

Keen, J. H.; Habig, W. H.; Jakoby, W. B. Mechanism for several activities of the glutathione S-transferase. *Journal of Biological Chemistry*, v. 251, p. 6183-6188, 1976.

Lardinois, O.M.; Mestdagh, M.M.; Rouxhet, P.G. Reversible inhibition and irreversible inactivation of catalase in presence of hydrogen peroxide. *BBA - Protein Structure M*, v. 1295, n. 2, p. 222-238, 1996.

Nogueira, R.F.P.; Jardim, W.F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. *Quimica Nova*, v. 21, n. 1, p. 69-72, 1998.

Prazeres, J.N.; Ferreira, C.V.; Aoyama, H. Acid phosphatase activities during the germination of Glycine max seeds. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 42, p.15-20, 2004.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). EPA-540 / 9 -85-009. Hazard Evaluation Division. Standard Evaluation Procedure. Acute toxicity test for estuarine and marine organisms. Washington, 1985.

INDICADORES DE RISCO DO DESENVOLVIMENTO DAS NANOTECNOLOGIAS – UMA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO

*Karen C. Massini¹, Katia R.E. Jesus², Odílio B. G. Assis³

¹Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. ²Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. ³Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP.
*kamassini@hotmail.com.

Classificação: Estudo dos aspectos de segurança em nanotecnologia.

Resumo

A nanotecnologia representa atualmente um negócio mundial que movimenta mais de 100 bilhões de dólares e atrai cada vez mais recursos humanos e financeiros, devido ao seu enorme potencial de aplicação. Assim, metodologias que permitam avaliar a segurança dos nanoproductos, especialmente aqueles que já encontram-se no mercado, são de fundamental importância. No entanto, a área do conhecimento que envolve as avaliações de riscos das nanotecnologias encontra-se ainda bastante incipiente no Brasil. A criação de uma metodologia para a Avaliação dos Riscos das nanotecnologias representa uma medida mitigatória eficaz para enfrentar os desafios cada vez maiores identificados pelos cientistas e legisladores, podendo atuar em três momentos: prevenindo, monitorando e restaurando. Desta forma, são apresentados nesse trabalho 14 indicadores para a avaliar o potencial de risco. Esses foram validados pelos especialistas da área de nanotecnologia por meio da Técnica Delphi de consulta aos especialistas. Segundo eles, esses indicadores representam de modo mais completo os aspectos mais críticos relacionados ao desenvolvimento da Nanotecnologia. Estes indicadores, de modo geral, têm a finalidade de auxiliar os desenvolvedores desta tecnologia para que reavaliem as metodologias empregadas para o desenvolvimento das nanotecnologias com a finalidade de mitigar um provável risco.

Palavras-chave: Nanotecnologia, Nanopartícula, Avaliação da Segurança, Indicadores de riscos.

RISK INDICATORS OF THE NANOTECHNOLOGY DEVELOPMENT - A TOOL FOR DECISION MAKING SUPPORT

Abstract

Nanotechnology is currently a global business that operates more than 100 billion dollars and is increasingly attracting human and financial resources, due to their enormous potential application. Thus, methodologies for assessing the safety of nano-products, especially those that are already in market. However, the area of knowledge that involves risk assessments of nanotechnology is still incipient in Brazil. The development of a methodology for risk assessment of nanotechnologies is an effective measure to face increasing challenges identified by scientists and legislators, which can act in three stages: preventing, monitoring and restoring. Thus, in this work are presented 14 indicators to assess the potential risk, these have been validated by experts in the field of nanotechnology through the Delphi technique of consulting experts. According to them, these indicators represent more completely the most critical

development-related aspects of Nanotechnology. These indicators, in general, aims to assist developers of this technology to reassess the methodologies employed for the development of nanotechnology in order to mitigate a potential risk.

Keywords: Nanotechnology, Nanoparticle, Safety Assessment, Risk indicators.

1 INTRODUÇÃO

A nanotecnologia permite desenvolver produtos de alta qualidade com ampla aplicação, na agricultura e segurança alimentar, biologia celular, proteção ambiental, métodos de tratamento de doenças, dentre outros. No entanto, uma questão vem sendo levantada quanto à segurança desses produtos. A percepção pública dos consumidores quanto a segurança desses produtos deve ser favorável para que a utilização da tecnologia em curto prazo não seja comprometida. Embora se reconheça que as aplicações das nanotecnologias emergentes tendem a trazer benefícios significativos, é igualmente reconhecido que os nanomateriais podem apresentar riscos diferentes daqueles do mesmo material convencional (produto correspondente com tamanhos micro ou macro). No entanto, a análise da literatura científica indica que não existe conhecimento suficiente sobre as propriedades toxicológicas / efeitos fisiológicos e ambientais de tais materiais. As novas propriedades das nanopartículas indicam que as metodologias de avaliações de risco conhecidas não podem ser adequadas para identificar os riscos para o homem e o meio ambiente, incluindo a saúde animal. O potencial de risco de um nanomaterial está vinculado às suas propriedades físico-químicas, sendo de extrema importância quantificar e avaliar a segurança do nano-produto.

A identificação do risco é uma ferramenta científica para estimar e compreender os fatores que levam a um risco potencial. A identificação do perigo ou risco consiste em identificar os potenciais efeitos adversos sobre a saúde ou meio ambiente que estão associados à exposição a um agente biológico, físico ou químico.

O pequeno tamanho das nanopartículas pode facilitar sua difusão na atmosfera, no solo, na água sendo de difícil detecção. De modo geral, sabe-se muito pouco sobre a biodisponibilidade, biodegradabilidade e toxicidade de novos nanomateriais. A contaminação do meio ambiente por nanomateriais com grande área superficial, boa resistência mecânica e atividade catalítica pode resultar na concentração de compostos tóxicos na superfície das nanopartículas, com posterior transporte no meio ambiente ou acúmulo ao longo da cadeia alimentar; na adsorção de biomoléculas, com conseqüente interferência em processos biológicos *in vivo*; numa maior resistência à degradação (portanto, maior persistência no meio ambiente) e em catálise de reações químicas indesejáveis no meio ambiente (Savolainen, et al., 2010). Desta forma, é de extrema importância a formulação de metodologias que identifiquem esses riscos com a finalidade de auxiliar os desenvolvedores desta tecnologia quanto ao desenvolvimento de sua tecnologia de uma forma segura e sustentável. Neste sentido, o presente trabalho demonstra alguns indicadores de riscos que foram formulados com base nos aspectos inerentes as características das nanopartículas que possam apresentar risco, sendo elas: Tamanho da nanopartícula, solubilidade, dispersão, toxicidade, instabilidade, biodegradabilidade, composição, reatividade e pureza. Estes indicadores de riscos têm a finalidade de levantar importantes questões sobre a segurança das nanopartículas e elucidar questões importantes para mitigar um provável impacto negativo na saúde e meio ambiente. Os indicadores formulados foram validados conforme o seu grau de importância e farão parte da metodologia de avaliação de riscos da nanotecnologia denominada Nanotec-Ram, que está em fase de desenvolvimento pela equipe da Embrapa e colaboradores.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Formulação dos Indicadores de Riscos

Os indicadores de riscos foram formulados através de uma minuciosa análise da literatura científica sobre o tema. Foram elaborados 14 indicadores que retrataram os aspectos mais relevantes sobre o desenvolvimento de uma nanopartícula e que indicasse um provável risco.

2.2 Validação dos Indicadores de Riscos com a Técnica Delphi de consulta aos especialistas

Os indicadores de riscos foram validados remotamente pelos especialistas em Nanotecnologia

através de um questionário desenvolvido de acordo com a Técnica Delphi (Dietz, 1987; Wright, J. e Giovino, 2000) que foi disponibilizado no website da Embrapa Meio Ambiente. Para a construção desse questionário foi utilizado o Limesurvey (<http://www.limesurvey.com>), um software de código livre desenvolvido em PHP e utilizando banco de dados em MySQL. O painel de especialistas consultados foi composto de pesquisadores selecionados a partir da plataforma do Curriculum Lattes/CNPq, empregando-se palavras-chave relacionadas ao tema Nanotecnologia. As questões que compõem o questionário de consulta apresentam os indicadores formulados e solicitam ao especialistas versar sobre a sua importância para avaliar a segurança das nanopartículas. As respostas são apresentadas no formato da escala Likert (por grau de importância) fornecendo resultados quantitativos, que além de serem tabulados, recebem tratamento estatístico simples definindo-se a mediana e os quartis, permanecendo na metodologia de análise dos riscos os indicadores que apresentarem porcentagem de aceitação dos especialistas acima de 50%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Indicadores de riscos constituem uma ferramenta de avaliação para direcionar o pesquisador ou tomador de decisão para um provável problema, exercendo a função de advertir sobre os riscos e orientar para uma medida de correção. Desta forma, apresentamos na Tabela 1, os 14 indicadores de riscos formulados e validados pelos especialistas na dimensão denominada 'Desenvolvimento da Tecnologia'. Os 14 indicadores de riscos apresentaram 50% de aceitação e foram considerados indicadores relevantes para análise de um potencial risco.

Tabela 2. Lista de indicadores de riscos propostos para avaliar o desenvolvimento da tecnologia após levantamento da literatura científica

DIMENSÃO: DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA
Justificativa Técnica para seleção dos Indicadores
O tamanho, a forma química, solubilidade e a alteração na carga podem afetar as interações químicas e biológicas em consequência a exposição a uma nanopartícula específica (Poland et al. 2008; Benn e Westerhoff, 2008). Dependendo da reatividade da nanopartícula podem se ligar às proteínas e outras biomoléculas em soluções biológicas com grande eficiência, e com especificidade muito maior do que as superfícies de materiais equivalentes de maior proporção. Assim, a compreensão de como essas nanopartículas interagem com o meio do ensaio em estudo é crucial para entender a natureza da real dispersão no meio ambiente ou células e tecidos dos organismos expostos, com a finalidade de evitar um efeito indesejado devido uma interação com outras moléculas que não estavam previstas. Na cadeia produtiva há possibilidade do risco associado às nanotecnologias não serem diferentes de outras tecnologias estabelecidas e reguladas. Segundo Shatkin e colaboradores (2010), alguns relatórios relatam equivocadamente resultados padronizando os protocolos de toxicidade da nanopartícula. Ainda segundo o autor, é necessário estabelecer critérios-chave de modo a compreender melhor a importância das diferenças dos resultados no estudo de materiais aparentemente similares. Esses critérios-chave devem conter estimativa de erro de medição e sua variabilidade na toxicidade do material.
INDICADORES DE RISCOS
Tamanho da NP e de seus componentes
Alta solubilidade e dispersão da NP na natureza
Ocorrência de instabilidade da NP em decorrência do tipo de revestimento do material ou produto
Constituição da NP a torna não biodegradável (ex: NP contém partículas inorgânicas)
A nanopartícula possui característica química desconhecida
A composição/revestimento possui reatividade de tal forma que possa agregar com outras partículas
Alto potencial da NP em formar aglomerados

Persistência da NP inorgânica na natureza

Interferência do reagente ou componentes empregados na formulação que comprometam a pureza da amostra

Surgimento de toxicidade em decorrência da impureza associada à NP

Necessidade de medidas de contenção específica para armazenamento dos resíduos gerados até o seu descarte

Necessidade da utilização de EPIs (Equipamento de Proteção Individual) visando a segurança do trabalhador

O material precursor utilizado para formulação da NP apresenta risco a saúde e/ou ambiente podendo comprometer a segurança do nanoproduto

A nanopartícula possui homologia com alguma tecnologia conhecida que apresenta toxicidade

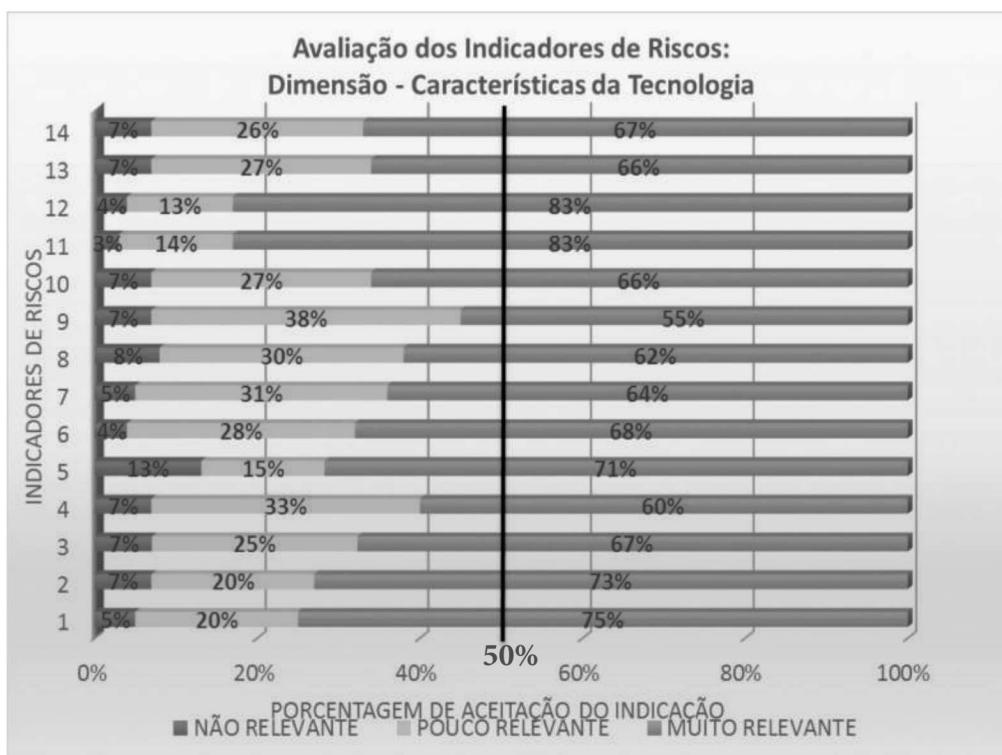


Figura 1. Resultado da avaliação dos indicadores de riscos de acordo com a Técnica Delphi empregada em consulta remota. *São apresentados somente os indicadores que obtiveram aceitação superior a 50% na consulta remota (a numeração dos indicadores corresponde aqueles apresentados na tabela 1)

4 CONCLUSÃO

O emprego dos indicadores funciona com uma orientação para a avaliação de segurança das nanopartículas e permite o seu desenvolvimento de forma sustentável e segura.

REFERÊNCIAS

BENN TM, WESTERHOFF P. Nanoparticle silver released into water from commercially available sockfabrics. *Environ Sci Technol.*, v. 42 (11), p. 4133–4139, 2008.

DIETZ, T. Methods for analyzing data from delphi Panels: some evidence from a forecasting study. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 31, p. 79-85, 1987.

POLAND CA, DUFFIN R, KINLOCH I, MAYNARDA, WALLACE WA, SEATON A et al. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nat Nanotechnol*, v. 3 (7), p.423–428, 2008.doi:10.1038/nano.2008.111

SHATKIN, J. A., et al. Nano Risk Analysis: Advancing the Science for Nanomaterials Risk Management. *Risk Analysis*, v. 30 (11). p., 1680-1687, 2010.

SAVOLAINEN, et al. Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies—A review. *Toxicology*, v.269, p.92–104, 2010.

WRIGHT, J. T. C; GIOVINAZZO, R. A. D. Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. *Caderno de Pesquisas em Administração*, v.1 (12), 2000.

ANÁLISE INTEGRADA DOS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA AMBIENTAL DOS NANOPRODUTOS

*Katia R.E. Jesus¹, Vera Lúcia S. S. de Castro¹, Odílio B. G. Assis²

¹Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. ²Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP.

*katia.Jesus@embrapa.br

Classificação: Estudo dos aspectos de segurança em nanotecnologia.

Resumo

As situações de risco potencial de um nanoproduto são cada vez mais multifacetadas. A triagem para a execução de novos testes pode seguir a árvore (decisões sim/não) considerando as informações anteriormente conhecidas e os dados obtidos em testes a respeito do comportamento no ambiente, as características e a novidade do nanoproduto. A sequência de passos avaliados com a árvore de decisão dependerá do estado da arte da metodologia de avaliação de risco e das características de cada caso em estudo.

Palavras-chave: Ambiente; Ecotoxicidade; Segurança de nanoproductos, Árvore de decisão.

INTEGRATED ANALYSIS OF NANOPRODUCTS ENVIRONMENTAL SAFETY CRITERIA

Abstract

The potential risk of nanoproducts is increasingly multifaceted. Screening for the implementation of new tests can follow the decision tree (decision yes/no) considering the previously known information and data from tests about the behavior in the environment, the characteristics and the novelty of nanoproduct. The sequence of steps evaluated by the decision tree will depend on the methodology state of the art for risk assessment and the characteristics of each case study.

Keywords: Environment; Ecotoxicity; Nanoproducts safety; Decision tree.

1 INTRODUÇÃO

A aplicabilidade da nanotecnologia oferece a perspectiva de grandes avanços científicos para melhorar a qualidade de vida e como qualquer área da tecnologia que faz uso intensivo de novos materiais e substâncias pode trazer algum risco ao meio ambiente e à saúde humana ou animal. A avaliação do potencial impacto biológico dos nanomateriais se tornou de grande importância nos últimos anos, uma vez que o rápido ritmo de desenvolvimento da nanotecnologia não foi acompanhado por uma investigação completa de sua segurança. As mesmas propriedades que tornam as nanopartículas interessantes para aplicações, como seu pequeno tamanho, sua enorme superfície e sua alta reatividade, também as tornam acessíveis a locais anteriormente inacessíveis em sistemas vivos, com consequências potencialmente significativas para o ambiente. Contudo, a regulamentação do uso de nanomateriais avançou lentamente no sentido de garantir a segurança dos ecossistemas em contato com nanomateriais (COHEN et al., 2013). Há ainda uma grande discussão a respeito da regulamentação destes materiais por ser uma área nova do conhecimento. Além disso, há discussão entre os nanotoxicologistas sobre a métrica apropriada para avaliação da toxicidade de NPs.