

## ANÁLISE DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PROCESSOS DE SINTETIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS

Rafael do Valle Melo<sup>1</sup>

Prof. Dr. Gerson Araújo de Medeiros<sup>2</sup>

### Química Ambiental

#### *Resumo*

O rápido avanço da nanotecnologia nos últimos anos despertou um crescente interesse no campo da pesquisa de nanopartículas e sua aplicação na área ambiental. Devido a comportamentos e características específicas que as nanopartículas apresentam, observa-se a possibilidade de diminuição de impactos ao meio ambiente e à saúde humana com seu uso. Uma forma de quantificar esta possível diminuição de riscos é através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O presente trabalho tem por objetivo realizar uma revisão bibliográfica de estudos acadêmicos que realizaram uma ACV de processos de sintetização de nanopartículas. Foi realizada uma busca de estudos científicos publicados entre 2010 e 2020 e foram selecionados os trabalhos acadêmicos de Feijoo e colaboradores e Windsor e colaboradores, realizados em 2017 e 2018, respectivamente. O estudo de Windsor e colaboradores demonstra lacunas nos estudos de ACV e análise de risco à saúde humana no ciclo de vida de nanomateriais, dado o desconhecimento do impacto de nanopartículas no ambiente e para a saúde humana e dificuldade de estabelecer inventários de ciclo de vida adequados por falta de informações disponíveis. Apesar destas limitações, Feijoo e colaboradores as minimizam ao obter dados primários de experimentos laboratoriais, permitindo concluir qual dos processos de síntese de nanopartículas magnéticas analisados geram menos impactos ambientais adversos. Dada a importância do tema, observa-se a necessidade premente de que os processos de sintetização de nanopartículas sejam amplamente estudados e sirvam para estender as ACVs e decisões estratégicas para seleção de métodos ambientalmente adequados.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida; Nanotecnologia; Nanopartículas; Sustentabilidade.

<sup>1</sup> Mestrando em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia da Unesp Sorocaba, rafaelm\_valle@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Instituto de Ciência e Tecnologia da Unesp Sorocaba, gerson.medeiros@unesp.br

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve um grande avanço de estudos de nanotecnologia. De acordo com Alencar *et. al.* (2014), a nanotecnologia é o ramo da ciência focado no desenvolvimento de técnicas e processos para a preparação, caracterização e manipulação de materiais em escala nanométrica (tamanho inferior a 100 nanômetros).

O desenvolvimento e a evolução de novos materiais com estruturas em escala nanométricas é um desafio de crescente interesse ao redor do mundo. A redução estrutural permite a miniaturização das unidades funcionais, sistemas de propriedades únicas e o desenvolvimento de novos materiais (CARDOSO, *et. al.*, 2012). Estudos de Quina (2004) mostram que as nanopartículas exibem propriedades mecânicas, ópticas, magnéticas ou químicas distintas de partículas em escalas maiores (macroscópicas ou superiores).

Corroborando com o acima exposto, Alencar *et. al.* (2014) perceberam que a nanotecnologia tem grande o potencial para transformar a ciência e a indústria na área ambiental uma vez que estas alterações de propriedades das nanopartículas podem diminuir impactos ao meio ambiente e à saúde humana.

Uma forma de quantificar esta possível diminuição destes riscos é através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que tem o intuito de conhecer a cadeia produtiva de um produto e entender sua influência sobre o meio ambiente (WINDSOR, *et. al.*, 2018).

Dada a relevância dos temas, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma revisão bibliográfica para analisar estudos acadêmicos de ACV de processos de sintetização de nanopartículas.

## METODOLOGIA

Foi realizada uma busca de estudos científicos publicados entre 2010 e 2020 no banco de dados *Science Direct*, uma vez que se trata de uma plataforma confiável de periódicos científicos. Os termos de pesquisa (palavras-chaves e delimitadores) utilizadas, em várias combinações e tanto em português quanto em inglês, foram: ACV, análise do ciclo de vida, avaliação de sustentabilidade, nanotecnologia, nanopartículas e nanomateriais.

A partir das respostas obtidas na pesquisa e após a leitura dos diversos trabalhos acadêmicos

encontrados, foram selecionados dois estudos acadêmicos que abordam a ACV em processos de sintetização de nanopartícula, sendo eles:

1. FEIJOO, *et.al.* (2017): Avaliação comparativa do ciclo de vida de diferentes rotas de síntese de nanopartículas magnéticas<sup>1</sup>.
2. WINDSOR, *et.al.* (2018): Comparação de ferramentas para avaliação da sustentabilidade de nanomateriais<sup>1</sup>.

A partir dos estudos selecionados, são apresentados os resultados mais relevantes e as conclusões dos autores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de Windsor (*et.al.*, 2018) teve por objetivo fazer uma revisão bibliográfica e fornecer uma visão geral dos métodos atualmente usados para avaliar riscos e sustentabilidade no ciclo de vida nanomaterial. As duas ferramentas principais analisadas pelos autores foram: Avaliação de Risco (AR) e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Ao analisar as ACVs de fabricação de nanoprodutos, o estudo expõe que estes geralmente são limitados e omitem estágios ao longo do ciclo de vida do processo. Como os sistemas de avaliação de impacto no ciclo de vida não são específicos para nanomateriais e seus efeitos ecotoxicológicos, a análise dos impactos são dificultadas e que muitas vezes chegam a resultados inconclusivos. Outra limitação é com relação aos inventários de ciclo de vida, uma vez que muitos estudos sobre ACV de nanomateriais são baseados em dados genéricos, já que dados primários sobre processos não estão disponíveis abertamente.

Em termos das análises de estudos de AR, os autores observaram que a avaliação de toxicidade, riscos, efeitos e avaliação da exposição das nanopartículas na saúde humana ainda estão em desenvolvimento, o que indica que os dados quantitativos e confiáveis ainda estão distantes. Devido a estas grandes incertezas, as ARs de nanopartículas são realizadas com dados semi-quantitativos. Desta forma, os autores concluíram que uma maneira atualmente existente para minimizar esta falta de informações sobre os impactos humanos e ambientais é através da combinação das duas ferramentas (ACV e AR) para produzir Avaliações de Sustentabilidade do Ciclo de Vida, permitindo também a inclusão da variável

---

<sup>1</sup> Tradução do autor

econômica.

Diferentemente das análises de dados secundários realizadas por Windsor (*et.al.*, 2018), Feijoo (*et.al.*, 2017) buscaram analisar a ACV de preparação e síntese de nanopartículas magnéticas (mNPs) em quatro processos laboratoriais: (I) preparação estéril-estabilizada; (II) revestimento com polietilenimina (PEI); (III) precipitação com ácido oleico; e (IV) microemulsão reversa para revestimento com sílica. A unidade funciona definida para comparação das sínteses foi a quantidade de mNPs produzidas por lote (em mg). O Inventário de Ciclo de Vida foi construído com dados primários coletados em procedimento experimental (quantidade de matérias-primas, água, produtos químicos, etc.), complementados por dados secundários do banco de dados *Ecoinvent*® (2016) (produção dos produtos químicos, energia utiliza nos processos, transporte e tratamento de efluentes). O *software* SimaPro foi utilizado para a implementação dos inventários e os potenciais de impacto avaliados pelo método ReCiPe (método internacionalmente conhecido para a avaliação de impacto no ciclo de vida). A tomada de decisão considerou o equilíbrio entre o desempenho das nanopartículas como suportes para imobilização enzimática e os indicadores ambientais. Os autores apresentaram que os mNPs revestidos de sílica (método IV) são a opção mais confiável em relação aos outros suportes para imobilização enzimática, porém, os impactos ambientais associados à sua produção dificultam sua seleção como mais adequada. O uso de mNPs pelos métodos I e III são opções que apresentam limitações na eficiência de imobilização, apesar de baixo impacto ambiental. Já o método de preparação de mNPs revestidos com PEI (método II) apresentou resultados satisfatórios nos indicadores de imobilização enzimática e impacto ambiental.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de Windsor (*et.al.*, 2018) demonstra o grau de desconhecimento do impacto de nanopartículas a longo prazo no ambiente durante o uso e o descarte, o desconhecimento dos feitos no ambiente e na saúde humana e a incompletude de dados sobre a produção e uso de nanoproductos, dificultando a construção de inventários de ciclo de vida adequados. Este trabalho também destacou dois principais desafios atualmente encontrados com a aplicação da ACV aos nanoproductos: a falta de relatórios comparáveis e a indisponibilidade

de dados, implicando em incertezas associadas à estimativa dos impactos ambientais na síntese de mNPs. Apesar destas limitações, Feijoo (*et.al.*, 2017) conseguem minimizar estas três lacunas ao obterem dados primários, a partir de experimentos laboratoriais.

Dada a importância da ACV e de ferramentas que analisam a sustentabilidade de produtos ao longo do seu ciclo de vida, observa-se a necessidade premente de que os processos de sintetização de nanopartículas sejam amplamente estudados e sirvam para estender as ACVs e decisões estratégicas para seleção de métodos ambientalmente adequados.

Esta análise e percepção da lacunas, motivou o autor do presente resumo a iniciar seu projeto de pesquisa com o objetivo de realizar uma ACV e uma análise da ecoeficiência de dois processos de sintetização de nanopartículas de atrazina (herbicida altamente tóxico usado em grande escala no Brasil) pelos métodos de nanoprecipitação e dupla emulsão a partir de dados de um laboratório universitário de pesquisas químicas. Os estudos ainda estão em fase inicial, mas contribuirão significativamente para a escolha do melhor processo produtivo deste herbicida e para estimular a indústria, área acadêmica e público em geral a aprofundar estudos e análises sobre este tema.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, M. S. M., *et. al.*. A pesquisa brasileira dedicada à nanotecnologia e riscos à saúde e ao meio ambiente. **RECIIS – Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 288-299, set. 2014. DOI: <<https://www.reciis.icict.fiocruz.br/index.php/reciis/issue/view/38>>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- CARDOSO, J. C., *et.al.*. Preparação, caracterização e aplicação de eletrodos de nanotubos de TiO<sub>2</sub> auto-organizados na remoção de poluentes orgânicos. *In*: GRAEFF, Carlos (Org.). **Nanotecnologia: ciência e engenharia**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. (Coleção PROPE Digital - UNESP). ISBN 9788579833779. cap. 2, p. 53-82. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/123647>>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- FEIJOO, S.; *et.al.*. *Comparative life cycle assessment of different synthesis routes of magnetic nanoparticles*. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 528-538, 2017. ISSN 0959-6526. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616321424>>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- QUINA, F. H.. Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 27, n. 6, p. 1028-1029, dez. 2004. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422004000600031>>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- WINDSOR, *et. al.*. *Comparison of tools for the sustainability assessment of nanomaterials*. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 12, p. 69-75, 2018. ISSN 2452-2236. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452223617301190>>. Acesso em: 18 jul. 2020.