

# Caracterização composicional de sedimentos urbanos de Vila Real: implicações ambientais

## Compositional characterisation of urban sediments from Vila Real: environmental implications

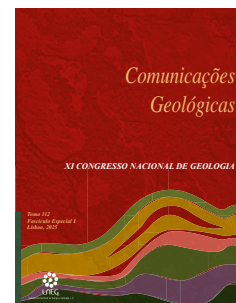
A. R. Reis<sup>1,2\*</sup>, B. M. F. Silva<sup>3</sup>, R. J. S. Teixeira<sup>1,2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.34637/0ggy-a577>

Recebido em 09/10/2023 / Aceite em 08/02/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original  
Original article

**Resumo:** No presente estudo procurou-se caracterizar a composição e a textura dos sedimentos urbanos da cidade de Vila Real, através do estudo de lâminas delgadas polidas e superfícies polidas dos sedimentos por microscopia óptica, difração de raios-X e microscopia eletrônica. Os sedimentos urbanos são constituídos, essencialmente, por quartzo, feldspatos (microclina e plagioclase), micas (moscovite e biotite) e, mais raramente, clorite e turmalina. Nas amostras foram ainda identificados minerais opacos/fases opacas, hidróxidos de ferro, fragmentos de cimento/betão, restos de plantas, plásticos e fibras de relva sintética. A análise das fases opacas por microscopia eletrônica indica a ocorrência, entre outras, de partículas de borracha derivada dos pneus automóveis, ligas de Al-Si com Fe, ferro fundido, ferro fundido nodular, cimento e poeiras ferruginosas derivadas da oxidação de superfícies metálicas. Estas fases resultam da abrasão e desgaste de componentes automóveis e da alteração e erosão de estruturas dos edifícios, constituindo uma componente antrópica significativa na composição dos sedimentos urbanos.

**Palavras-chave:** sedimentos urbanos; análise petrográfica; difração de raios-X; microscopia eletrônica; poluição.

**Abstract:** This study presents a characterisation of the composition and texture of urban sediments from the city of Vila Real (Northern Portugal), through the study of polished thin sections and polished grain mounts by optical microscopy, X-ray diffraction and electron microscopy. The urban sediments consist of quartz, feldspars, micas and, rarely, chlorite and tourmaline, but they also contain opaque minerals/phases, iron hydroxides, fragments of cement/concrete, plant remains, plastics and synthetic grass fibers. The analysis of opaque phases by electron microscopy indicates the occurrence of rubber particles, derived from automobile tires, Al-Si alloys with Fe, cast iron, nodular cast iron, cement and rust-derived dust from oxidation of metal surfaces. These phases result from the abrasion and wear of automobile components and the weathering and erosion of building structures, constituting a significant anthropogenic component in the composition of urban sediments.

**Keywords:** urban sediments, petrographic analysis, X-ray diffraction, electronic microscopy, pollution.

### 1. Introduction

Os sedimentos urbanos, também designados por poeiras de rua, resultam do acumular de partículas nas superfícies das ruas das cidades, sendo compostos por sedimentos de origem natural, incluindo partículas de solo, orgânicas e atmosféricas, e sedimentos de origem antrópica, derivados da deterioração de componentes e produtos de combustão automóveis, material de construção, tinta dos pavimentos e detritos pedestres (Haynes *et al.*, 2020). Em geral contém contaminantes associados, quer na forma de partículas finas de origem natural ou antrópica (Alves *et al.*, 2018), quer na forma de elementos e compostos químicos, representando um impacto potencial negativo para a qualidade da água e saúde humana (Selinus *et al.*, 2005).

A resuspensão de sedimentos urbanos devido à turbulência gerada pelo movimento de veículos, ou pelo vento, representa uma das fontes de não-exaustão mais significativas no ar urbano. Atualmente, com a diminuição das emissões de exaustão de motores automóveis, estima-se que cerca de 90% das emissões associadas ao tráfego automóvel urbano resultam de emissões de não exaustão (Alves *et al.*, 2018). A diminuição da precipitação, por seu lado, reduz a lavagem e humedecimento das superfícies dos pavimentos urbanos, favorecendo a emissão de poeiras depositadas para o ar ambiente. Assim, a caracterização de fontes de emissão de não exaustão e das partículas associadas é de elevado interesse atual, devido à toxicidade inerente às partículas emitidas e ao facto de atuarem como meio de transporte de metais e elementos carcinogénicos (Valotto *et al.*, 2015).

O objetivo do presente estudo foi caracterizar a composição e a textura dos sedimentos urbanos da cidade de Vila Real (fração < 2 mm), através do estudo de lâminas delgadas polidas e superfícies polidas por microscopia óptica, difração de raios-X e microscopia eletrônica.

### 2. Área de estudo

O município de Vila Real (NE de Portugal) abrange uma área de cerca de 370 km<sup>2</sup>. A população do concelho ronda os 52.000 habitantes, com cerca de 37.000 habitantes no seu perímetro urbano (Censos 2021). A zona urbana localiza-se a uma altitude média de 450m, encontrando-se rodeada pelas Serras do Marão (SW), Alvão (W-NW) e Falperra (E-NE). A região é caracterizada por um período frio e húmido, de outubro a maio, seguido por um período quente e seco entre junho e setembro. A precipitação média anual é de 974 mm (Reis, 2010).

<sup>1</sup> Departamento de Geologia, Escola de Ciências da Vida e do Ambiente, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, Portugal, [www.utad.pt](http://www.utad.pt).

<sup>2</sup> Pólo da UTAD do CGeo – Centro de Geociências da Universidade de Coimbra,

<sup>3</sup> Departamento de Biologia e Ambiente, Escola de Ciências da Vida e do Ambiente, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, Portugal

\* Corresponding author / Autor correspondente: [anarreis@utad.pt](mailto:anarreis@utad.pt)

Na zona envolvente da área de estudo afloram, a centro e sul, filitos e grauvaques das Formações Rio Pinhão, Pinhão e Desejosa, pertencentes ao Grupo do Douro do Domínio Xisto-Grauváquico, datado do Neoproterozóico - Câmbrico (Meireles *et al.*, 2022). Na área surgem ainda retalhos de quartzitos e filitos, da Formação Marão do Grupo Quartzítico de Trás-os-Montes datada do Arenigiano médio-superior (Sá *et al.*, 2005). A norte ocorrem granitos de duas micas, de grão fino a médio (Pereira, 1989; Teixeira *et al.*, 2014). Na bacia de Vila Real, associada à falha de Vila Real (Gutiérrez Claverol *et al.*, 1987), as rochas cristalinas estão cobertas por depósitos do Quaternário.

Na área periurbana, a ocupação e uso do solo é predominantemente agro-pecuária, com manchas florestais. Na área urbana de Vila Real existem parques públicos dispersos, com floresta e jardins. A indústria está concentrada, em geral, no parque industrial (Constantim). As principais atividades poluentes são a agricultura (poluição por sedimentos, metais e uso de fertilizantes) e atividades urbanas (deposição atmosférica, tráfego de veículos, atividades residenciais, erosão do solo) e atividades industriais (tratamento de superfícies, processamento de metais, extração/transformação de pedra, indústria da madeira).

### 3. Metodologia

As amostras de sedimentos urbanos foram colhidas (com o auxílio de pá e vassoura) nos pavimentos asfaltados/empedrados de ruas da cidade, junto aos passeios pedonais, em parques infantis e na zona industrial, procurando obter-se amostras representativas de zonas com diversas atividades urbanas (Figura 1). Em laboratório procedeu-se à crivagem das amostras, com separação da fração inferior a 2 mm. As lâminas delgadas polidas e as superfícies polidas foram feitas a partir de uma mistura homogênea de resina epóxi com os sedimentos. A análise petrográfica das lâminas delgadas polidas foi realizada com luz transmitida em microscópio petrográfico (Leitz Ortholux II POL-BK, com câmara digital Leica MC120HD). A identificação das fases mineralógicas foi realizada por difração de raios-X (equipamento PANalytical modelo X'Pert Pro MPD, com Ultrafast X'Cellerator Detector e monocromador secundário). A determinação da composição química de minerais/fases opacas foi efetuada em microscópio eletrónico (FEI Quanta 400 SEM/ESEM), por EDS (Energy Dispersive Spectroscopy).

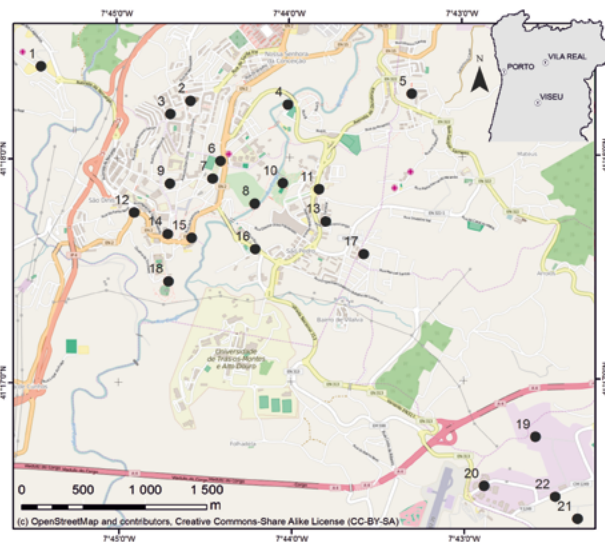
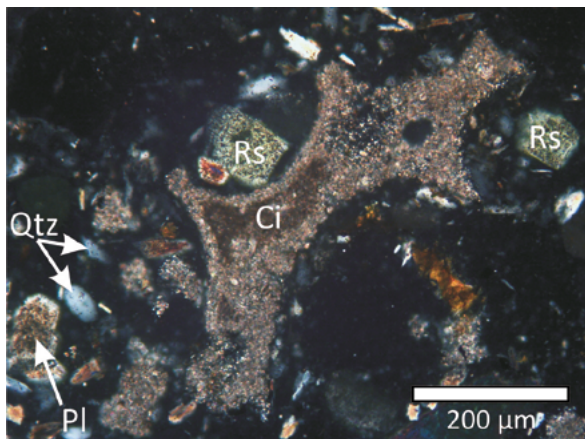


Figura 1. Mapa da zona urbana de Vila Real, com localização da rede de amostragem de sedimentos urbanos.

Figure 1. Map of the urban area of Vila Real, with sampling sites of urban sediments.

### 4. Resultados e discussão

A análise petrográfica das lâminas delgadas polidas revelou que os sedimentos urbanos são constituídos, essencialmente, por quartzo, feldspatos (microclina e plagioclase), micas (moscovite e biotite) e, mais raramente, clorite e turmalina. Nas amostras foram ainda identificados minerais opacos/fases opacas, incluindo hidróxidos de ferro, fragmentos de cimento/betão, restos de plantas, plásticos e fibras de relva sintética. Os fragmentos de cimento/betão apresentam um comportamento óptico em tudo idêntico ao da calcite, com relevo alto, pleocroísmo de relevo e birrefringência muito forte (Figura 2). O cimento/betão pode ainda ocorrer associado a outros minerais, plásticos e fibras de relva sintética circundando-os ou preenchendo fraturas destes materiais. Em algumas amostras é possível observar restos de plantas correspondentes a fragmentos de várias estruturas, nomeadamente folhas, sementes e caules, apresentando uma cor

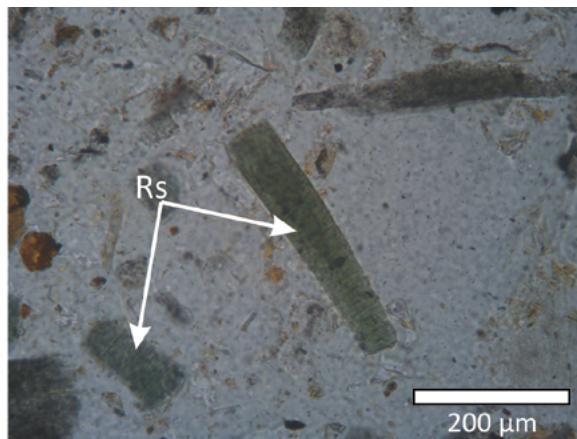


Figura 2. Lâminas delgadas polidas de sedimentos urbanos de Vila Real. Fragmento de cimento (Ci) com evidências de ter preenchido espaços intersticiais de areias arredondadas e fibras de cor verde que correspondem a relva sintética (RS) (nicóis cruzados). Qtz- Quartzo; Pl- Plagioclase.

Figure 2. Polished thin sections of urban sediments from Vila Real. Fragment of cement (Ci), with evidence of having filled the interstitial spaces of rounded sand, and green fibers that correspond to synthetic grass (RS) (crossed nicols). Qtz- Quartz; Pl- Plagioclase.

acastanhada e aspetos histológicos peculiares. Nos sedimentos há também vestígios de algumas partículas que aparentam ser restos de vidros. As fibras de relva sintética (Figura 2) foram encontradas em amostras recolhidas nas imediações de parques infantis e campos de futebol com relva sintética.

Em termos texturais, os fragmentos existentes nos sedimentos apresentam um grau de arredondamento heterogéneo, de anguloso a arredondado. Os fragmentos de minerais com forma angulosa a sub-angulosa são interpretados como sendo o resultado da erosão de rochas autóctones da região, ou provenientes de pedreiras em que são produzidas areias por processo de britagem, utilizadas em obras públicas. Os fragmentos mais arredondados terão origem em areias fluviais, utilizadas na construção civil.

A análise por difração de raios-X foi realizada com o objetivo de confirmar a identificação de determinadas fases mineralógicas, identificar outros materiais existentes nos sedimentos urbanos e fazer a quantificação pelo método de refinamento de Rietveld (Rietveld, 1969). A composição modal das amostras indica que são constituídas principalmente por quartzo (45-50%), ortoclase/microclina (21-27%), albite (9-16%), moscovite (9-15%) e, em algumas amostras, calcite (6%).

A análise por microscopia eletrónica apenas foi realizada em duas amostras consideradas como representativas das características de ambientes urbanos com atividade contrastante: a amostra com referência 3, considerada representativa das zonas urbanas com menor concentração de edifícios e tráfego reduzido; e a amostra com referência 9, considerada representativa das zonas urbanas com maior concentração de edifícios e com tráfego elevado. Nestas

amostras procurou-se determinar a composição de fases/materiais que suscitaram dúvidas, ou que não se conseguiram identificar no estudo por microscopia óptica.

As amostras de sedimentos urbanos são heterogéneas e nas lâminas polidas analisadas confirmou-se alguma diversidade composicional entre as fases opacas assinaladas. A análise das fases opacas por microscopia eletrónica indica a ocorrência, entre outras, de partículas de borracha derivada dos pneus automóveis, ligas de Al-Si com Fe, ferro fundido, ferro fundido nodular, cimento e poeiras ferruginosas derivadas da oxidação de superfícies metálicas.

Na lâmina delgada polida da amostra 3 foram analisados, por SEM-EDS, locais identificados como pontos de interesse aquando da análise ao microscópio petrográfico. No local em que ocorre uma fase que foi interpretada como sendo carbonato de cálcio, a determinação da composição química por EDS confirma a presença de fases com enriquecimento em cálcio, que corresponderão a partículas de cimento (clínquer, gesso e aditivos - cinzas volantes, escórias de alto forno e folhas de calcário).

Nos locais em que se identificaram fases opacas, os espectros EDS apresentam uma elevada quantidade de carbono na sua composição (Figura 3), correspondendo muito provavelmente a partículas de borracha derivada do desgaste de pneus automóveis, cuja composição inclui carbono, sílica, carbonato de cálcio, enxofre e óxido de zinco (Baensch-Baltruschat, 2020).

Na lâmina delgada polida da amostra 9 foi realizada análise SEM-EDS nos locais em que, durante o estudo ao microscópio petrográfico, se admitiu a ocorrência de hidróxidos de ferro (1), fragmentos de

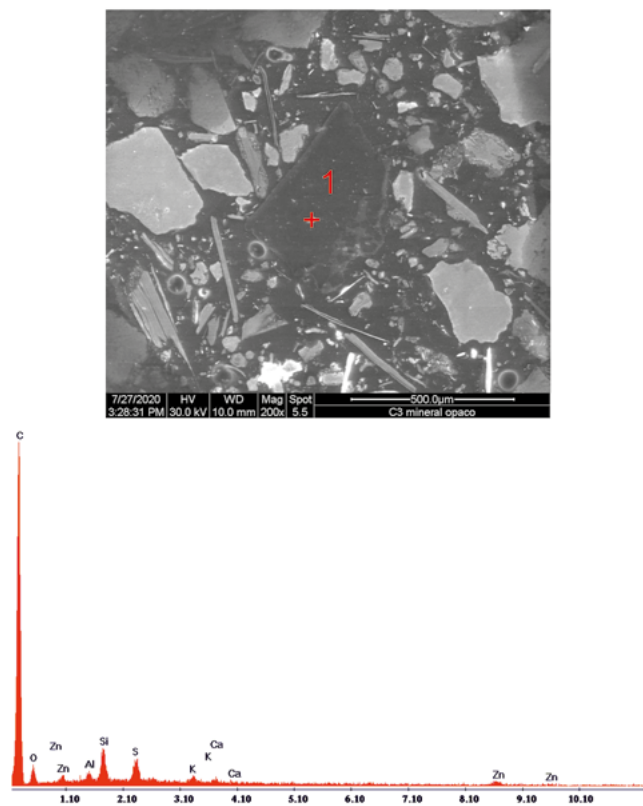


Figura 3. Imagem SEM e espectro EDS de uma partícula de borracha de pneu. Análise da fase no ponto 1 da lâmina delgada polida da amostra 3, dos sedimentos urbanos de Vila Real.

Figure 3. SEM image and EDS spectra of a tire wear particle. Analysis of the phase on local 1 of the sample 3 polish thin section de of urban sediments of Vila Real.

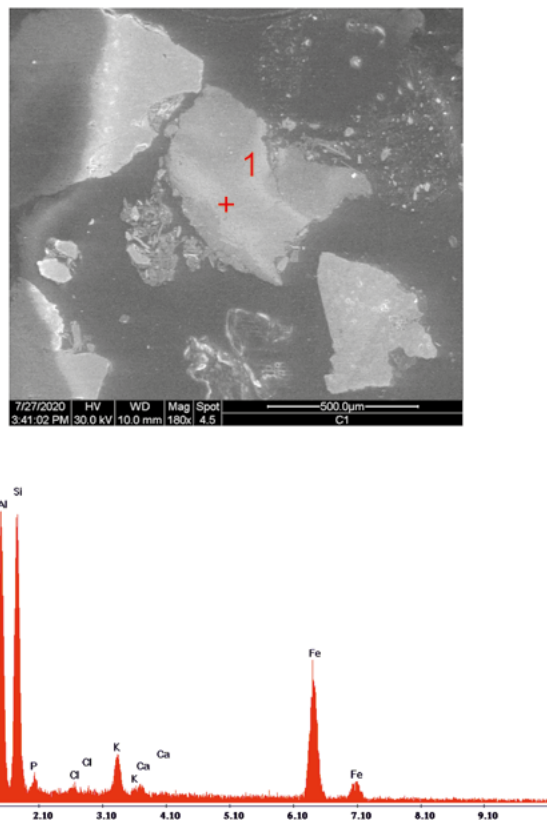


Figura 4. Imagem SEM e espectro EDS de uma partícula de uma liga Al-Si, com Fe na sua composição. Análise da fase no local 1 da lâmina delgada polida da amostra 9, dos sedimentos urbanos de Vila Real.

Figure 4. SEM image and EDS spectra of a particle of an Al-Si alloy, with Fe in its composition. Analysis of the phase on local 1 of the sample 9 polish thin section de of urban sediments of Vila Real.

cimento (2) e se identificaram fases opacas (3), que poderão ser minerais ou materiais metálicos ou sintéticos. Em (1) ocorre uma partícula com forma irregular e sem estrutura interna aparente (Figura 4). A análise EDS indica que na composição química predominam Al, Si e Fe, indicando tratar-se de uma liga Al-Si, com Fe na sua composição (Malavazi, 2013).

Este material pode derivar do desgaste de componentes de motores e suspensões automóveis e também da alteração de materiais de construção civil (materiais forjados, placas laminadas e chapas). Em (2) identificaram-se fragmentos de aluminossilicatos com potássio e cálcio, com forma angulosa, fraturas irregulares e dimensão variável (pontos 1 da Figura 5), e um fragmento de cimento (ponto 2 da Figura 5). Em (3) observaram-se partículas com forma irregular e características de composição semelhantes às de ferro fundido (Fe, C, Si). Nestas fases, a proporção de carbono é significativamente mais elevada em relação aos restantes elementos identificados e a partícula analisada apresenta uma textura interna com microbandas e nódulos

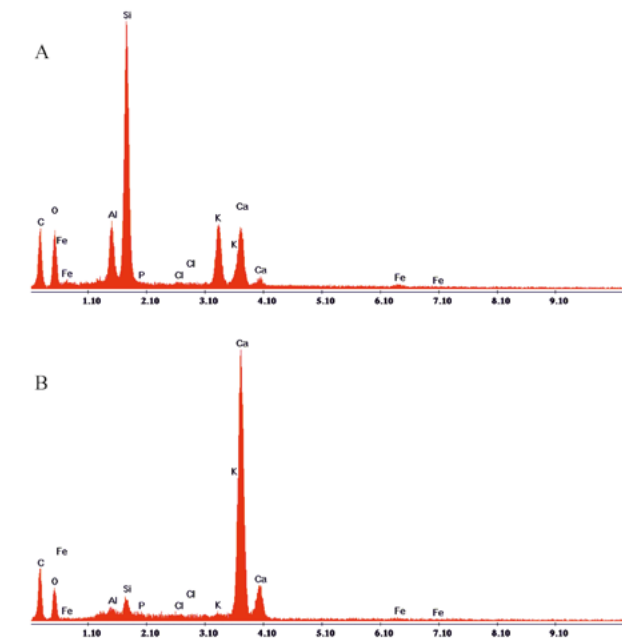
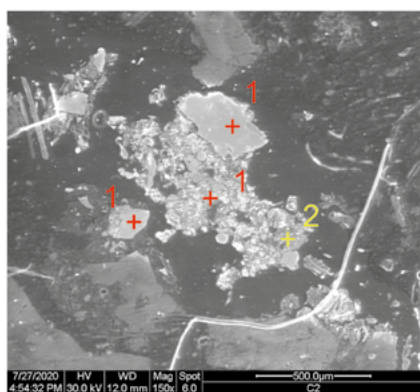


Figura 5. Imagem SEM e espectro EDS de partículas de aluminossilicato com potássio e cálcio (A), e de cimento (B). Análise das fases analisada nas zonas 1 (A) e 2 (B) do local 2 da lâmina delgada polida da amostra 9, dos sedimentos urbanos de Vila Real.

Figure 5. SEM image and EDS spectra of particles of aluminum silicates of potassium and calcium (A), and cement (B). Analysis of the phase on local 1 of the sample 9 polish thin section de of urban sediments of Vila Real.

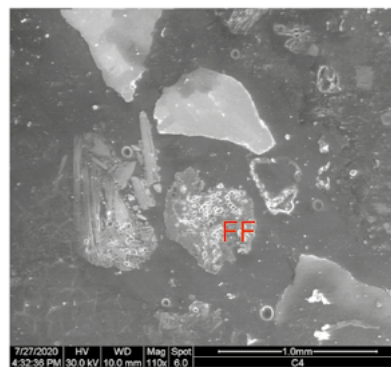


Figura 6. Imagem SEM e espectro EDS de partículas de nódulos de grafite (núcleos escuros), envoltos por uma auréola clara composta por ferrite, e dispersos numa matriz com textura lamelar de perlite e ferrite. Análise da fase no local 4 da lâmina delgada polida da amostra 9, dos sedimentos urbanos de Vila Real.

Figure 6. SEM image and EDS spectra of particles of graphite nodules (dark nuclei), surrounded by a halo composed of ferrite and dispersed in a matrix with a lamellar texture of pearlite and ferrite. Analysis of the phase on local 1 of the sample 9 polish thin section de of urban sediments of Vila Real.

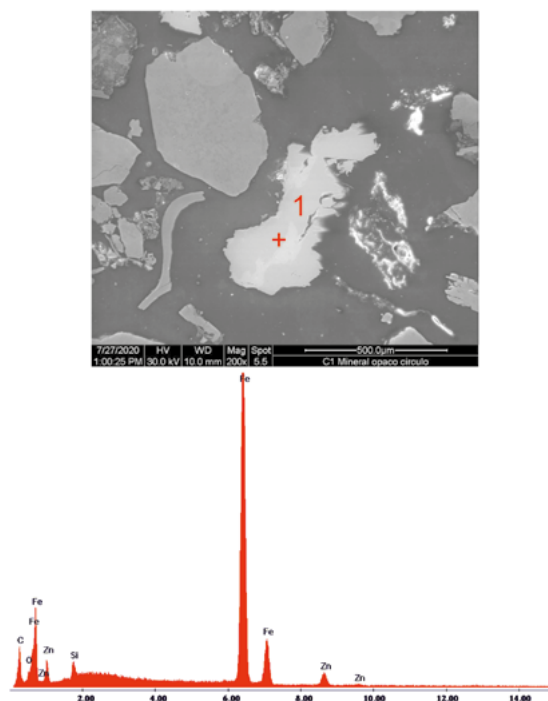


Figura 7. Imagem SEM e espectro EDS de partícula de ferro com zinco. Análise da fase no local 1 da superfície polida da amostra 9, dos sedimentos urbanos de Vila Real.

Figure 7. SEM image and EDS spectra of a particle of iron and zinc. Analysis of the phase on local 1 of the sample 9 polish thin section de of urban sediments of Vila Real.

dispersos (Figura 6). Esta textura tem sido observada em amostras de ferro fundido nodular com efeito de corrosão, em que os nódulos de grafite (núcleos escuros), envoltos por uma auréola clara composta por ferrite, ocorrem dispersos numa matriz com textura lamelar de perlite e ferrite. Este material será derivado da corrosão de componentes de automóveis (motores, travões, suspensões e sistemas hidráulicos) (Silva e Gemelli, 2020).

Nas fases analisadas na superfície polida, realizada com sedimentos da amostra 9, identificou-se uma partícula de ferro com zinco (Figura 7), de forma irregular e uma dimensão de cerca de 500 µm de comprimento maior. Este tipo de partícula resulta, muito provavelmente da abrasão de aço galvanizado usado em componentes de veículos automóveis (carroçarias e sistemas de exaustão) (Taylor, 2009). Foram ainda analisadas partículas com formas irregulares, sem estrutura interna, sendo compostas essencialmente por ferro, provavelmente derivadas de fontes diversas. A oxidação de componentes metálicos origina a formação e ampla dispersão de poeiras ferruginosas em ambiente urbano.

## 5. Conclusões

Os dados apresentados neste estudo permitiram ilustrar a origem diversa dos sedimentos urbanos de Vila Real. As metodologias e técnicas aplicadas permitiram identificar e quantificar as fases minerais presentes nas amostras estudadas. O detalhe conseguido com a análise de microscopia eletrónica permitiu identificar as fases opacas e interpretar a sua origem.

A influência da erosão do *bedrock* granítico e dos solos da área urbana reflete-se na composição mineralógica das amostras de sedimentos, constituída essencialmente por quartzo, feldspatos (microclina e plagioclase), micas (moscovite e biotite) e, mais raramente, clorite e turmalina. Para além disso, identificaram-se minerais opacos/fases opacas, hidróxidos de ferro, fragmentos de cimento/betão, restos de plantas, plásticos e fibras de relva sintética.

A influência das atividades antrópicas manifesta-se, em particular, na ocorrência de partículas que se interpreta como resultantes da abrasão e desgaste de componentes automóveis, como os fragmentos de borracha derivados dos pneus automóveis e pavimentos de ruas, as ligas de Al-Si com Fe, as partículas de ferro fundido e ferro fundido nodular. A influência da alteração de estruturas dos edifícios origina fragmentos de cimento e de poeiras ferruginosas associadas à oxidação de componentes metálicos.

Muitos destes minerais e materiais identificados nos sedimentos urbanos têm uma dimensão que permite que sejam colocados em suspensão no ar, podendo as partículas entrar no corpo humano, sobretudo através da sua inalação, causando assim doenças no aparelho respiratório. O impacto nos ecossistemas aquáticos, por influência da composição das águas de escorrência de zonas urbanas é também uma preocupação crescente.

## Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito dos projetos UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/00073/2020>), da unidade I&D Centro de Geociências (CGEO), da Universidade de Coimbra. À Doutora Lisete Fernandes e ao Professor Doutor Pedro Tavares da UME-UTAD agradece-se o apoio nas análises por DRX e EDS. Os autores agradecem ainda os comentários efetuados por dois revisores anónimos, que contribuíram para a melhoria deste trabalho.

## Referências

- Alves, C.A., Evtyugina, M., Vicente, A.M.P., Vicente, E.D., Nunes, T.V., Silva, P.M.A., Duarte, M.A.C., Pio, C.A., Amato, F., Querol, X., 2018. Chemical profiling of PM10 from urban road dust. *Science of the Total Environment*, **634**: 41–51.
- Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Stock, F., Reifferscheid, G., 2020. Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment. *Science of the Total Environment*, **733**: 137823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137823>.
- Gutiérrez Claverol, M., Luque, C., Suárez, V., 1987. El lineamento tectónico Nazare (W de Portugal) - Luarca (NW de España) y su implicación metalogenética (Macizo Hesperico). In: Bea, A. C. F., Gonzalo, J. C., Rodrigues, J. M. L. (Eds.), *Geología de los granitoides e rocas asociadas del Macizo Hespérico*, Libro de Homenaje a L. C. Garcia Figueirola. Madrid: Editorial Rueda, 447-455.
- Haynes, H.M., Taylor, K.G., Rothwell, J., Byrne, P., 2020. Characterisation of road-dust sediment in urban systems: a review of a global challenge. *Journal of Soils and Sediments*, **20**: 4194–4217. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02804-y>
- Malavazi, J., 2013. *Caracterização microestrutural dos compostos intermetálicos e seu efeito no comportamento mecânico nas ligas de Al-Si com adições de Fe e Mn*. Tese de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- Meireles, C. A. P., Castro, P. F., Vaz, N., Ângelo, C., Ferreira, N., Sequeira, A. J. D., Sá, A. A., 2022. Lithostratigraphy of the “Schist-Greywacke Domain” in Portugal: a reappraisal. *Cadernos do Laboratório Xeológico de Laxe*, **44**: 1-32.
- Pereira, E., 1989. Notícia Explicativa da folha 10-A (Celorico de Basto), *Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50000*, Serviços Geológicos de Portugal.
- Reis, A. R., 2010. *Occurrence and mobilisation of non-organic micro-pollutants in mountainous riverine systems*. Tese de doutoramento (não publicada), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Rietveld, H. M., 1969. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Crystallography*, **2**: 65-71.
- Sá, A. A., Mereles, C., Coke, C., Gutiérrez-Marco, J. C., 2005. Unidades litoestratigráficas do Ordovício da região de Trás-os-Montes (Zona Centro-Ibérica, Portugal). *Comunicações Geológicas*, **93**: 31-73.
- Selinus, O., Alloway, B. J., Centeno, J. A., Finkelman, R. B., Fuge, R., Lindh, U. Smedley, P., 2005. Essentials of Medical Geology. Impacts of the Natural Environment on Public Health. *Environmental Health Perspectives*, **113**: A780.
- Silva, C. G. I. Gemelli, E., 2020. Influência da corrosão e de tensões cíclicas alternadas na vida em fadiga dos ferros fundidos nodulares das classes FE 50010 e FE 50007. *Matéria* (Rio J.), **25**(2): e-12624.
- Taylor, K. G., Robertson, D. J., 2009. Electron microbeam analysis of urban road-deposited sediment, Manchester, UK: Improved source discrimination and metal speciation assessment. *Applied Geochemistry*, **24**: 1261-1269. doi: 10.1016/j.apgeochem.2009.03.011.
- Teixeira, R.J.S., Martins, L.M.O., Gomes, M.E.P., Pereira, A.J.C.M., Ferreira, N., Pereira, A.J.S.C., Neves, L.J.P.F. (2014). Dados geoquímicos e radiométricos preliminares dos granitos da região de Vila Real, Norte de Portugal. *Comunicações Geológicas*, **101**, 229-232.
- Valotto, G., Rampazzo, G., Visin, F., Gonella, F., Cattaruzza, E., Glisenti, A., Formenton, G., Tieppo, P., 2015. Environmental and traffic-related parameters affecting road dust composition: A multi-technique approach applied to Venice area (Italy). *Atmospheric Environment*, **122**: 596-608.