

MAPEAMENTO DA PROBABILIDADE DE CONTAMINAÇÃO EM ARSÊNIO NUMA ÁREA MINEIRA ABANDONADA (CENTRO DE PORTUGAL), USANDO A KRIGAGEM DA INDICATRIZ

Margarida Antunes

Instituto Politécnico de Castelo Branco, CIGAR, Portugal
imantunes@ipcb.pt

Teresa Albuquerque

Instituto Politécnico de Castelo Branco, CIGAR, Portugal
teresal@ipcb.pt

RESUMO

A região de Segura é uma área mineira abandonada com os seus rejeitados expostos ao longo dos últimos 50 anos. Na avaliação do risco de contaminação em arsénio nas águas, utilizou-se uma metodologia geoestatística não paramétrica - krigagem da indicatriz - selecionando dois valores de corte. O primeiro correspondendo ao 3º quartil da distribuição ($KI1=0,05\text{mg/L}$ -valor de referência) representa a vulnerabilidade específica. Para o segundo valor de corte, foi considerado o teor de fundo coincidente com o 1º quartil da distribuição e representando a vulnerabilidade intrínseca ($KI2$ =valor de fundo). Os mapas de iso-probabilidades mostram fortes anomalias associadas às atividades mineiras. Junto da povoação de Segura, a probabilidade do teor em As exceder o valor de referência, é elevada embora menor do que a probabilidade em ultrapassar o valor de fundo. As anomalias de As revelam uma elevada probabilidade das águas se encontrarem contaminadas não devendo ser utilizadas para consumo humano.

Palavras-chave: minas de sulfuretos, água, arsénio, krigagem da indicatriz

Introdução

A indústria mineira constituiu uma das mais importantes atividades económicas em Portugal ao longo de várias décadas. Atualmente, a maioria das explorações mineiras encontra-se abandonada, sem qualquer plano de recuperação ambiental implementado. Estas minas localizam-se frequentemente em zonas rurais e, por vezes, as águas são utilizadas na agricultura ou consumo humano, sem qualquer avaliação de potenciais riscos ambientais e para a saúde humana (e.g. Antunes *et al.*, 2002; Carvalho *et al.*, 2009; Gomes *et al.*, 2010).

As concentrações elevadas de arsénio (As) nas águas superficiais estão associadas a mineralizações em sulfuretos (e.g. Antunes *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2009) sendo extremamente tóxicas. A contaminação em As tende a estar confinada no espaço e os teores de As podem atingir valores milhões de vezes mais elevados do que o background natural (Smedley e Kinniburgh, 2002).

A caracterização geoquímica de uma água revela heterogeneidades nem sempre fáceis de identificar devido ao reduzido número de amostras (espaço) e à sua representatividade (tempo). Para a representação espacial e temporal recorreu-se à aplicação de metodologias estocásticas, tendo como referência valores limite previamente definidos. A krigagem da indicatriz é uma metodologia geoestatística, não paramétrica, com resultados bastante interessantes, quando se pretende construir uma cartografia da probabilidade de ocorrência de um determinado valor, acima de um limite de corte previamente definido (e.g. Liu *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2008; Ungaro *et al.*, 2008; Hassan e Atkins, 2011; Antunes e Albuquerque, 2013).

A representação espacial e temporal da probabilidade de ocorrência de As, nas águas estudadas, possibilitou um melhor conhecimento da sua mobilidade e dispersão na área em estudo e uma avaliação do risco associado de uma forma probabilística.

Área de Estudo e metodologia

Na região de Segura, localizada 60 km a este de Castelo Branco (Centro de Portugal), ocorrem diversos filões de quartzo mineralizados, nos quais foram extraídas cerca de 100 toneladas de cassiterite (Sn), 12 toneladas de volframite (W), 525 toneladas de barite (Ba) e 211 toneladas de galena (Pb). As explorações mineiras de Sn-W e Ba-Pb-Zn decorreram entre 1942-1953 e desde este período, a área não foi intervencionada (Antunes *et al.*, 2002). A arsenopirite é um dos sulfuretos presente na paragénese mineralógica da região de Segura, cuja oxidação e dissolução, a partir dos detritos mineiros sem qualquer proteção, promove a libertação de As e a sua dispersão nas águas da região. A área em estudo, com aproximadamente 22 km², inclui a povoação de Segura (Fig. 1), onde a agricultura constitui a principal atividade exigindo uma grande quantidade de água para irrigação. Localmente, a água pode ser utilizada para consumo humano.

Dezasseis pontos de água foram selecionados, correspondendo uma das amostras ao fundo geoquímico local e, desta forma, recolhida fora da influência mineira (Fig. 1; ponto de água 1). As restantes quinze amostras foram recolhidas a jusante das minas, recebendo, assim, a sua influência. Estes pontos de água foram amostrados duas vezes durante o ano de 1996 (outubro e dezembro).

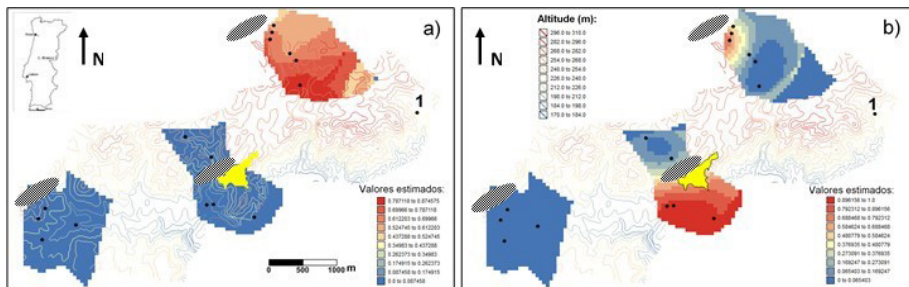


Figura 1. Mapas de iso-probabilidade do teor de As nas águas exceder KI1 (0,05 mg/L):
 a. outubro 1996; b. dezembro 1996 (adaptado de Antunes e Albuquerque, 2013).
 Pontos de amostragem de água (●); - minas abandonadas.

Na avaliação da potencial contaminação em As nas águas da região de Segura foram construídas duas variáveis indicatriz (binárias). Para primeira (KI1) considerou-se como valor de corte, para os dois meses em análise, o terceiro quartil da distribuição dos teores em As nas águas de Segura (KI=0,05mg/L para os dois meses). A probabilidade pontual de exceder este valor não depende apenas das características geológicas e hidrológicas da área de estudo, mas também das atividades antrópicas; pelo que representa a vulnerabilidade específica ou extrínseca. Para segunda variável indicatriz considerou-se o valor de fundo ou background, do teor de As na água, nos meses de outubro e dezembro. Os valores, obtidos, no ponto 1, apresentam valores muito próximos (KI2 = 0,004mg/L) e, desta forma, foi utilizado o mesmo limite de corte para ambos os meses. É razoável assumir que este limite representa a vulnerabilidade intrínseca,

pois o teor de fundo depende das características geológicas e hidrogeológicas da área. No estudo da contaminação em As, associada às atividades mineiras abandonadas, é importante a avaliação da vulnerabilidade intrínseca e específica da região, de modo a quantificar o impacto das atividades antropogênicas, tanto no espaço como ao longo do tempo (Albuquerque e Antunes, 2010; Antunes e Albuquerque, 2013).

Resultados

Nas figuras 1 e 2 são apresentados os mapas de iso-probabilidade obtidos através da krigagem das variáveis indicatriz, anteriormente definidas, nas colheitas de outubro e dezembro 1996, respetivamente. O mapa de iso-probabilidade, correspondente a K11, obtido para outubro de 1996, mostra uma forte anomalia, localizada a norte da área em estudo, na influência das minas abandonadas (Fig.2a). Para a colheita do mês de outubro 1996, o mapa de iso-probabilidade, para a variável K12, é semelhante ao mapa de iso-probabilidade obtido para a variável K11, com forte anomalia a norte da área em estudo (Fig. 1a e 2a). Junto da povoação de Segura, a probabilidade da concentração em As na água ultrapassar o valor de referência é elevada, embora menor do que a probabilidade em exceder o teor de fundo.

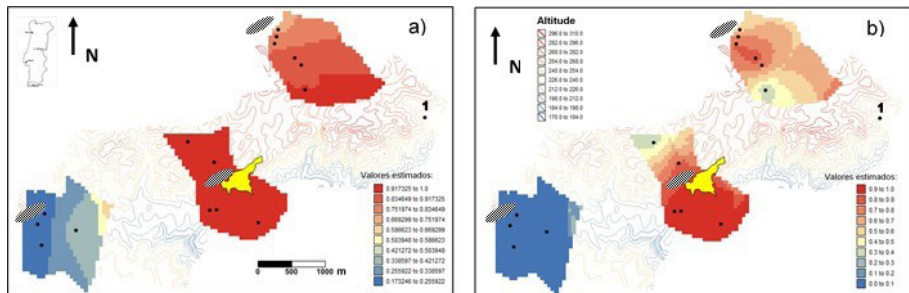


Figura 2. Mapas de iso-probabilidade do teor de As nas águas exceder K12 (0,004 mg/L):
a. outubro 1996; b. dezembro 1996 (adaptado de Antunes e Albuquerque, 2013).
Pontos de amostragem de água (●); - minas abandonadas.

Na colheita realizada em dezembro de 1996, duas fortes anomalias foram identificadas. Uma delas localizada a norte da área de estudo e coincidente com a já observada em outubro 1996. A segunda anomalia observada para o mês de dezembro localiza-se próximo da povoação de Segura (Fig.1b). Estas anomalias indicam uma elevada probabilidade de as águas estarem contaminadas em As, não devendo ser utilizadas para consumo humano (Antunes e Albuquerque, 2013).

A maioria das anomalias em As encontradas nas águas da região de Segura estão associadas com as estruturas mineralizadas e atividades mineiras abandonadas. Contudo, a irregular distribuição da probabilidade de teores elevados de As nas águas pode ser justificada pela presença de arsenopirite nestes filões mineralizados (Antunes e Albuquerque, 2013). Na comparação dos mapas de iso-probabilidades para as duas variáveis indicatriz construídas, K11 e K12, verifica-se um diferente padrão espacial (Fig. 1 e 2). A probabilidade do teor em As nas águas, exceder o valor de corte, é elevada, particularmente no mês de dezembro de 1996. No entanto, a probabilidade de exceder o valor de fundo é mais elevada. Na parte SW da área em estudo, a probabilidade do teor de As na água ultrapassar o valor de corte (K11) é menor, bem como, o teor de fundo (K12) (Fig. 1 e 2).

Conclusões

O arsénio é um elemento comumente associado às mineralizações de sulfuretos metálicos sendo tóxico mesmo em baixas concentrações. Na região de Segura, o teor mais elevado de As encontrado em dezembro 1996 está associado à diluição de oxi-hidróxidos de Fe, que retêm metais tóxicos (Antunes e Albuquerque, 2013). O risco de contaminação em As nas águas associadas a atividades mineiras abandonadas pode ser avaliado através da probabilidade destas excederem um teor de corte específico (KI1-valor de corte) e essencialmente representativo da presença de atividade antrópicas na região, bem como, a definição da sua vulnerabilidade intrínseca, ligada às características geológicas e hidrogeológicas da região (KI2 - teor de fundo). Durante o mês de outubro e dezembro 1996, os mapas de iso-probabilidades mostram fortes anomalias na influência direta das atividades mineiras abandonadas da região (Antunes e Albuquerque, 2013). Nas águas da região de Segura, a probabilidade do teor de As exceder o valor de referência é elevada, embora menor do que a probabilidade em exceder o seu teor de fundo ou background. No entanto, as anomalias nos teores de As sugerem uma elevada probabilidade de contaminação, pelo que estas águas não devem ser utilizadas para consumo humano.

Agradecimentos

Um agradecimento particular à Professora Doutora Ana Neiva pelas facilidades na utilização do laboratório químico do DCT da Terra da Universidade de Coimbra, Portugal. Este trabalho foi realizado no âmbito do CIGAR - Centro de Investigação em Geo-Ambientes e Recursos.

Biobliografia

- Albuquerque, M.T.D., Antunes, I.M.H.R. (2010) - Probability mapping of arsenic vulnerabilities – risk assessment, a Portuguese study case. *Book of IAMG – International Association for Mathematical Geology*, Hungary, Budapest.
- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G. (2002) - The mineralized veins and the impact of old mine workings on the environment at Segura, central Portugal. *Chem. Geol.*, vol. 190, 417-31.
- Antunes, I.M.H.R., Albuquerque, M.T.D. (2013) - Using indicator kriging for the evaluation of arsenic potential contamination in an abandoned mining area (Portugal). *Sci. Total Environ.*, vol. 442, 545-552.
- Carvalho, P.C.S., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G. (2009) - Geochemistry of soils, stream sediments and waters close to abandoned W-Au-Sb mines at Sarzedas, Castelo Branco, central Portugal. *Geochem. Explor. Environ. Anal.*, vol. 9, 341-352.
- Gomes, M.E.P., Antunes, I.M.H.R., Silva, P.B., Neiva, A.M.R., Pacheco, F.A.L. (2010) - Geochemistry of waters associated with the old mine workings at Fonte Santa (NE of Portugal). *J. Geochem. Explor.*, vol. 105 (3), 153-165.
- Hassan, M.M., Atkins, P.J. (2011) - Application of geostatistics with indicator kriging for analysing spatial variability of groundwater arsenic concentrations in Southwest Bangladesh. *J. Environ. Sci. Health.*, vol. 46 (11), 1185-1196.
- Lee, J.J., Jang, C.S., Wang, S.W., Liu, C.W. (2007) - Evaluation of potential health risk of arsenic-affected groundwater using indicator kriging and dose response model. *Sci. Total Environ.*, vol. 384, 151-162.
- Lee, J.J., Liu, C.W., Jang, C.S., Liang, C.P. (2008) - Zonal management of multi-purpose use of water from arsenic-affected aquifers by using a multi-variable indicator kriging approach. *J. Hydrol.*, vol. 359 (3-4), 260-273.

- Liu, J.C.S., Lu, C.W., Lin, K.L. (2007) - Delimitation of arsenic-contaminated groundwater using risk-based indicator approaches around blackfoot disease hyperendemic areas of southern Taiwan. *Environ. Monit. Assess.*, vol. 134 (1-3), 293-304.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. (2002) - A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.*, vol. 17, 517-568.
- Ungaro, F., Ragazzi, F., Cappellin, R., Giandon, P. (2008) - Arsenic concentration in the soils of the Brenta Plain (Northern Italy): mapping the probability of exceeding contamination thresholds. *J. Geochem. Explor.*, vol. 96 (2-3), 117-131.