

# POLUIÇÃO DE SOLOS: RISCOS E CONSEQUÊNCIAS

Alzira Dinis

Mestre Assistente

CEMAS, Faculdade de Ciência e Tecnologia – UFP

madinis@ufp.pt

Helena Fraga

Licenciada em Engenharia do Ambiente - UFP

*Presentemente, o solo está a ser progressivamente ameaçado por várias actividades humanas que o sujeitam a um processo de degradação, de que se destacam a erosão, a diminuição da matéria orgânica, a contaminação local e difusa, a impermeabilização, a compactação, a diminuição da biodiversidade e a salinização. Por isso, a prevenção e gestão sustentável devem estar no centro das políticas de protecção do ambiente.*

# 1. INTRODUÇÃO

O solo é geralmente identificado como a camada superficial da crosta terrestre, a *interface* entre a atmosfera, hidrosfera e geosfera. É um recurso vital, dinâmico, com propriedades físicas, químicas e biológicas distintas, constituído por partículas minerais de diferentes tamanhos, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos (Rodrigues e Duarte, 2003). A literatura científica menciona várias definições de solo, duas das quais são citadas seguidamente:

**a)** "Solo refere-se ao material particulado composto em parte por rocha exposta a erosão e outros minerais, e ainda por matéria orgânica parcialmente degradada, que cobre grande parte da superfície terrestre da Terra (Botkin e Keller, 2005);

**b)** os solos são considerados corpos naturais que cobrem partes da superfície terrestre. Têm propriedades que se devem ao efeito integrado da acção do clima e dos organismos sobre o material original que vai sendo sujeito a alterações ao longo do tempo (Soil Survey Staff., 1997)".

A dinâmica no mecanismo da formação dos solos traduz-se em processos de fragmentação de natureza físico-química e decomposição das rochas, além do transporte, da sedimentação e da evolução pedogénica (Rocha, 2005). Deste modo, as características (Petts e Eduljee, 1994; Wright, 2005) do solo são determinadas pelos seus processos de formação e são dependentes da natureza da fonte geológica principal, dos organismos que vivem no e acima do solo, da erosão, dos níveis de água subterrânea, do alagamento do solo, do vento, da chuva, da radiação solar, etc. Com o tempo, os processos de formação dos solos modificam o material original, contribuindo para a formação de diferentes camadas, e produzindo uma grande variedade de tipos de solo. Dentro de um tipo de solo, podem ocorrer grandes variações numa curta distância. A distribuição do solo em camadas tem implicações na migração e destino dos contaminantes na subsuperfície.

Segundo a Comissão das Comunidades Europeias (1996), o solo desempenha uma grande variedade de funções vitais, de carácter ambiental, ecológico, social e económico. Constitui um importante elemento paisagístico, patrimonial e físico para o desenvolvimento de infra-estruturas e actividades humanas, uma vez que é um recurso complexo, dinâmico, interactivo e não renovável, cada vez mais sob a pressão da actividade humana. A protecção do solo e a limitação dos processos de degradação deste recurso são reconhecidamente imprescindíveis para a sua sustentabilidade do desenvolvimento, sendo esta necessidade reconhecida internacionalmente (Rodrigues e Duarte, 2003).

Na actualidade, o tema poluição do solo tem despertado, a um só tempo, interesse e preocupação dos especialistas, das autoridades e da sociedade. São importantes não só os aspectos ambientais e de saúde pública inerentes, como também, e principalmente, a ocorrência de episódios críticos de poluição de âmbito mundial, o que introduziu a questão das áreas contaminadas (Günther, 2005).

É sob a perspectiva de componente de um ecossistema e de um problema de amplo interesse que devem ser entendidos os conceitos e os principais efeitos do solo aqui apresentados de uma maneira simplista, com a finalidade de advertir para a sua preservação que deve ser compreendida como um desafio ambiental.

## 2. POLUIÇÃO DOS SOLOS

O solo é um recurso natural e como tal deverá ser utilizado. Contudo, qualquer alteração indesejável das características físicas, químicas, ou biológicas do ar, do solo e da água que podem afectar, ou afectarão, prejudicialmente a vida do homem ou a das espécies desejáveis, os nossos processos industriais, as condições de vida e o património cultural; ou que pode, ou poderá, deteriorar os nossos recursos em matérias-primas, são considerados poluição (Odum, 1997).

Muitas vezes as actividades humanas causam ou agravam problemas do solo, incluindo a erosão e o esgotamento de minerais do solo. Tais actividades não promovem o uso sustentável do solo, isto é, não existe uma preocupação com a sua preservação de modo a que as gerações futuras possam usufruir deste, uma vez que usado de uma forma sustentável é capaz de se renovar ano após ano por processos naturais (Raven e Berg, 2004).

O uso do solo, as actividades resultantes do crescimento urbano, a extracção de recursos e o aterro de resíduos são alguns dos processos que podem provocar impactes no solo e nas águas subterrâneas (Rodrigues e Duarte, 2003).

Assim, a poluição está ligada à concentração, ou quantidade, de resíduos presentes no ar, na água ou no solo. Para que se possa exercer o controle da poluição de acordo com a legislação ambiental, definem-se padrões e indicadores de qualidade do ar (concentrações de NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, etc.), da água (Concentrações de O<sub>2</sub>, pH, temperatura, etc.) e do solo (taxa de erosão, etc.) que se deseja respeitar num determinado ambiente (Braga *et al.*, 2002).

## 2.1. CONSEQUÊNCIAS DA POLUIÇÃO

Apesar de existirem várias interpretações do termo «poluição», a definição de Holdgate (Alloway, 1995) para poluição é largamente aceite como consensual: a poluição é a introdução, pelo homem, de substâncias e energia no ambiente, susceptíveis de causar problemas de saúde pública, em organismos vivos ou sistemas ecológicos, prejudicar estruturas ou sua funcionalidade e interferir com usos legítimos do ambiente.

Por tradição, o solo tem sido utilizado como receptor de substâncias resultantes das actividades humanas, principalmente para a deposição final (Günther, 2005).

O enorme número de aterros que existem hoje em dia espalhados pelo mundo, visando reduzir o problema dos resíduos, tem conduzido a debates sobre o problema dos gases que neles se libertam, em especial o metano e o dióxido de carbono. A contaminação (Attewell, 1998) pode também alterar a resistência do solo e exercer um efeito de deterioração nas fundações, por exemplo no aço e cimento que as constituem.

Actualmente não se pode dizer que existam solos perfeitamente não contaminados (Petts e Eduljee, 1994). Os níveis de poluição dos solos são influenciados também pelas práticas de cultivo e pela deposição aérea dos contaminantes naturais e por aqueles produzidos pelo homem. Mesmo os solos que aparentemente não foram afectados pelas actividades humanas podem revelar níveis de elementos naturais superiores aos normais, o que não se encontra relacionado com a poluição. Em particular, os níveis naturais de elementos inorgânicos, por exemplo metais pesados, variam largamente de local para local.

A existência de locais contaminados representa uma ameaça real para os ecossistemas e populações que neles vivem ou trabalham, podendo a sua influência atingir distâncias significativas devido, fundamentalmente, ao elevado potencial de mobilidade de muitos contaminantes e da interacção solo/águas subterrâneas por efeitos de percolação/lixiviação desses contaminantes (<http://www.inresiduos.pt/portal>).

Faz-se frequentemente uma distinção entre a contaminação do solo originária de fontes claramente confinadas (contaminação local ou pontual) e a causada por fontes difusas. A contaminação local está geralmente associada à exploração mineira, às instalações industriais, aos aterros sanitários e outras instalações, tanto em funcionamento como depois de encerrados. A poluição difusa está geralmente associada à deposição atmosférica, a certas práticas agrícolas e à reciclagem e tratamento inadequado de resíduos e águas residuais (<http://www.inresiduos.pt/portal>).

A introdução de contaminantes no solo pode resultar na perda de algumas ou várias funções do solo e ainda provocar contaminação da água subterrânea. A ocorrência de contaminantes no solo, originados por várias fontes, acima de certos níveis provoca múltiplas consequências negativas para a cadeia alimentar, para a saúde pública e para os diversos ecossistemas e recursos naturais (Rodrigues e Duarte, 2003).

### 2.1.1. TIPOS DE CONTAMINANTES

Na Tabela 1 apresenta-se concretamente alguns dos principais tipos de contaminantes, os locais onde ocorrem e os principais problemas que podem causar.

Tabela 1 Alguns contaminantes, locais de

Tipo de Contaminante	Ocorrência Previsível	Principais Problemas
Metais "pesados", por exemplo cádmio, chumbo, níquel, mercúrio.	Áreas de extração de metais, esgotos de fábricas e águas residuais. Surtos de mineração, resíduos de mineração e galvanoplastia. Também de agricultura, por exemplo contaminação de solos. Produção de metais e ligas de desenvolvimento de metais.	Perturbam para a saúde de humanos e animais em regiões densas ou industrializadas. Podem interferir no legítimo crescimento de plantas.
Outros metais, por exemplo cobre, níquel, zinco.	Substâncias combinadas, por exemplo corantes e pigmentos.	Podem ser tóxicos.
Substâncias combinadas, por exemplo corantes e pigmentos.	Instalações de gás, resíduos nucleares, terra de carvão de fumo.	Podem ser tóxicos.
Gases atmosféricos, por exemplo dióxido de enxofre.	Áreas, comissões.	Depositem no solo ou por efeito de acidificação.
Substâncias "agressivas", por exemplo nitratos, cloratos e alúmin.	Resíduos de fabrico de fertilizantes.	Alargam quando os materiais de conservação, por exemplo fundações de concreto.
Substâncias provenientes de óleos e derivados de petróleo.	Também químicos, sulfatos, produtos de queima das plantas, derivados de alúmin.	Contaminação do funcionamento de água por contaminação das suas principais.
Aldeídos.	Resíduos de alúmin. Locais de deposição de resíduos.	Perturbam os metais.

ocorrência e problemas (Attewell, 1998).

Outros contaminantes não referidos na Tabela 1 podem ter que ser considerados quando as condições existentes no local o exigem.

### 2.1.2. TIPOS DE IMPACTE

A natureza dos impactos sobre os solos pode dividir-se entre, (a) perturbação

física com alterações na estrutura, ou (b) efeitos poluentes provocados pela adição ou remoção de substâncias ou calor (Petts e Eduljee, 1994).

#### 2.1.2.1. EFEITOS FÍSICOS

O impacto na geologia relaciona-se primeiramente com a perda e dano de características geológicas, paleontológicas e fisiográficas. As características geológicas podem ser alteradas através de:

- Deposição de resíduos.
- Migração de gases, como o metano.
- Escavação do solo.
- Plantação de árvores no topo de uma superfície, que podem levar a erosão desnecessária, instabilidade ou dano.
- Qualquer acesso, ou movimento sobre a face geológica em si, incluindo escalada.

Os efeitos físicos do desenvolvimento podem conduzir a alterações na topografia, remover a camada vegetal, torná-lo propício à erosão, ou introduzir substâncias ou elementos não-naturais, denominados poluentes, que alteram a qualidade do solo (Günther, 2005). Tal perturbação física pode conduzir a alterações na densidade e consistência do solo, da sua aptidão para a drenagem natural, e do seu teor em matéria orgânica. A erosão da superfície dos solos pode ser uma das consequências, e a remoção do solo ou a sua alteração em profundidade pode provocar desagregação da superfície.

Estes efeitos podem ter impactos sobre os microorganismos do solo, flora e fau-

na natural, produtos agrícolas, hidrologia e qualidade das águas subterrâneas e águas superficiais, e sobre a paisagem e amenidade visual, bem como sobre os edifícios e trabalhos de engenharia.

### 2.1.2.2. EFEITOS POLUENTES

Em resumo pode dizer-se que os solos podem ser sofrer impacte poluente através de:

- Alterações na qualidade da água à superfície e corrente.
- Lixiviação de contaminantes de instalações, em particular lixiviados de aterros.
- Fugas de tanques.
- Deposição com impregnação de líquidos poluentes.
- Aplicação directa de resíduos na terra, por exemplo lamas de esgoto.
- Produção e migração de gás nos aterros conduzindo a alterações na temperatura do solo.
- Contaminação dos solos através do movimento ascendente dos lixiviados por acção capilar, sob determinadas condições climáticas.

Esta lista de fontes de poluição do solo indicia que a contaminação se pode verificar anteriormente à entrada em contacto dos poluentes com o solo. Os efeitos letais e sub-letais dos poluentes do solo sobre a fauna e a flora podem resumir-se na Figura 1. Os poluentes do solo podem afectar os processos naturais, por exemplo alterando a disponibilidade de nutrientes para o crescimento dos produtos cultivados.

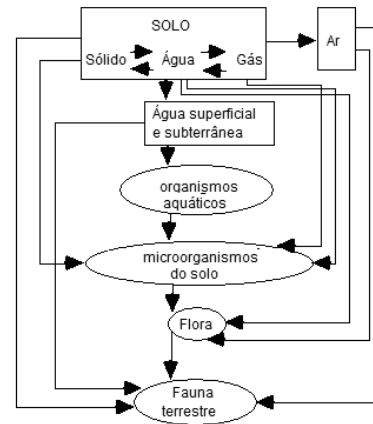


Fig.1 Vias de exposição da flora e fauna aos poluentes do solo.

Como por exemplo, pode ser abordada a aplicação directa de resíduos no solo, particularmente o espalhamento de lamas de esgoto e a sua injeção em terras utilizadas para a agricultura ou florestação, é prática comum na maior parte dos países dos Estados Membros da Comunidade.

Com a aplicação das regras europeias, as concentrações de metais pesados nos solos têm vindo a diminuir em alguns países, aqueles e que a Legislação é efectivamente aplicada. No Reino Unido, por exemplo, foi implementada a Directiva 86/278/EEC desde 1989 que especifica a concentração limite nos solos de sete metais prioritários (zinco, cobre, níquel, cádmio, chumbo, mercúrio e crómio). Contudo, a mesma legislação não foi implementada com o mesmo êxito noutros países. Isto é apenas um exemplo da não conformidade

de aplicação de critérios, menos notória talvez, actualmente.

A deposição de lamas em terra continua a ser uma alternativa de deposição atractiva, não somente com a proibição da deposição no mar, mas também pelo facto da União Europeia ter encorajado a sua utilização como meio de reciclagem e operação de deposição aceitáveis. O controle da lista negra de substâncias que influem negativamente no ambiente, a alteração das práticas de utilização do recurso terra, a alteração no tipo de produtos cultivados e as novas políticas de protecção para as águas da superfície e subterrâneas, representam potenciais restrições à segurança que a longo-prazo esta via representa.

## 2.2. DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS

Regra geral, a contaminação do solo torna-se um problema quando:

- a) há uma fonte de contaminação,
- b) há vias de transferência de poluentes que viabilizam o alargamento da área contaminada
- c) há indivíduos e bens ameaçados por essa contaminação.

O problema pode ser resolvido por:

- a) remoção dos indivíduos e/ou bens ameaçados,
- b) remoção da fonte de poluição ou,
- c) bloqueamento das vias de transferência [isolamento da área].

A implementação de um processo de remediação e descontaminação de solos baseia-se numa metodologia de actuação, cujas principais fases são (Sepúlveda e Ribeiro, 1994):

- Identificação do local contaminado (inventários);
- Estabelecimento dos objectivos de remediação (diagnóstico-avaliação das áreas contaminadas);
- Avaliação e selecção da(s) técnica(s) de tratamento e respectiva implementação;
- Monitorização após implementação.

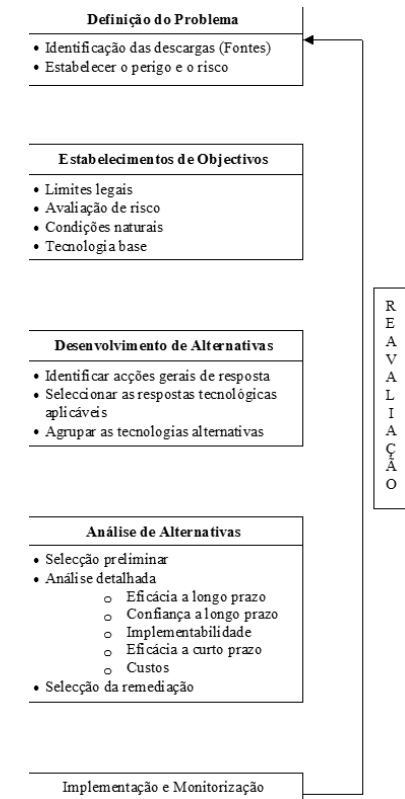


Fig.2 representa esquematicamente um resumo da metodologia geral de actuação, com as várias actividades a serem consideradas.

Em termos globais podem distinguir-se duas grandes linhas de processos de descontaminação de solos (Sepúlveda e Ribeiro, 1994; Nazaroff e Alvarez-Cohen, 2001; Correia, 2002):

**In-situ:** a operação de descontaminação dá-se no local onde se encontra o terreno a regenerar, sendo os contaminantes retirados do solo através de meios de transporte como a água e/ou o ar. Estes veículos de transporte são então tratados, quer por via química, biológica ou mecânica, e novamente introduzidos no terreno.

**Ex-situ:** este tipo de operação implica a remoção do solo do local onde este se encontra inicialmente, de modo a ser submetido a tratamento de descontaminação. Os tratamentos *ex-situ* podem ser *on-site*, quando ocorrem directamente no local (por exemplo, através de uma unidade de lavagem de solos) ou *off-site*, quando o tratamento implica o transporte do solo contaminado até à central de tratamento, onde sofre determinados processos de descontaminação.

Na Figura 3 apresentam-se alguns processos de descontaminação, utilizados no tratamento de solos.

Normalmente para executar uma regeneração completa de um determinado local, é necessário proceder à aplicação de várias tecnologias, temporalmente paralelas ou sequenciais. As combinações são definidas caso a caso, tendo em conside-

Processos	in-situ		ex-situ	
	(sem aplicação)		on-site	off-site
Técnicos			Combustão	Pirólise
Físico-químicos	Seco	Injeção de ar	Dessorção em reactor	
		Húmido	Lavagem do solo Extracção	Lavagem do solo Extracção
Biológicos	Biológicos		"Landfarming" Bioreactor	
Processos especiais	p.ex.: - vitrificação - electrocinéticos		p.ex.: - electrocinéticos	
Isolamento	Confinamento		(sem aplicação)	

**Fig.3** Processos de descontaminação de solos (Molitor, 1991).

ração as especificidades do projecto e os objectivos propostos (Correia, 2002).

### 3. CONCLUSÕES

O solo é um recurso finito, limitado e não renovável, face à sua taxa de degradação potencialmente rápida, que tem vindo a aumentar nas últimas décadas - pela pressão crescente das actividades humanas - em relação à sua taxa de formação e regeneração extremamente lenta. Convém ter a noção que formação de uma camada de solo de apenas 30 cm leva tão só 1000 a 10000 anos a completar-se.

A urbanização crescente das sociedades modernas promove uma separação do mundo rural e faz perder a noção da importância do solo como suporte de vida no planeta (Varenes, 2003). O motivo de tanta preocupação é o facto de que o solo, uma vez degradado e/ou contaminado, terá consequências ambientais, sanitárias, económicas, sociais e políticas que poderão limitar ou até inviabilizar a sua utilização pos-

terior. Assim, a preocupação com a preservação, protecção, controle e recuperação do solo tem sido ampliada nas últimas três décadas, a altura em que os acontecimentos de áreas contaminadas passaram a ser socialmente ampliados (Günther, 2005).

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway, B.J (1995). *Heavy metals in soils*. New York. John Wiley & Sons, Inc.
- Attwell, P. (1993). *Ground Pollution Environment, Geology, Engineering, and Law*. London, Chapman & Hall.
- Attwell, P. (1998). *Ground Pollution Environment, Geology, Engineering, and Law*. London, Chapman & Hall.
- Botkin, D. e Keller, E. (2005). *Environmental Science: Earth as a Living Planet*. 5<sup>th</sup> Ed. United States Of America. John Wiley & Sons, Inc.
- Comissão das Comunidades Europeias (2002). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, The Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, «towards a Thematic Strategy for Soil Protection», COM(2002), Bruxelas.
- Correia, J. (2002). Processo de descontaminação de solos. *In: Tecnologias do Ambiente*, Março-Abril, pp. 18-19.
- Grimberg, E., Blauth, P. (1998). *Coleta Selectiva: reciclando materiais, reciclando valores*. São Paulo, Polis.
- Guilford, N. G. H. (1994). Exploração de Sistemas Fiáveis e Económicos. *4ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*. Lisboa 6-8 Abril, Vol II, pp. L89-L98.
- Günther, H. (2005). Poluição dos solos. *In: Philippi JR. A., Pelicioni M. C. (Ed.). Educação Ambiental e Sustentabilidade*. São Paulo, Manole, pp. 191.
- Inácio, M. F. M. (1994). Tratamento, Gestão e Valorização de Resíduos Sólidos. *4ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*. Lisboa 6-8 Abril, Vol II, pp. L108-L122.
- Instituto do Ambiente (2003). Relatório do estado do ambiente 2003. Amadora.

Instituto dos Resíduos. [Em linha]. Disponível em <http://www.inresiduos.pt/portal> [Consultado 12/07/2005].

Molitor, N. (1991). Soil Washing. An Overview. In: *Advanced European Training Course in Soil and Groundwater Cleaning*, Nov, pp.261-270.

Nazaroff, W. e Alvarez-Cohen, L. (2001). *Environmental Engineering Science*. New York. John Wiley & Sons, Inc.

Odum, E. (1997). *Fundamentos de Ecologia*. 5ª Edição. Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian.

Petts, J., Eduljee, G. (1994). *Environmental Impact Assessment for Waste Treatment and Disposal Facilities*. John Wiley & Sons.

Rocha, A. A. (2005). Controle da Qualidade do Solo. In: Philippi JR. A. (Ed.). *Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável*. São Paulo, Manole, pp. 485-515.

Rodrigues, S., Duarte, A.C.(2003). Poluição do solo: revisão generalista dos principais problemas. In: Castro, A., Duarte, A., Santos, T. (Ed.). *O Ambiente e a Saúde*. Lisboa, Instituto Piaget, pp. 136-176.

Sepúlveda, I. e Ribeiro, A. (1994). Descontaminação de solos. In: *Tecnologias do Ambiente*, Janeiro, pp. 34-39.

Soil Survey Staff. 1997. *Keys to Soil Taxonomy USDA - Soil Conservation Service*. 7th ed., Washington D.C.

Varenes, A. (2003). *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Lisboa. Escolar Editora.

Weale, A., Pridham, G., Cini, M., Konstadakopulos, D, Porter, M, Flynn, B (2000). *Environmental Governance in Europe*. New York, Oxford University Press Inc.

Wright, R. (2005). *Environmental Science*. 9th Edition. New Jersey, Pearson Prentice Hall.