

# **Fórum** de apresentação de resultados de pesquisas: **avanços e oportunidades**

**23 de setembro de 2014**  
Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna/SP

## **AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS DAS NANOCÁPSULAS E NANOPARTÍCULAS NA AGRICULTURA: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

**Carniel, B. F.<sup>1</sup>; Jesus, K. R. E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mestranda na Universidade Federal de São Carlos; <sup>2</sup>Embrapa Meio Ambiente

### **Problema abordado**

A nanotecnologia é considerada a tecnologia que terá maior desenvolvimento neste século e as nanotecnologias agrícolas ganham espaço com a descoberta de suas potenciais aplicações no transporte de substâncias, nanossensores, nanocápsulas, entre outros. Muitos destes nanoprodutos já são encontrados no mercado ou em desenvolvimento, dessa forma, a exposição às nanopartículas preocupa a comunidade científica e os legisladores. As nanopartículas existem em estruturas e formas muito variadas. Podem apresentar características peculiares como alta reatividade e difusão no ambiente. Estas propriedades são importantes no que diz respeito aos impactos potenciais para a saúde e ambiente e para determinar o destino e comportamento dessas partículas no ecossistema, nos seres humanos e em outros organismos. É possível considerar que este impacto significativo já existe, pois, algumas nano-partículas já fazem parte da formulação de alguns produtos industriais. Desse modo, o descarte ou uso diretamente no ambiente pode ocasionar a transferência dessas nanopartículas para as plantas, solo e água, resultando na exposição do ambiente e dos organismos.

O questionamento sobre os impactos da nanotecnologia tem se difundido no meio acadêmico e a avaliação dessa tecnologia caso-a-caso tem sido apontada como a melhor maneira de avaliar sua segurança

### **Objetivo**

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia que possibilite a avaliação de impactos ambiental e social das nanotecnologias agrícolas, podendo ser empregada *ex-ante* ou *ex-post* da sua liberação no meio ambiente. A metodologia tem como base a formulação de indicadores de impacto desenvolvidos a partir da análise de dados técnicos levantados da literatura científica especializada e das aplicações das nanopartículas na agricultura.

## **Principais contribuições**

Esse trabalho é fruto de uma dissertação de mestrado (CARNIEL, 2013) financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp e está sendo divulgado em eventos da área e preparado para publicação em revistas científicas.

A primeira etapa do desenvolvimento do método Impactos AGNano consistiu na formulação de indicadores de impactos ambientais e sociais das nanotecnologias aplicadas na agricultura a partir da análise da literatura científica.

Os indicadores formulados foram validados através da consulta aos especialistas das áreas correlatas da Nanotecnologia.

Com a contribuição dos especialistas foram elaborados os parâmetros de segurança, além dos indicadores de impacto nas diversas dimensões nas quais os efeitos das nanotecnologias podem ser percebidos. Esses dados foram disponibilizados em Planilhas para Avaliação de Segurança e Impacto.

O projeto gerou uma base de dados sobre os impactos potenciais das nanotecnologias, além do método 'Impactos AGNano' validado através da consulta presencial à especialistas. O método Impactos AGNano foi desenvolvido utilizando como base os indicadores desenvolvidos e possui duas etapas de avaliação: Avaliação de Segurança (avaliação preliminar para obtenção do Índice de Segurança) e Avaliação de Impacto (para obtenção do Índice de Impacto). Os indicadores foram validados conceitualmente em uma consulta remota a especialistas de áreas relacionadas à nanotecnologia agrícola por meio de questionário formulado de acordo com a técnica Delphi. O método foi validado em consulta presencial aos especialistas de áreas relacionadas a nanotecnologia agrícola.

Outra importante contribuição do projeto é com relação a contribuição qualitativa dos especialistas acadêmicos e do setor produtivo quanto às tendências de desenvolvimento das nanotecnologias, ao potencial impactos nas diversas dimensões e também as principais preocupações internacionais e nacionais que devem nortear as regulamentações do tema, atualmente em discussão e formulação ao redor do mundo.

## **Impactos sociais, econômicos e ambientais**

Após a formulação dos indicadores, eles foram validados, tendo em vista garantir a credibilidade científica em todas as etapas do processo de construção metodológica.

Com vistas a embasar adequadamente cada um dos indicadores empregados na formulação do método, foi elaborada uma justificativa técnica referenciada na literatura embasando sua importância.

A técnica Delphi (LINSTONE; TUROFF, 1975) foi selecionada para realizar a consulta remota, por apresentar algumas vantagens em termos da condução do processo: não há confronto entre os peritos, utiliza ferramentas simples para identificar padrões de respostas, além da experiência da equipe em empregá-la. Esta técnica se baseia na utilização de questionários para organizar a contribuição de um painel de especialistas conhecimento no tema em questão.

Os indicadores que tiveram maior aceitação dentre os especialistas consultados referem-se a Dimensão "Caracterização da Nano-Partícula". Esses obtiveram alta convergência na análise dos especialistas, com mais de 90% de concordância na sua importância para compor um método de avaliação de impacto em Nanotecnologia. São apresentados abaixo os indicadores validados nessa dimensão.

## *Dimensão "Caracterização da Nano-Partícula"*

- *Indicador 1: Tamanho da nano-partícula.*

O tamanho da nano-partícula pode determinar o lugar em que esta será depositada no organismo e também afeta a habilidade do corpo de defender-se destas (FADEEL et al., 2012). Estudos relacionam a citotoxicidade com tamanhos menores que 15nm, pois possuem capacidade de induzir a apoptose diferentemente de partículas maiores (até 100nm), além dos fibroblastos do tecido conjuntivo, células epiteliais, macrófagos e melanomas se mostrarem mais sensíveis (SCHAEUBLIN et al., 2011).

- *Indicador 2: Formação de aglomerados ou agregados de nano-partículas.*

Muitas nano-partículas aglomeram-se ou agregam-se quando colocadas no ambiente em consequência da alta força iônica dos fluidos biológicos. A energia livre da superfície diminui enquanto seu tamanho aumenta e sua área superficial diminui (GOSENS et al., 2010). O estado de aglomeração/agregação pode ser um critério significativo, pois é reconhecido que as nano-partículas apresentam um impacto maior em comparação a partículas maiores e aglomerados maiores que 50 nm (OBERDORSTER, 2002).

- *Indicador 4: Geração de espécies reativas de oxigênio.*

Se a superfície de um nano-material é altamente reativa em um sistema aquoso, seu potencial de geração de espécies reativas de oxigênio é grande (BORM et al., 2006) além de aumentar a probabilidade de dano oxidativo nas células (SAHU; CASCIANO, 2009).

- *Indicador 5: Solubilidade em água.*

A solubilidade ou insolubilidade é importante para determinar se uma nano-partícula tem potencial para bioacumulação em células ou órgãos, pois indica a quantidade de componentes do sangue que poderiam se aderir a ela (FADEEL et al., 2012).

- *Indicador 6: Carga da superfície da nano-partícula.*

A carga da superfície pode influenciar a estabilidade da nano-partícula em soluções aquosas e pode ter efeito significativo na resposta imune de sistemas biológicos (SAHU; CASCIANO, 2009) e nas interações com membranas celulares. Estudos mostram que quanto mais negativa a carga da superfície, menos toxicidade esta apresenta, enquanto as carregadas positivamente se mostraram mais tóxicas (BADAWY et al., 2011).

- *Indicador 7: Existência de dados prévios de efeitos tóxicos sobre a nano-partícula em plantas, animais ou humanos.*

As novas propriedades que tornam os nano-materiais atraentes para aplicações comerciais podem resultar em novas interações biológicas causando toxicidade inesperada (LINSE et al.; 2007).

Atualmente existem estudos com a maioria das nano-partículas comumente utilizadas para aplicações tecnológicas, sendo possível resgatar dados prévios já demonstrados da partícula em avaliação.

A Nanotecnologia é uma tecnologia revolucionária e aplicável em diversos setores e possui potencial para beneficiar a saúde humana e o ambiente, porém é necessário considerar os impactos que a produção, uso e descarte dessas partículas podem causar no ambiente e nos organismos.

O método Impactos AGNano foi desenvolvido e validado com o objetivo de avaliar o impacto ambiental e social do uso de nanopartículas na agricultura.

Os indicadores de impacto foram essenciais para o desenvolvimento do método e retrataram o conhecimento científico sobre o tema, de modo que o método proposto se torne acessível e de fácil compreensão. Além disso, os indicadores validados podem ser empregados como referência para os efeitos potenciais das nanopartículas e, dessa forma, podem embasar pesquisas posteriores em áreas de interface como regulamentação e avaliação de risco de nanotecnologia.

## Referências

BADAWY, A. M.; SILVA, R. G.; MORRIS, B. Surface charge-dependent toxicity of silver nanoparticles. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 45 , n. 1, p. 283–287, 2011.

BORM, P. J. A.; ROBBINS, D.; HAUBOLD, S.; KUHLBUSCH, T.; FISSAN, H. The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. **Particle and Toxicology**, London, v. 3, n. 11, p. 1-35, 2006.

CARNIEL, B. de F. **Avaliação de impactos ambientais e sociais do uso da nanotecnologia na agricultura: uma proposta metodológica**. 2013. 232 f. Mestrado em Ciências (Biotecnologia/Avaliação de Impactos de Nanotecnologias) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. O

FADEEL, B.; PIETROIUSTI, A.; SHVEDOVA, A. A. (Ed.). **Adverse effects of engineered nanomaterials: exposure, toxicology, and impact on human health**. Amsterdam: Elsevier, 2012. 360 p.

GOSENS, I.; POST, J.; DE LA FONTEYNE, L.; JANSEN, E. Impact of agglomeration state of nano and submicron sized gold particles on pulmonary inflammation. **Particle and Toxicology**, London, v. 7, p. 1-11, n. 37, 2010.

LINSE, S.; CABALEIRO-LAGO, C.; XUE, W. F.; LYNCH, I.; LINDMAN, S. THULIN, E.; RADFORD, S. E.; DAWSON, K. A. Nucleation of protein fibrillation by nanoparticles. **Proceedings of the National Academy of Sciences** Washington, DC, v. 104, p. 8691–8696, 2007.

LINSTONE, H. A; TUROFF, M. Introduction. In: LINSTONE, H. A; TUROFF, M. **The DELPHI method: techniques and applications**. Reading: Addison-Wesley, 1975.

OBERDORSTER, G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, Berlin, v. 74, p. 1-8, 2002.

SAHU, S. C.; CASCIANO, D. A. (Ed.). **Nanotoxicity: from in vivo and in vitro models to health risks**. Hoboken: Wiley, 2009.

SCHAEUBLIN, N. M.; BRAYDICH-STOLLE, L. K.; SCHRAND, A. M.; MILLER, J. M.; HUTCHISON, J.; SCHLAGERA, J. J.; HUSSAIN, S. M. Surface charge of gold nanoparticles mediates mechanism of toxicity. **Nanoscale**, Cambridge, v. 3, p. 410-420, 2011.