

Avaliação do Potencial de Dano Ambiental e na Saúde Humana na Descontaminação do Solo por Nanoremediação – uma Revisão

Evaluation of Potential Environmental and Human Health Damage in Soil Descontamination by Nanoremediation – Short Review.

Robson Passos, J. Santos Baptista, William Weissmann and Antônio Fiuza
FEUP

1. INTRODUÇÃO

Anualmente, de uma produção mundial de bilhões de toneladas de petróleo, milhões delas contaminam o meio ambiente. Dados estatísticos indicam que para cada mil barris de petróleo produzido, um é despejado no meio ambiente. As indústrias de petróleo estão, diariamente, convivendo com impactos ambientais causados por vazamentos, derrames, e acidentes durante a exploração, refinamento, transporte e operações de armazenamento do petróleo e seus derivados (CETESB, 2012a; Corseuil & Marins, 1997). Cada vez mais, o ambiente é exposto ao petróleo e seus derivados, à medida que são descobertos novos campos de extração ou são inauguradas indústrias de refinação ou postos de armazenamento (CETESB, 2012b). Esta atividade é considerada uma das maiores ameaças ao meio ambiente, pois em toda a cadeia produtiva há a possibilidade de contaminação do ar, das águas superficiais e subterrâneas e dos solos, por uma gama de compostos altamente poluentes (CETESB, 2012b; Tiburtius & Zamora, 2004)

Tecnologias emergentes como as nanotecnologias têm sido incorporadas às tecnologias ambientais atualmente disponíveis e podem ser aplicadas para a remediação de uma grande variedade de contaminantes, promovendo redução nos custos e maior eficiência de remediação. Recentemente, houve aumento nos investimentos em nanotecnologia para proteção ambiental, com seu uso sendo direcionado, principalmente, à prevenção da poluição e no tratamento e descontaminação de áreas contaminadas (Karn *et al.*, 2011). Essas tecnologias podem apresentar uma série de vantagens quando comparadas aos métodos tradicionais de remediação, no entanto, foram realizados poucos estudos de avaliação dos seus potenciais riscos para o ambiente, o que leva a algumas incertezas sobre a utilização desse tipo de tratamento (Karn *et al.*, 2011). Diferentes materiais em nanoescala têm sido utilizados para recuperação de áreas contaminadas, tais como zeólitos, óxidos metálicos, nanofibras e nanotubos de carbono, enzimas, vários metais nobres [principalmente cromo, nanopartículas bimetálicas (BNPS)] e dióxido de titânio. Destes, o ferro zero-valente em nanoescala (nZVI) é atualmente o mais utilizado (Karn *et al.*, 2011). Os dados disponíveis indicam que ainda é limitado o conhecimento dos fatores e processos ligados ao impacto das nanopartículas, mas sabe-se que este é determinado por uma variedade de propriedades, incluindo: potenciais de dissolução e agregação, propriedades da superfície das partículas, dimensão, área superficial, características do meio de exposição e os organismos, em análise etc. (Dhawan *et al.*, 2006). Uma gama de efeitos ecotoxicológicos de vários nanomateriais manufaturados tem sido relatada, incluindo estresse oxidativo em micro-organismos, plantas, invertebrados e peixes (Boxall *et al.*, 2007; Lovern *et al.*, 2007; Adams *et al.* 2006; Oberdörster *et al.*, 2006; Fortner *et al.*, 2005). Este trabalho cumpre etapa parcial de projeto mais amplo, de avaliação de danos potenciais à saúde ambiental e humana na remediação com nanopartículas de solos contaminados por hidrocarbonetos. O objeto foi a realização de uma revisão narrativa sobre os principais nanomateriais utilizados. O que se pretende fazer, em fase posterior, é ampliar a busca pelos nanomateriais usados e os motivos de sua escolha e tentar responder a várias questões, tais como, há nanomateriais específicos, mais adequados, a classes diferentes de hidrocarbonetos? Quais os motivos destas adequações?

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada revisão narrativa em livros, artigos de revistas impressas ou eletrônicas sobre remediação de solos impactados por hidrocarbonetos com uso de nanomateriais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados iniciais mostraram que os diferentes materiais têm sido utilizados em processos de nanoremediação tais como zeólitos em nanoescala, óxidos metálicos, nanotubos e fibras de carbono, enzimas, vários metais nobres [principalmente como nanopartículas bimetálicas (BNPS)] e dióxido de titânio. Por possuírem um pequeno tamanho, apresentam uma maior mobilidade, permanecendo em suspensão por um longo período de tempo. Dos nanomateriais citados, o ferro zero-valente em nanoescala (nZVI) é atualmente o mais utilizado (Karn *et al.*, 2011). As nanopartículas de ferro possuem grande área de contato, são redutoras eficientes de uma grande quantidade de contaminantes, possuindo, pelo geral, maiores taxas de descontaminação. Além disso, apresentam uma grande flexibilidade para aplicações *in situ* e *ex situ* podendo, ser injetadas diretamente em solos contaminados. Por ser um forte agente redutor, o ferro atua na redução de uma série de compostos, tais como em metano clorados, benzeno clorados, pesticidas, metais pesados, trihalometanos, corantes orgânicos, dioxinas, PCB's, hidrocarbonetos entre outros, tornando-os menos tóxicos ou isentos de toxicidade (Saccoccio *et al.*, 2010). O nZVI corresponde a uma gama de partículas de 10 a 100 nm de diâmetro. Tipicamente, um metal nobre (por exemplo, paládio, prata, cobre) pode ser adicionado como um catalisador. O segundo metal catalítico cria uma sinergia entre si e o Fe e também ajuda na distribuição das nanopartículas e mobilidade uma vez injetado no subsolo. Estes BNPS podem conter mais de dois metais diferentes. O segundo metal é geralmente menos reativo e acredita-se que promovem a oxidação de Fe ou de elétrons transferidos. Dentre os metais

nobres, particularmente, o paládio pode catalisar, produzir descloração e hidrogenação, tornando a remediação mais eficiente. Como exemplo de aplicação, cita-se o uso de Pd-nZVI em derramamento de óleo, em solo, no Alasca. Óxidos nanométricos (principalmente, cálcio) foram utilizados *in situ* para limpar derramamentos de óleo para aquecimento de reservatórios subterrâneos.

4. CONCLUSÕES

Atividades de exploração de petróleo têm sido uma das maiores ameaças ao meio ambiente, com consequências à segurança e saúde humanas. Na tentativa de mitigar seus impactos produzidos por acidentes, novas tecnologias têm sido utilizadas. Nos processos de remediação de solos, nanopartículas têm sido empregues, apresentando uma vantagem em relação a outros métodos. A nanoremediação não apenas tem o potencial de reduzir os custos gerais da limpeza de locais contaminados em grande escala, como também diminuir o tempo de limpeza, eliminar a necessidade de tratamento e descarte de solo contaminado e levar algumas concentrações de contaminantes a níveis próximos a zero, tudo isso *in situ*. No caso específico de contaminação de solo por hidrocarbonetos, os resultados iniciais da revisão indicaram o uso de nanopartículas de paládio (Pd) associado ao ferro zero valente (nZVI) e o de nanopartículas de óxidos, principalmente de cálcio, como passíveis de uso em processos de nanoremediação.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade do Porto, e às seguintes instituições brasileiras: Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco-Brasil e Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Adams LK, Lyon D.Y & Alvarez PJJ. (2006). Comparative ecotoxicity of nanoscale TiO₂, SiO₂ and ZnO water suspensions. *Water Research*, 40:3527–3532..
- Boxall Aba, Tiede K & Chaudhry Q. (2007). Engineered nanomaterials in soils and water: how do they behave and could they pose a risk to human health? *Nanomedicine*, 2(6):919–927..
- CETESB – (2012). Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. *Áreas Contaminadas*. São Paulo: CETESB 2012a. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/areas.asp. Acesso em 16 set 2012.
- CETESB – (2012). Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental *Vazamentos de Óleo*. São Paulo: CETESB 2012b. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/vazamento.asp>. Acesso em 17 set 2012.
- Corseuil HX & Marins, MDM. (1997): Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O Problema É Grave? *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, 2(2): 50-54.,
- Dhawan A, Taurozzi JS & Pandey AK. (2006) Stable colloidal dispersion of C60 fullerenes in water: evidence for genotoxicity. *Environmental Science and Technology*, 40:7394–7401.,
- Karn B, Kuiken T & Otto M. A (2011). nanotecnologia e a remediação *in situ*: uma revisão dos benefícios e riscos em potencial. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16(1): 165-178.,
- Lovern SB, Strickler JR & Klaper R. (2007). Behavioral and physiological changes in *Daphnia magna* when exposed to nanoparticle suspensions (titanium dioxide, nano-C60 and C60HxC70Hx). *Environmental Science and Technology*, 41(12):4465–4470,
- Mothé GC & Ambrósio MCR. (2007). Impactos Ambientais do Derramamento de Petróleo. *Revista TN Petróleo*, 53: 98-104.
- Oberdörster E, Zhu S, Blickley TM, McClellan Green P & Haasch ML. (2006). Ecotoxicology of carbon-based engineered nanoparticles: effects of fullerene (C60) on aquatic organisms. *Carbon*, 44:1112–1120.
- Saccoccio E.M, Zeitune C. P.M., Moraes S.L (2012). Nanotecnologia e o meio ambiente: Nanopartículas metálicas no tratamento de águas e solos contaminados por organoclorados. II Simpósio Paulista de Nanotecnologia, Bauru , São Paulo, 2010. Disponível em http://www.cmdmc.com.br/spnano2010/especific_files/papers/N543.pdf. Acesso em 15 ago 2012.
- Tiburtius E. R. L.; Zamora P. P. (2004). Contaminação de Águas por BTEX e Processos Utilizados na Remediação de Sítios Contaminados. *Química Nova*, 27(3): 441-446.