

Monitorização da pluma de contaminação das águas subterrâneas em lixeiras seladas

M. Lopes^(a,1), G. Avillez^(a,2), C. N. Costa^(b,3) & J. A. Almeida^(a,4)

a - Centro de Investigação em Geociências Aplicadas (CIGA/FCT-UNL), Quinta da Torre, Monte de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal
b – Instituto Geológico e Mineiro, Estrada da Portela, Zambujal - Alfragide, Apartado 7586, 2720-866 Amadora, Portugal
1 - mlopes@ciga.fct.unl.pt; 2 - goncalo@ciga.fct.unl.pt; 3 - carlos.costa@igm.pt; 4 - ja@fct.unl.pt

RESUMO

Palavras-chave: monitorização de lixeiras seladas; integração de dados; estimação por krigagem; modelo dinâmico.

Com a aprovação do Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) em 1996, Portugal deu um passo positivo para a implementação de uma política de gestão sustentada de resíduos. Este plano traduziu-se no encerramento/desactivação, até Dezembro de 2001 das 328 lixeiras activas (segundo registos de 1995), prevendo-se que estejam todas seladas até ao fim de 2005.

A selagem destes vazadouros não implica que deixem de constituir um risco para o ambiente, uma vez que a sua maioria reporta a um passado mais ou menos longínquo, sem o respeito pelas actuais normas restritivas de construção de aterros. Assim, após o seu encerramento têm de ser acompanhados por um plano de monitorização e, sempre que necessário, por estudos pontuais de caracterização mais detalhada com vista à resolução imprevistos.

Na monitorização destes locais, o conhecimento da geologia e hidrogeologia assume uma importância especial, dado que o potencial de contaminação dos solos e as águas subterrâneas depende essencialmente das características petrofísicas do meio (porosidade e permeabilidade) e da dinâmica local de fluidos (nível piezométrico, direcção de fluxo das águas).

Este trabalho traduz a experiência dos autores na coordenação de uma equipa multidisciplinar em estudos realizados para empresas intermunicipais de gestão de resíduos. É descrita a metodologia utilizada, os trabalhos de campo realizados (caracterização geológica e hidrogeológica do local, prospecção geofísica, ensaios do aquífero, amostragem e análise laboratorial de águas subterrâneas e lixiviados) e integração da informação em SIG. Esta metodologia é ilustrada com os resultados obtidos num caso de estudo.

Introdução

Com o encerramento da totalidade das lixeiras existentes em Portugal, a necessidade de acompanhar a evolução ambiental destes vazadouros assume grande importância, pois a simples selagem destas estruturas não garante a ausência de riscos para o meio ambiente. A implementação de um plano efectivo de monitorização surge como a solução mais eficaz para o controlo espaço-temporal do risco ambiental. Os resultados da monitorização fornecem indicações sobre a eficiência da selagem (por exemplo, depois da selagem da lixeira a produção de lixiviados deve diminuir gradualmente por deixar de haver percolação directa de águas pluviais), e caso exista dispersão da contaminação é possível identificar a sua extensão lateral e em profundidade, pela elaboração de imagens de plumas de contaminação. Os resultados permitem suportar tecnicamente a tomada de decisões em programas de remediação e mitigação de imprevistos.

A metodologia de trabalho que é descrita sucintamente neste artigo foi aplicada em estudos de lixeiras encerradas com problemas ambientais distintos, tendo-se demonstrado que é bastante adequada e conduziu a resultados bastante satisfatórios.

Recolha preliminar de informação em gabinete

Esta etapa permite reunir dados relevantes sobre o local em estudo, sem grandes custos financeiros. Através dos mapas topográficos e fotografias aéreas é possível caracterizar o relevo e a ocupação do solo na área em estudo, assim como identificar grandes estruturas e linhas de água. As cartas geológicas disponíveis fornecem uma primeira informação acerca da geologia do local (à escala 1/50000), o que não impede que se tenha de efectuar posteriormente um reconhecimento de campo, para se obter uma cartografia geológica de detalhe e confirmar as informações da carta 1/50000.

A coluna litológica resultante da interpretação das sondagens de captações de águas subterrâneas ou piezómetros instalados, fornecem dados detalhados sobre a geologia do local em profundidade, permitindo aferir e completar os dados recolhidos pela análise das cartas geológicas. Deve-se procurar aceder a estudos anteriores feitos na região (e.g. projectos de selagem e de instalação das lixeiras). O estudo da região também deve incluir as actividades que anteriormente foram desenvolvidas de forma a tomar conhecimento de outras fontes de contaminação.

Reconhecimento de campo da área de estudo

Após a recolha preliminar de informação, deve ser efectuado um reconhecimento físico da área de estudo e obter dados adicionais relevantes, confirmar e corrigir a informação recolhida. Este reconhecimento deve incluir entrevistas a residentes, que possuem um conhecimento real da região que passa despercebido a visitantes ocasionais.

Deve ser feito um reconhecimento detalhado da geologia superficial, examinando valas, taludes naturais, indícios de fracturação e falhas, análise das litologias presentes, confirmando e acrescentando informações obtidas no estudo da carta geológica. É necessário realizar um inventário hidrogeológico na área para se identificar possíveis nascentes, surgências e outros pontos de água e determinar o sentido do fluxo das águas subterrâneas (é uma medição fundamental na localização de medidas de remediação e mitigação de imprevistos). Deve-se igualmente localizar a direcção do fluxo superficial, para antever quais as áreas que poderão ser afectadas pela dispersão lateral da contaminação.

Integração da informação em SIG

Como a maioria dos dados recolhidos encontram-se geo-referenciados, tais como, a altimetria nas diferentes fases do projecto (inicial, antes do encerramento e após a selagem), cartografia geológica de superfície, níveis piezométricos obtidos numa rede de piezómetros na área envolvente à lixeira, resultados de análises químicas, prospecção geofísica, coluna litológica de sondagens, cadastro predial, observações de campo – incluindo ligação a fotografias tiradas no terreno, toda esta informação é estruturada e classificada constituindo as camadas de informação base do projecto SIG. Este sistema é o centro de toda informação recolhida sendo uma ferramenta de excelência para executar esta função.

A informação utilizada é proveniente de duas fontes: informação digital como altimetria ou fotografias aéreas que é fornecida pelo cliente ou é adquirida a uma entidade produtora de informação geográfica (Gabinete de Projecto, Instituto Geográfico do Exército, Instituto Geográfico Português, Câmaras Municipais, entre outras) e informação recolhida no campo com recurso a receptores GPS (*Global Positioning System*), como localização de piezómetros, perímetro da área em estudo, e recolha de amostras (prospecção geofísica e analítica).

Com a informação de base e os resultados dos trabalhos de campo é construído um *modelo conceptual* do local em estudo. Este modelo é uma “imagem virtual” simplificada da realidade, no sentido em que apenas são retidos os temas determinantes para a resolução do projecto/problema e com uma escala ou detalhe que permita atingir os resultados pretendidos. Neste caso de estudo, um modelo conceptual inclui a representação 3D do tema da geologia (por horizontes), hidrogeologia (alturas piezométricas) e a localização e volume da lixeira propriamente dita num modelo do tipo TIN (*triangular irregular network*) baseado em duas superfícies (topo e base). A visualização tridimensional permite a fácil interpretação em profundidade a partir de vários horizontes.

A integração da informação num SIG é uma tarefa que ocupa uma fracção importante do tempo global projecto. Na realidade este esforço é largamente compensado, pois o projecto SIG constitui uma base de dados georeferenciada histórica de toda a informação, podendo ser consultada e actualizada de forma expedita em qualquer altura do projecto. A observação de grandes tendências no espaço cruzando os diferentes tipos de informação (por exemplo, verificar que a pluma de contaminação encontra-se orientada condicionalmente a uma linha de água, que só é observada em levantamentos topográficos anteriores à deposição da lixeira) é um resultado extremamente importante e que só é possível realizar, em tempo útil, com um sistema deste tipo. A figura 1 ilustra um exemplo de integração de informação para o caso de estudo referenciado.

Outra mais valia da utilização de um SIG é a construção de informação derivada directamente a partir dos valores amostrados, através de técnicas de análise espacial e geoestatísticas. No exemplo da figura 1, foi utilizado um modelo geoestatístico de interpolação por krigagem. A krigagem é um estimador linear optimal que toma em consideração a estrutura espacial das variáveis através dos variogramas ou covariâncias espaciais experimentais. Os mapas estimados são instrumentos de visualização do comportamento médio da dispersão da variável analisada.

A prospecção geofísica na avaliação indirecta da contaminação

O facto dos métodos geofísicos serem não invasivos, de baixo custo e de cobertura rápida, torna-os indicados para estudos ambientais, não colocando quaisquer problemas a sistemas de impermeabilização naturais ou artificiais. Estes métodos são também muito úteis para programar campanhas de prospecção directas (locais de amostragem, sondagens), que poderão ser executadas numa fase posterior. Os métodos geofísicos devem ser utilizados preferencialmente em conjugação de dois ou mais métodos para se poder validar e dar mais segurança aos resultados obtidos.

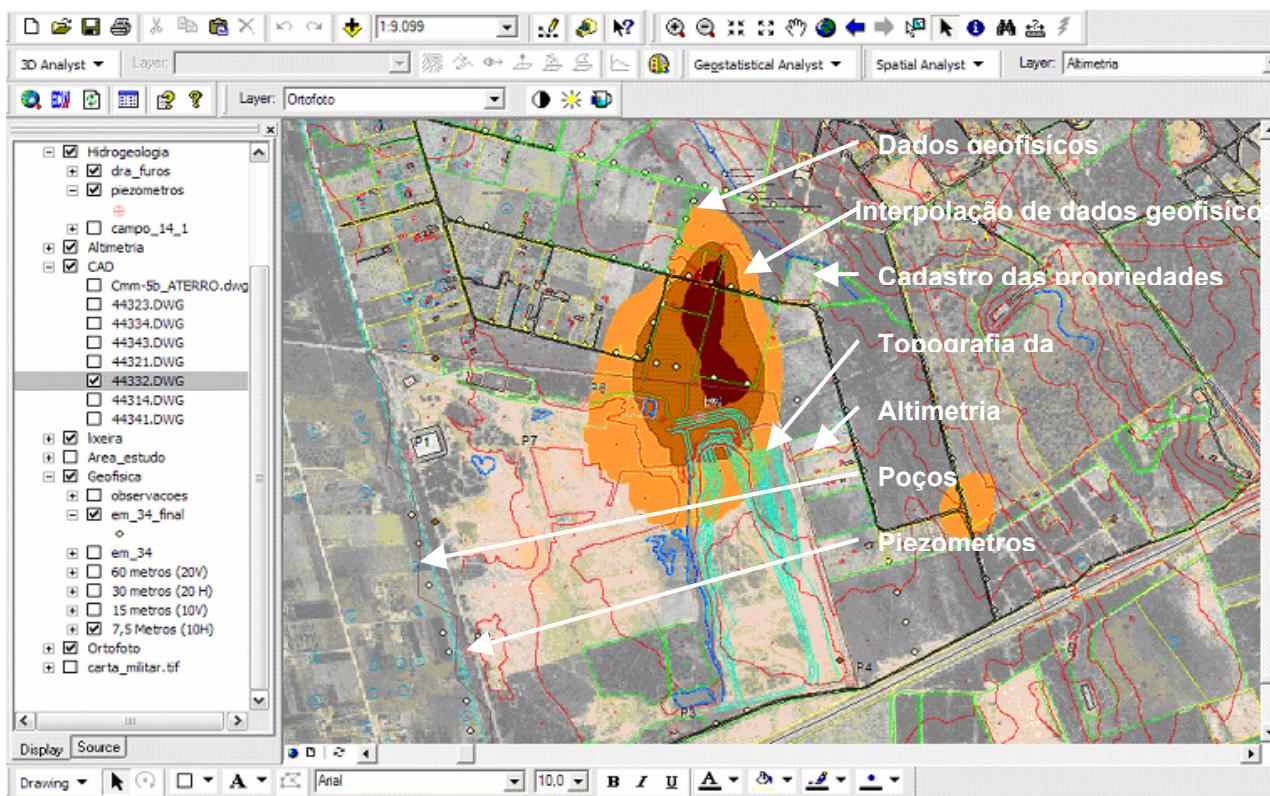


Figura 1 - Informação em ambiente SIG (ArcGis 8.2).

Neste tipo de estudos, a prospecção geofísica é utilizada para detectar a extensão da pluma de contaminação nas áreas afectadas com substâncias contaminantes, determinar a profundidade da zona saturada, a direcção de fluxo e profundidade do substrato rochoso (ou níveis argilosos que sirvam de contenção à propagação da contaminação). Os métodos geofísicos podem ainda fornecer informações sobre o grau de fracturação da área, a interface entre formações geológicas diferentes, identificação entre diferentes tipos de materiais em zonas de deposição, definição da espessura e estrutura dos depósitos de resíduos. Os resultados obtidos vão fornecer informações sobre as medidas de monitorização e remediação a serem implementadas na área contaminada.

Os métodos mais utilizados são o da resistividade eléctrica e electromagnética (EM-34). O método electromagnético envolve a propagação de campos electromagnéticos de baixa frequência, através de uma bobine emissora, sendo o campo recebido por uma bobine receptora. Os dados obtidos permitem a elaboração de mapas de condutividade aparente a diferentes profundidades, com a localização e determinação da extensão da pluma de contaminação (uma vez que as substâncias contaminantes geram líquidos com concentrações elevadas de sais, havendo por isso um aumento da condutividade) e também podem fornecer informações sobre fracturação e direcção de fluxo de águas subterrâneas.

Caracterização analítica dos lixiviados (fonte), aquíferos e linhas de água (receptores)

A realização de análises químicas dos lixiviados produzidos permitem ter uma ideia da tipologia de resíduos que podem estar depositados. Os parâmetros analisados vão fornecer indicações do potencial de contaminação dos lixiviados para o solo e águas subterrâneas e superficiais, utilizando como referência o DL 152/2002 relativo à regulamentação dos aterros sanitários. A composição química dos lixiviados varia consoante o tipo e a idade dos resíduos, mas caracterizam-se geralmente por possuírem uma carga orgânica elevada (CBO5 e CQO), dureza alta, e concentrações de sais elevadas (cloretos e sulfatos).

É necessário efectuar uma amostragem das águas superficiais e subterrâneas a montante da lixeira, para se conhecer a qualidade das águas da região a ser estudada, e a jusante para se poder avaliar se está a ocorrer a sua contaminação. O tipo de monitorização e remediação a ser definida depende da sensibilidade dos receptores que poderão ser afectados pela contaminação, assim se de origem a qualidade das águas naturais já é baixa, é exigido menos rigor na qualidade dos efluentes.

Elaboração do modelo hidrogeológico dinâmico

Com a elaboração de um modelo dinâmico de fluxo pretende-se representar matematicamente as condições hidrogeológicas e/ou químicas naturais do lugar de estudo. Torna-se possível traçar diversos cenários quanto à evolução do sistema ao longo do tempo e avaliar os riscos ambientais (evolução da concentração de um determinado poluente, tempo para atingir um determinado receptor), assim como ensaiar técnicas de remediação e medidas de mitigação.

A informação necessária para a construção destes modelos é adquirida ao longo dos trabalhos, sendo a mais importante a descrição geológica em profundidade e lateralmente, os parâmetros hidráulicos (informação sobre as alturas piezométricas, recargas do meio e análises químicas das águas subterrâneas). Entre os parâmetros hidráulicos a condutividade hidráulica assume maior relevância, sendo que nos estudos realizados este foi calculado com recurso a ensaios de bombagem ou *slug tests*.

A opção pela construção de um modelo deste tipo deve ser baseada na necessidade de prever o movimento de fluidos, nomeadamente o avanço e dispersão da pluma de contaminação. É ainda conveniente dispor de informação experimental no espaço e no tempo, sem a qual não é possível fazer uma calibração efectiva do movimento da pluma no simulador para a escala do tempo real.

Conclusões

Com este trabalho pretendeu-se sistematizar de uma forma simplificada uma abordagem para o estudo de lixeiras seladas. A implementação desta metodologia permitiu uma redução efectiva nos custos do estudo. Por exemplo a elaboração do modelo conceptual permitiu antecipar a localização mais provável da pluma. Seguidamente foi realizada uma prospecção geofísica na zona alvo previamente seleccionada que confirmou este modelo e ainda permitiu o incremento da resolução espacial. Foi ainda realizada uma campanha de amostragem e análises químicas com um maior conhecimento da problema, economizando-se desta forma uma série de análises desnecessárias em locais que não tinham nenhuma probabilidade de estarem contaminados.

A utilização das novas tecnologias, aliada às ferramentas já existentes, vem facilitar a integração da informação em imagens dinâmicas que permitem a introdução de novos dados mantendo sempre cenários actualizados dos problemas em questão.

No entanto não se devem descurar a monitorização posteriormente ao encerramento das lixeiras porque os lixiviados que ainda estão no seu interior vão sendo libertados e continuam a contaminar solos e águas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Dr.^a Amélia Dill, Dr. Augusto Costa, Eng. Elsa Ramalho e ao Dr. Rui Rocha o apoio concedido a nível da geofísica e hidrogeologia.

Bibliografia

- LaGrega, M. D.; Buckingham, P. L. & Evans, J. E. (1994) – Hazardous Waste Management, *McGraw-Hill*, 1202 p.
Kresic, N. (1997) – Quantitative Solutions in Hydrogeology and Groundwater Modeling, *Lewis Publishers*, 461 p.
Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (1997), *Ministério do Ambiente*, 146 p.
Tchobanoglous, G.; Theisen, H. & Vigil, S. A. (1993) – Integrated Solid Waste Management, *McGraw-Hill International Editions*, 978 p.