

## INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA SINTETIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE ATRAZINA PELO PROCESSO DE NANOPRECIPITAÇÃO E DUPLA EMULSÃO

Anna Caroline Araújo dos Santos<sup>1</sup>

Rafael do Valle Melo<sup>2</sup>

Prof. Dr. Gerson Araújo de Medeiros<sup>3</sup>

### Química Ambiental

#### *Resumo*

Apesar da sua toxicidade, a Atrazina (ATZ) é um dos herbicidas mais utilizados no Brasil. Estudos apontam que a liberação controlada de nanopartículas deste pesticida diminuem seus impactos ambientais negativos. Uma ferramenta para quantificar os impactos é a Análise do Ciclo de Vida (ACV). Há poucas informações de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) de nanopartículas de pesticida na literatura. O presente trabalho buscou desenvolver um ICV a partir de dois processos de sintetização de nanopartícula de ATZ pelos métodos de Nanoprecipitação e Dupla Emulsão. Os fluxogramas destes processos foram desenvolvidos, bem como a quantificação de entradas e saídas do sistema foi determinada. A partir destas informações e de premissas adotadas, com base na disponibilidade de dados, foi consolidado o ICV e o gasto energético de cada processo. Observou-se que o processo de Dupla Emulsão acumulou cerca de 30% a mais de energia comparado com o processo de Nanoprecipitação. Desta forma, há grandes indícios de que o processo de Dupla Emulsão possui um maior impacto ambiental na sua síntese. Destaca-se que, apesar deste estudo preliminar não ter sido conclusivo, ele representa um grande passo nas pesquisas de ACV de processos de síntese de nanopartículas utilizadas em sistema de liberação controlada de pesticida.

Palavras-chave: Pesticida; ATZ; Nanotecnologia; ICV; Sustentabilidade.

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental, Instituto de Ciência e Tecnologia da Unesp Sorocaba, carol-araujos@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestrando em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia da Unesp Sorocaba, rafaelm\_valle@hotmail.com

<sup>3</sup> Prof. Dr., Instituto de Ciência e Tecnologia da Unesp Sorocaba, gerson.medeiros@unesp.br

## INTRODUÇÃO

Um dos herbicidas mais utilizados no Brasil é a Atrazina (ATZ), mesmo apresentando risco pela sua toxicidade (GRILLO *et al.*, 2012).

Os estudos de Souza (*et al.*, 2012), Pereira (*et al.*, 2014) e Grillo (*et al.*, 2012), que desenvolveram nanopartículas poliméricas contendo ATZ como sistemas de liberação controlada para utilização na agricultura, demonstram que esta tecnologia é mais eficiente no combate às pragas e apresenta menor potencial de contaminação de ATZ, sendo mais seguros para os homens e ao meio ambiente do que o uso tradicional deste pesticida.

Para quantificar a redução de impactos desta tecnologia pode ser utilizada a Análise de Ciclo de Vida (ACV), que avalia potenciais impactos de um produto ou atividade, desde a obtenção da matéria prima ao descarte no meio ambiente (ABNT, 2009).

Dentre as etapas da ACV encontra-se a Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) que consiste na coleta de dados de entradas e saídas do processo/produto. Permitindo-nos quantificar os aspectos ambientais (emissões, energia e matéria prima utilizados) do sistema em análise. (DUTRA, 2018) Atualmente as avaliações de impacto empregadas para nanopartículas, principalmente para o seu processo de síntese, ainda possuem muitas incertezas devido à falta de dados de ICV. (SALIERI *et al.*, 2018).

Assim, este trabalho teve por objetivo realizar um ICV de dois processos de sintetização de nanopartícula de ATZ pelos métodos de Nanoprecipitação e Dupla Emulsão em um laboratório universitário de pesquisas químicas.

## METODOLOGIA

A estrutura metodológica da NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) recomenda que a ACV seja dividida nas seguintes quatro fases: (1) definição de objetivo e escopo, (2) análise de inventário, (3) avaliação de impacto e (4) interpretação.

Para determinação da etapa (2) – Análise do Inventário, primeiramente foi necessário estabelecer a sequência das etapas dos processos de sintetização de nanopartícula de ATZ pelos métodos de Nanoprecipitação proposto por Grillo (*et al.*, 2012) e de Dupla Emulsão proposto por Pereira (*et al.*, 2014). Para isto, foram acompanhadas as atividades

laboratoriais ocorridas na Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – Campus Sorocaba. Os dados desta etapa de análise foram organizados em forma de um Fluxograma de Processos e as entradas e saídas foram quantificadas, dentro do possível.

A título comparativo dos dois processos, a unidade funcional adotada foi a produção de 1mg de ATZ por mL de solução com Nanopartículas Partículas Lipídicas Sólidas (NLP). Para construção do inventário foram realizados dois balanços de massa dos processos. Os dados coletados foram tratados a fim de adequá-los à unidade funcional do sistema, permitindo que os processos sejam comparáveis. Os valores foram compilados em tabelas e, por fim, consolidados os inventários. O ICV elaborado avaliou os seguintes aspectos ambientais: consumo de água, reagente químicos, energia e geração de efluentes líquidos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após acompanhamento das atividades laboratoriais, observou-se que a síntese para obtenção de solução com NLP+ATZ a partir da Dupla Emulsão e da Nanoprecipitação consistem na mistura de uma fase orgânica com uma fase aquosa. Os dois métodos incluem no início do processo a agitação mecânica e no final do processo a rotoevaporação. A diferença principal dos processos, além das matérias-primas utilizadas, é que na dupla emulsão é contemplado o processo intermediário de agitação ultrassônica no sonicador. Deste mapeamento, foram elaborados os fluxogramas apresentados nas **Figuras 1 e 2**.

Os fluxogramas apresentam as etapas de cada um dos processos, apresentando as entradas à esquerda e as saídas à direita, além de apresentar os aspectos ambientais existentes.

Os destaques em vermelho representam as entradas em comum aos dois processos e que possuem valores de referência do banco de dados do EcoInvent (2019). As seguintes premissas foram assumidas para obtenção de valores de referência: considerou-se os valores de água deionizada para a entrada “água” e os valores de Tricloropropano para a entrada “Myritol”, visto que ambos são da família dos glicerídios e possuem comportamentos enérgicos similares. As representações em preto foram descartadas desta comparação inicial, pela falta de dados disponíveis no EcoInvent (2019), não sendo possível uma correta correlação do potencial de impacto ambiental presente em cada processo.

A partir dos fluxogramas, foram levantadas as informações quantitativas das atividades

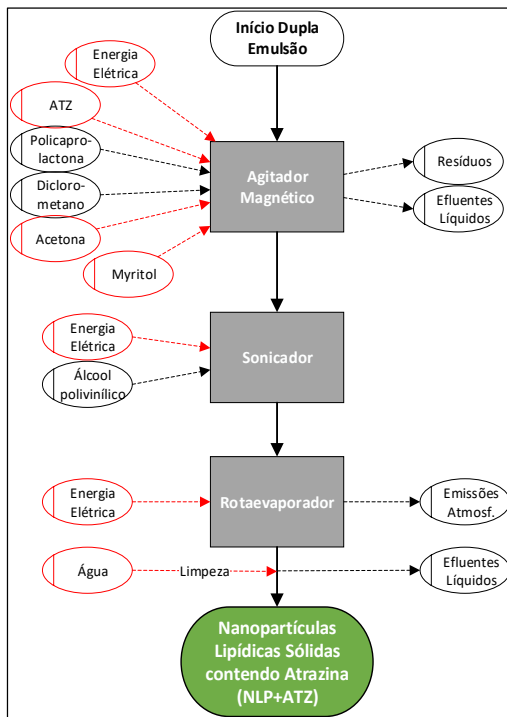


Figura 1: Fluxograma do Processo de Dupla Emulsão.

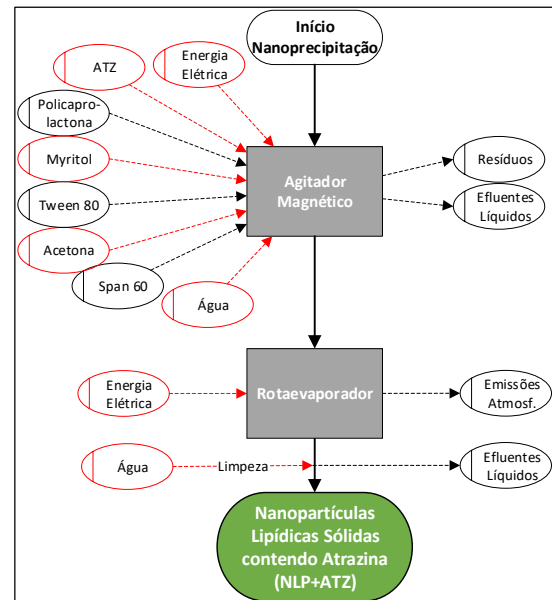


Figura 2: Fluxograma do Processo de Nanoprecipitação.

laboratoriais, considerando nesta primeira análise apenas os processos destacados em vermelho. As quantidades utilizadas foram convertidas em valores de referência com base na unidade funcional (mg ATZ / mL de Produto Final). Em seguida, utilizando o banco de dados do EcoInvent (2019), todos os valores foram convertidos em energia acumulada por etapa, sendo a unidade de medida final a Joule (J) de energia por mililitros (mL) de produto final (J En/mL ProdF), permitindo uma análise comparativa dos processos. A Tabela 1 apresenta os valores de referência do processo e de energia por cada entrada, compilados em um Inventário do Ciclo de Vida (ICV).

Tabela 1: ICV da Sintetização de Nanopartícula de ATZ pelos Métodos de Nanoprecipitação e Dupla Emulsão em Fator de Referência e em Energia Consumida

Aspectos Ambientais	Fator de Referência do Processo			Energia Consumida		
	Dupla emulsão	Nanoprecipitação	Unidade	Dupla emulsão	Nanoprecipitação	Unidade
ATZ	1,00	1,00	mg ATZ / mL ProdF	2,98	2,98	J En / mL ProdF
Acetona	1,00	3,00	mL Acet / mL ProdF	107,97	323,91	J En / mL ProdF
Myritol	20,00	20,00	mg Myr / mL ProdF	23.976,00	23.976,00	J En / mL ProdF
Energia elétrica	969.238,00	726.172,68	J En / mL ProdF	969.238,00	726.172,68	J En / mL ProdF
Água	785,00	783,00	mL Água / mL ProdF	73,48	73,29	J En / mL ProdF
<b>Solução de NLP+ATZ (ProdF)</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>mg ATZ / mL ProdF</b>	<b>993.398,43</b>	<b>750.548,85</b>	<b>J En / mL ProdF</b>

A Tabela 1 mostra que o método de Dupla Emulsão acumula cerca de 30% a mais de energia

(J) por mL de solução de NLP+ATZ comparado com a Nanoprecipitação. Um dos motivos que pode justificar está diferença energética é a existência de uma etapa a mais (sonicador) no processo de Dupla Emulsão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme observado, há grandes indícios que o processo de Dupla Emulsão possua maior impacto ambiental na sua síntese, pois acumula 30% a mais de energia que o processo de Nanoprecipitação. Entretanto, é importante destacar que alguns produtos químicos não foram considerados nos dois processos. Apesar deste estudo preliminar não ser conclusivo por este motivo, ele representa um grande passo nas pesquisas de ACV de processos de síntese de nanopartículas utilizadas em sistema de liberação controlada de pesticida. Como futuro desenvolvimento, pretende-se estabelecer um novo ICV a partir de outros bancos de dados, buscando abranger todas as entradas e saídas dos processos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. (ABNT NBR ISO 14040:2009 Versão Corrigida: 2014).
- DUTRA, A.C. Impactos ambientais de uma unidade agropecuária estimados pela Avaliação de Ciclo de Vida. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/153665>>. Acesso: 08.ago.2020.
- ECOINVENT. Selected Database: version 3.6 (2019). Ecoinvent Association. Disponível em: <<https://v36.ecoquery.ecoinvent.org/Home/Index>>. Acesso: 04.jul.2020.
- GRILLO, R.; *et. Al.*. Poly( $\epsilon$ -caprolactone) nanocapsules as carrier systems for herbicides: Physico-chemical characterization and genotoxicity evaluation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 231-232, p. 1-9, 2012. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.06.019>>. Acesso: 27.jun.2020.
- SALIERI, B. *et. al.*. Life cycle assessment of manufactured nanomaterials: Where are we? **Elsevier Enhanced Reader**, Switzerland, v. 10, p. 108-120, 2018. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.impact.2017.12.003>>. Acesso em: 29.jun.2020.
- SOUZA, P. M. S. *et. al.*. Desenvolvimento de nanocápsulas de poli- $\epsilon$ -caprolactona contendo o herbicida atrazina. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 132-137, 2012. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000100024>>. Acesso: 26.jun.2020.
- PEREIRA, A. E. S. *et. al.*. Application of poly( $\epsilon$ -caprolactone) nanoparticles containing atrazine herbicide as an alternative technique to control weeds and reduce damage to the environment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 268, p. 207-215, 2014. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.01.025>>. Acesso: 29.jun.2020.