

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

CONTAMINANTES EMERGENTES: UMA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE A CONTAMINAÇÃO DO SOLO E MOBILIDADE DE POLUENTES EM MEIO POROSO

Adriana Thays Araújo Alves¹; Artur Paiva Coutinho²; Vitor Hugo de Oliveira Barros³; Guilherme Teotônio Leite Santos⁴ & José Martins de França Neto⁵

RESUMO – A questão da poluição ambiental apresenta-se como fator cada vez mais preocupante no atual cenário de comprometimento dos recursos naturais. Em se tratando dos chamados poluentes emergentes, tem-se o agravante de não haver ainda normatizações de controle sobre seus limites na água e no solo, desse modo esses poluentes não são normalmente inseridos em programas de monitoramento pelos órgãos de controle. No solo, os poluentes podem comprometer o equilíbrio ambiental em diversos aspectos, podendo inclusive afetar a qualidade das águas subterrâneas. O presente trabalho tem por objetivo realizar uma revisão de literatura sobre poluentes emergentes com enfoque na contaminação do solo, fazendo-se um levantamento de estudos de mobilidade nesse meio. Da presente pesquisa verifica-se primeiramente a grande variedade de fontes as quais os poluentes emergentes se propagam no meio. Também é verificado que os ensaios de deslocamento miscível em coluna são amplamente utilizados para análise da mobilidade no meio poroso.

ABSTRACT– Environmental pollution presents itself as an increasingly worrying factor in the current scenario of the commitment of natural resources. When dealing with so-called emerging pollutants, there is the aggravation of not having control norms on their limits in water and soil, so these pollutants are not normally inserted in monitoring programs by the control agencies. In the soil, pollutants can compromise the environmental balance in several aspects, and may even affect the quality of groundwater. This paper aims to perform a literature review on emerging pollutants with a focus on soil contamination, making a survey of mobility studies in this environment. The present research shows the great variety of sources to which the emerging pollutants propagate in the environment. It is also found that the miscible column displacement tests are widely used for analysis of the mobility in the porous medium.

Palavras-Chave – poluição, mobilidade, soluto

¹) Afiliação: Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru -PE, 55002-970, (81) 2103-9156, adrianaaraujo@gmail.com

²) Afiliação: Professor adjunto I do Núcleo de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil da UFPE – CAA. Rodovia BR-014, km 59, s/n – Nova Caruaru, Caruaru – PE. arthur.coutinho@yahoo.com.br.

³) Afiliação: Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru -PE, 55002-970, (81) 2103-9156, vitor_barros1@outlook.com

⁴) Afiliação: Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru -PE, 55002-970, (81) 2103-9156, guilherme3tts@hotmail.com

⁵) Afiliação: Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru -PE, 55002-970, (81) 2103-9156, jmfranconeto@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

Em função da quantidade de substâncias produzidas pelo homem verifica-se nas últimas décadas um crescimento exponencial daquelas que são liberadas no solo (Koestel *et al.* (2012)). Devido ao grande número de poluentes que ocorrem no ambiente, tem-se que aqueles atualmente regulamentados representam apenas uma pequena fração da poluição química total. A longa lista de poluentes químicos é aumentada pela detecção e identificação gradual de novos poluentes emergentes (Stefanakis e Becker (2015)).

Esses contaminantes incluem uma grande variedade de compostos químicos naturais e sintéticos como produtos farmacêuticos, produtos para cuidados pessoais, hormônios, pesticidas, aditivos industriais, dentre outros. A presença, distribuição e destino desses poluentes são afetados por diversos fatores como características físico-químicas do meio e parâmetros ambientais, os quais desempenham papel importante no transporte e transformação desses contaminantes (Stefanakis e Becker (2015)).

Especificamente quanto a poluição do solo, de acordo com Souza *et al.* (2013), tem-se que alguns fenômenos químicos e bioquímicos que ocorrem na sua matriz são capazes de atenuar a natureza nociva de alguns poluentes. Esses processos podem degradar produtos químicos orgânicos em produtos inócuos e metais pesados podem ser sorvidos, imobilizados ou neutralizados. Apesar disso, ainda conforme os autores, a eliminação de rejeitos potencialmente perigosos no solo deve ser realizada de modo criterioso, especialmente onde exista a possibilidade de contaminação de recursos hídricos.

No meio poroso, os possíveis impactos de poluentes podem ser aferidos por meio de estudos de retenção e mobilidade em ensaios de coluna. Tais estudos, segundo Wang (2002), são utilizados na descrição e previsão do comportamento do transporte de soluto em meios porosos, e são essenciais para o gerenciamento adequado de solos e aquíferos subsuperficiais, como também para análise da poluição química nesses meios.

Na perspectiva de contaminantes emergentes, os estudos de mobilidade destacam-se devido à escassez de informações sobre os impactos desses compostos, bem como ausência de normas de controle ambiental, que em geral não acompanham o descobrimento das novas substâncias. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é realizar um estudo sobre contaminantes emergentes com enfoque na poluição dos solos, realizando o levantamento de estudos sobre mobilidade de solutos em meio poroso.

2 - CONTAMINANTES EMERGENTES

Contaminantes emergentes, de acordo com Montagner *et al.* (2017), compreendem centenas de compostos que têm sido detectados em diferentes compartimentos ambientais, como solo, água e ar, que podem ocasionar algum risco ao ecossistema e que não estão incluídos em programas de monitoramento de rotina. Em uma perspectiva semelhante, conforme Stefanakis e Becker (2015) os poluentes emergentes representam grupos de contaminantes recentemente descobertos e desregulados que ocorrem em águas superficiais e subterrâneas, cuja maioria era desconhecida há 15 ou 20 anos, tendo emergido recentemente como contaminantes associados a potenciais riscos ambientais.

Também quanto a definição, conforme Sauvé e Desrosiers (2014), poluentes podem ser considerados emergentes a partir de três concepções. Na primeira, agrupam-se novos compostos ou moléculas que não eram conhecidos anteriormente ou que começaram a aparecer na literatura apenas recentemente. Na segunda, tem-se os poluentes que já eram conhecidos, porém questões relativas à contaminação ambiental não foram totalmente apreendidas. Por fim, encontram-se contaminantes já estudados e para os quais haja novas informações que interferem na compreensão dos riscos ambientais e à saúde humana.

Considerando a não normatização do poluente, de acordo com Montagner *et al.* (2017), a legislação brasileira é deficitária no que se refere aos critérios de qualidade. Para os autores, exemplificando os pesticidas, dentre os milhares de compostos considerados contaminantes emergentes somente cerca de 30 são contemplados em normatizações (portaria MS 2914/2011 e resoluções CONAMA nº 357/2005 e CONAMA nº 396/2008), o que representa apenas 7% dos pesticidas autorizados para uso no país.

2.1 - Fontes de poluição

A maioria dos poluentes do solo tem origem antropogênica, podendo alguns contaminantes ocorrer naturalmente, como componentes de minerais que podem ser tóxicos em altas concentrações, todavia, a intervenção humana na poluição desses meios ainda é prevacente. Esse tipo de poluição em geral, não pode ser avaliada diretamente ou percebida de modo visual, tornando-se um perigo oculto (Rodríguez-Eugenio *et al.* (2018)).

Quanto a ação antropogênica as principais fontes são produtos químicos usados em atividades industriais, subprodutos dessas indústrias, resíduos urbanos incluindo efluentes líquidos, produtos agroquímicos e derivados de petróleo (Rodríguez-Eugenio *et al.* (2018)). Quanto a área de impacto

desses diferentes tipos de contaminação, distingue-se a poluição em fontes pontual e difusa. Quando ditas fontes pontuais, a contaminação ocorre de forma espacialmente restrita, embora a fonte possa ser originária de locais distintos. Exemplos importantes desse tipo de contaminação incluem efluentes industriais e hospitalares, locais de disposição de resíduos, tanques sépticos, dentre outros (Lapworth *et al.* (2012)).

A poluição difusa, em contraste, é caracterizada por ter uma maior área de contaminação (Lapworth *et al.* (2012)). Exemplos incluem a eliminação em bacias ou proximidades, de resíduos ou efluentes contaminados, aplicação no solo de lodo de esgoto, o uso agrícola de pesticidas e fertilizantes, poluentes orgânicos persistentes e excesso de nutrientes e agroquímicos que são transportados por escoamento superficial. Esse tipo de poluição tem um impacto significativo no meio ambiente e na saúde humana, embora sua gravidade e extensão sejam geralmente desconhecidas (Rodríguez-Eugenio *et al.* (2018)). As várias fontes pontuais e difusas de contaminantes emergentes são esquematizadas na Figura 1.

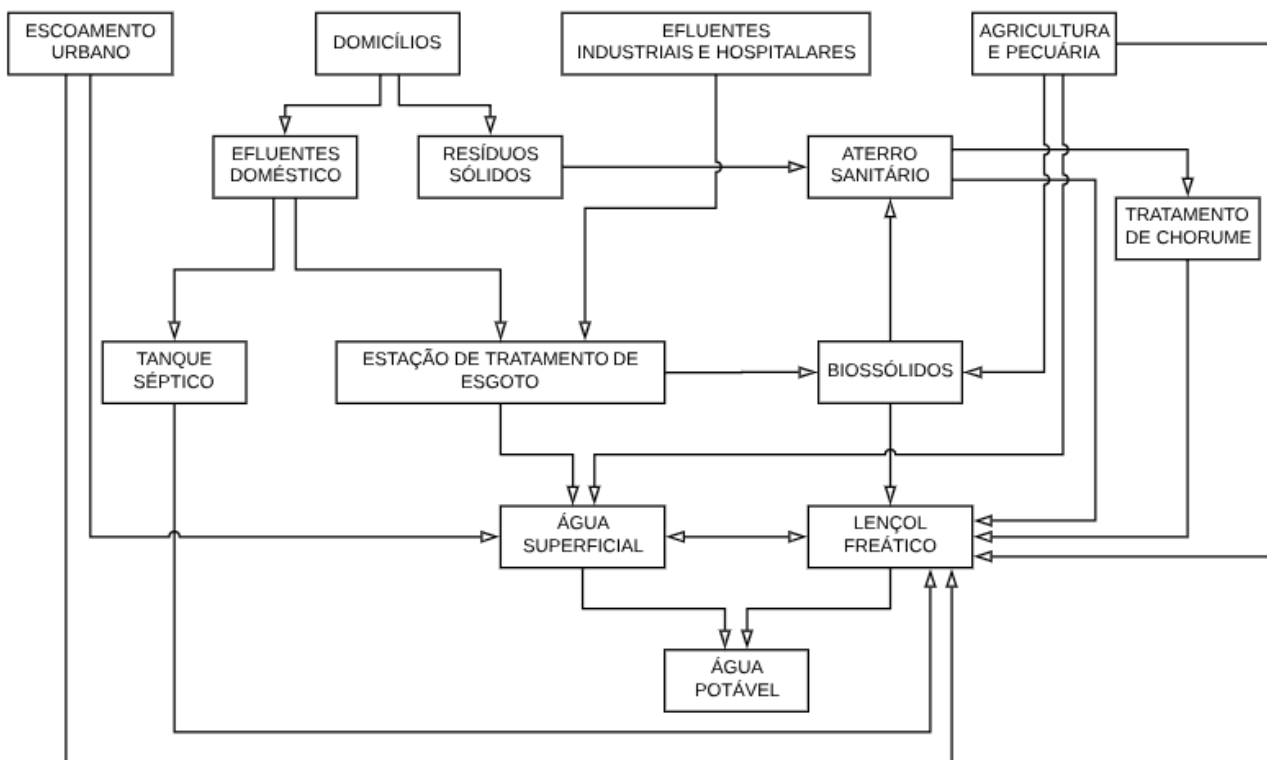


Figura 1 - Fontes e vias de contaminantes emergentes no meio ambiente. Fonte: Modificado de Stefanakis e Becker (2015).

3 - O TRANSPORTE DE POLUENTES NO SOLO

Os solutos são transportados no solo pelo movimento de água ou por fluxo de massa. A medida que se movimentam, uma parte poderá ser adsorvida pelo solo ou pelas plantas, ou sofrer precipitação, quando sua concentração exceder a solubilidade. Em resposta aos gradientes de concentração, os solutos podem ainda se dispersar dentro da água do solo, bem como reagir com a matriz e entre si, em uma sucessão de processos físicos e químicos inter-relacionados. Essas interações são influenciadas por diversos fatores como acidez, temperatura, composição, concentração da solução do solo e potencial de óxido-redução (Costa *et al.* (2006)).

Conforme Wang (2002), o movimento de soluto em meios subsuperficiais pode ser descrito e previsto pelos chamados modelos de transporte, os quais configuram-se como ferramentas eficazes em termos de custo para avaliar o destino dos solutos no ambiente. A maioria desses modelos é baseada na equação convecção dispersão (CDE), a qual representa a continuidade de massa para o movimento de um determinado soluto em um meio poroso por dispersão e convecção, sob condições iniciais e de contorno especificadas. Ainda segundo o autor, além do CDE outras formulações são propostas para descrever o transporte de soluto, dentre essas tem-se o modelo de água móvel e imóvel (MIM), onde o fluido no domínio de fluxo é descrito como uma fase móvel e uma fase imóvel.

Essas equações são utilizadas para descrever as chamadas *Breakthrough Curves* (BTC) (Wang (2002)), ou conforme alguns autores, curvas de eluição (Moura *et al.* (2013); Carmo *et al.* (2013)). No arranjo experimental, que dá origem a essas curvas, a solução contendo solutos de interesse é bombeada através de uma coluna preenchida com a amostra de solo. Como o objetivo é investigar os processos dinâmicos, geralmente é realizado inicialmente o deslocamento de um composto neutro, não reativo denominado traçador, o qual não está em interação com o substrato, em seguida, é realizado o ensaio para o soluto de teste real, contendo os solutos de interesse. Diferentes graus de saturação podem ser alcançados dentro da coluna, o que permite a simulação dos efeitos da zona saturada ou da zona não saturada, sendo nesse último caso, mais complexo e mais demorado, dependendo fundamentalmente do grau de saturação do solo (Banzhaf e Hebig (2016)).

No experimento, a progressão de um soluto com concentração conhecida C_0 é monitorada medindo-se a concentração do efluente C ao longo do tempo. A evolução da razão C/C_0 em função do número de volumes de poros V/V_0 do efluente coletado fornece a curva de eluição (Moura *et al.* (2013); Carmo *et al.* (2013); Carmo *et al.* (2010); Milfont *et al.* (2008); Milfont *et al.* (2006)). Na literatura são encontrados diversos estudos utilizando a solução analítica dos modelos CDE e/ou MIM ajustados aos pontos da curva de eluição obtida nesses ensaios de deslocamento miscíveis (Costa *et*

al. (2006); Milfont *et al.* (2008); Milfont *et al.* (2006); Moura *et al.* (2013); Carmo *et al.* (2013); Carmo *et al.* (2010)).

Conforme Milfont *et al.* (2006), muitos dos estudos de descolamento de solutos utilizam os traçadores, que são substâncias químicas com baixa interatividade com a matriz do solo e de fácil determinação química. Ainda pelo autor, esses compostos são considerados ferramentas úteis para simular a mobilidade de substâncias que, de modo semelhante, são muito móveis, mas de difícil quantificação, permitindo a estimativa dos parâmetros hidrodispersivos para os poluentes com maiores poderes de contaminação. Dentre esses compostos encontra-se uma ampla utilização do brometo de potássio (KBr) (Moura *et al.* (2013); Carmo *et al.* (2013); Carmo *et al.* (2010); Milfont *et al.* (2008)).

Quanto ao deslocamento de traçadores, encontram-se na literatura diversos estudos de caracterização hidrodispersiva de diferentes tipos de solo (Costa *et al.* (2006); Milfont *et al.* (2006); Moura *et al.* (2013); Carmo *et al.* (2010)). Essa caracterização é feita por meios dos chamados parâmetros hidrodispersivos, como o fator de retardo (R), que traduz a interação do soluto com o solo (Milfont *et al.* 2006) e dispersividade (λ), a qual é representativa da distribuição do soluto no solo (Costa *et al.* (2006)). Além disso, a verificação do modelo que melhor descreve as curvas de eluição, quando feito o ajuste tanto do CDE quanto do MIM pode indicar a existência de regiões de água móvel e imóvel, ou seja, a situação de não equilíbrio físico (Milfont (2006)).

Outros estudos são realizados para o deslocamento miscível com potenciais poluentes. Dentre esses, Carmo *et al.* (2013) analisaram o transporte de naftaleno em diferentes tipos de solo urbano verificando a resistência dos solos ao processo lixiviação desse composto. De modo semelhante, Milfont *et al.* (2008) verificaram os mecanismos envolvidos no transporte do composto agrícola Paclobutrazol (PBZ) na Região do Vale do São Francisco, onde foi verificado o potencial risco de contaminação das águas subterrâneas da região por essa substância.

4 - CONCLUSÃO

Da presente pesquisa desprende-se primeiramente o conceito abrangente de contaminantes emergentes. Conforme foi visto, nessa categoria de poluentes pode-se incluir compostos já conhecidos quando questões sobre a contaminação ambiental não tenham sido totalmente apreendidas ou para os quais novas informações interfiram na compreensão dos riscos ambientais e à saúde humana.

Quanto aos estudos de transporte, são encontrados na literatura muitas pesquisas utilizando dos ensaios de deslocamento miscível para determinação de parâmetros hidrodispersivos do solo e aferição do potencial de mobilidade e retenção de solutos no meio poroso. Na perspectiva de contaminantes emergentes, esses estudos mostram-se potenciais subsídios na tomada de decisões que mitiguem os possíveis impactos ambientais desses compostos.

REFERÊNCIAS

- BANZHAF, S.; HEBIG, K. H. (2016). “*Use of column experiments to investigate the fate of organic micropollutants – a review*”. Hydrology And Earth System Sciences: [s.l.], v. 20, n. 9, p.3719-3737. 2016. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-20-3719-2016>.
- CARMO, A. I. do et al. (2010). “*Caracterização hidrodispersiva de dois solos da região irrigada do Vale do São Francisco*”. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 698-704.
- CARMO, A. I. do et al. (2013). “*Lixiviação de naftaleno em solos urbanos da região metropolitana do Recife, PE*”. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1415-1422. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500030>.
- COSTA, C. T. et al. (2006). “*Ensaio de Deslocamento de Líquido Miscível na Determinação dos Parâmetros Hidrodispersivos de um Solo Aluvial*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [s. L.], v. 11, n. 2, p.111-122.
- KOESTEL, J. K.; MOEYS, J.; JARVIS, N. J.(2012). “*Meta-analysis of the effects of soil properties, site factors and experimental conditions on solute transport. Hydrology And Earth System Sciences*”, [s.l.], v. 16, n. 6, p.1647-1665. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-16-1647-2012>.
- LAPWORTH, D. J. et al. (2012). “*Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence*”. Environmental Pollution, [s.l.], v. 163, p.287-303. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.034>.
- MILFONT, M. L. et al. (2006). “*Caracterização hidrodispersiva de dois solos do Vale do Rio São Francisco*”. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 1, p.81-87.
- MILFONT, M. L. et al. (2008). “*Transporte do paclobutrazol em colunas de solos*”. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2165-2175. Acesso em: 30 maio 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500037>.
- MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. (2017). “*Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios*”. Quím. Nova, São Paulo, v. 40, n. 9, p. 1094-1110. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/RV20170146.pdf>>. Acesso em: 11 Jun. 2018. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>.

- MOURA, A. E. S. S. de *et al.* (2013). “*Determinação de Parâmetros Hidrodispersivos em Solos da Zona da Mata de Pernambuco*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 3, p.109-115.
- RODRÍGUEZ-EUGENIO, N., MCLAUGHLIN, M. PENNOCK, D. (2018). “*Soil Pollution: a hidden reality*”. FAO, Rome. 142 p.
- SAUVÉ, S.; DESROSIERS, M. (2014) “*A review of what is an emerging contaminant*”. Chemistry Central Journal, [s.l.], v. 8, n. 1, p.1-7. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1186/1752-153x-8-15>.
- SOUZA, R. B. de *et al.* (2013). “*Soil Contamination with Heavy Metals and Petroleum Derivates: Impact on Edaphic Fauna and Remediation Strategies*”. Soil Processes And Current Trends In Quality Assessment, [s.l.], p.175-203. <http://dx.doi.org/10.5772/52868>.
- STEFANAKIS, A. I.; BECKER, J. A. (2015) “*A Review of Emerging Contaminants in Water*”. Practice, Progress, And Proficiency In Sustainability, p.55-80. <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-4666-9>.
- WANG, Huaguo. (2002). “*Describing and Predicting Breakthrough Curves for non-Reactive Solute Transport in Statistically Homogeneous Porous Media*”. 2002. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Crop And Soil Environmental Science, Faculty Of The Virginia Polytechnic Institute And State University, Blacksburg.

AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência do Estado de Pernambuco - FACEPE pela concessão de bolsa de mestrado para o primeiro e terceiro autores.