

Os Prováveis Impactos da Nanotecnologia no Meio Laboral e Ambiental

Silva, E. L. S* Almeida, L. D.* Tomaz, S. I. S.* Hernandez, R. B.*

*Engenharia Química no Centro Universitário das Américas – FAM, São Paulo, SP.

Resumo. A indústria de nanoproductos tem crescido consideravelmente nos últimos anos devido ao avanço no uso da nanotecnologia em cosméticos, eletrônicos, medicamentos e tantos outros produtos do nosso dia-a-dia. Essa técnica vem sendo estudada há alguns anos por cientistas, pois, a manipulação desses nanomateriais não possuem ainda uma legislação vigente, que rege e disciplina os cuidados e o uso dessa ferramenta com potencial inovador. Há, no presente momento, uma preocupação com os danos que o descarte incorreto podem causar ao meio ambiente. Além disso, a saúde dos funcionários que atuam diretamente com esses nanomateriais pode ser afetada devido à exposição, contato e falta de regulamentação. De acordo com estudos científicos, este artigo apresenta os prováveis riscos à saúde e ao meio ambiente com exposição de nanopartículas, além de enfatizar a ausência de normas que regulamentam o uso de nanopartículas em nanomateriais.

Palavras-chave. *Nanotecnologia, nanopartículas, regulamentação, seres vivos, meio ambiente.*

Abstract. The nanoproducts industry has grown considerably in recent years due to the advance in the use of nanotechnology in cosmetics, electronics, medicines and many other products in our daily lives. This technique has been studied for some years by scientists, because the manipulation of these nanomaterials doesn't have current legislation yet, which governs and disciplines the care and use of this tool with innovative potential. There is, at present, a concern with the damage that incorrect disposal can cause to the environment. Furthermore, the health of employees who work directly with these nanomaterials can be affected due to exposure, contact and lack of regulation. According to scientific studies, this article presents the likely risks to health and the environment with exposure to nanoparticles, in addition to emphasizing the absence of norms that regulate the use of these substances.

Keywords. *Nanotechnology, nanoparticles, regulation, living beings, environment.*

Introdução. A nanotecnologia, pode ser definida como uma técnica que é capaz de manipular a matéria através dos átomos (1), sendo que, o prefixo “nano” significa uma escala de um bilionésimo de metro ($1,0 \times 10^{-9}$). Segundo *U.S National Nanotechnology Initiative* (NNI), a nanotecnologia pode ser definida como a capacidade de estudar, compreender e sintetizar

partículas em escala de um e 100 nanômetros, possibilitando assim novas utilidades para esses materiais (2).

O estudo da nanotecnologia ou nanociência ganhou força a partir de 1959 quando o físico Norte Americano Richard Phillips Feynman proferiu para a sociedade americana de física a palestra que ficou conhecida como “*There's a plenty of room in the bottom*” onde introduziu a ideia da manipulação atômica e molecular para criação de novos materiais. Após 1959, eventos definiram de vez a importância da nanotecnologia para avanço nas diversas áreas. Um deles foi o descobrimento feito por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer (1981), um equipamento nomeado como Microscópio de tunelamento com varredura STM (Scanning Tunneling Microscope), capaz de obter imagens a nível molecular e atômico com seu condão de aumentar 100 milhões de vezes o tamanho de uma imagem o que deu a seus inventores cinco anos depois o tão cobiçado prêmio Nobel de física. Tempos depois em 1980 foi descoberto pelo cientista francês Pierre Aigrain os Quantum Dots ou Pontos Quânticos (QD), nanopartículas com uma capacidade de confinamento quântico absurda que lhes garante propriedades ópticas controláveis com base no seu tamanho, com os estudos em nanotecnologia a todo vapor já era de se esperar que 5 anos depois da grande descoberta dos QD teríamos uma descoberta ainda maior, os fulerenos ou Buckyballs como é conhecido pela comunidade científica, são nanopartículas compostas por inúmeros carbonos, muito estáveis e versáteis, ideal para nanotransporte de fármacos, contraste para exames de imagem, atividades antimicrobiana e aplicações eletrônicas (3).

Os nanomateriais, são definidos como: “substâncias químicas ou materiais cujas partículas têm um tamanho entre um e 100 nanômetros (nm) pelo menos numa dimensão.”. Os nanomateriais podem ser utilizados em diversas áreas e estão presentes em praticamente todos os setores e categorias industriais, podendo-se destacar o Alimentício, Farmacêutico, Meio ambiente e o de Saúde, como aqueles que mais utilizam nanotecnologia para aprimoramento de suas atividades (4).

Materiais e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido através de um estudo bibliográfico, realizada entre o período de 2019 a 2020, com base em algumas fontes de dados como: USP, Google Academic, SCIRUS, ScieLo e Web of Science, além de TCC (Trabalho de Conclusão de Curso), dissertação de mestrado e tese de doutorado. Na pesquisa, foram consultados artigos de pesquisa e de revisão bibliográfica, revistas acadêmicas e internet, acerca do tema nanopartículas e nanotoxicidade a fim de construir esse estudo os impactos causados por materiais em escala nano. No âmbito de congressos, houve a participação na XVI edição do Seminário Internacional Nanotecnologia, Sociedade e Meio ambiente (Seminanosoma), junto com o I Seminário Internacional de Nanotecnologia, Desenvolvimento e Trabalho 4.0 (I Senano), realizado na Sede da Procuradoria Regional do Trabalho da 2ª. Região, em novembro de 2019.

Fundamentação Teórica

No Brasil existem normas jurídicas nacionais e internacionais que apresentam parâmetros normativos sobre alguns aspectos relacionados à nanotecnologia (5). Dentre eles, o Princípio da Precaução, cuja definição, dada em 14 de junho de 1992 na Conferência RIO 92, diz ser a garantia contra os riscos potenciais que ainda não podem ser ainda identificados. Ele mostra-se como único caminho para prevenção, pois afirma que alguns fatores devem levar à implementação de medidas que possam prever o dano, sendo elas: ausência da clareza científica normal, a existência de um risco dano sério ou irreversível (6).

Pode-se dizer que existem três potências no mercado que firmam a nanotecnologia. O primeiro são os consumidores, pois são eles que devem entender o potencial de risco que estão sendo expostos, para isso devem ser feitas campanhas de conscientização em massa; segundo o governo fiscalizador, estudando e impondo regulamentos ou propondo normas que prezem pela saúde e segurança de todos os expostos nos processos, e cobrando as empresas para que os sigam; por último, mas não menos importante, a responsabilidade social das organizações, que é quando as empresas compelem critérios de segurança, para melhoria do processo e dos produtos, protegendo consumidores e colaboradores (7).

Alguns estudos mostraram que a nanotecnologia apresenta pontos tóxicos impactando no sistema cardiorespiratório que podem ser demonstrados em longo prazo, e que essas podem apresentar comportamentos diferentes em distintas partes do corpo, e em diferentes organismos podem agir de formas distintas (8). Mesmo não servindo como caso sentinela, cientistas chineses informam que um acidente em uma fábrica de tinta na China fez vítima sete mulheres que trabalhavam nesta, duas morreram e cinco tiveram danos cardiorrespiratórios permanentes (9). Na Tabela 1, podemos observar a idade, o tempo de exposição e o dano causado pela exposição a nanomateriais.

Tabela 1 - Acidente em fábrica de tintas chinesa (10).

CASO	IDADE	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	DESFECHO
1	29	13 meses	Morte
2	47	11 meses	Estabilizada
3	18	13 meses	Estabilizada
4	29	12 meses	Estabilizada
5	19	10 meses	Morte
6	35	10 meses	Estabilizada
7	28	5 meses	Estabilizada

Algumas tentativas na construção de processos que tivessem como proposta a tentativa de avaliar os nanoprodutos e sua toxicidade foram desenvolvidas ao longo dos anos (11). JESUS, CASTRO e ASSIS (12) propuseram um fluxograma (Figura 1) que define a avaliação de risco de uma nanopartícula por rotas que descrevem as suas propriedades e quais as decisões a serem tomadas a partir destas.

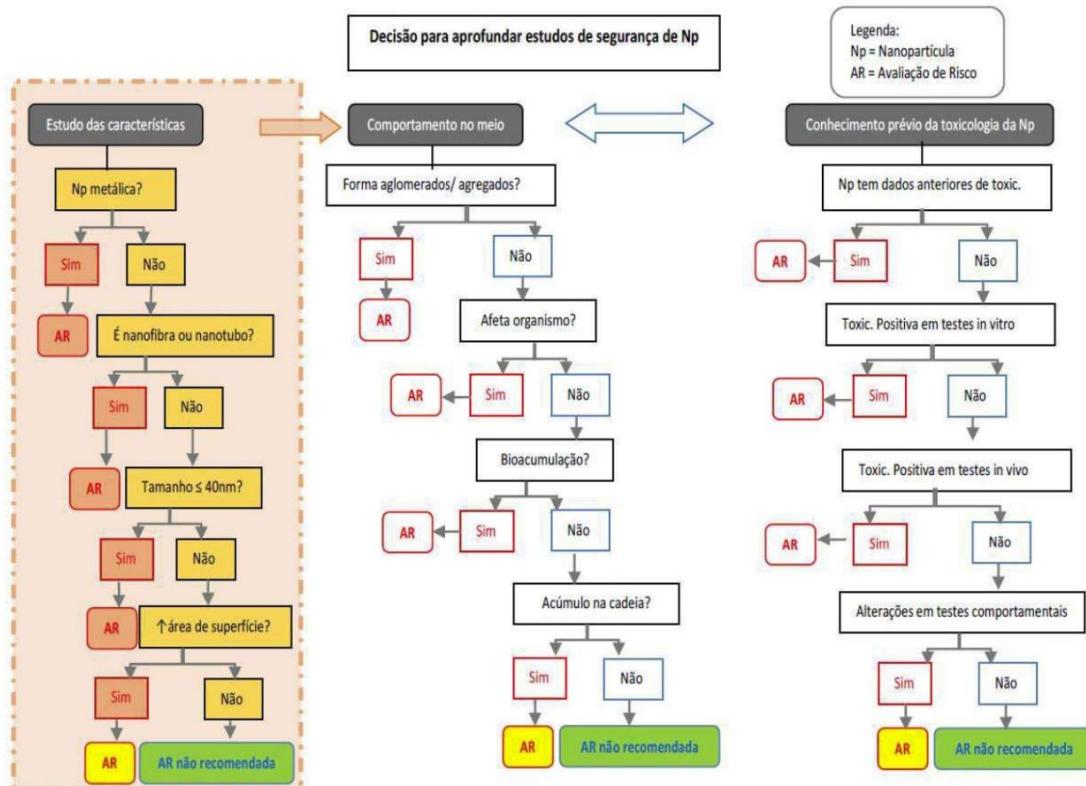


Figura 1 - Fluxograma para o estabelecimento de decisão para avaliação de risco de nanoprodutos (12).

Ao passar dos anos, os seres humanos perceberam a importância de desenvolver produtos que não prejudicam a natureza. Com a nanotecnologia não está sendo diferente. Quando o tema vem à tona, têm de se analisar a produção e o descarte, que podem atingir diretamente o solo, o sistema aquático e a atmosfera, além de terem a possibilidade de entrar em contato com os seres vivos e como podem afetá-los (13).

A Figura 2 apresenta as principais alternativas de descarte das nanopartículas e nanoprodutos que são utilizadas para os demais tipos de materiais, as vias de exposição e como podem atingir o solo, a água, a atmosfera e os seres humanos. A Figura 3 lista as principais doenças relacionadas aos seres humanos quando estes são expostos a quantidades significantes de nanopartículas.

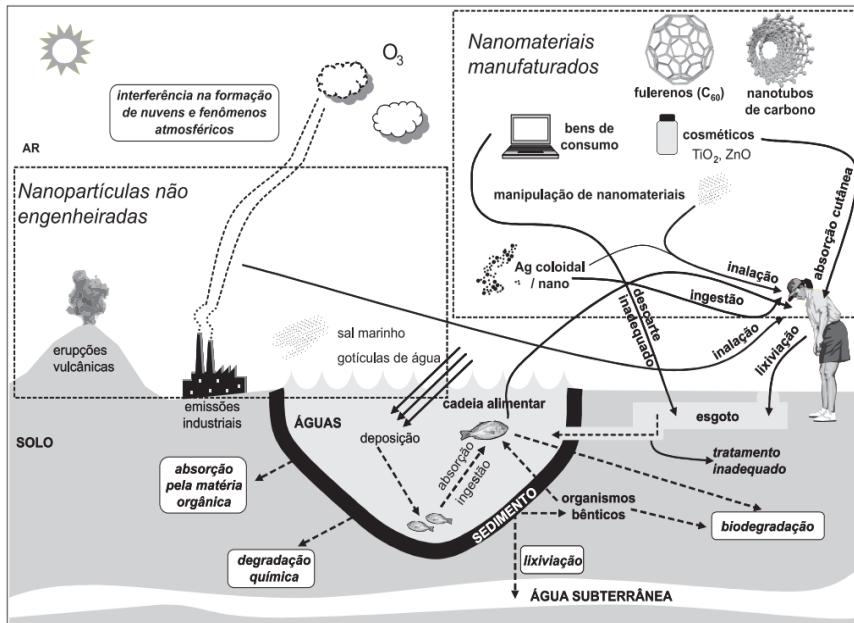


Figura 2 - Meio ambiente e organismos vivos, principais rotas das nanopartículas (13).

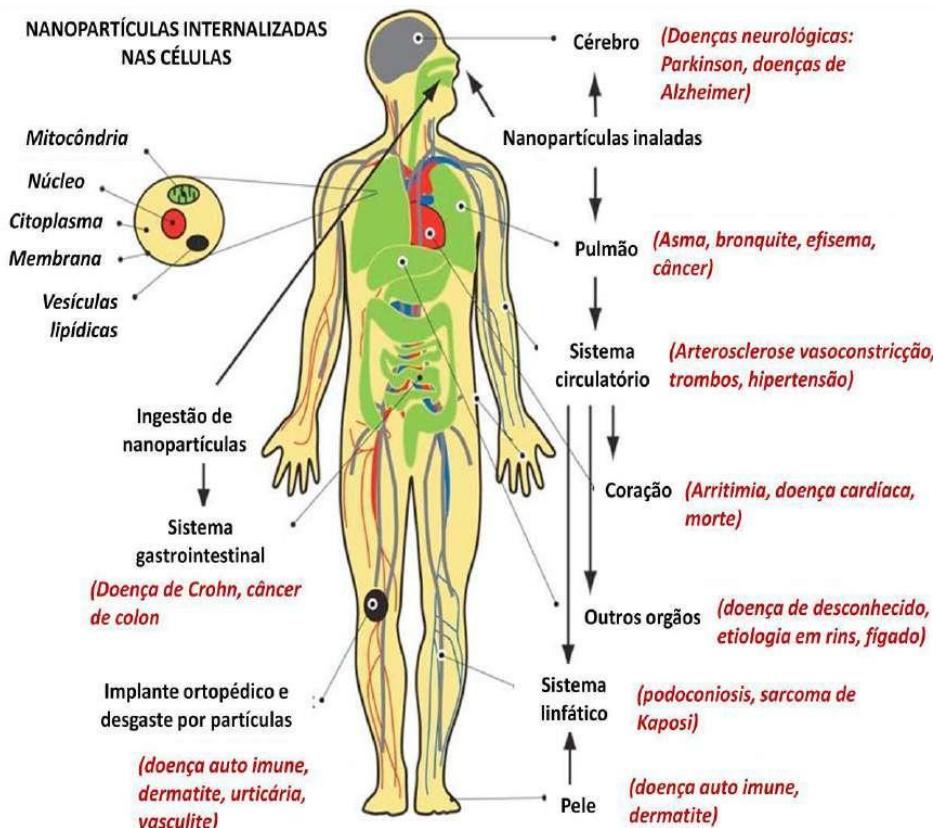


Figura 3 - Corpo humano com as principais vias de exposão e doenças relacionadas (14).

As figuras apresentadas descrevem como a saúde do ser humano pode ser afetada pela fabricação ou descarte indevido deste tipo de material. Com isso, para que fique evidente a relação entre meio ambiente e seres humanos no âmbito de possíveis problemas, estudos apontam que os possíveis causadores, ou influenciadores, da elevada toxicidade das nanopartículas quando expostas ao meio ambiente e em contato com os seres vivos são: Tamanho, fator de aglomeração, pureza, forma, solubilidade, cristalinidade, área superficial, biodegradabilidade, cestabilidade, via de exposição, composição e dose administrada (15, 16, 12, 18).

Diante deste contexto estudos In Vivo foram desenvolvidos para simular o mecanismo de funcionamento de uma nanopartícula quando em contato com o organismo, para tal podemos analisar o estudo de Heejae Han e colaboradores (2016), onde o objetivo foi identificar e avaliar os efeitos tóxicos pulmonares de nanopartículas de Sílica em Murganhos (roedores), por via intra-nasal (administração dentro do nariz), no estudo ficou comprovado que o pulmão dos Murganhos sofreu reação inflamatória, essa conclusão foi obtida observando-se uma elevação na quantidade de células inflamadas no pulmão e também pelos elevados níveis de produção das Citosinas, podendo vir a causar fibroses pulmonares e agravamento de doenças crônicas como asma, bronquite, rinite e outros. Em um segundo estudo realizado por Monika Kumari e colaboradores (2014), observaram os efeitos das nanopartículas de Óxido de Cério no fígado. Segundo as análises histopatológicas os Murganhos apresentaram elevados índices de lactato desidrogenasse (LDH) sugerindo doenças renais, hepáticas, anemias severas dentre outras complicações nos rins, também apresentaram elevados índices de Fosfatase alcalina (ALP) enzima hepática que nos sugere hepatite vírus ou presença de produtos tóxicos e insuficiência renal, e também uma alta taxa de glutamina (GSH) o que sugere um desequilíbrio na função oxidante-antioxidante do fígado (20), comprovou-se que a exposição a nanopartículas de dióxido de Titânio trouxe danos ao baço e diminuições significativas de globos brancos e vermelhos no sangue dos roedores causando anemia, palidez, hemorragias e enfraquecimento do sistema imunológico, além de acumulo de nanopartículas no baço. Por último comprovou-se através dos experimentos In Vivo de Heejae Han et al, que as nanopartículas de sulfeto de Cádmio em contato com os rins aumentam a lipoperoxidação que leva a perda das trocas metabólicas e possível morte celular, com as amostras da urina ficou claro o aumento na creatina sugerindo problemas renais, a fosfatase alcalina se encontrava em concentrações baixas indicando problemas no fígado, identificou-se ainda um estresse oxidativo que nada mais é do que um desequilíbrio entre a geração de compostos oxidantes e a resposta do organismo de defesa com a produção de substâncias antioxidantes. Com base nos estudos bibliográficos apresentados podem ser verificados que as nanopartículas possuem altos potenciais tóxicos nos roedores, sugerindo que no organismo humano podemos ter as mesmas reações adversas.

Conclusão

Neste artigo a nanotecnologia foi o objeto de aprofundamento. Foram discorridos sobre seu histórico, aplicações, crescimento, riscos e regulamentação. A discussão principal está em torno da ausência de normativas e legislações ligadas a nanosegurança, ciência que tem como pressuposto assegurar a aplicações e uso das nanopartículas, no estudo e, houve um foco no impacto que causam quando em contato com o organismo humano e/ou descarte inapropriado no meio ambiente.

Os estudos experimentais In Vivo abordados neste artigo mostram que de fato as nanopartículas são prejudiciais quando em contato com o meio ambiente e com organismo humano, seja por meio da inalação, absorção em nível celular, ingestão e assimilação através de superfícies epiteliais externas ou outros. O método de regulamentação, que hoje é utilizado, se mostra ineficiente para nanoproductos uma vez que por se tratar de escala nano a matéria ganha novas propriedades. Com isso, temas como nanotoxicologia e nanotoxicidade vêm ganhando espaço no mundo de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Apesar das incertezas, desinformações e falta de estudos técnico em torno da nanotecnologia, ela tem se mostrado muito promissora e promete alterar o cenário dos materiais contemporâneos. A revolução de maneira correta, planejada e estudada pode gerar frutos com que a humanidade usufruirá por um longo tempo, porém, se a revolução for irregular, poderão ocorrer consequências.

Desta forma deixamos como proposta que os países mobilizem mais esforços e verba para iniciativas de aceleração no que diz respeito à normatização e regulamentação em paralelo desenvolvam guias e recomendações para nortear as indústrias, pesquisadores e cientistas; além disso, devem se estabelecidas leis que obriguem as industriais a rotular seus nanoproductos para que deixe os consumidores cientes dos riscos, assim como instruções e regras para um descarte seguro de resíduos que contenham as nanopartículas, especialmente nas produções em escala industrial.

Referências

- (1) Quina, F. H. NANOTECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE: PERSPECTIVAS E RISCOS. SciELO [Internet]; 2004 [citado em 26 de novembro de 2019]. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422004000600031&script=sci_arttext .
- (2) Lazzaretti LL, Hupffer HM. NANOTECNOLOGIA: O OLHAR DA CIÊNCIA SOBRE A TOXICIDADE E OS PONTEIAIS RISCOS DESSES PRODUTOS. Revista Conhecimento Online. Outubro de 2018; v. 3, n. 1: 79-100.
- (3) Alves, O. L. NANOTECNOLOGIA, NANOCIÊNCIA E NANOMATERIAIS: QUANDO A DISTÂNCIA ENTRE PRESENTE E FUTURO NÃO É APENAS QUESTÃO DE TEMPO. Parcerias Estratégicas [Periódico]; 2004 [citado em 22 de setembro de 2020]. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/138/132 .
- (4) *Europen Union Observatory Nanomaterials*. NANOMATERIALS. Parcerias Estratégicas [Internet]; 2020 [citado em 14 de julho de 2020]. Disponível em: <https://euon.echa.europa.eu/general-information> .
- (5) Nolasco LG, Dos Santos N. AVANÇOS NANOTECNOLÓGICOS E OS DESAFIOS REGULAMENTARES. Revista da Faculdade de Direito Universidade Federal de Minas Gerais. Dezembro de 2017; v. 71, n. 1: 375-420.
- (6) Goldim, J. R. O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO. Bioética UFRGS [Internet]; 2002 [citado em 23 de agosto de 2020]. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/bioetica/precau.htm> .
- (7) Oliveira, A. L. M.; Berti, L. A.; De Rolt, C. R. NANOSEGURANÇA NA PRÁTICA. Editoria Fundação CERTI [Internet]; 2017 [citado em 16 de julho de 2020]. Disponível em: <http://www.redemtnanoagro.com.br/wp-content/uploads/2018/08/livro-nanosseguranca-2017.pdf> .
- (8) Universidade de São Paulo. NANOTECNOLOGIA: A OUTRA FACE DA MOEDA. Escola Politécnica [Internet]; 2011 [citado em 21 de novembro de 2019]. Disponível em: <https://www.poli.usp.br/noticias/835-nanotecnologia-a-outra-face-da-moeda.html> .
- (9) Reuters. ESTUDO CHINES DOCUMENTA MORTES POR NANOTECNOLOGIA. Estadão [Internet]; 2009 [citado em 21 de novembro de 2019]. Disponível em: <https://ciencia.estadao.com.br/noticias/geral,estudo-chines-documenta-mortes-por-nanotecnologia,421451> .
- (10) Fundacentro, Ministério Público do Trabalho e Renanosoma. XVI edição do Seminário Internacional Nanotecnologia, Sociedade e Meio ambiente (Seminanosoma), junto com o I Seminário Internacional de Nanotecnologia, Desenvolvimento e Trabalho 4.0 (I Senano); 2019 26 a 29 de setembro; São Paulo, SP, Brasil; 2019.
- (11) Hansen, SF, Boldrin, A, Baun, A, Hartman, NIB.; Astrup, TF. ENVIRONMENTAL EXPOSURE ASSESSMENT FRAMEWORK FOR NANOPARTICLE IN SOLID WASTE. V. Maio de 2014; v. 16, n. 6.

- (12) Jesus, K. R. E.; Castro, V. L. S. S.; Assis, O. B. G. ANÁLISE INTEGRADA DOS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA AMBIENTAL DOS NANOPRODUTOS. ANAIS VII Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio [Internet]; 2014 [citado em 22 de junho de 2020]. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1005559/1/Analiseintegradascriteriosdesegurancaambientaldosnanoprodutos..pdf> .
- (13) Paschoalino MP, Marcone GPS, Jardim WF. Os nanomateriais e a questão ambiental. SciELO [Internet]; 2010 [citado em 27 de julho de 2020]. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000200033 .
- (14) Nolasco LG. REGULAMENTAÇÃO JURÍDICA DA NANOTECNOLOGIA [Tese de Pós-Graduação]. [Goiânia]: Universidade Federal de Goiás; 2016. 417 p.
- (15) Buzea C, Pacheco II, Robbie K. NANOMATERIALS AND NANOPARTICLES: SOURCES AND TOXICITY. Springer [Internet]; 2007 [citado em 02 de junho de 2020]. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.11116/1.2815690.pdf> .
- (16) CARVALHO RV. Nanotoxicologia: segurança no uso de nanopartículas [Trabalho de Conclusão de Curso]. [Porto Alegre]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2011. 51 p.
- (18) Ladeira RMP. Nanotoxicologia: Uma área emergente [Tese de mestrado]. [Coimbra]: Faculdade de Farmácia – Universidade de Coimbra; 2019. 59 p.
- (19) Han, H.; Park, Y. H.; Park, H. J.; Lee, K.; Park, J. W.; Lee, J. H. TOXIC AND ADJUVANT EFFECTS OF SILICA NANOPARTICLES ON OVALBUMIN-INDUCED ALLERGIC AIRWAY INFLAMMATION IN MICE. Springer [Internet]; 2016 [citado em 17 de julho de 2020]. Disponível em: <https://respiratory-research.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12931-016-0376-x> .
- (20) Kumari, M.; Kumari, S. I.; Kamal, S. S. K.; Grover, P. GENOTOXICITY ASSESSMENT OF CERIUM OXIDE NANOPARTICLES IN FEMALE WISTAR RATS AFTER ACUTE ORAL EXPOSURE. Springer [Internet]; 2014 [citado em 17 de julho de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383571814002587> .
- (21) Rana, K.; Verma, Y.; Rani, V.; Rana, S. V. S. RENAL TOXICITY OF NANOPARTICLES OF CADMIUM SULPHIDE IN RAT. National Library of Medicine [Internet]; 2018 [citado em 17 de julho de 2020]. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29128560/> .