

Mercury levels in house dust samples from Covilhã, Portugal - Preliminary results from 6x60x6 Project

Quantificação de mercúrio em amostras de pó doméstico recolhidas na cidade da Covilhã (Portugal) - Resultados preliminares do projeto 6x60x6

Sara M. Neves - saraneves2005@hotmail.com

CICS-UBI Centro de Investigação em Ciências da Saúde, Universidade da Beira Interior

M. Ramiro Pastorinho - rpastorinho@fcsaude.ubi.pt

Departamento de Ciências Médicas, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade da Beira Interior

Luís Taborda-Barata - tabordabarata@fcsaude.ubi.pt

Departamento de Ciências Médicas, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade da Beira Interior

Maria Assunção Vaz-Pato - mariavazpato@fcsaude.ubi.pt

Departamento de Ciências Médicas, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade da Beira Interior

Marisa Monteiro - d1662@ubi.pt

LABSED, Faculdade de Engenharia, Universidade da Beira Interior

Miguel Nepomuceno - mcsn@ubi.pt

LABSED, C-made, Faculdade de Engenharia, Universidade da Beira Interior

João C. G. Lanzinha - joao.lanzinha@ubi.pt

LABSED, C-made, Faculdade de Engenharia, Universidade da Beira Interior

Ana C.A. Sousa - anasousa@fcsaude.ubi.pt

CICS-UBI Centro de Investigação em Ciências da Saúde, Universidade da Beira Interior

Abstract

The evaluation of indoor environmental quality, particularly of households, is of paramount importance since modern humans spend most of their time indoors. Environmental contaminants with toxic potential play a central role in the modulation of indoor quality and recent trends have pointed towards their quantification in dust, which is a highly integrative matrix. The present work uses mercury as a case study integrated in a pioneering multidisciplinary study aiming to ascertain (by measuring a set of parameters for sixty days in six houses built in six different decades - 6x60x6) how the household characteristics and residents' habits modulate indoor environmental quality and, in turn, drive impacts upon their health. Total mercury levels in house dust samples varied between 138.7 ppb and 1075.5 ppb, with a single house recording a value higher than the limit admissible by Portuguese law (Portaria N^o1450/2007). A comparison of the obtained values with similar studies worldwide is performed and an action plan for the full development of the study is drafted.

Resumo

A avaliação da qualidade do ambiente interior, particularmente do ambiente doméstico, por ser aquele em que o ser humano passa a maior parte do seu tempo, reveste-se de particular importância. Esta qualidade é modulada por um conjunto de fatores entre os quais se encontram os contaminantes ambientais com potencial tóxico, que têm vindo a ser quantificados de forma consistente no pó doméstico, uma matriz com grande capacidade integradora. Este trabalho, que utiliza o mercúrio como caso de estudo, integra-se no âmbito de um projeto pioneiro e multidisciplinar, em que se pretende estudar por um período de sessenta dias, seis habitações particulares localizadas na cidade da Covilhã, para compreender de que forma as características do imóvel e os hábitos dos habitantes podem influenciar a qualidade do ambiente interior e consequentemente a saúde dos residentes. Os níveis de mercúrio total nas amostras de pó doméstico variaram entre 138,7 ppb e 1075,5 ppb, com um só dos imóveis a transcender o valor máximo permissível estabelecido pela Portaria N^o1450/2007. Estabelece-se uma comparação com os valores registados para outros estudos similares e traça-se um plano de ação para o pleno desenvolvimento do estudo.

Keywords

Indoor environment, Metals, Mercury, House dust

Palavras-chave

Ambiente interior, Metais, Mercúrio, Pó doméstico

Quantificação de mercúrio em amostras de pó doméstico recolhidas na cidade da Covilhã (Portugal) - Resultados preliminares do projeto 6x60x6

1. Introdução

Na sociedade moderna, grande parte da população passa cerca de 90% do seu tempo no interior de edifícios (p. ex. escolas, casas e locais de trabalho) [1]. Consequentemente a avaliação da qualidade do ambiente interior, particularmente do ambiente doméstico, por ser aquele em que a maioria das pessoas passa a maior parte do seu tempo, reveste-se de particular importância. A qualidade do ambiente doméstico é modelada por um conjunto de fatores que incluem, entre outros, a presença de contaminantes ambientais. Estes contaminantes são muitas vezes tóxicos e podem afetar negativamente a saúde dos habitantes, pelo que a sua quantificação é fundamental. Recentemente esta quantificação de contaminantes em ambiente doméstico, particularmente metais e compostos orgânicos semi-voláteis, tem vindo a ser realizada no pó doméstico [2], [3].

O pó é constituído por uma mistura heterogênea de partículas derivadas de fontes exteriores (e.g., partículas de solo transportadas para o interior pela roupa e calçado, deposição de partículas atmosféricas) e interiores (e.g., componentes dos edifícios e mobiliário, cabelo e pele dos habitantes, fibras (naturais e artificiais)) [4]. Adicionalmente, é uma matriz que reflete e integra os contaminantes existentes no ar, que ao adsorverem a matéria particulada em suspensão acabam por se depositar [5]. Consequentemente, esta matriz atua como um reservatório em que os químicos se encontram protegidos dos processos de degradação que ocorrem naturalmente no ambiente exterior, pois encontra-se protegida da luz solar, de flutuações de temperatura e da ação de microrganismos [4]-[6]. Por este motivo, as concentrações de contaminantes no pó doméstico são normalmente superiores quando comparadas com as concentrações no solo e pó exterior [2], [3].

A exposição ao pó doméstico ocorre por contato dérmico, inalação e na sua maioria por ingestão (p. ex. pó nos alimentos, contato mão-boca) [5], [7]. Considerando que a ingestão diária de pó doméstico pode atingir, no caso de adultos, 100 mg e, no caso das crianças, cerca de 200 mg [7], esta via de exposição não pode ser negligenciada.

A presença de metais tóxicos, particularmente chumbo, no pó doméstico tem sido alvo de numerosos estudos [e.g. [8]-[10]]; no entanto a presença de mercúrio no ambiente doméstico não tem sido alvo da mesma atenção, sendo apenas conhecidas seis publicações [10]-[15].

1.1. Mercúrio

O mercúrio é um metal não essencial, tóxico, que pode ser encontrado no ar, no solo e na água onde é libertado tanto por processos naturais (e.g., atividade vulcânica) como por ação antropogénica (e.g., combustão de combustíveis fósseis, exploração mineira, produção de cimento, produção de petróleo, incineração de resíduos, fogos florestais) [16].

Além das fontes exteriores referidas anteriormente, podem ainda existir fontes domésticas de mercúrio como por exemplo as baterias, as lâmpadas fluorescentes, a queima de biomassa contaminada, papel tratado com mercúrio, tintas, e produtos farmacêuticos [16]-[18].

Os seres humanos podem ser expostos a qualquer forma de mercúrio, seja ele mercúrio elementar (Hg⁰); mercúrio iónico (também conhecido como mercúrio inorgânico com a notação química Hg (II) ou Hg²⁺); ou mercúrio orgânico (essencialmente metilmercúrio-MeHg) [17]. As vias de exposição são dependentes da forma de mercúrio em questão sendo que a mais importante é a ingestão [17]. Os principais efeitos da toxicidade do mercúrio registam-se no sistema nervoso, rins e sistema cardiovascular [17].

No presente trabalho pretende-se quantificar, pela 1ª vez, os níveis de mercúrio total em amostras de pó doméstico de Portugal. Este trabalho integra-se no âmbito de um projeto pioneiro e multidisciplinar, levado a cabo por investigadores da Universidade da Beira Interior, em que se pretende estudar por um período de sessenta dias, seis habitações particulares localizadas na cidade da Covilhã com datas de construção distribuídas ao longo de seis décadas (Projeto 6x60x6). Com este projeto pretende-se compreender de que forma as características do imóvel e os hábitos dos habitantes podem influenciar a qualidade do ambiente interior e consequentemente a saúde dos residentes.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de amostragem

A cidade da Covilhã situa-se na vertente oriental da Serra da Estrela a cerca de 700 metros de altitude sendo a sua população estimada em 50,117 habitantes [19]. O concelho da Covilhã contava em 2012 com 219 empresas no setor das indústrias transformadoras [20]. A maioria destas indústrias localiza-se em zonas na periferia da cidade como, a Sul, a zona industrial do Tortosendo (a cerca de 6 km) e a Norte zona industrial do Canhoso (a cerca de 3 km). A cerca de 30Km a Sudoeste situam-se as minas da Panasqueira.

Durante o período de amostragem o regime de ventos variou, com o mês de Maio a ser caracterizado por ventos predominantemente de Noroeste com uma velocidade média de 6,3 Km/h, o mês de Junho a registar predominância de Oés-noroeste e uma velocidade média de 3,9 Km/h e o mês de Julho a caracterizar-se por ventos predominantemente do quadrante Oeste com uma velocidade média de 3,3 Km/h (informação disponível a partir da estação meteorológica da Universidade da beira Interior em [21]).

2.2. Amostragem

As habitações participantes no projeto 6x60x6 foram selecionadas por conveniência e os habitantes concordaram em participar no estudo assinando um consentimento informado. As habitações selecionadas encontram-se localizadas na área urbana da grande Covilhã, tendo sido construídas entre 1960 e 2014.

No início do período de amostragem foi fornecido um saco de aspirador novo (Wonderbag Compact WB 305120) e foi solicitado aos participantes para durante 60 dias aspirarem unicamente a habitação, excluindo desta forma a aspiração de automóveis e garagens. No final do período de sessenta dias o saco foi recolhido pelos investigadores e transportado para o laboratório (figura 1).



Figura 1 - Colheita das amostras de pó doméstico. Colocação do saco (Wonderbag Compact WB 305120) no aspirador no início do período de amostragem (imagem da esquerda). Aspetto do saco de aspirador após 60 dias de amostragem (imagem da direita).

2.3. Tratamento das amostras

Uma vez no laboratório, as amostras foram triadas através de um crivo de aço inoxidável com uma malha de 5 mm para remoção dos detritos de maiores dimensões (figura 2). A amostra obtida foi novamente triada através de um crivo com uma malha de 500 μm (figura 2). As amostras foram armazenadas em tubos de polietileno e mantidas à temperatura ambiente e protegidas da luz até ser efetuada a análise.



Figura 2 - Amostras de pó doméstico. Na imagem da esquerda encontra-se uma amostra de pó retirada diretamente do saco, a imagem da direita apresenta o pó depois de submetido ao processo de dupla triagem (5 mm e 500 μm).

2.4. Quantificação de mercúrio

A quantificação de mercúrio total nas amostras foi realizada através de espectrometria de absorção atômica com decomposição térmica e amálgama de ouro no equipamento NIC-MA-3000 (Nippon Instruments Corporation, Japan) (figura 3). Este equipamento realiza a análise de mercúrio total em conformidade com os protocolos da USEPA 7473 e ASTM D-6722-01. Tem

como vantagens a sua rapidez, alta sensibilidade e precisão, não sendo necessários pré-tratamento e extração prévia das amostras.



Figura 3- Equipamento utilizado para a quantificação do mercúrio total: NIC-MA-3000 (Nippon Instruments Corporation, Japan).

O mercúrio total foi determinado em aproximadamente 50 mg de pó. A curva de calibração foi construída a partir de diluições sucessivas de uma solução standard de mercúrio 1000 µg/L (Spectro ECON; Chem-Lab). Os valores de mercúrio no branco (o valor de plano de fundo registado pelo equipamento após purga, realizada entre a análise das amostras) foram sempre inferiores a 0,08 ng, correspondendo a três ordens de grandeza inferiores à concentração mais baixa registada nas amostras. Sempre que a concentração de mercúrio nas amostras ultrapassou os 0,2 ng, o equipamento efetuou purgas ao sistema até que a concentração do branco fosse igual ou inferior a 0,008 ng.

Por forma a garantir a precisão e exatidão analítica foram analisadas três amostras de aproximadamente 50 mg do material de referência *NIST Standard Reference Materials 2583-Trace Elements in Indoor Dust*. Os valores obtidos (média±desvio padrão) para as três réplicas (1,54±0,03 ppm) está amplamente dentro da variação aceitável para este método analítico (%RSD=0,02) face ao valor certificado (1,56±0,19 ppm).

2.5. Análise estatística

Os resultados obtidos foram analisados usando o *software* Minitab em termos de estatística descritiva e medidas de tendência central. A análise de *outliers* foi realizada no *software* Graphpad usando o teste de Grubbs.

3. Resultados e discussão

A caracterização das habitações em estudo e os níveis de mercúrio total detetados no pó doméstico encontram-se descritos na tabela 1. Os níveis de mercúrio total variaram entre 138,7 ppb e 1075,5 ppb (tabela 1, figura 4). O valor obtido para a habitação C (1075,5 ppb) representa um *outlier* (Teste de Grubbs, $z=2,002$, $p<0,05$). Excluindo este valor, os níveis de mercúrio detetados nas várias habitações apresentam uma menor dispersão com um valor médio de 218,2±77,9 ppb.



Tabela 1- Caracterização das habitações em estudo com indicação do ano de construção, tipologia habitacional, localização e concentração de mercúrio total (ppb). As zonas muito expostas (ou de Rugosidade III de acordo com o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE) correspondem a Edifícios situados em zonas sem obstáculos que atenuem o vento)

ID da habitação	Ano de construção	Tipologia habitacional	Localização	[Hg] (ppb)
Casa A	1961	Apartamento tipologia T3 em edifício multifamiliar	Interior de zona urbana	242,5
Casa B	1973	Apartamento tipologia T3 em edifício multifamiliar	Interior de zona urbana	162,7
Casa C	1983	Habitação unifamiliar de tipologia T3	Zona muito exposta	1075,5
Casa D	1994	Habitação unifamiliar geminada de tipologia T4	Periferia de zona urbana	209,5
Casa E	2000	Habitação unifamiliar de tipologia T3	Zona rural	337,4
Casa F	2011	Apartamento de tipologia T3 em edifício multifamiliar	Interior de zona urbana	138,7

De um modo geral, os valores médios obtidos no nosso estudo são da mesma ordem de grandeza dos valores detetados na zona oeste da Austrália, em Guizhou na China e em Artemivsk na Ucrânia mas inferiores aos detetados nas restantes cidades/Países: Ottawa, Canadá, China e Ucrânia (tabela 2). Os elevados níveis registados nas casas de Ottawa, Canadá, caracterizadas por não terem nas imediações nenhuma grande fonte emissora de mercúrio, podem eventualmente ser explicados com base na data de colheita das amostras (1993) numa altura em que as regulamentações ao mercúrio ainda não tinham entrado em vigor [10]. Os valores elevados reportados para algumas cidades Chinesas, para uma das cidades Ucrânicas (Horlivka) e para a Eslovénia estão relacionados com a proximidade de fontes emissoras de mercúrio, nomeadamente combustão de carvão na China [14]; presença de unidades industriais e minas ativas com escombrelas na Ucrânia [11] e a proximidade de um dos maiores depósitos de mercúrio do mundo na Eslovénia [12].

Da análise da tabela 2 é também notória a elevada dispersão de valores inter e intra estudos. A variabilidade inter-estudos pode ser condicionada pelas diferentes metodologias de amostragem usadas (aspiração versus recolha com pincel) e dos diferentes tamanhos de partículas de pó analisadas (<2 mm, <600 µm, <500 µm, 250-150 µm, <200 µm). A variabilidade intra-estudos reflete as diferentes características das habitações, a sua localização geográfica e as respetivas fontes de mercúrio que podem ser muito diversas.

Tabela 2- Quadro comparativo dos níveis de mercúrio detetados em amostras de pó doméstico nos diferentes estudos publicados, com indicação de: localização geográfica, ano de amostragem, tipo de amostra e tamanho da malha de crivo utilizada na preparação das amostras, método de colheita, número de habitações estudadas e concentrações obtidas (valor mínimo, valor máximo, média \pm desvio padrão). nd: informação não disponível

Localização geográfica	Ano de colheita	Tipo de amostra	Método de colheita	Nº	Concentrações (ppm) Mín-Máximo; média \pm desvpad	Ref.
Ottawa, Canadá	1993	Pó doméstico, 150-250 μ m	Saco de aspirador	48	0,012 - 37,01 3,37 \pm nd	[10]
Ildrija, Eslovénia	2000-2001	Pó de sotão, <125 μ m	Pó depositado, pincel	100	0,58 - 1055,0 nd	[12]
Oeste Austrália, Austrália	2008-2011	Pó doméstico, <600 μ m	Saco de aspirador	156	<1,0 - 2,47 <1,00	[13]
Guangzhou, China	2011-2012	Pó doméstico, <100 μ m	Saco de aspirador	50	0,004 - 10,6 1,06 \pm 2,17	[14]
Qingyang, China	2011-2012	Pó doméstico, <100 μ m	Saco de aspirador	20	0,48 - 16,4 4,73 \pm 5,02	[14]
Guizhou, China	2012	Pó doméstico, <2 mm	Pó depositado, pincel	23	0,41 - 0,87 0,58 \pm 0,16	[15]
Horlivka, Ucrânia	nd	Pó carpetes, <500 μ m	Aspirador adaptado	5	nd-21,5 1,2 \pm nd	[11]
Artemivsk, Ucrânia	nd	Pó carpetes, <500 μ m	Aspirador adaptado	4	nd-0,9 0,7 \pm nd	[11]
Covilhã, Portugal	2015	Pó doméstico, <500 μ m	Saco de aspirador	6	0,14 - 1,08 0,36 \pm 0,36	Este estudo

Não existe uma recomendação para o nível máximo permitido de mercúrio em pó. No entanto, é possível comparar os valores obtidos no presente estudo contra o valor máximo permissível para solos (500 ppb) estabelecido pela Portaria Nº 1450/2007 [22]. Assim, só a casa construída nos anos '80 registou um valor acima (pouco superior ao dobro) do regulamentado. Os motivos pelos quais esta casa apresenta este valor ainda não são conhecidos e será necessário a realização mais análises incluindo quantificação de mercúrio no solo e o estudo de casos influentes e possíveis associações entre o nível de mercúrio e as características da habitação e hábitos de consumo dos habitantes com base nas respostas obtidas nos questionários aplicados no âmbito do projeto. No entanto, este valor máximo é sempre inferior ao valor máximo de qualquer um dos estudos publicados até à data em que o método de recolha de pó doméstico foi idêntico (i.e. saco de aspirador).

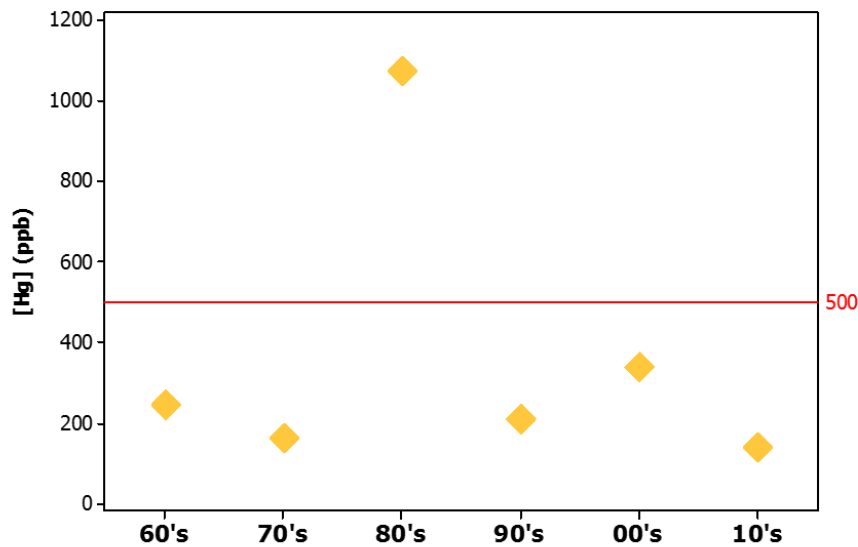


Figura 4 - Concentrações de mercúrio total (ppb) no pó recolhido a partir do saco de aspirador das habitações em estudo. A linha horizontal a vermelho corresponde à concentração máxima de referência estipulada (500 ppb) na Portaria N° 1450/2007, de 12 de Novembro para solos e dragados [22].

Conclusões e perspectivas futuras

Os resultados preliminares obtidos relativamente à quantificação de mercúrio em amostras de pó doméstico das habitações participantes no projeto 6x60x6 denotam, após exclusão do valor extremo registado para a habitação construída nos anos 80, alguma uniformidade. Relativamente à influência do ano de construção nos valores de mercúrio, não é notório nenhum padrão associado à data de construção. Os níveis obtidos variaram entre 138,7 ppb e 1075,5 ppb sendo comparáveis aos valores reportados para outras regiões geográficas localizadas, à semelhança da nossa área de estudo, fora da influência de grandes fontes emissoras de mercúrio. Futuramente serão analisadas amostras de solos recolhidos nas imediações das habitações selecionadas bem como amostras de cabelo e unhas dos respetivos habitantes. Os dados obtidos serão analisados conjuntamente com as características da habitação e com as respostas aos questionários individuais aplicados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os voluntários que participaram no estudo e que cederam as amostras de pó. Este trabalho foi financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade - COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PEst-OE/SAU/UI0709/2014.

Ana C.A. Sousa agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo financiamento através da Bolsa de Pós-Doutoramento (SFRH/BPD/65884/2009) atribuída no âmbito do QREN - POPH - Tipologia 4.1 - Formação Avançada, participado pelo Fundo Social Europeu e por fundos nacionais.

Referências

- [1] E. E. A. EEA, "Environment and human health - Joint EEA-JRC report. European Environment Agency," *Luxembourg: Publications Office of the European Union*, 2013, pp. 1-112, 2013.
- [2] T. Whitehead, C. Metayer, P. Buffler, and S. M. Rappaport, "Estimating exposures to indoor contaminants using residential dust.," *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, vol. 21, no. 6, pp. 549-64, 2011.
- [3] F. Mercier, P. Glorennec, O. Thomas, and B. Le Bot, "Organic Contamination of Settled House Dust, A Review for Exposure Assessment Purposes," pp. 6716-6727, 2011.
- [4] A. G. Oomen, P. J. C. M. Janssen, A. Dusseldorp, and C. W. Noorlander, "Exposure to chemicals via house dust," 2008.
- [5] R. M. Maertens, J. Bailey, and P. a. White, "The mutagenic hazards of settled house dust: A review," *Mutat. Res. - Rev. Mutat. Res.*, vol. 567, pp. 401-425, 2004.
- [6] E. Bernalte, C. Marín Sánchez, and E. Pinilla Gil, "Determination of mercury in indoor dust samples by ultrasonic probe microextraction and stripping voltammetry on gold nanoparticles-modified screen-printed electrodes.," *Talanta*, vol. 97, pp. 187-92, Aug. 2012.
- [7] S. D. Coelho, A. C. A. Sousa, T. Isobe, S. Tanabe, and A. J. A. Nogueira, "Flame Retardants in Indoor Dust - A Review on the Levels of Polybrominated Diphenyl Ethers and Hexabromocyclododecanes," pp. 2218-2230, 2014.
- [8] K. D. Bradham, B. D. Laird, P. E. Rasmussen, R. a. Schoof, S. M. Serda, S. D. Siciliano, and M. F. Hughes, "Assessing the Bioavailability and Risk from Metal-Contaminated Soils and Dusts," *Hum. Ecol. Risk Assess. An Int. J.*, vol. 20, no. 1, pp. 272-286, Jan. 2014.
- [9] P. E. Rasmussen, C. Levesque, M. Chénier, H. D. Gardner, H. Jones-Otazo, and S. Petrovic, "Canadian House Dust Study: population-based concentrations, loads and loading rates of arsenic, cadmium, chromium, copper, nickel, lead, and zinc inside urban homes.," *Sci. Total Environ.*, vol. 443, pp. 520-9, Jan. 2013.
- [10] P. E. Rasmussen, K. S. Subramanian, and B. J. Jessiman, "A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada.," *Sci. Total Environ.*, vol. 267, no. 1-3, pp. 125-40, Feb. 2001.
- [11] K. M. Conko, E. R. Landa, A. Kolker, K. Kozlov, H. J. Gibb, J. a. Centeno, B. S. Panov, and Y. B. Panov, "Arsenic and Mercury in the Soils of an Industrial City in the Donets Basin, Ukraine," *Soil Sediment Contam. An Int. J.*, vol. 22, no. 5, pp. 574-593, Jul. 2013.
- [12] M. Gosar, R. Šajn, and H. Biester, "Binding of mercury in soils and attic dust in the Idrija mercury mine area (Slovenia)," *Sci. Total Environ.*, vol. 369, no. 1-3, pp. 150-162, 2006.

- [13] a L. Hinwood, a C. Callan, M. Ramalingam, M. Boyce, J. Heyworth, P. McCafferty, and J. Ø. Odland, "Cadmium, lead and mercury exposure in non smoking pregnant women.," *Environ. Res.*, vol. 126, pp. 118-24, Oct. 2013.
- [14] W. Wang, F. Wu, J. Zheng, and M. H. Wong, "Risk assessments of PAHs and Hg exposure via settled house dust and street dust, linking with their correlations in human hair.," *J. Hazard. Mater.*, vol. 263 Pt 2, pp. 627-37, Dec. 2013.
- [15] Q. Yang, H. Chen, and B. Li, "Source Identification and Health Risk Assessment of Metals in Indoor Dust in the Vicinity of Phosphorus Mining, Guizhou Province, China.," *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, Jul. 2014.
- [16] UNEP, "Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases, and Environmental Transport," *Unep*, p. 42, 2013.
- [17] UNEP, "Guidance for Identifying Populations At Risk From Mercury Exposure," *Exposure*, no. August, p. 176, 2008.
- [18] ATSDR, "Toxicological profile for mercury," *Agency Toxic Subst. Dis. Regist. (ATSDR). Atlanta, GA U.S. Dep. Heal. Hum. Serv. Public Heal. Serv.*, pp. 1-2, 1999.
- [19] INE, *Anuário Estatístico da Região Norte 2013*. 2013.
- [20] PORDATA, "Empresas das Indústrias Transformadoras," 2012. [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/>. [Accessed: 26-Oct-2015].
- [21] UBI, "Estação meteorológica da Universidade da beira Interior," 2015. [Online]. Available: <http://webx.ubi.pt/~goa/>. [Accessed: 26-Oct-2015].
- [22] "Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro. Diário da Republica 1ª série- Nº217-12 de Novembro de 2007." pp. 8372-8382, 2007.