

---

## PROSPECÇÃO DOS RISCOS AMBIENTAIS DAS NANOTECNOLOGIAS APLICADAS À AGRICULTURA

---

Massini, K.C e Jesus, K.R.E

Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP  
kamassini@hotmail.com. katia.jesus@embrapa.br

**Projeto Componente:** PC6      **Plano de Ação:** PA7

---

### Resumo

A nanotecnologia oferece a perspectiva de grandes avanços que permitirão melhorar a qualidade de vida e preservar o meio ambiente. Apesar do aumento do emprego das nanotecnologias seu potencial encontra-se ainda reprimido devido à fase inicial do seu desenvolvimento no Brasil e à ausência de metodologias que tornem suas avaliações de riscos uma prática corrente. Desta forma, formulamos alguns indicadores ambientais, toxicológicos e ecotoxicológicos para avaliar o potencial de risco dos produtos nanotecnológicos para fins agrícolas e, assim, orientar os especialistas sobre importantes aspectos da segurança da nanotecnologia.

**Palavras-chave:** Risco ambiental, Nanotecnologia, Indicadores de risco, avaliação da segurança.

---

### Introdução

---

O agronegócio brasileiro tem ocupado uma posição de líder mundial, o que reflete, entre outros aspectos, as pesquisas e investimentos ocorridos nos últimos anos no setor. Para o país continuar crescendo e abrir novos mercados, algumas áreas ainda requerem agregação de valor aos seus produtos, o que só pode ser feito pela incorporação contínua de novas tecnologias.

Assim a nanotecnologia figura como peça-chave para o contínuo aumento da competitividade e a sustentabilidade do agronegócio brasileiro, seja em processos que levam à melhoria da qualidade de produtos de origem agropecuária ou através do desenvolvimento de novos usos destes produtos.

Devido a sua versatilidade em modificar produtos a nanotecnologia pode ser incorporada em alimentos, podem fornecer sistemas de encapsulamento, por exemplo, micelas, lipossomos, para entrega de ingredientes alimentares, e os adaptados para uso em embalagens de alimentos, também como biossensores, extensores e antimicrobianos. Na agricultura o uso de agroquímicos nanotecnológicos como fertilizantes, herbicidas, pesticidas e até mesmo medicamentos de uso veterinário contém nanopartículas ativas que oferecem uma melhor distribuição e eficácia do agroquímico no campo e melhor controle da

dosagem do medicamento veterinário, assim como, também é utilizada para o controle da contaminação microbiana e química. A nanotecnologia no setor agro-alimentar atrai um maior investimento dos governos e indústria a nível mundial, devido a sua vasta aplicação (FAO/WHO, 2010). Portanto, a nanotecnologia permite criar produtos de alta qualidade com ampla aplicação, novos sistemas de agricultura e segurança alimentar, biologia celular, proteção ambiental, métodos de tratamento da doença, entre outros. Desta forma, como toda nova tecnologia poderá ter um importante impacto.

Embora seja consenso que as aplicações da nanotecnologia emergentes tendem a trazer benefícios significativos, é igualmente reconhecido que os nanomateriais podem apresentar riscos diferentes daqueles do mesmo material em forma de micro ou macro. Receia-se que não haja conhecimento suficiente sobre as propriedades toxicológicas / efeitos fisiológicos e ambientais de tais materiais, além da ausência de uma metodologia de avaliação de risco que possibilite identificar os riscos para o homem e o meio ambiente, incluindo a saúde animal. O potencial risco de um nanomaterial está vinculado às suas propriedades físico-químicas, sendo de extrema importância quantificar e avaliar a segurança do nano-produto (BELL, 2006;

WIESNER et al., 2009; SAVOLAINEN et al., 2010).

A identificação do risco é uma ferramenta científica para estimar e compreender os fatores que levam a um risco potencial. Essa identificação consiste em avaliar os potenciais efeitos adversos sobre a saúde ou meio ambiente que estão associados a exposição a um agente biológico, físico ou químico. Neste sentido, selecionamos alguns indicadores ambientais que poderão ajudar a reduzir as incertezas de risco para as nanopartículas no meio ambiente. Um indicador de risco identifica ou faz uma estimativa de um problema antes que ocorra, ou seja, previne um impacto negativo. Para a formulação de uma metodologia de avaliação de risco é imprescindível o levantamento de possíveis indicadores, pois estes são extremamente úteis, ao passo que fornecem informações práticas, reais e passíveis de monitoramento sobre os impactos em diversas dimensões.

### Materiais e métodos

O levantamento dos potenciais indicadores de riscos das nanotecnologias foi realizado através de uma minuciosa análise da literatura especializada para a verificação de publicações relacionadas à nanotecnologia, com o objetivo de obtermos o embasamento teórico necessário para a definição das premissas e conhecer quais eram as variáveis do estudo em questão.

### Resultados e discussão

Os riscos envolvidos em todos os momentos de exposição às nanopartículas, desde a produção, até a limpeza, o estoque e o transporte, devem ser estudados e enumerados. Devido ao fato dos nanomateriais serem frequentemente estruturados para apresentarem propriedades muito específicas é possível que esta nova estrutura possa apresentar efeitos toxicológicos incomuns quando acumulados ou disperso no meio ambiente. De modo geral, o nanoproduto quando liberado no meio ambiente pode sofrer transformações afetando a sua biodisponibilidade ou alterando a sua estrutura formando aglomerados. Este fato pode ser influenciado de acordo com as mudanças no ambiente e podem gerar, inclusive, efeitos indesejáveis. Diversos fatores devem ser considerados tanto no desenvolvimento da nanopartícula como na liberação desta no meio ambiente visando minimizar um provável risco.

Portanto, procuramos identificar através dos indicadores aspectos relevantes quanto aos efeitos dos produtos nanotecnológicos que são liberados no meio ambiente como, a persistência, dispersão, biodegradabilidade e provável efeito tóxico. As tabelas a seguir ilustram os indicadores selecionados (Tab.1 e Tab. 2).

Tab1. Lista de indicadores de riscos ambientais formulados a partir da literatura científica.

<b>DIMENSÃO AMBIENTAL</b>
<b>Risco Potencial</b>
<b>1. Avaliação da Biopersistência e Bioacumulação da nanopartícula no meio ambiente</b>
<b>Indicadores de Riscos</b>
1.1. A NP não possui características de biodegradabilidade ocasionando acúmulo em ambiente aquático
1.2. Ocorrência de bioacúmulo da NP no solo e provável efeito negativo na biodiversidade.
<b>Risco Potencial</b>
<b>2. Efeito negativo do agroquímico em escala nanométrica sob a diversidade das plantas</b>
<b>Indicadores de Riscos</b>
2.1. Inibição do crescimento radicular em decorrência a exposição a nanopartícula
2.2. Ocorrência de perda foliar em decorrência a exposição a nanopartícula
2.3. Esterilidade da planta em decorrência a exposição a NP
2.4. Aumento da vulnerabilidade à praga em decorrência da exposição à nanopartícula
2.5. Ocorrência de efeito negativo em organismo não-alvo
2.6. Diminuição da capacidade adaptativa ou competitiva
2.7. Inibição na capacidade da planta em fixar nitrogênio
<b>Risco Potencial</b>
<b>3. Contaminação do solo e água devido a dispersão da nanopartícula aplicado na agricultura e provável efeito negativo</b>
<b>Indicadores de Riscos</b>
3.1. Ocorrência de efeito negativo pela dispersão do agroquímico contendo a NP além dos limites do organismo alvo (ex.:planta);
3.2. Ocorrência de efeito negativo da NP na água devido a dispersão do agroquímico;
3.3. Manejo inadequado do produto em aerosol contendo NP podendo ocasionar uma maior dispersão.

(\*NP=nanopartícula)

**Tab2.** Lista de indicadores de riscos toxicológicos e ecotoxicológicos formulados a partir da literatura científica.

<b>DIMENSÃO TOXICOLOGIA E ECOTOXICOLOGIA</b>	
<b>Risco Potencial</b>	
1. <i>Avaliação da Toxicidade da cacopartícula</i>	
<b>Indicadores de Riscos</b>	
1.1. Resultado positivo para o Teste de toxicidade <i>ic vivo</i>	
1.2. Resultado positivo do Teste de toxicidade <i>ic vitro</i>	
1.3. A nanopartícula possui toxicidade semelhante a outra partícula ou substância conhecida na literatura	
<b>Risco Potencial</b>	
2. <i>Avaliação da Ecotoxicidade e Gecotoxicidade da cacopartícula</i>	
<b>Indicadores de Riscos</b>	
2.1. Presença de partícula tóxicas associados a nanopartícula (óxidos de metais, prata, fulereno, etc)	
2.2. Mortalidade em plantas causada pela exposição à nanopartícula	
2.3. Resultado positivo do teste de genotoxicidade <i>ic vitro</i> (visando avaliar quebras cromossômicas, estresse oxidativo, mutagênese, modificação na expressão gênica)	
2.4. Relato de ocorrência anterior de algum dano a saúde humana e animal ocasionado pela exposição a NP	
<b>Risco Potencial</b>	
3. <i>Alteração biológica pela utilização de cacotubos de carbono e cacopartículas de prata</i>	
<b>Indicadores de Riscos</b>	
3.1. Alteração do equilíbrio da biota do solo ocasionado pela exposição à nanopartícula contendo nanotubos de carbono	
3.2. Surgimento de resistência bacteriana e/ou fúngica em decorrência a exposição à nanopartícula de prata	

## Conclusões

Através dos indicadores formulados esperamos orientar o especialista quanto aos riscos inerentes da nanotecnologia aplicado a agricultura buscando um desenvolvimento de forma sustentável e segura para o meio ambiente. Estes indicadores serão validados através de consulta remota aos especialistas, consulta remota, será avaliada a importância de cada indicador e de acordo com o resultado obtido (sendo considerada a porcentagem de aceitação) o indicador

permanecerá na metodologia adotada para avaliação de riscos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, Finep, Capes, Projeto MP1 Rede Agronano – Embrapa.

## Referências

BELL, T. E. Reporting risk assessment of nanotechnology: a reporter's guide to sources and research issues. National Nanotechnology Initiative, 2006.

FAO/WHO. Expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: potential food safety implications. Meeting report in Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health organization, Rome, Italy: FAO/WHO, p. 109, 2010.

SAVOLAINEN, K.; Alenius, H.; Norppa, H.; Le Pylkkänen, L.; Tuomi, T.; Kasper, G. Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies. *Toxicology*, v. 269, p. 92–104, 2010.

WIESNER, M.; Lowry, G.; Jones, K.; Hochella, J., K.; Gigiulio, R.; Casman, E.; Bernhardt, E. Decreasing uncertainties in assessing environmental exposure, risk, and ecological implications of nanomaterials. *Environmental Science Technology*, v.43, n.17, p. 6458–6462, 2009.y7