro nuclear e já referido anteriormente, é o tamanho da nanopartícula, pois a sua toxicidade varia muito com a dimensão; as menores dimensões são mais reativas devido a alterações na sua estrutura cristalina, chegando mesmo a existir nanopartículas diminutas com capacidade para penetrar no interior das células. O conhecimento atual sugere a utilização de amostradores de partículas respiráveis para encontrar a fração de nanopartículas depositadas nos alvéolos pulmonares. Com estes equipamentos podemos obter resultados da massa de partículas (importante pois a maioria dos VLE é expressa em concentração), no entanto não ficamos a saber o seu número, tamanho ou área de superfície. Ainda não se conhecem amostradores pessoais que permitam obter leituras de todos estes dados [9]. Sabemos que a massa de nanopartículas pode ser pequena, mas representar grande concentração em termos de área de superfície e ainda maior em termos de número de partículas. O melhor equipamento será o que medir o parâmetro biologicamente mais nocivo, faltando ainda saber se estamos a falar da massa, número ou área de superfície. Podemos recorrer a alguns métodos indiretos para estimar a área de superfície, o número e a concentração de partículas inferiores a 100 nm ou ainda recorrer a duas técnicas diferentes simultaneamente e cruzar resultados: por exemplo um CPC (Con-

densation Particle Counter), que conta partículas com diâmetro superior a 10 nm, por condensação (com isopropanol) e um OPC (Optical Particle Counter), que conta partículas com mais de 300 nm, por feixe laser. O CPC revela-se limitado por não contar partículas superiores a 1 µm.

6 Métodos Analíticos

Os métodos analíticos podem ser utilizados no seguimento dos métodos acima referidos, se determinarmos que existem elevadas concentrações de nano-objetos relativamente às leituras prévias de fundo. Poderemos utilizar amostradores pessoais e recolher amostras em filtros, para obter a sua concentração em massa e seguidamente analisar as partículas recorrendo a microscopia eletrónica de varrimento (SEM) ou a microscopia eletrónica de transmissão (TEM). Estas tecnologias permitem estimar a distribuição de tamanhos de partículas e se estiverem associada a EDS (Energy Dispersive X-ray Analyser), permitem determinar a composição elementar do nanomaterial [9] [10] [11].

7 Medidas Preventivas

É prudente adotar medidas preventivas que visem acautelar a saúde dos trabalhadores, tal como se encontra previsto na Directiva Quadro, com acções baseadas nos princípios gerais de prevenção. A informação disponível sobre os riscos para a saúde é ainda muito limitada para podermos desde já determinar medidas específicas de protecção dos trabalhadores à exposição a nanopartículas.

As mais tradicionais operações de limpeza e de manutenção utilizadas em meio industrial, que recorrem amiúde a jacto de ar comprimido ou ao varrimento de superfícies, provoca o fenómeno da perturbação das nanopartículas e partículas ultrafinas depositadas e é um fator típico de dispersão e de inalação das mesmas.

Podemos acautelar e minimizar a exposição a nanopartículas e partículas ultrafinas dispersas no ar, para a quase totalidade de processos e tarefas industriais recorrendo a sistemas de:

- ✓ encapsulamento da fonte;
- ✓ ventilação exaustora localizada e adequadamente dimensionada para que não ocorra superaspiração;
- ✓ adopção de boas práticas de trabalho que evitem a dispersão das partículas;

- ✓ protecção individual (máscara com vedação e filtro adequados, luvas, óculos, fato, tampões de ouvido) complementadas com medidas de controlo de engenharia e/ou administrativas (rotatividade, por ex.);
- ✓ vigilância da saúde (embora ainda com muito desconhecimento de como o fazer);
- ✓ analisar a possibilidade de substituir o produto por outro menos perigoso;
- ✓ manusear apenas a quantidade indispensável ao processo;
- ✓ as operações de limpeza devem ser efectuadas por aspiração com filtros adequados ao tamanho das partículas presentes ou por meios líquidos, (a utilização de pistolas de ar comprimido para limpeza não é de todo adequada) [9].

Estes princípios devem ser incluídos e articulados num programa de controlo de riscos, e deve ser dada informação e formação aos trabalhadores, com especial destaque para a informação que lhes chega via rotulagem e fichas de dados de segurança.

8 Conclusões

Podendo ser aplicada a uma multitude de ramos de atividade, a nanotecnologia constitui uma verdadeira revolução tecnológica com tendência para singrar mais rapidamente do que qualquer outra.

Este artigo pretende alertar para este tema, pois embora o crescimento da nanotecnologia seja exponencial, no que diz respeito à pesquisa de medidas de prevenção e conhecimento do risco a dinâmica é ainda muito lenta.

É elevado o número de trabalhadores expostos a nanopartículas, quer, seja porque são trabalhadores de empresas de nanotecnologia, ou trabalhadores de atividades que implicam a libertação de partículas ultrafinas.

São poucos os estudos publicados sobre os impactos das nanopartículas na Saúde e no meio Ambiente e consequentemente na Segurança e Saúde no trabalho.

Para evitar o aparecimento de possíveis danos na saúde é ainda necessário percorrer um longo caminho, estudando os efeitos e desenvolvendo medidas de protecção.

É ainda cedo para nesta fase do conhecimento (ou desconhecimento) avaliar o impacto deste risco emergente ao nível da sociedade, da produtividade e da sustentabilidade das próprias indústrias res-

ponsáveis pela produção de nanopartículas, ou, em cujo processo produtivo se dê a libertação de partículas ultrafinas.

Estes novos riscos apresentam-se como um desafio não só para as tecnologias tradicionais de avaliação de riscos na vertente ocupacional, mas também perante os equipamentos existentes. Este desafio será gerador de novas metodologias de medição e avaliação, nas quais já se encontrarão incorporados critérios inovadores como sejam o tamanho, a área de superfície, entre outros.

Referências

- [1] Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho. (2008). *FACTS 84 - Previsões de peritos sobre os riscos químicos emergentes relacionados com a segurança e a saúde no trabalho*. Bélgica.
- [2] ISO/TS27687:2008. Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects. Nanoparticle, nanofibre and nano-plate
- [3] INRS. (2008). *Les nanomatériaux*. INRS.
- [4] Rusznak, C., J., D., & Davies, J. (1996). Airway response of asthmatic subjects to inhaled allergen after exposure to pollutants. *Thorax*, 51, 1105-1108.
- [5] Rios, J., & Boechat, J. (2011). Poluição intra e extradomiciliar. *Revista Brasileira de Alergias e Imunopatologias*, 34, 2, 42-48.
- [6] OIT - Organização Internacional do Trabalho. (2010). *Riscos emergentes e novas formas de prevenção num mundo em mudança*.
- [7] Elihn, K., & Berg, P. (2009). Ultrafine particle characteristics in seven industrial plants. *Ann. Occup. Hyg.*, 53, 5, 475-484.
- [8] Wittmaack, K. (2007). In search of the most relevante parameter for quantifying lung inflammatory response to nanoparticle exposure: particle number, surface area, or what? *Environ Health Perspect*, 115, 187-194.
- [9] Approaches to Safe Nanotechnology – NIOSH (2009)
- [10] SCENIHR/02/05 (2006) - Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks.
- [11] www.skinc.com, acessado em 30.01.2012.