

# Residuos urbanos e industriales

*¿fuente de problemas  
o de oportunidades?*

**MARTAS**

 **Tecnológico**  
de Antioquia  
Institución Universitaria  
*Educación sin Fronteras*

Compilado por:

Mario Victor Vázquez - Jorge Montoya Restrepo



# Residuos urbanos e industriales

¿fuente de problemas  
o de oportunidades?

Red Iberoamericana de Aprovechamiento de Residuos Industriales  
para el Tratamiento de Suelos y Aguas Contaminadas (RIARTAS)

RIARTAS

**Tecnológico  
de Antioquia**  
Institución Universitaria

*Educación sin Fronteras*



ISBN: 978-958-8628-39-4

## **Autores**

**Mario V. Vázquez**  
*Argentina*

**Patricia Jové Martín**  
*Portugal*

**Noemí E. Zaritzky**  
*Argentina*

**Alexandra B. Ribeiro**  
*Portugal*

**Gabriel Mauricio Peruca de Melo**  
*Brasil*

**Claudio Cameselle**  
*España*

**Jordi Morató**  
*España*

**Eduardo P. Mateus**  
*Portugal*

**Carla E. Giacomelli**  
*Argentina*

**Héctor Fernández**  
*Argentina*

**Dora M. Benjumea Gutiérrez**  
*Colombia*

**Laura C. Borgnino**  
*Argentina*

**Ricardo Rojas y Delgado**  
*España*

**Valéria Peruca de Melo**  
*Brasil*

**M.A.Ortiz**  
*Mexico*

**G.Agusti**  
*España*

**F.Codony**  
*España*

**A.Gallegos**  
*Mexico*

**Jorge Montoya Restrepo**  
*Colombia*

**Celia Dias-Ferreira**  
*Portugal*

**Marco D.R. Gomes da Silva**  
*Portugal*

**Ana M. Ferro Orozco**  
*Argentina*

**Edgardo M. Contreras**  
*Argentina*

**Patricia Gabriela Molina**  
*Argentina*

**Fernando Javier Arévalo**  
*Argentina*

**María Alicia Zon**  
*Argentina*

**Susana Gouveia**  
*Portugal*

**Wanderley José de Melo**  
*Brasil*

**Lorenzo Portocarrero Sierra**  
*Rector*

**Giovani Orozco Arbeláez**  
*Vicerrector Académico*

Diseño, diagramación e impresión:  
DIVEGRÁFICAS LTDA.  
[www.divegraficas.com](http://www.divegraficas.com)

2012



# Contenido

<i>Presentación</i> .....	5
<i>Residuos para el tratamiento</i>	
1. Uso de residuos modificados como adsorbentes de contaminantes .....	9
2. Utilización del corcho como nuevo adsorbente .....	21
3. Reducción de cromo hexavalente mediante tratamiento biológico utilizando un residuo de la industria láctea .....	27
<i>Tratamiento de suelos contaminados</i>	
4. Papel da electro-remoção nas hortas urbanas e cidades-jardim .....	53
5. Fitorremediação de solo contaminado por chumbo .....	61
6. Tratamiento y recuperación de suelos contaminados. Avances en remediación electrocinética. ....	89
<i>Tratamiento de aguas contaminadas</i>	
7. Potencial de detoxificación de biopelículas en humedales construidos de flujo subsuperficial .....	119
<i>Misceláneas</i>	
8. Cromatografía gasosa bidimensional abrangente (gc×gc): uma ferramenta para a caracterização qualitativa de amostras ambientais complexas .....	135
9. Eliminación de contaminantes utilizando arcillas naturales y sintéticas .....	149
10. Micotoxinas: su rol en el sistema agroalimentario. Determinaciones electroanalíticas y por inmunoelectroanálisis .....	175
11. Automedicación, ¿un problema ambiental? .....	189





# PAPEL DA ELECTRO-REMOÇÃO NAS HORTAS URBANAS E CIDADES-JARDIM

**Alexandra B. Ribeiro<sup>1</sup>, Eduardo P. Mateus<sup>1</sup>, Celia Dias-Ferreira<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*CENSE, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal*

<sup>2</sup>*CERNAS, Departamento de Ambiente, Escola Superior Agrária de Coimbra, Bencanta, 3040-316 Coimbra, Portugal  
abr@fct.unl.pt*

## INTRODUÇÃO

A revolução industrial do século XIX exigiu o deslocamento de grandes fluxos populacionais do campo para a cidade, não permitindo a execução de planos urbanísticos ponderados e equilibrados. Como consequência imediata da ausência desse planeamento surgiram vários problemas: de saúde, sociais, ambientais, de ocupação do solo, entre outros. Esses desequilíbrios levaram Ebenezer Howard em 1898 e Patrick Abercrombie em 1944 (Dunnet & Kingsbury, 2008) a proporem o conceito de Cidade-Jardim: diminuir a densidade populacional por metro quadrado e aumentar o número de espaços verdes (Palha, 2011).

O conceito de Cidade-Jardim torna-se tão mais importante se tivermos em conta que 4% da área global terrestre do planeta está urbanizada (UNDP et al., 2000), com uma previsão de crescimento contínuo a resultar, em 2007, em mais de metade da população mundial a viver em áreas urbanas (United Nations, 2004). Este crescimento é uma consequência primária da combinação do aumento populacional,

desenvolvimento e das tendências sociais, com a importância relativa destes factores a variar entre regiões (Davies et al., 2008).

Na União Europeia (UE), 4.1%, 4.3% e 4.4% do território da UE foi classificado como superfície artificializada respectivamente nos anos de 1990, 2000 e 2006, o que corresponde a um aumento de 8.8% entre 1990 e 2006. Neste mesmo período de tempo, a população aumentou apenas 5%. Em 2006, cada cidadão da UE dispunha de 389 m<sup>2</sup> de superfície artificializada, o que corresponde a 3.8% ou 15 m<sup>2</sup> a mais, quando comparado com o valor de 1990 (Prokop et al., 2011).

Em 2006, aproximadamente 100 000 km<sup>2</sup> ou 2.3% do território da UE encontrava-se impermeabilizado correspondendo, em média, a cada cidadão da UE 200 m<sup>2</sup> de superfície impermeabilizada. Os Estados-Membro com as maiores taxas de impermeabilização, excedendo os 5% do seu território nacional, são Malta, Holanda, Bélgica, Alemanha e Luxemburgo. Contudo, há regiões com elevadas taxas de impermeabilização espalhadas por toda a EU



e incluem todos os grandes aglomerados urbanos, bem como a maioria das regiões do Mediterrâneo (Prokop et al., 2011).

No sentido de contrariar estes problemas associados ao meio urbano e, inserido no conceito Cidade-jardim, verificou-se o aparecimento recente de duas novas tendências que têm vindo a ganhar cada vez mais defensores: são as coberturas verdes de edifícios e o fenómeno das hortas urbanas, que conduzem à expansão da área verde urbana.

### Coberturas verdes

A instalação de vegetação em coberturas e fachadas de edifícios, com consequentes impactes ambientais positivos, nomeadamente na concentração de oxigénio e dióxido de carbono na atmosfera, no efeito de ilha de calor, na eficiência energética, na diminuição da poluição sonora, atmosférica e visual, na qualidade da paisagem citadina, na qualidade da vida das populações e no desenvolvimento económico, nomeadamente no sector de produção de plantas (Palha, 2011). As coberturas verdes trazem ainda outras vantagens, nomeadamente ao nível da drenagem da cidade, do conforto, estéticas, e vantagens económicas.

Segundo Palha (2011), uma cobertura ajardinada é qualquer espaço verde que se desenvolva sobre uma laje de um edifício. Este conceito engloba jardins convencionais, que oferecem condições ao desenvolvimento de todo o tipo de plantas, até jardins que apresentem espessuras mínimas de substrato (6 cm, dependente da zona climática) e que permitem o desenvolvimento de comunidades botânicas muito simples (ex. sedum, podendo dividir-se em (Palha, 2011):

- i) **coberturas verdes intensivas** (semelhantes aos antigos jardins de cober-

tura, onde se espera que as pessoas os utilizem como um jardim convencional; em que a profundidade do solo, ou do substrato mais leve, é de pelo menos 15 cm e necessitam de manutenção regular),

- ii) **coberturas verdes extensivas** não são executadas para uso humano regular, e muitas vezes nem sequer são visíveis, em que o objectivo é reduzir ao mínimo a manutenção) e,
- iii) e **Brown Roofs** (coberturas a que se acrescentou substrato proveniente de materiais sobrantes de construção, não sendo propositadamente adicionado mais nenhum material vegetal, criando-se apenas o espaço para que a biodiversidade espontânea o vá ocupando).

### Agricultura urbana

A agricultura urbana tem conhecido um interesse crescente, sendo as motivações variadas assim como natureza das iniciativas. Para muitos a motivação principal prende-se com o complemento do rendimento familiar através da produção para o auto consumo, para outros pode ser um meio de ocupar os tempos livres, de desenvolver uma actividade física ou de combater o stress. Muitas vezes esta prática está relacionada com concepções ligadas a aspectos filosóficos e a formas de estar na vida dos seus praticantes. A agricultura urbana surge, muitas vezes, como resposta a períodos e situações de crise económica, de desemprego e sub-emprego, de salários baixos e sistemas de segurança social frágeis, cumprindo assim um objectivo de complemento do rendimento das famílias e de integração social das pessoas pertencentes às franjas mais desfavorecidas da sociedade urbana (Miguens et al., 2008). Podemos classificar as hortas urbanas em formais e espontâneas. As iniciativas for-



mais são maioritariamente desenvolvidas pelas câmaras municipais, empresas ou associações que promovem os projectos e os colocam à disposição dos interessados. As hortas espontâneas partem de iniciativas individuais e ocupam normalmente terrenos baldios ou junto às redes viárias. Existem também as hortas pedagógicas que estão normalmente associadas a projectos educativos relacionados com o ambiente, a valorização de resíduos e a promoção de uma dieta saudável (Ferreira et al., 2011). Segundo a FAO (1999), a viabilidade a longo prazo da agricultura que se desenvolve nas zonas urbanas e periurbanas depende do sucesso com que os agricultores e as entidades oficiais exploram os benefícios ambientais, minimizam os problemas e asseguram meios seguros de acesso à terra. Por isso é importante que seja praticada uma agricultura sustentável e que os espaços de agricultura urbana estejam integrados nos sistemas de recursos naturais urbanos e nos instrumentos do ordenamento do território. Deste modo a agricultura urbana pode contribuir para a conservação do solo e da água, para a redução dos resíduos orgânicos e para o sequestro do carbono tornando as cidades mais sustentáveis (Ferreira et al., 2011).

#### Solo urbano

O solo urbano encontra-se sujeito a agressões que resultam das actividades específicas que caracterizam as cidades. O tráfego intenso, as actividades comerciais e a indústria produzem emissões para a atmosfera e descargas de efluentes líquidos que, em última análise, são responsáveis pelo aparecimento e acumulação no solo de diversos contaminantes (Ferreira et al., 2011).

As coberturas verdes e as hortas urbanas, pelo facto de serem praticadas em meio urbano, estão associadas a riscos especí-

ficos em termos de contaminantes relacionados com a utilização do recurso solo. Dada a pouca disponibilidade de solos em meio urbano e periurbano, em resultado directo da pressão urbanística que se faz sentir nestes locais, agricultura urbana instala-se frequentemente em locais abandonados. A limpeza do terreno é, previsivelmente, uma das primeiras actividades que ocorrem aquando da reconversão do espaço para instalação de uma nova horta urbana. Contudo, frequentemente (se não sempre) esta limpeza limita-se à remoção de escombros e resíduos aí abandonados, e eventualmente da vegetação instalada, descurando-se o que poderá estar logo abaixo da superfície fruto da utilização anterior do local. Dependendo desta utilização poderá haver uma panóplia de substâncias acumuladas no solo que são libertados durante as actividades agrícolas, colocando o agricultor em contacto directo com os poluentes, quer por via dérmica quer por inalação de poeiras. Uma outra via de exposição é também aberta, pela possibilidade dos produtos cultivados absorverem os poluentes através da raiz. A translocação dos poluentes para as partes edíveis (folhas, raízes e frutos) pode levar à sua bioacumulação nos consumidores, com efeitos directos na sua saúde e bem estar.

Em casos extremos há um perigo real para a saúde dos consumidores desses produtos. O problema também se coloca ao nível das coberturas ajardinadas, tanto pela origem do solo utilizado e sua eventual contaminação prévia, como por constituírem eventuais “reservatórios” de poluentes que aí vão sendo depositados, fruto das emissões para a atmosfera e sua deposição, quer seca quer húmida. As práticas culturais relacionadas com a instalação e manutenção destas coberturas, pela eventual utilização de pesticidas e herbicidas, poderão também implicar a contaminação dos substratos.



### Electro-remoção

Os processos electrocinético e electrodiálítico são técnicas de remoção de contaminantes, quer in-situ, quer on-site, de solos, lamas, resíduos de madeira tratada, cinzas e sedimentos. Estas técnicas utilizam a acção de um campo eléctrico como “agente de limpeza”, transportando os poluentes da matriz contaminada para os compartimentos dos eléctrodos, dos quais podem ser removidos.

Estas técnicas de remediação poderão vir a ser utilizadas em contexto urbano, uma

vez que são eficientes na remoção de metais pesados e contaminantes orgânicos vários. Ora muitas vezes a contaminação associada a solos urbanos é justamente mista.

### Mecanismos de transporte

Os mecanismos responsáveis pelo transporte de contaminantes durante a electro-remoção são essencialmente três: electromigração, electroosmose e electroforese (figura 1), ao qual se junta, no caso específico do processo electrodiálítico, a electrodiálise.

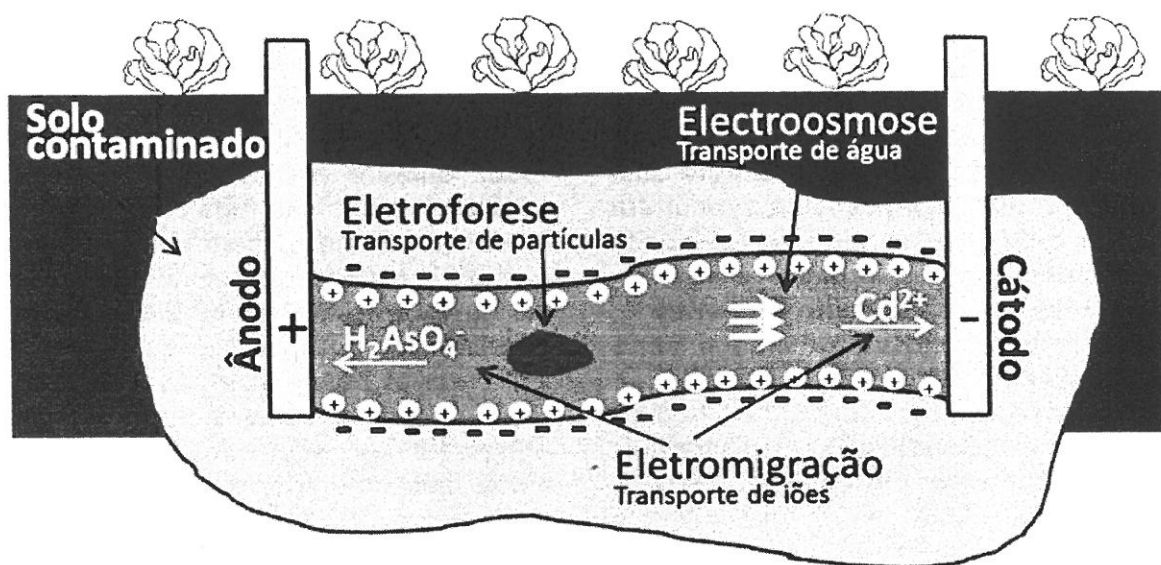


Figura 1 – Mecanismos de transporte de contaminantes durante a electroremoção (Ferreira et al, 2011)

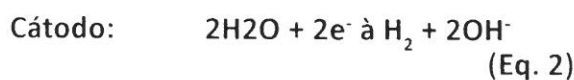
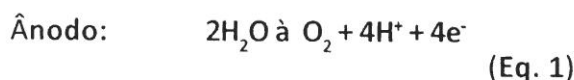
A electromigração diz respeito ao movimento de iões sob a acção de um campo eléctrico. É o mecanismo de transporte dominante em solos, quando se lida com espécies solúveis carregadas (por exemplo:  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  ou  $Zn^{2+}$ ). Os iões positivos movimentam-se na direcção do cátodo e os iões negativos na direcção do ânodo.

A electroosmose consiste no fluxo de massa que ocorre na solução, relativamente

às partículas do solo. Este mecanismo impera na remoção de espécies não carregadas e/ou de contaminantes orgânicos fracamente dissociados, tais como fenóis. A electroforese diz respeito ao movimento de colóides carregados sob a acção de um campo eléctrico. As partículas carregadas são atraídas electrostaticamente para um dos eléctrodos e repelidas do outro (p. ex.: as partículas de argila carregadas negativamente movem-se em direcção ao ânodo).



No caso de se utilizarem eléctrodos inertes, por exemplo de platina, as suas reacções podem ser controladas para produzir iões  $H^+$  no ânodo (Eq. 1) e iões  $OH^-$  no cátodo (Eq. 2), gerando-se um meio ácido no ânodo e um meio alcalino no cátodo. Isto promove uma frente ácida na direcção do cátodo que poderá facilitar a remoção de metais pesados.



### Exemplos de aplicação

#### Metais pesados

Um dos primeiros exemplos da utilização da electro-remoção na Europa data de 1989 e consistiu na remoção de arsénio de um local onde anteriormente tinha estado instalada uma unidade de tratamento de madeira, na cidade de Loppersum, no Norte da Holanda. O solo, maioritariamente argiloso, continha níveis de arsénio que iam até 400-500 mg/kg, numa área de 10 m x 15 m e 1 a 2 metros de profundidade. A origem do arsénio era o sal  $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$ , utilizado na preservação de madeiras, como no caso dos postes de electricidade e de telefone. A empresa Geokinetics BV foi a responsável pela remediação deste local, operação que decorreu ao longo de 80 dias, tendo sido removidos 38 kg de arsénio por electro-remoção e os restantes 14 por escavação. As concentrações máximas desceram de 500 para 29 mg/kg, e as médias de 115 para 10 mg/kg, tendo o local sido posteriormente convertido numa área residencial.

Um outro local em que foi aplicada a electro-remoção foi a cidade de Stadskanaal, também na Holanda, tendo sido tratados 2500 m<sup>3</sup> de solos e sedimentos finos argi-

losos com concentrações de cádmio que excediam, nalguns locais, os 2000 mg/kg. O tempo de remediação foi neste caso de dois anos e meio, tendo as concentrações finais de cádmio baixado para 5 - 40 mg/kg.

#### Contaminantes orgânicos

No caso de contaminantes orgânicos, os autores têm trabalhado no laboratório, à escala de bancada, na remediação de solos contaminados com herbicidas, tais como a atrazina, a bentazona e o molinato (Ribeiro et al., 2005; Ribeiro e Mateus, 2009; Ribeiro et al., 2011). A atrazina, comercializada desde 1959, tem sido o herbicida mais utilizado a nível mundial, principalmente no combate a infestantes da cultura do milho e do arroz. A sua utilização generalizada, aliada à sua aplicação por vezes excessiva e às suas características de mobilidade e de persistência no ambiente, tem suscitado preocupações devido à contaminação de solos e de águas superficiais e subterrâneas. O molinato e a bentazona são outros herbicidas que têm sido usados na cultura do arroz, levantando o mesmo tipo de problemas. Os resultados obtidos permitem verificar que o processo electrocinético consegue remover eficazmente os herbicidas em solução, essencialmente no sentido do compartimento do ânodo, no caso da atrazina e a bentazona, estimando-se que 30 a 50 % da sua quantidade inicial de atrazina seja removida do solo nas primeiras 24 horas. No caso do molinato, este move-se essencialmente no sentido do cátodo. O modelo desenvolvido reproduz satisfatoriamente os resultados experimentais obtidos (Ribeiro et al., 2011).

#### Aplicação no contexto das Cidades-jardim

A prática da electro-remediação não implica grandes movimentações de terras, podendo ser realizada com perturbações



mínimas no local e é perfeitamente segura dado que as voltagens aplicadas são muito baixas, sendo pois ideal para solos urbanos. Um aspecto ao qual terá que ser dada alguma atenção é o fenómeno da acidificação do solo que poderá ocorrer devido à reacção no ânodo (Eq. 1). Já existem actualmente soluções técnicas que permitem ultrapassar este problema, seja pela utilização de membranas selectivas em redor do eléctrodo que impedem ou retardam os iões  $H^+$  de entrar no solo mas permitem a passagem dos contaminantes, seja pelo condicionamento dos electrólitos que envolvem os eléctrodos (Ferreira et al., 2011).

Não existe até ao momento nenhuma aplicação de electro-remoção no contexto das Cidades-jardim. Nem se conhece tão pouco a aplicação de qualquer outra técnica de remediação neste contexto. A remediação de solos é uma actividade praticada por empresas de grande dimensão dotadas de mão de obra especializada e com capacidade para investir em equipamentos e materiais. Este cenário pode ser incompatível com a especificidade urbana, onde as parcelas são de pequena dimensão e de difícil acesso para equipamento pesado (coberturas de edifícios).

O desafio que se coloca é conseguir pegar nesta tecnologia e adaptá-la à escala da agricultura urbana. As vantagens que daí adviriam seriam enormes, uma vez que a electro remoção permitiria reduzir o nível de contaminação do solo, aumentando a qualidade do meio ambiente citadino. Para o caso específico das hortas urbanas permitiria também obter produtos cultivados com menor risco para a saúde dos seus produtores nem dos seus consumidores. Tudo isto sem implicar grandes custos de operação nem equipamento pesado.

## REFERÊNCIAS

- Davies RG., Barbosa O., Fuller R.A., Tratalos J., Burke N., Lewis D., Warren P.H., Gaston K.J. (2008). City-wide relationships between green spaces, urban land use and topography. *Urban Ecosyst*, 11: 269–287, doi:10.1007/s11252-008-0062-y
- Dunnet N., Kingsbury N. (2008). *Planting Green Roofs and Living Walls*. Timber Press, Portland, OR, ISBN 088192640X, 328 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (1999). *Urban and Peri-urban Agriculture*. [http://www.fao.org/unfao/bodies/COAG/COAG15/X0076e.htm#P26\\_252](http://www.fao.org/unfao/bodies/COAG/COAG15/X0076e.htm#P26_252), 25.09.2005
- Ferreira C.M.D., Ribeiro A.B., Miguens F. (2011). A electro-remoção na 'limpeza' de solos urbanos contaminados - caso das hortas urbanas. *Revista da Associação Portuguesa de Horticultura*, 106: 23-25. ISSN: 1646-1290.
- Green Roofs for Healthy Cities. <http://www.greenroofs.org/>
- Miguens F., Malta M., Santos D. (2008). Agricultura urbana como instrumento de promoção do desenvolvimento sustentável. Conferência Mundial sobre o Desenvolvimento de Cidades. Porto Alegre, Brasil 13-16 de Fevereiro.
- Oke T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*, 2nd Edition. Methuen. pp. 435. doi: 10.1002/qj.49711448412
- Palha P. (2011). Coberturas ajardinadas: uma solução para as cidades? *Revista da Associação Portuguesa de Horticultura*, 106: 26-31. ISSN: 1646-1290.
- Pauleit S., Duhme F. (2000). Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 52(1): 1-20. doi:10.1016/S0169-2046(00)00109-2



Pinto R., Ribeiro C., Simões P., Gonçalves A.B., Ramos R. (2011). Viabilidade ambiental das hortas urbanas enquanto espaços para o desenvolvimento sustentável. *Revista da Associação Portuguesa de Horticultura*, 106: 17-22. ISSN: 1646-1290.

Prokop G., Heide Jobstmann H., Schönbauer, A. (2011). Final Report. Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27. Technical Report - 2011 – 050. European Communities, ISBN : 978-92-79-20669-6, doi: 10.2779/15146

Ribeiro A.B., Mateus E.P. (2009). Electrokinetic removal of herbicides from soils. Cap. 12 In: Krishna Reddy, Claudio Camelle (Eds.), *Electrochemical Remediation Technologies for Polluted Soils, Sediments and Groundwater*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, ISBN: 978-0-470-38343-8, pp. 249-264.

Ribeiro A.B., Mateus E.P., Rodríguez-Maroto J.M. (2011). Removal of organic contaminants from soils by an electrokinetic process: the case of molinate and bentazone. *Experimental and modeling. Separation and Purification Technology*, 79(2): 193-203, doi:10.1016/j.seppur.2011.01.045

Ribeiro A.B., Rodríguez-Maroto J.M., Mateus E.P., Gomes H. (2005). Removal of organic contaminants from soils by an electrokinetic process: the case of atrazine. *Experimental and modeling. Chemosphere*, 59(9): 1229-1239, doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.11.054

UNDP (United Nations Development Programme), United Nations Environment Programme, World Bank, and World Resources Institute (2000). *World Resources 2000–2001*. Elsevier Science, Amsterdam. United Nations (2004). *World urbanization prospects: the 2003 revision*. United Nations, New York.

