

I-003 - REMOÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EM UMA ÁREA CONTAMINADA POR COMBUSTÍVEIS ORIUNDOS DE PETRÓLEO

Valéria Menezes de Souza⁽¹⁾

Bacharel em Engenharia Ambiental, MBA em Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental e Mestranda em Engenharia Ambiental e Sanitária (PPGEAS/EECA/UFG).

Nora Katia Saavedra del Aguila Hoffmann⁽²⁾

Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC – USP. Professora associada da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (PPGEAS/EECA/UFG).

Endereço⁽¹⁾: Rua S 4, QD S-11, Lote 03, Casa 03, Setor Bela Vista - Goiânia - GO - CEP: 74823-450 - Brasil - Telefone +55 (62) 998335391 - e-mail: valeria24souza@gmail.com

RESUMO

Concentrações de compostos orgânicos voláteis (VOC) no solo podem ser uma ameaça à saúde humana em decorrência de possuírem em seu grupo compostos considerados cancerígenos, como o benzeno. O presente estudo teve como objetivo avaliar as concentrações de VOC's em uma área que foi altamente contaminada por combustíveis oriundos de petróleo. A metodologia utilizada consistiu em análises intrusivas, realizando perfurações em solo e medições dos compostos de interesse a 0,5 e 1,0 m de profundidade no solo do empreendimento. Além disso, realizou-se sondagem, instalações de poços de monitoramento, coleta, análise de amostras de solo e água subterrânea para análise de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) em dois períodos, inicialmente em 2015 e dois anos após a implantação do sistema de extração multifásica, em 2018. As concentrações identificadas em 2015 de compostos orgânicos voláteis variaram entre 0 a 10.000 ppm, e em 2018, estas concentrações foram detectadas na faixa de 0 a 400 ppm. A concentração de BTEX no solo em 2015 variou entre <0,005 a 0,731 mg/Kg e os valores de PAH não ultrapassaram o valor de <0,003 mg/Kg, as concentrações dissolvidas nas águas subterrâneas dos componentes dos BTEX, variavam de 3.034 a 15.993 µg/L, e os compostos dos PAH apresentaram valores na faixa de 0 a 387,6 µg/L. Em 2018 a concentração máxima de BTEX na água subterrânea foi de 39.250 µg/L e a maior concentração detectada de PAH chegou a 220,8 µg/L. Foi possível constatar uma redução das concentrações em forma de vapor no solo do empreendimento, no entanto, na água subterrânea apresentou altos valores de BTEX e PAH em poços de extração, que são utilizados para drenar a água contaminada para o interior do sistema de extração multifásica e, talvez por isto, as concentrações tenham sido mais elevadas.

PALAVRAS-CHAVE: Contaminação, VOC, Postos de Combustíveis

INTRODUÇÃO

Em ambientes de postos revendedores de combustíveis é muito comum o escape de gases, seja ele no momento do abastecimento veicular, pela recarga de combustíveis nos tanques, atividades de troca de óleo e outras. No entanto, quando há vazamento de combustíveis no solo, este pode apresentar concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) perigosos à saúde humana.

Os VOC's são produtos químicos de origem orgânica favoráveis a evaporação em condições ambientais. Dessa forma, tais compostos possuem mobilidade através de correntes de ar podendo facilmente se difundir no meio ambiente e chegar a residências e áreas comerciais próximas (HICKLIN et al., 2018).

As áreas urbanas são geradoras de compostos orgânicos voláteis, sendo estes produzidos através de queima de combustíveis fósseis por automotores, postos de gasolina e indústrias que trabalham com os VOC's como solventes (TERRES et al., 2010).

Segundo Gałęzowska (2016), os compostos orgânicos voláteis podem contribuir para problemas respiratórios, sendo sua ocorrência prejudicial à saúde humana. Em contato com os seres humanos, os VOC's podem causar asma, alergia, doenças pulmonares, até mesmo provocar o câncer de pulmão, devido a que um dos VOC conhecidos é o benzeno, o qual segundo a International Agency For Research On Cancer - IARC (2018), é comprovadamente cancerígeno.

A ocorrência de VOC's no solo se deve principalmente aos descartes históricos de resíduos sólidos industriais, lavanderias e vazamentos de produtos em postos revendedores de combustíveis (NAVFAC, 2015).

Nos procedimentos de investigações de passivo ambiental, é largamente difundido a realização de perfurações para identificar locais onde apresentem concentrações elevadas de compostos orgânicos voláteis, devido a estes gases serem indicativos de contaminação em solo e água subterrânea. Assim sendo, a execução de sondagens e avaliação da água subterrânea é direcionada para pontos que apresentem maiores concentrações de compostos orgânicos voláteis.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (2014), o sucesso da remoção dos compostos orgânicos voláteis está relacionado ao tipo de solo, onde segundo o órgão, a baixa permeabilidade pode influenciar negativamente na circulação de ar e dos vapores nos interstícios da matriz solo, promovendo uma menor volatilização dos VOC's.

O sistema de remediação implantado no empreendimento foi o Sistema de Extração Multifásica (MPE), este sistema foi escolhido visando a remoção de água contaminada presente na área do posto e pela sua capacidade de remoção de contaminantes em forma de vapor.

OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência do sistema de extração multifásica (MPE) na remoção de compostos orgânicos voláteis (VOC) oriundos de combustíveis, após dois anos de sua implantação objetivando mitigar os impactos ambientais e à saúde humana.

METODOLOGIA UTILIZADA

Localização do empreendimento: O empreendimento em estudo, trata-se de um posto revendedor de combustíveis, que encontra-se situado na cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás. Goiânia está localizada no bioma cerrado, sobre a geologia Grupo Araxá, associados a este grupo existem os Latossolos Vermelhos, que possuem característica variando de argilosa a muito argilosa (GOIÁS, 2006). Maiores detalhes a respeito do tipo de solo e localização do empreendimento podem ser observados na Figura 1.

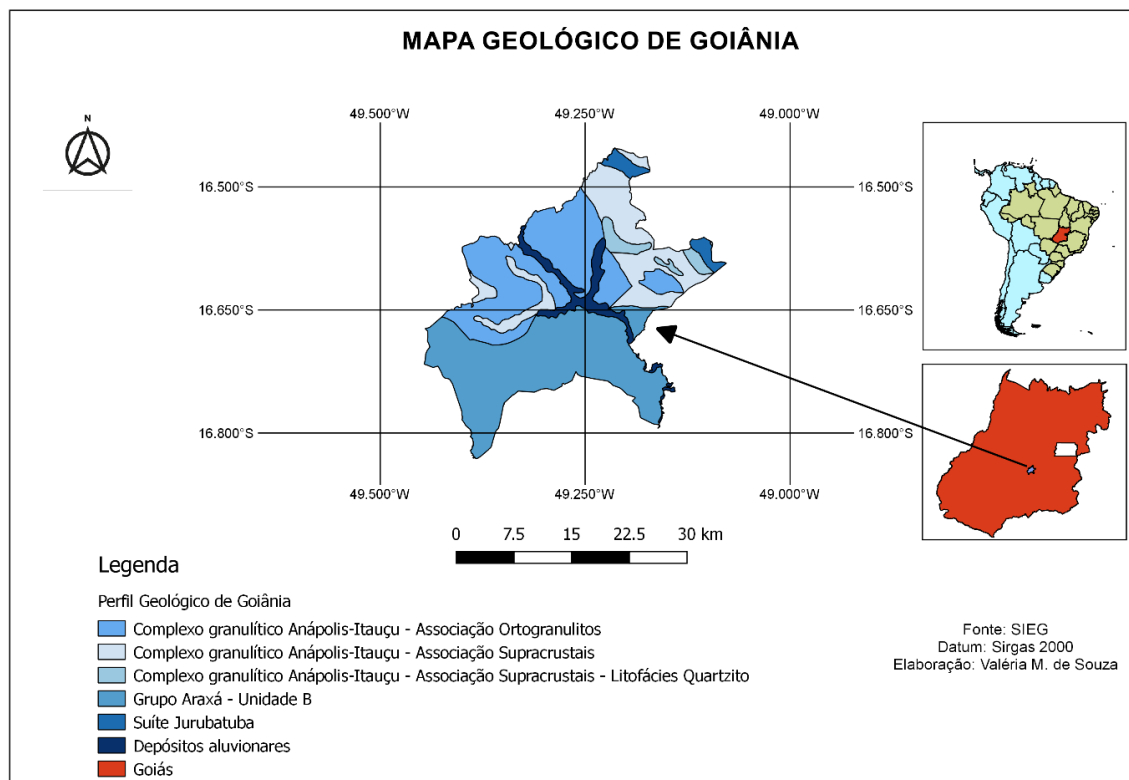


Figura 1: Localização e geologia de Goiânia (GO)

Fonte: SIEG, 2019.

O número de empreendimentos revendedores de combustíveis tem crescido nos últimos anos, inclusive no estado de Goiás. Segundo a ANP (2018), em 2013 haviam 38.893 postos revendedores de combustíveis no Brasil, em 2017 este número cresceu para 41.934 postos, quer dizer, houve um crescimento de 7,82% no

número de postos neste período. O montante de empreendimentos revendedores de combustíveis nos estados de Goiás pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1: Número de postos revendedores de combustíveis nos estados de Goiás e no Brasil.

ESTADOS	NÚMERO DE POSTOS REVENDEDORES
Goiás	1.642
Brasil	41.984

Fonte: Adaptado de ANP, 2018.

Avaliação de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) no solo: A avaliação de compostos orgânicos voláteis no solo do empreendimento abrangeu toda a área do posto e ocorreu em dois períodos, primeiro em setembro de 2015 e após o período em que o sistema de remediação esteve em funcionamento, em novembro de 2018.

No ano de 2015, realizou-se uma investigação preliminar, que foi balizada de acordo com a NBR 15515-1 (ABNT, 2007). Neste período, foi possível identificar fontes primárias de contaminação, sendo estas: tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis, respiros dos tanques, unidades abastecedoras, caixa separadora de água e óleo e troca de óleo.

Após localizado as fontes potenciais de contaminação seguiu-se para etapa de avaliação intrusiva, que é quando se realiza a perfuração da área para identificação de vapores oriundos de combustíveis. Nesta fase evita-se locais em que possa haver tubulação enterrada, para não haver perfuração acidental de linhas de combustíveis e fiação elétrica.

Na fase intrusiva, utilizou-se a medição dos VOC's a 0,50 m e 1,00 m de profundidade, para isto foi utilizado um detector portátil de gases, ion-science, phocheck tiger, que foi calibrado para não detectar vapores oriundos de metano, por este ser um gás naturalmente encontrado em solo com elevada quantidade de matéria orgânica, e realizar a leitura dos VOC's na faixa de 0 a 11.000 ppm. O equipamento utilizado é apresentado na Figura 2.



Figura 2: Detector portátil de gases

Fonte: Dastec SRL (2019).

No ano de 2018, o empreendimento passou novamente pela investigação de VOC's no solo, tendo como objetivo, identificar a evolução da pluma de contaminação em fase gasosa no empreendimento.

Avaliação de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX) e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH) em solo e água subterrânea: No ano de 2015, o empreendimento passou por uma investigação de passivo ambiental, neste período foram realizadas sondagens e instalados poços de monitoramento na área que contemplava o posto de combustível, para a correta delimitação da contaminação presente no local.

No decorrer da execução das sondagens na área do empreendimento, foram analisadas as concentrações de VOC a cada metro de perfuração, a amostra que apresentava concentrações de VOC mais elevada era

armazenada em frasco boca larga e enviada para laboratório com a certificação da Agência Brasileira de Normas Técnicas - ABNT N° 17.025 (2005).

Após a realização das sondagens, foram instalados poços de monitoramento para a coleta de água subterrânea. A amostragem do lençol freático seguiu as especificações da ABNT 15847 (2010).

Sistema de remediação: No empreendimento está sendo utilizado o sistema de remediação multifásica (sistema MPE), que é uma técnica aplicada em áreas com ocorrência da contaminação em solo e água subterrânea. A técnica conta com a bioventilação e remoção de massa a vácuo, o que proporciona uma remoção eficiente de fase livre, vapores de hidrocarbonetos e fase dissolvida em água, além de auxiliar a biodegradação natural na zona vadosa do solo (USACE, 1999).

Segundo Lu et al. (2012), o sistema MPE possui a capacidade de remoção simultânea de contaminantes de fase livre, vapor e dissolvida e pode ser aplicado na zona vadosa e na zona saturada do solo. Além das aplicações citadas, o sistema de extração multifásica contempla a capacidade de favorecer a degradação aeróbia realizada pelos microorganismos indígenas em decorrência da aeração proporcionada nas áreas adjacentes aos poços de extração (BALDWIN et al., 2009).

A extração multifásica ocorre através da instalação de poços de extração (PE) distribuídos de acordo com os pontos de ocorrência da contaminação presente na área, sendo assim é criada uma zona de influência onde está localizada a pluma de contaminação. Por intermédio dos poços de extração instalados na área de interesse é criado um gradiente de pressão que obriga os componentes químicos de interesse a se dirigirem aos pontos onde estão instalados os PE, sendo possível efetuar a remoção dos mesmos (NOBRE et al., 2003).

O sistema MPE do empreendimento é um sistema fixo, inserido em um abrigo, onde encontram-se instalados os equipamentos como o painel de controle, tanque de vácuo, caixa separadora de água e óleo, filtro de carvão ativado e tambor de armazenamento de produto recuperado. O sistema é composto ainda por sete poços de extração instalados na área do empreendimento. A representação do sistema pode ser observada na Figura 3.

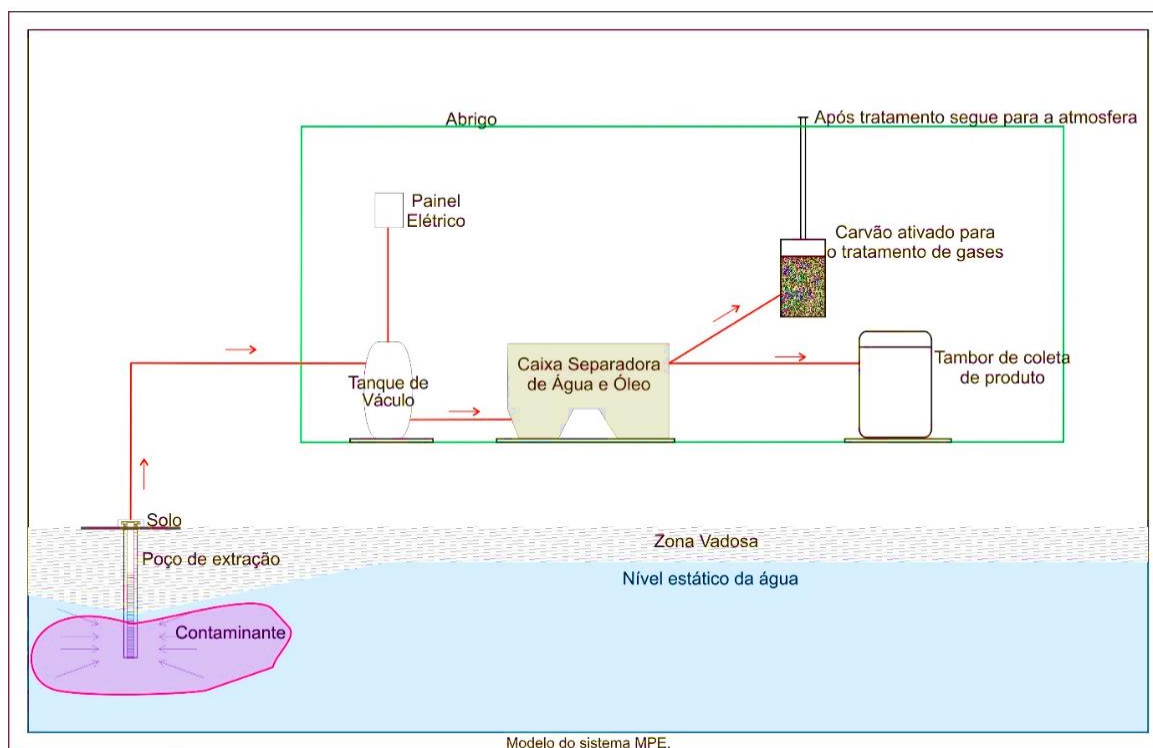


Figura 3: Representação do sistema MPE.

RESULTADOS OBTIDOS

Na investigação de passivo ambiental ocorrida em 2015, buscou-se realizar perfurações intrusivas para avaliar vapores oriundos de combustíveis. Neste período, as concentrações apresentaram valores alarmantes, onde em alguns pontos obteve-se cerca de 10.000 ppm.

No ano de 2015, a campanha de perfurações para análise de VOC somaram 65 pontos medidos nas profundidades de 0,50 m e 1,00 m, onde, as variações destes gases variaram nas faixas de 0 a 10.000 ppm. No

entanto, a maioria das concentrações elevadas foram obtidas a 1,00 m de profundidade e houveram picos pontuais com valores expressivos a 0,50 m. A Figura 4, apresenta o gráfico das variações das concentrações obtidas nos pontos de medição de VOC.

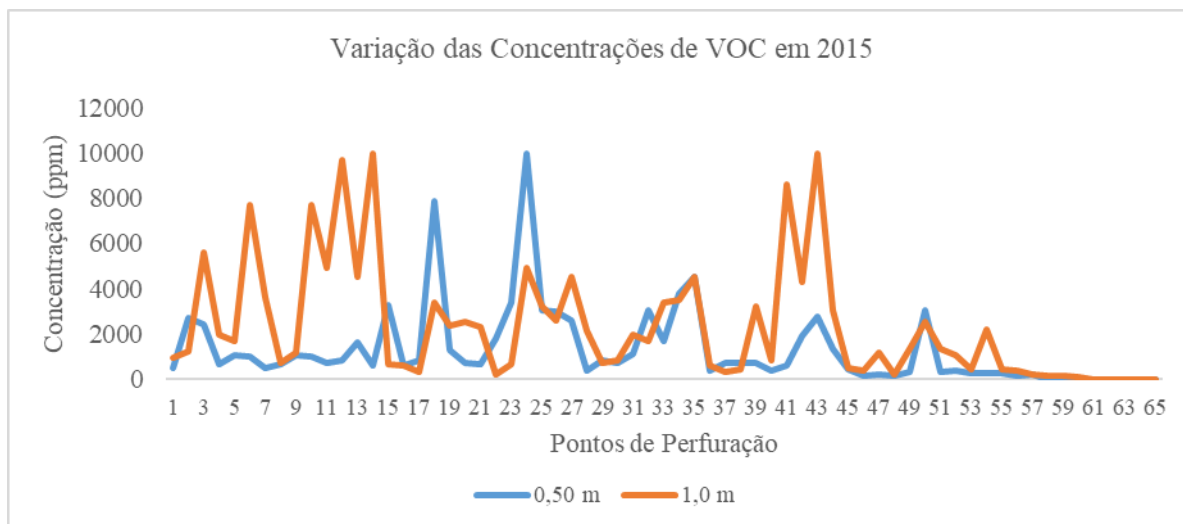


Figura 4: Variação das concentrações de compostos orgânicos voláteis a 0,50 e 1,00 m de profundidade.

Uma análise estatística foi realizada e pode ser visualizada na Figura 5.

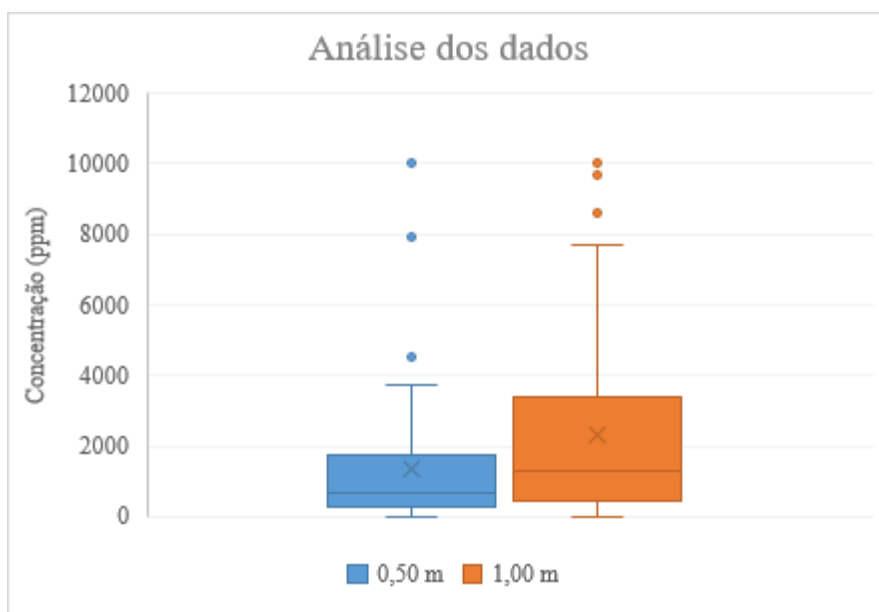


Figura 5: Análise estatística dos dados

Na investigação ocorrida em 2015, observou-se que, além das concentrações alarmantes de compostos orgânicos voláteis, também foi identificado a presença de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH) na água subterrânea.

Em amostras coletadas do solo, os valores obtidos para BTEX variaram entre <0,005 a 0,731 mg/Kg, contudo, os valores de PAH não ultrapassaram o valor de <0,003 mg/Kg. Contudo, as concentrações dissolvidas nas águas subterrâneas dos componentes dos BTEX, variavam de 3.034 a 15.993 µg/L, e os compostos dos PAH apresentaram valores na faixa de 0 a 387,6 µg/L. Deste modo, existe uma justificativa plausível para a implantação imediata de um sistema de remediação na área do empreendimento, dados os valores obtidos de BTEX e PAH dissolvidos em água subterrânea.

Em outubro de 2016, foi implantado o sistema de extração multifásica (MPE). Passados vinte e cinco meses da implantação do sistema MPE, especificamente em novembro de 2018, foi realizada uma nova investigação das concentrações de VOC's no solo.

No decorrer da investigação de VOC em 2018, foram executados um total de 65 perfurações no solo. As concentrações obtidas durante a avaliação da área variaram entre 0 a 400 ppm e de 0 a 350 ppm nas profundidades de 0,50 m e 1,00 m, respectivamente. As variações das concentrações de VOC's podem ser visualizadas na Figura 6.

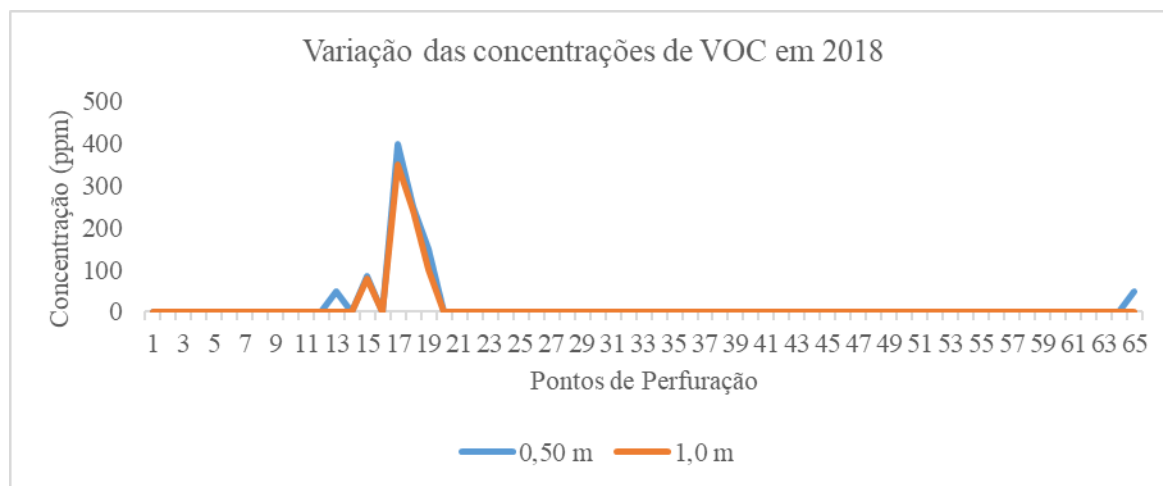


Figura 6: Concentrações de VOC's obtidos nas profundidades de 0,50 e 1,00 m (2018).

Em 2018, além da análise de VOC's no solo do empreendimento, foram coletadas também amostras de água subterrânea, neste período, a maior concentração de BTEX identificada na água foi de 39.250 µg/L e a maior concentração detectada de PAH chegou a 220,8 µg/L.

Neste período, o empreendimento ainda apresentava o sistema de extração multifásica operante, contando com sete poços de extração e nove poços de monitoramento. Foi observado que, a contaminação em forma de fase dissolvida na água subterrânea já ultrapassava os limites do empreendimento, no entanto, em 2018, os picos de concentrações de compostos orgânicos voláteis se limitavam à área do empreendimento.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No empreendimento em estudo foram detectadas altas concentrações de VOC's no ano de 2015, conforme apresentado na figura 4. Além disso, também foram detectadas concentrações de BTEX, variando entre 3.034 a 15.993 µg/L na água subterrânea.

O grupo composto pelos BTEX são altamente voláteis e fazem parte do grupo constituído dos VOC's. Portanto, as concentrações de compostos orgânicos voláteis podem ser explicadas pela presença de concentrações de BTEX detectados. Em virtude da presença de propriedades hidrofóbicas, os PAH's tendem a se depositar na água (KAFILZADEH, 2015).

Altas concentrações de VOC's em locais contaminados também foram descritos por Lima et al. (2017), onde observaram que em quatro postos da cidade de Cuiabá, com áreas contaminadas por combustíveis, apresentaram contaminação por compostos orgânicos voláteis variando entre 999 a 4.620 ppm retidos no solo. As concentrações de compostos orgânicos voláteis podem causar danos na vida de pessoas que trabalham diretamente em atividades que emanam estes vapores.

Heibati et al. (2018) avaliaram as concentrações de BTEX no ar e na urina de cinquenta trabalhadores de uma empresa de distribuição de petróleo. No estudo, foi identificado uma concentração média de 11,83 ppb de benzeno, 1,87 ppb de tolueno, 0,43 ppb de etilbenzeno e 3,76 ppb de xileno na urina dos trabalhadores. Ainda segundo o autor supracitado, as concentrações de benzeno medidas na urina dos trabalhadores, está interligada com as concentrações deste composto presentes no ar.

Barros et al. (2019) analisaram a urina de moradores de casas térreas e de apartamentos localizados no primeiro andar de áreas situadas a um raio de até 80 metros de postos de combustíveis. De acordo com o estudo, foi detectado concentrações dos compostos dos BTEX na urina de moradores no entorno de empreendimentos revendedores de combustíveis.

Graças a adição de 25 a 27% de etanol na gasolina brasileira, os compostos dos BTEX tendem a ser mais facilmente diluídos em água. Para Rama et al. (2019), a mistura de gasolina com etanol pode afetar de modo

significativo a dissolução de hidrocarbonetos aromáticos na água subterrânea. Em seus experimentos, os autores supracitados observaram a rápida dissolução, em meio aquoso, do etanol e dos BTEX.

Na figura 5, foi realizado uma análise estatística em forma de diagrama de caixa, onde é possível observar os valores máximos, mínimos e a mediana obtidos para os dados de 2015. Observou-se que neste ano, os valores máximos foram de 3760 e 7880 ppm, os valores mínimos foram de 0 e 0 ppm, a mediana foi de 700 e 1320 ppm para as profundidades de 0,50 e 1,00 m, respectivamente. Contudo, houveram pontos de discrepância como 4.520, 7.900 e 10.000 ppm para 0,50 m e 8600, 9700 e 10.000 ppm para 1,00 m de profundidade, significa que, estes valores ocorreram de modo isolados, em pontos específicos de maior contaminação.

Na bibliografia não foram detectados locais com concentrações significativamente altas, como as identificadas no posto de combustíveis em estudo. Deste modo, uma intervenção de engenharia foi necessária para conter as acentuadas concentrações de gases identificados na área do empreendimento, além das concentrações detectadas de BTEX em água subterrânea.

Uma das alternativas amplamente difundida no processo de remediação é o Sistema de Extração Multifásica (MPE), onde, segundo a CETESB (2017), foi a técnica de remediação que mais foi empregada na remoção de contaminantes no ano de 2017.

O sistema de remediação implantado no empreendimento foi o de extração multifásica (MPE), o qual agiu desde outubro de 2016 e permanece atuando no local até a presente data. Neste período, o sistema de extração multifásica removeu 355,55 m³ de água subterrânea contaminada do local. O empreendimento em nenhum momento apresentou contaminação em forma de fase livre.

No gráfico exibido na Figura 6, é possível constatar uma melhora efetiva na concentração de gases oriundos de combustíveis no solo do posto em estudo, em decorrência da utilização de um sistema de remediação que, atuou removendo a água contaminada por combustíveis na área do empreendimento. Além disso, o equipamento de remediação implantado ofereceu, ao longo dos meses, condições de aeração do solo, o que auxiliou na volatilização dos compostos oriundos de combustíveis, detectados em 2015.

Em 2018, a amostragem de água subterrânea apresentou concentrações altas de BTEX (máxima de 39.250 µg/L) e PAH (máxima de 220,8 µg/L), estas concentrações foram identificadas em amostras de poços de extração, que tem por finalidade, realizar a sucção da água contaminada para dentro do sistema de extração multifásica, sendo assim, naturalmente estes pontos terão altas concentrações de contaminantes.

O princípio básico do sistema MPE é realizar a aplicação de vácuo junto ao nível d'água do aquífero, promovendo a formação de um escoamento multifásico em subsuperfície, com a remoção de vapor/ar, água e possível presença de fase imiscível (U.S. ARMY, 1999).

Gabr et al. (2013) utilizaram-se da Extração Multifásica para a remoção de fase livre em uma antiga base da força aérea dos Estados Unidos. O teste consistiu na instalação de poços verticais pré-fabricados e a operação do sistema durou em média 185 horas. Ao final do experimento foram contabilizados 133 L de fase livre removidos.

No entanto, a remoção total dos contaminantes em solo e água subterrânea é uma tarefa difícil, dispendiosa e morosa, que exige dedicação, monitoramento e aplicação de tecnologias para que se tenha resultados satisfatórios. Portanto, o processo de remediação em águas subterrâneas se apresenta como um desafio, haja visto que a massa de contaminantes, frequentemente ficam aderidas a partículas finas de solo e continuamente liberam substâncias químicas no aquífero (O'CONNOR et al., 2018).

CONCLUSÃO

É possível constatar uma redução significativa de concentrações de vapores oriundos dos contaminantes presentes no solo do empreendimento após vinte e cinco meses de operação, em decorrência da aplicação de um sistema que, de modo eficaz, vem removendo a água contaminada e aplicando a ventilação necessária para dissipar os contaminantes presentes na zona vadosa.

No entanto, as concentrações de BTEX e PAH nas águas subterrâneas estiveram acentuadas em 2018, sendo os valores encontrados superiores a 2015, este fato pode ser justificado pelas concentrações terem sido detectadas em poços de extração, os quais não existiam em 2015.

Os poços de extração servem para realizar a drenagem da água subterrânea contaminada, estes são instalados em locais onde há os hotspot, ou seja, pontos de maiores concentrações de contaminantes, assim, naturalmente estes pontos sempre terão concentrações mais acentuadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão da bolsa de estudos para a realização da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, p. 31. 2005.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Método de pruga. Rio de Janeiro, p. 15. 2010.
3. BALDWIN, B.R.; NAKATSU, C.H.; NEBE, J.; WICKHAM, G.S.; PARKS, C.; NIES, L. Enumeration of aromatic oxygenase genes to evaluate biodegradation during multi-phase extraction at a gasoline-contaminated site. *Journal of Hazardous Materials*, v. 163, n. 2-3, p. 524-530, 2009.
4. BARROS, N.; CARVALHO, M.; SILVA, C, FONTES, T.; PRATA, J. C.; SOUSA, A. MANSO, M. C. Environmental and biological monitoring of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) exposure in residents living near gas stations. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, v. 82, ed. 9, p. 1-15, 2019.
5. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2017. Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2018/01/Texto-explicativo.pdf>>. Acesso em 25 de set. de 2019.
6. CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução N°420 de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em 17 de set. de 2019.
7. DASTEC SRL. Tiger: Detector de VOC portátil resistente a la humedad. Disponível em <<https://www.dastecsr.com.ar/productos/deteccion-de-gases-y-proteccion-personal/vocs-compuestos-organicos-volatiles/tiger-detector-de-voc-portatil-resistente-a-la-humedad>>. Acesso em 24 de setembro de 2019.
8. GAŁĘZOWSKA, G.; CHRANIUK, M.; WOLSKA, L. In vitro assays as a tool for determination of VOCs toxic effect on respiratory system: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 77, p. 14-22, Mar. 2016.
9. GABR, M. A.; SHARMIN, N.; QUARANTA, J. D. Multiphase Extraction of Light Non-aqueous Phase Liquid (LNAPL) Using Prefabricated Vertical Wells. *Geotech Geol Eng*, vol. 31, p. 103-118, 2013.
10. GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Hidrogeologia do Estado de Goiás. Goiânia, 2006.
11. HEIBATI, B.; POLLITT, K. J. G.; CHARATI, J. Y.; DUCATMAN, A.; SHOKRZADEH, M.; KARIMI, A.; MOHAMMADYAN, M. Biomonitoring-based exposure assessment of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene among workers at petroleum distribution facilities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 149, p. 19-25, 2018.
12. HICKLIN, W.; FARRUGIA, P. S.; SINAGRA, E. Investigations of VOCs in and around buildings close to service stations. *Atmospheric Environment*, v. 172, p. 93-101, Jan. 2018.
13. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas. IPT, 1° ed. São Paulo, 2014.
14. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. Benzene, v. 120, 2018. Disponível em <<http://publications.iarc.fr/576>>. Acesso em 17 de set. de 2019.
15. KAFILZADEH, F. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediments of the Soltan Abad River, Iran. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, v. 41, ed. 3, p. 227-231, 2015.
16. LIMA, S. D. de; OLIVEIRA, A. F. de; GOLIN, R.; CAIXETA, D. S.; LIMA, Z. M. de; MORAIS, E. B. de. Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, vol. 12, n. 2, p. 299-315, 2017.
17. LU, Z.; ZENG, F.; XUE, N.; LI, F. Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in organo-mineral particles of alluvial sandy soil profiles at a petroleum-contaminated site. *Science of the Total Environment*, p. 50-57, 2012.
18. NAVAL FACILITIES ENGINEERING COMMAND – NAFAC. Passive sampling for vapor intrusion assessment. Jul. 2015. Disponível em <<https://clu-in.org/download/issues/vi/VI-passive-sampling-EXWC-EV-1503.pdf>>. Acesso em 12 de Set. 2019.
19. NOBRE, R.; NOBRE, M. Remediação de Solos – Técnicas alternativas melhoram desempenho. *Revista Química e Derivados*, 2003.
20. O'CONNOR, D.; HOU, D.; OK, Y. S.; CANÇÃO, Y.; SARMAH, A. K.; LI, X.; TACK, F. M. Sustainable in situ remediation of recalcitrant organic pollutants in groundwater with controlled release materials: A review. *Journal of Controlled Release*, v. 283, p. 200-213, 2018.

21. RAMA, F.; RAMOS, D. T.; MULLER, J. B.; CORSEUIL, H. X.; MIOTLIŃSKI, K. Flow field dynamics and high ethanol content in gasohol blends enhance BTEX migration and biodegradation in groundwater. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 222, p. 17-30, 2019.
22. SISTEMA ESTADUAL DE GEOINFORMAÇÃO. Geologia. Disponível em <<http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>>. Acesso em 15/08/2019.
23. TERRÉS, I. M. M.; MIÑARRO, M. D.; FERRADAS, E. G.; CARACENA, A. B.; RICO, J. B. Assessing the impact of petrol stations on their immediate surroundings. *Journal of Environmental Management*, v. 91, ed. 12, p. 2754-2762, Dec. 2010.
24. USACE, UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEER. Multi-Phase Extraction - Engineer Manual. Washington D.C., 1999.