



# CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

Marlene Sousa Santos

Dissertação submetida para satisfação dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE**

**Orientador:** Professor Doutor Joaquim Eduardo Sousa Góis  
**Coorientadora:** Professora Doutora Helena Cristina Fernandes Ferreira Madureira

Outubro 2019



**MESTRADO EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE 2018/2019**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Tel. +351 22 041 3163

Fax +351 22 041 3164

✉ [minas@fe.up.pt](mailto:minas@fe.up.pt)

*Editado por*

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351 22 508 1400

Fax +351 22 508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente – 2018/2019 – Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.



Aos meus pais

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes.”*

Marthin Luther King



## Agradecimentos

Apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Minas e Geo-ambiente, esta dissertação é o culminar dos mais longos, duros e também melhores 5 anos da minha vida. Os últimos passos de 17 anos de estudo que farão de mim quem desejei um dia ser e que serão o início de uma nova fase de aprendizagem e crescimento na vida.

Em primeiro lugar, agradeço à Faculdade de Engenharia e aos professores do Departamento de Engenharia de Minas pela oportunidade de aprendizagem. Ao professor Joaquim Góis, agradeço a excelente orientação, disponibilidade ilimitada, incentivo, paciência e aprendizagem ao longo deste trabalho. À professora Helena Madureira, agradeço a disponibilidade para embarcar neste projeto, a simpatia e toda a ajuda.

Agradece-se à Câmara Municipal do Porto e em particular ao Departamento Municipal de Planeamento e Gestão Ambiental na pessoa do Engenheiro Pedro Pombeiro, pelas facilidades concebidas no acesso aos jardins para a efetivação das campanhas de amostragem.

Às “minas giras”, tenho a agradecer todo o companheirismo, gargalhadas, brincadeiras, momentos de estudo, festas e até mesmo as chatices, que fazem parte de uma amizade que se leva para uma vida como a nossa. Serão sempre o melhor que a FEUP me deu. Em particular, à Ana, companheira por 5 meses da maior aventura da minha vida, a quem agradeço toda a força do outro lado do oceano, que tornou a minha estadia no Brasil e na Doce Veneno ainda mais completa.

Ao meu namorado, Fábio, o mais recente nesta etapa de 5 anos, mas que fez valer muita coisa em apenas 1 ano e meio. Obrigada por toda a força, compreensão, amor e companheirismo que tens para comigo todos os dias. Espero que sejamos cúmplices desta relação pouco vulgar por muito mais tempo, continua a ter essa paciência de santo para aturar o meu mau feitio da forma que só tu sabes e prometo ser sempre o melhor que eu conseguir, “shim”?

Ao “Dinho” e à “Dinha” que, se por azar o mundo virasse ao contrário, eu poderia chamar de segundos pais. Sempre deram todo o amor possível que, mesmo estando

mais longe que o normal, estavam a um minuto de distância para o que fosse preciso. Em especial, à minha madrinha, este final de glória é para ti, sei que terias todo o gosto em acompanhar esta etapa. Ouvi-te chorar com a minha entrada, infelizmente, a vida quis que fosses mais cedo do que era permitido, e por isso não te poderei abraçar no final, mas “...Agora sei que me estás a ouvir, entre as estrelas vens, ensinar-me a sorrir (...) Vemo-nos por aí...”. Sei que terás todo o orgulho naquilo em que me tornei.

Aos meus tios e primos, um enorme obrigado por me proporcionarem desde infância muitos momentos divertidos e de muito carinho que completaram uma parte importante do que sou hoje.

À avó, a quem devo 23 anos de carinho imenso, conversas, aprendizagem, orações e gargalhadas. Um dia espero retribuir de alguma forma todos os beijos que me pediste e, por algum motivo, não tive paciência para te dar, mas se for para estares ao nosso lado e viveres para sempre, prometo encher-te com os meus beijinhos até ficares cansada.

Às duas pessoas responsáveis pela minha existência, por tudo o que consegui aprender e alcançar nestes 23 anos de vida. Pai e mãe, a quem devo a minha vida, nada no mundo seria igual sem vocês e sem toda a vossa ajuda, apoio e carinho. Sempre fizeram das tripas coração para conseguir proporcionar-me tudo aquilo que tenho e sou hoje. Um simples obrigado não chega, mas um amo-vos talvez consiga completar o que resta.

A todos os demais envolvidos que de alguma forma contribuíram para o sucesso destes longos e repletos 5 anos.

## Resumo

O solo é um recurso natural dos ecossistemas, sendo uma das bases de sustentação do ser humano e uma barreira para a contaminação de águas subterrâneas. Uma vez que o solo armazena, transforma e filtra substâncias, é necessário estar alerta para a presença de determinadas substâncias, como é o caso dos metais pesados que, ultrapassando os limites de autodepuração do solo, podem causar problemas de contaminação irreversíveis.

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da dispersão espacial dos metais pesados nos solos urbanos em algumas áreas verdes da cidade do Porto. Em específico, foram selecionados o Parque da Cidade, o Jardim de S.Lázaro, a Praça da República e a Praça Mouzinho Albuquerque (Rotunda da Boavista), espaços verdes públicos da cidade do Porto, e simultaneamente, focos centrais na cidade relativamente ao tráfego rodoviário diário.

Tendo em vista esse objetivo, foi realizada uma ampla campanha de amostragem sobre malhas regulares nos locais anteriormente referidos, com a finalidade de realizar um estudo estatístico e geoestatístico dos dados recolhidos. Assim, a presente dissertação divide-se em duas partes. Na primeira, referente aos Capítulos 2, 3 e 4, faz-se uma revisão de literatura sobre as funções dos espaços verdes e sobre a problemática da contaminação dos solos por metais pesados. Na segunda parte, correspondente aos capítulos 5, 6, 7 e 8, procede-se à descrição da campanha de amostragem e compilam-se os resultados do tratamento estatístico e geoestatístico dos dados recolhidos na amostragem, dos quais resultam as representações gráficas de dispersão espacial dos metais pesados. Será feita uma interpretação correlacionando a atividade antrópica nas proximidades dos espaços verdes com os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Contaminação por metais pesados; Solo; Geoestatística; Áreas Verdes; Cidade do Porto.



## Abstract

Soil is a natural resource of ecosystems, being one of the bases of human support and a barrier to groundwater contamination. As the soil stores, transforms and filters substances, it is necessary to be alert to the presence of certain substances, such as heavy metals which, beyond the limits of soil self-purification, can cause irreversible contamination problems.

The present work aims to study the spatial dispersion of heavy metals in urban soils in some green areas of Porto. Specifically, the City Park, Jardim de S. Lázaro, Praça da República and Praça Mouzinho Albuquerque (Rotunda da Boavista) were selected, public green spaces of the city of Porto, and simultaneously central foci in the city in relation to daily traffic.

In view of this objective, a large sampling campaign was conducted on regular meshes in the aforementioned locations, with the purpose of carrying out a statistical and geostatistical study of the collected data. Thus, the present dissertation is divided into two parts. In the first, referring to Chapters 2, 3 and 4, there is a literature review on the functions of green spaces and the problem of soil contamination by heavy metals. The second part, corresponding to chapters 5, 6, 7 and 8, the sampling campaign is described and the results of the statistical and geostatistical treatment of the data collected in the sample are compiled, resulting in spatial dispersion graphs. of heavy metals. An interpretation will be made correlating the anthropic activity in the vicinity of the green spaces with the results obtained.

**Keywords:** Heavy Metal Contamination; Soil; Geostatistics; Green Areas; Oporto city.



# Índice

Índice de figuras .....	xv
Índice de tabelas.....	xix
Abreviaturas e Acrónimos .....	xxi
Capítulo 1 – Introdução .....	1
1.1 Considerações gerais. Objetivos .....	1
1.2 Etapas de trabalho .....	2
Capítulo 2 – Problemática dos espaços verdes .....	5
2.1 As funções dos espaços verdes públicos.....	5
2.1.1 Ambientais .....	6
2.1.2 Sociais.....	6
2.2 Importância de monitorizar a contaminação dos solos nos espaços verdes públicos .....	7
Capítulo 3 – Espaços verdes públicos na cidade do Porto .....	9
3.1 Contexto histórico.....	9
3.2 Descrição dos espaços verdes públicos em estudo .....	10
Capítulo 4 – Contaminação do solo.....	15
4.1 Contaminação por metais pesados .....	15
4.2 Caracterização dos metais pesados.....	16
4.2.1 Arsénio .....	16
4.2.2 Chumbo .....	18
4.2.3 Zinco .....	19
4.2.4 Crómio .....	21
4.2.5 Cobre .....	23
4.2.6 Molibdénio .....	24

4.2.7	Mercúrio.....	25
4.3	Legislação.....	27
Capítulo 5 – Amostragem e instrumentação.....		29
5.1	Campanha de amostragem.....	29
5.2	Instrumentação.....	32
Capítulo 6 – Tratamento estatístico .....		35
6.1	Estatísticos básicos unidirecionais.....	35
6.2	Análise em Componentes Principais.....	45
Capítulo 7 – Tratamento Geoestatístico .....		67
7.1	Análise da estrutura espacial dos dados.....	67
7.2	Estimação por krigagem .....	79
7.3	Representação espacial .....	81
Capítulo 8 – Considerações finais.....		91
8.1	Conclusões .....	91
8.2	Perspetivas futuras .....	92
Referências bibliográficas.....		95
Anexos .....		103

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> - Mapa Europeu da concentração de As à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado <i>et al.</i> , 2008).....	18
<b>Figura 2</b> - Mapa Europeu da concentração de Pb à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado <i>et al.</i> , 2008).....	19
<b>Figura 3</b> - Mapa Europeu da concentração de Zn à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado <i>et al.</i> , 2008).....	21
<b>Figura 4</b> - Mapa Europeu da concentração de Cr à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado <i>et al.</i> , 2008).....	22
<b>Figura 5</b> - Mapa Europeu da concentração de Cu à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado <i>et al.</i> , 2008).....	24
<b>Figura 6</b> - Mapa Europeu da concentração de Hg à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado <i>et al.</i> , 2008).....	26
<b>Figura 7</b> - Recolha de amostras no Parque da Cidade.....	29
<b>Figura 8</b> - Localização dos pontos de amostragem - Jardim de S.Lázaro (Fonte: Google Maps).....	30
<b>Figura 9</b> - Localização dos pontos de amostragem – Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista) (Fonte: Google Maps). ....	31
<b>Figura 10</b> - Localização dos pontos de amostragem - Praça da República (Fonte: Google Maps).....	31
<b>Figura 11</b> - Localização dos pontos de amostragem - Parque da Cidade (Fonte: Google Maps).....	32
<b>Figura 12</b> - Componentes básicos do Espectrómetro de Fluorescência de Raio-X, X-MET7000 Series. ....	34
<b>Figura 13</b> - Plano metodológico de ensaios da ACP para os dados da Pç. da República. ....	46
<b>Figura 14</b> - ACP, 2º Ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2). ....	48
<b>Figura 15</b> - ACP, 2º Ensaio (Pç. da República), projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2). ....	49

<b>Figura 16</b> - ACP, 2º Ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F3). Interpretação do eixo F3. ....	50
<b>Figura 17</b> - ACP, 2º Ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F4). Interpretação do eixo F4. ....	51
<b>Figura 18</b> - ACP (Jd. de S.Lázaro), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2). ....	52
<b>Figura 19</b> - ACP (Jd. de S.Lázaro), projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2). ....	53
<b>Figura 20</b> - ACP (Jd. de S.Lázaro), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F3). Interpretação do eixo F3. ....	54
<b>Figura 21</b> - ACP (Jd. de S.Lázaro), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F4). Interpretação do eixo F4. ....	55
<b>Figura 22</b> - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2). ....	56
<b>Figura 23</b> - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2). ....	57
<b>Figura 24</b> - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F3). Interpretação do eixo F3. ....	58
<b>Figura 25</b> - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F5). Interpretação do eixo F5. ....	59
<b>Figura 26</b> - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F6). Interpretação do eixo F6. ....	59
<b>Figura 27</b> - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2). ....	61
<b>Figura 28</b> - ACP (Prq. da Cidade), projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2). ....	62
<b>Figura 29</b> - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F3). Interpretação do eixo F3. ....	63
<b>Figura 30</b> - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F4). Interpretação do eixo F4. ....	64
<b>Figura 31</b> - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F5). Interpretação do eixo F5. ....	64

<b>Figura 32</b> - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F6). Interpretação do eixo F6. ....	65
<b>Figura 33</b> - Esquema de um variograma e dos seus parâmetros (Lopes, 2013). ....	69
<b>Figura 34</b> - Variograma ajustado do elemento Cu (Jd. S.Lázaro). ....	70
<b>Figura 35</b> - Variograma ajustado do elemento Zn (Jd. de S.Lázaro). ....	70
<b>Figura 36</b> - Variograma ajustado do elemento Pb (Jd. de S.Lázaro). ....	71
<b>Figura 37</b> - Variograma ajustado do elemento Cr (Pç. Mouzinho de Albuquerque - Rotunda da Boavista). ....	72
<b>Figura 38</b> - Variograma ajustado do elemento Cu (Pç. Mouzinho de Albuquerque - Rotunda da Boavista).....	72
<b>Figura 39</b> - Variograma ajustado do elemento Zn (Pç. Mouzinho de Albuquerque - Rotunda da Boavista).....	73
<b>Figura 40</b> - Variograma ajustado do elemento Pb (Pç. Mouzinho de Albuquerque - Rotunda da Boavista).....	73
<b>Figura 41</b> - Variograma ajustado do elemento Cu (Pç. da República). ....	74
<b>Figura 42</b> - Variograma ajustado do elemento Zn (Pç. da República).....	74
<b>Figura 43</b> - Variograma ajustado do elemento Mo (Pç. da República). ....	75
<b>Figura 44</b> - Variograma ajustado do elemento Pb (Pç. da República).....	75
<b>Figura 45</b> - Variograma ajustado do elemento Cr (Prq. da Cidade). ....	76
<b>Figura 46</b> - Variograma ajustado ao elemento Cu (Prq. da Cidade).....	76
<b>Figura 47</b> - Variograma ajustado do elemento Zn (Prq. da Cidade).....	77
<b>Figura 48</b> - Variograma ajustado do elemento As (Prq. da Cidade).....	77
<b>Figura 49</b> - Variograma ajustado do elemento Hg (Prq. da Cidade). ....	78
<b>Figura 50</b> - Variograma ajustado do elemento Pb (Prq. da Cidade). ....	78
<b>Figura 51</b> – Representação gráfica da distribuição espacial de Cu (Jd. de S.Lázaro). ....	82
<b>Figura 52</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Zn (Jd. de S.Lázaro).....	83
<b>Figura 53</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Pb (Jd. de S.Lázaro).....	83
<b>Figura 54</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Cr (Pç. Mouzinho de Albuquerque).....	84
<b>Figura 55</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Cu (Pç. Mouzinho de Albuquerque).....	84

<b>Figura 56</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Zn (Pç. Mouzinho de Albuquerque).....	84
<b>Figura 57</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Pb (Pç. Mouzinho de Albuquerque).....	85
<b>Figura 58</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Cu (Pç. da República)...	86
<b>Figura 59</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Zn (Pç. da República)...	86
<b>Figura 60</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Mo (Pç. da República)..	87
<b>Figura 61</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Pb (Pç. da República)...	87
<b>Figura 62</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Cr (Prq. da Cidade).....	88
<b>Figura 63</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Cu (Prq. da Cidade). ....	88
<b>Figura 64</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Zn (Prq. da Cidade). ....	89
<b>Figura 65</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de As (Prq. da Cidade). ....	89
<b>Figura 66</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Hg (Prq. da Cidade).....	89
<b>Figura 67</b> - Representação gráfica da distribuição espacial de Pb (Prq. da Cidade). ....	90

## Índice de tabelas

<b>Tabela 1</b> - Posição dos elementos em estudo na Lista Prioritária de Substâncias Perigosas.....	16
<b>Tabela 2</b> - Target e intervention values de acordo com a legislação holandesa para os diferentes elementos. ....	28
<b>Tabela 3</b> - Excerto da tabela da média das leituras de concentração em cada ponto da Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista). ....	32
<b>Tabela 4</b> - Estatísticos básicos dos elementos em estudo para o Jardim de S.Lázaro...	38
<b>Tabela 5</b> - Estatísticos básicos dos elementos em estudo para a Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista). ....	39
<b>Tabela 6</b> - Estatísticos básicos dos elementos em estudo para a Praça da República. .	41
<b>Tabela 7</b> - Estatísticos básicos dos elementos em estudo para o Parque da Cidade. ...	43
<b>Tabela 8</b> - Excerto da matriz input para a Pç. da República - ACP, 2º ensaio. ....	47
<b>Tabela 9</b> - Coordenadas das variáveis (elementos químicos) nos eixos fatoriais - ACP, 2º ensaio (Pç. da República).....	47
<b>Tabela 10</b> - Excerto da matriz input para o Jd. de S.Lázaro – ACP. ....	51
<b>Tabela 11</b> - Coordenadas das variáveis (elementos químicos) nos eixos fatoriais - ACP (Jd. de S.Lázaro).....	52
<b>Tabela 12</b> - Excerto da matriz input para a Pç. Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista) – ACP.....	55
<b>Tabela 13</b> - Coordenadas das variáveis (elementos químicos) nos eixos fatoriais - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista). ....	56
<b>Tabela 14</b> - Excerto da matriz input para o Prq. da Cidade – ACP. ....	60
<b>Tabela 15</b> - Coordenadas das variáveis (elementos químicos) nos eixos fatoriais - ACP (Prq. da Cidade). ....	60
<b>Tabela 16</b> - Análise estrutural: Variogramas teóricos (Jd. de S.Lázaro).....	71
<b>Tabela 17</b> - Análise estrutural: Variogramas teóricos (Pç. Mouzinho de Albuquerque). ....	73
<b>Tabela 18</b> - Análise estrutural: Variogramas teóricos (Pç. da República). ....	75
<b>Tabela 19</b> - Análise estrutural: Variogramas teóricos (Prq. da Cidade).....	78



## Abreviaturas e Acrónimos

<b>ACP</b>	Análise em componentes principais
<b>APA</b>	Agência Portuguesa do Ambiente
<b>As</b>	Arsénio
<b>ATSDR</b>	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>
<b>Ba</b>	Bário
<b>Ca</b>	Cálcio
<b>Cd</b>	Cádmio
<b>CM Porto</b>	Câmara Municipal do Porto
<b>Co</b>	Cobalto
<b>Cr</b>	Crómio
<b>Cu</b>	Cobre
<b>EDXRF</b>	Fluorescência de Raios-X de Energia Dispersiva
<b>Fe</b>	Ferro
<b>GPS</b>	<i>Global Protection System</i>
<b>Hg</b>	Mercúrio
<b>HHS</b>	Departamento de Saúde e Serviços Humanos
<b>IARC</b>	Agência Internacional de Pesquisa do Cancro
<b>Jd.</b>	Jardim
<b>K</b>	Potássio
<b>Mn</b>	Manganês
<b>Mo</b>	Molibdénio
<b>Ni</b>	Níquel
<b>OMS</b>	Organização Mundial de Saúde
<b>Pb</b>	Chumbo
<b>Prq.</b>	Parque
<b>Pç.</b>	Praça
<b>Rb</b>	Rubídio
<b>RCRF</b>	Fluorescência de Raios-X por Radiação Sincrotrão
<b>Se</b>	Selénio

<b>Sr</b>	Estrôncio
<b>Ta</b>	Tântalo
<b>Ti</b>	Titânio
<b>TXRF</b>	Fluorescência de Raios-X de Reflexão Total
<b>U</b>	Urânio
<b>US EPA</b>	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
<b>V.R.</b>	Variável Regionalizada
<b>WDXRF</b>	Fluorescência de Raios-X de Dispersão por comprimento de onda
<b>XRF</b>	Fluorescência de Raio-X
<b>Y</b>	Ítrio
<b>Zn</b>	Zinco
<b>Zr</b>	Zircônio
<b>μ-XRF</b>	Fluorescência de Micro Raios-X

# Capítulo 1 – Introdução

## 1.1 Considerações gerais. Objetivos

O solo é um recurso natural básico e fundamental dos ecossistemas e dos ciclos naturais, servindo de base à sustentação do ser humano e de barreira para a contaminação de águas subterrâneas. Por isso, uma vez que o solo armazena, transforma e filtra certas substâncias é necessário estar alerta a problemas com a contaminação (Rosa, 2016, Ribeiro, 2013).

A contaminação do solo caracteriza-se pela presença de substâncias que, normalmente, não se encontram presentes no solo e que existindo em elevadas concentrações podem provocar efeitos negativos na saúde humana e até no ambiente. O solo possui uma capacidade de autodepuração, sendo capaz de atenuar os efeitos negativos decorrentes da contaminação. Todavia, quando a acumulação excessiva de contaminantes ultrapassa os limites da autodepuração, os danos causados no solo podem ser irreversíveis (Ribeiro, 2013).

Os metais são elementos que surgem no ambiente de forma natural, todavia, em concentrações elevadas, podem provocar danos no ambiente (podem ser tóxicos). No solo, apresentam baixa mobilidade devido a processos como a adsorção e dessorção, precipitação e solubilização, oxi-redução, entre outros. Infelizmente, é fácil encontrar um metal que faça parte de diversas formas químicas dada a constante atividade antrópica e industrial, que tem vindo a contribuir para o aumento das concentrações destes metais nos solos urbanos (Chaves, 2008).

O presente trabalho tem como principal objetivo o estudo da dispersão espacial dos metais pesados no solo de áreas verdes na cidade do Porto. A criação de representações gráficas e a descrição e interpretação da variabilidade espacial dos metais pesados foi possível através da recolha de dados numa campanha de amostragem em quatro jardins da cidade do Porto, seguida de uma análise estatística e geoestatística.

Pretende-se identificar as zonas, em cada espaço verde, que contêm concentrações elevadas em determinados metais pesados.

Através da utilização de modelos estatísticos e geoestatísticos, suportada por um levantamento da legislação ambiental existente, pretende-se identificar as zonas com

maior ou menor vulnerabilidade à contaminação por metais pesados e comparar as concentrações dos elementos analisados com os valores limite previstos na legislação holandesa (*target* e *intervention value*).

Sempre que possível procurar-se-á, além da identificação de problemas existentes, encontrar uma explicação fenomenológica, antropogénica, para as ocorrências identificadas.

## **1.2 Etapas de trabalho**

A presente dissertação divide-se em duas partes. A primeira parte corresponde ao enquadramento conceptual das problemáticas em estudo, designadamente da importância das funções desempenhadas pelos espaços verdes nas cidades e da problemática da contaminação dos solos por metais pesados. A segunda parte é dedicada aos casos de estudo, isto é, a contaminação por metais pesados de áreas verdes da cidade do Porto. A metodologia geral adotada nos casos de estudo pode resumir-se sucintamente em três fases:

- Numa primeira fase realizou-se uma campanha de amostragem com posterior análise das amostras, com o propósito de adquirir os dados das concentrações de metais pesados no solo;
- Numa segunda fase, onde se recorre à análise estatística, faz-se uma descrição dos dados e utilizam-se métodos capazes de interpretar alguns dos comportamentos das variáveis em estudo;
- Numa terceira e última fase, procurou-se adequar e utilizar os modelos geoestatísticos capazes de descrever a variabilidade espacial dos elementos químicos em estudo (distribuição espacial dos metais pesados nos espaços verdes da cidade do Porto).

Assim, no capítulo 2, procura-se entender e explorar o conceito de espaço verde, definindo as funções que desempenham a nível ambiental e social e,0 alertar para a importância de monitorizar a contaminação nestes locais.

No capítulo 3, apresenta-se um breve contexto da origem e desenvolvimento dos espaços verdes públicos na cidade do Porto até aos dias de hoje e faz-se uma posterior descrição de cada espaço verde referido neste trabalho.

O capítulo 4, consiste na definição de alguns conceitos relativos à contaminação dos solos por metais pesados. Faz-se uma caracterização de cada elemento químico relevante em estudo (As, Cu, Cr, Pb, Zn, Mo, Hg) indicando as principais fontes dos metais pesados e os danos que possam surgir, para o ser humano, como consequência da exposição a elevadas concentrações. Faz-se ainda referência à legislação holandesa para definir os valores capazes de referenciar o grau de contaminação existente nos espaços verdes.

No capítulo 5, apresenta-se a metodologia utilizada na recolha de dados, faz-se a descrição do processo realizado nas campanhas de amostragem, os critérios para escolha dos locais de amostragem, os instrumentos utilizados para realização das mesmas e os respetivos resultados obtidos.

Nos capítulos 6 e 7, é realizada uma análise dos dados recolhidos na campanha de amostragem com posterior aplicação de modelos matemáticos e estatísticos. No capítulo 6, faz-se uma análise dos estatísticos descritivos seguido de um tratamento estatístico multivariado aplicando a Análise em Componentes Principais às matrizes resultantes da recolha de dados. No capítulo 7, procede-se ao tratamento geoestatístico dos dados, começando pela análise da estrutura espacial dos dados (análise variográfica) e, em seguida, a estimação por krigagem baseada nos variogramas teóricos anteriormente obtidos. Finalmente, apresentam-se as representações das distribuições espaciais dos elementos em estudo.

Na conclusão, capítulo 8, apresenta-se uma síntese de todo o trabalho realizado respondendo aos objetivos propostos e propõe-se alguns trabalhos futuros que permitam aprofundar o tema do presente trabalho.



## Capítulo 2 – Problemática dos espaços verdes

O termo “infra-estrutura verde” é cada vez mais conhecido, sendo entendido como um sistema integrado de espaços verdes multifuncionais que relaciona a cidade com a sua envolvente. Tratando-se de um termo relativamente recente, a “infra-estrutura verde” possui alguns antecedentes assentes em várias propostas de ordenamento dos espaços verdes, para minimizar os efeitos ambientais e sociais dos processos de urbanização, que se têm vindo a intensificar desde a Revolução Industrial. Um primeiro grupo de antecedentes está relacionado com a necessidade de criação de jardins públicos enquanto unidades espaciais autónomas nas cidades. Após a Revolução Industrial, com os problemas ambientais gerados pela industrialização e crescimento populacional, a criação de jardins e parques para preservar e criar áreas verdes na cidade, é vista como a solução para melhorar a qualidade de vida do meio urbano. Com a consciencialização relativamente às más condições urbanas, a criação destes espaços desperta a necessidade de repouso dos cidadãos e prática de atividades de lazer. Um segundo grupo de antecedentes envolve todos os esforços desenvolvidos para visualizar o conjunto de áreas verdes na cidade como um sistema integrado na paisagem urbana além do seu contributo individual (Madureira, 2012).

### 2.1 As funções dos espaços verdes públicos nas cidades

Segundo a “Avaliação Ecosistémica do Milénio” criada pelas Nações Unidas em 2001, os benefícios que se retiram de um ecossistema, denominados serviços dos ecossistemas, dividem-se em serviços produção (bens que o ecossistema pode fornecer à comunidade como alimentos ou água), serviços de regulação (benefícios que se obtêm através do controlo dos processos do ecossistema), serviços de suporte (serviços que auxiliam na formação dos restantes serviços, como formação do solo e o ciclo de nutrientes) e serviços culturais (benefícios espirituais ou estéticos fornecidos pelo ecossistema) (Madureira, 2016).

Elmqvist (Elmqvist *et al.*, 2015) evidencia que os ecossistemas urbanos oferecem vários benefícios para a sociedade e o bem-estar humano, auxiliando na manutenção da

biodiversidade com o crescimento das cidades. Assim, os serviços ecossistêmicos além de possuírem um interesse ecológico e social são também economicamente viáveis.

Vários autores tais como, James (James *et al.*, 2009), Baycan-Levent (Baycan-Levent *et al.*, 2009) e Tzoulas (Tzoulas *et al.*, 2007), referenciam nas suas publicações alguns benefícios da existência de espaços verdes tanto a nível ambiental como social.

### **2.1.1 Ambientais**

A nível ambiental os espaços verdes permitem o desenvolvimento da biodiversidade, a atenuação da temperatura local, nomeadamente a mitigação dos focos de calor urbano, a captura do dióxido de carbono e a diminuição do ruído (Madureira, 2016).

No referente à poluição do ar, a vegetação reduz esta poluição por filtragem das partículas. O nível de filtragem varia de acordo com a área foliar sendo mais elevada nas árvores do que nos arbustos ou pastagens (Bolund *et al.*, 1999).

Em estudos em cidades um pouco por todo o mundo, foram quantificadas diferenças de temperatura no ar provocadas pela elevada área de superfícies impermeabilizadas que retêm o calor juntamente com um uso intensivo da energia das cidades. Este efeito designa-se por efeito de ilha de calor urbano podendo ser atenuado pela presença de ecossistemas naturais nas áreas urbanas. Outra possibilidade são as áreas aquáticas que compensam os desvios de temperatura durante o verão e o inverno. A vegetação, através da criação de zonas de sombra e diminuição da velocidade do vento, ajuda a diminuir o uso de energia para aquecimento e ar condicionado (Bolund *et al.*, 1999).

A produção de ruído pode ser minimizada pela presença de cortinas vegetais e também através de pavimentos à base de vegetação. A intrusão visual do tráfego pode ser também reduzida pela utilização de árvores que protegem deste efeito (Bolund *et al.*, 1999).

### **2.1.2 Sociais**

O ambiente urbano é, normalmente, stressante para os cidadãos. Os espaços verdes públicos criados com finalidade recreativa, como brincar e descansar, talvez sejam dos mais valorizados nas cidades (Bolund *et al.*, 1999).

Os espaços verdes contribuem para o bem-estar físico e mental através do contacto direto com a natureza levando a uma maior predisposição para a prática de exercício físico ao ar livre ou promover a sensação de pertença à comunidade através de relações interpessoais (Madureira, 2016). Estes são ainda prezados como importantes auxiliares à estrutura visual da paisagem por oferecerem valores estéticos e culturais (Madureira, 2012).

## **2.2 Importância de monitorizar a contaminação dos solos nos espaços verdes públicos**

Um espaço verde público é uma parte importante do ecossistema urbano, pois além de desempenhar funções ambientais fundamentais, oferece um local de recreação para a população da cidade. A qualidade do solo é neste contexto um fator essencial, sendo este o principal responsável pelo crescimento da vegetação nestes espaços. No entanto, devido aos processos de urbanização e industrialização, o solo das cidades incluindo dos seus espaços verdes, tem vindo a ficar cada vez mais contaminado, nomeadamente com a presença de metais pesados (Lin *et al.*, 2017). Devido à presença de um elevado teor em matéria orgânica, o solo possui uma maior capacidade de unir metais pesados. Estes metais permanecem nos solos urbanos por longos períodos de tempo e a sua acumulação pode causar danos ao meio ambiente e à saúde humana (Gasiorek *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2017). A presença de concentrações elevadas de metais pesados em espaços verdes é normalmente associada à elevada densidade de tráfego e às emissões libertadas pelos veículos (Curran-Cournane *et al.*, 2015).

Os metais pesados encontram-se no solo sob várias formas, que diferem entre si na solubilidade e mobilidade, por isso é necessário quantificá-las, pois o seu transporte e mobilidade no solo são dependentes da sua associação com os componentes do solo (Naskrêt *et al.*, 2016). Consequentemente, é necessário avaliar e monitorizar os níveis dos elementos que possam ser prejudiciais nos espaços verdes urbanos, as taxas de ingestão de metais e os seus efeitos na saúde porque o bem-estar da população está fortemente ligado à qualidade do solo e ao nível de contaminação que este possa apresentar (Khan *et al.*, 2016). De facto, a proximidade da população, nomeadamente crianças, a fontes de contaminação localizadas em espaços verdes públicos pode

aumentar o risco de desenvolver doenças respiratórias, do trato digestivo ou doenças cutâneas, aumentando a taxa de mortalidade (Seijo *et al.*, 2015).

Por tudo isto, é recomendável a monitorização regular da contaminação por metais pesados no solo em espaços verdes de forma a reduzir a taxa e extensão de problemas de poluição na cidade (Parveen *et al.*, 2012). De facto, alguns estudos, como de Khan (Khan *et al.*, 2016), sugerem que poderão ser desenvolvidas medidas de ação estratégias de gestão para evitar a contaminação do solo dos espaços verdes com elementos prejudiciais ao ecossistema e à saúde humana.

## Capítulo 3 – Espaços verdes públicos na cidade do Porto

### 3.1 Contexto histórico

Como refere Ilídio de Araújo no seu trabalho sobre “Jardins, parques e quintas de recreio no aro do Porto” desde cedo muitas famílias desejavam adquirir junto à sua habitação um espaço delimitado por vedação de usufruto privado no seio familiar para fins alimentares e medicinais ou atividades de lazer. Esses espaços foram intitulados, na idade média, de hortos, e também de cortinhas, almuinhas e quintas. Com o passar do tempo, devido ao vigor implantado nestes locais a nível paisagístico, estes passam a ser chamados de jardins ou parques consoante as suas características interiores (Araújo, 1979).

A cidade do Porto dispunha de um vasto património de jardins, parques e quintas de recreio. A história dos jardins públicos do Porto está associada ao que podemos designar por antecessores dos espaços verdes públicos, designados por Campos, espaços abertos localizados próximo das portas do burgo e ao longo das principais saídas, onde eram realizadas feiras, exercícios militares e palco para a realização de ofícios por parte dos artífices. Estes, mais tarde seriam transformados em praças e jardins públicos que, nos dias de hoje, são essenciais à rede de espaços verdes públicos da cidade, como é o caso do campos de Santo Ovídio que se transformou na Praça da República ou o de S.Lázaro no Jardim de S.Lázaro (Andresen *et al.*, 2001; Araújo, 1979).

Refira-se que após a revolução francesa, alguns jardins no interior das cidades são abertos ao público pelos seus proprietários, sendo que, no Porto, a quinta de Santo Ovídio a pioneira. Com a utilização destes locais para atividades de lazer por parte das famílias tornou-se evidente a utilidade e justificação de incentivar a presença de jardins públicos na cidade (Araújo, 1979).

A história dos jardins públicos do Porto é fortemente marcada por Emílio David, arquiteto paisagista alemão, que vem para o Porto com a tarefa de implementar na cidade passeios e jardins públicos como o Palácio de Cristal e o da Cordoaria, realizando também alterações no Jardim de S. Lázaro, construído entre 1830 e 1841 (Araújo, 1979).

Desde então, até aos nossos dias, têm sido construídos novos jardins e parques públicos, mas em número insuficiente face às necessidades recreativas, paisagísticas e ambientais de uma cidade em mudança. Estes espaços verdes públicos vão-se progressivamente juntando aos jardins históricos do Porto, que fazem parte da memória, percursos e acontecimentos da cidade. *“...Os jardins históricos são microcosmos que materializam ideias e concepções e gravam memórias e saberes que importam conhecer para que eles possam ser devidamente salvaguardados e estimados...”* (Andresen et al., 2001)

### **3.2 Descrição dos espaços verdes públicos em estudo**

#### Praça Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista

Situada na Praça Mouzinho de Albuquerque era designada por “Praça de Boavista” na última década de 1800. Passa a ser chamada de “Rotunda” dada a sua forma “circular”, ficando conhecida como Rotunda da Boavista desde então.

Desenhada por Jerónimo Monteiro da Costa, possui um traçado formal ao redor do seu centro onde se encontra um Obelisco comemorativo da Guerra Peninsular, projetado pelo escultor Alves de Sousa e pelo arquiteto Marques da Silva e denominado “Monumento de Homenagem aos Heróis da Guerra”. Este monumento é constituído por uma grande coluna de granito com 45 metros de altura que possui, no topo, um leão peninsular a abater uma águia napoleónica sendo este o principal elemento que caracteriza esta Praça.

Ao nível da flora possui camélias, liquidâmbares, braquiuitos, tílias, caducifólias, carvalhos, tulpeiros e as palmeiras em leque consideradas de interesse público.

A partir de 1876, a Rotunda da Boavista, recebe as Feiras de São Miguel e as Feiras dos Moços antigamente realizadas na Cordoaria e na Praça de Carlos Alberto, respetivamente. Aqui sucederam-se também touradas e corridas de bicicletas. Recebeu durante muitos anos a Feira do Livro e as Festas Sanjoaninas, tendo sofrido alterações devido à construção da Casa da Música. Com a instalação deste monumento de cariz cultural, a Rotunda da Boavista passa a ter uma nova vivência (*site da C.M. Porto; site Visit Porto*).

### Parque da Cidade

O Parque da Cidade é o maior "pulmão" da cidade e o mais extenso parque urbano do país com cerca de 8,5 quilómetros de caminhos com grandes áreas relvadas, pequenos bosques, lagos, vegetação aquática, animais, trilhos e ainda alguns miradouros com vista privilegiada para o parque. Nas bordaduras do parque, existe vegetação mais densa alinhada com a função de barreira de isolamento visual e acústico.

Possui bancos e mesas por todo o jardim e grandes áreas e equipamento para práticas de lazer e desporto ou, somente, para caminhar em contacto com a natureza.

Este parque abriu ao público em 1993, projetado pelo arquiteto Sidónio Pardal e tem como limites a Estrada da Circunvalação, a norte, a Avenida da Boavista a sul, a poente o mar (desde 1998) e a nascente, a Rua da Vilarinha.

Desde 1932 existia a ideia de criar um parque público neste local prevista, neste ano, por Ezequiel Campos e, mais tarde, em 1940, retomada pelo arquiteto italiano Muzio. É Antão de Almeida Garrett que, em 1952, define esta área no Plano regulador da Cidade do Porto como "zona desportiva municipal" e nos anos 60 o arquiteto Robert Auzelle inclui-a no seu Plano Geral de Urbanização. Apenas nos anos 90, o projeto do Parque da Cidade é possível. Uma primeira fase, de 1990 a 1993 com 45 hectares e uma segunda fase, finalizada em 1998, que atinge cerca dos 90 hectares conhecidos atualmente.

No parque são visíveis grandes influências estéticas e técnicas de vários parques europeus do século XVII como o Barroco de Lê Norte, a Escola Paisagista Inglesa de Cent, Repto e Paxton, a paisagem campestre de Ölmsted, entre outros. Aqui destaca-se igualmente, o Padrão Comemorativo, criado no âmbito das comemorações do Dia de Portugal, de Camões e das Comunidades Portuguesas. O núcleo Rural de Aldoar foi recentemente recuperado tornando aqui presente uma paisagem rural passada, incluindo elementos agrícolas pouco comuns, procurando promover um conjunto de atividades de carácter pedagógico (*site* da C.M. Porto; *site* Visit Porto).

### Jardim da Praça da República

O Jardim da Praça da República, também intitulado de Jardim de Teófilo Braga, segundo presidente da Primeira República Portuguesa, situa-se no cimo da Rua da Boavista e é

rodeado do lado nascente por um conjunto de palacetes. Projetado por Jerónimo Monteiro da Costa, foi construído em 1915/16 no antigo Largo de S.Ovídio aí situado até meados do século XVIII e ampliado ligando-se à Praça Nova pela Rua Nova do Almada e Rua das Hortas. Em oitocentos, aqui funcionou um quartel do lado norte e um campo de manobras militares. Este local passa a denominar-se Campo de Regeneração, após as guerras liberais até 1910. Instaurada a República, passa de “campo” a “jardim”.

É um espaço formal, retangular, relvado com arvoredos com carvalhos americanos, palmeiras e abrunheiros de folhagem roxa rodeados de canteiros com tílias, teixos, camélias, roseiras e outras plantas da época. Possui também algumas esculturas como a figura do Padre Américo, o Busto de Baco, “O Rapto de Ganimides” e uma escultura comemorativa do centenário da implantação da República em Portugal (*site* da C.M. Porto; *site* Visit Porto).

#### Jardim de S.Lázaro

O Jardim de S. Lázaro, projetado por João José Gomes, primeiro jardineiro municipal do Porto, fica próximo da Biblioteca Municipal do Porto e da Faculdade de Belas Artes. Com o típico aspeto romântico, foi o primeiro jardim público da cidade do Porto, inaugurado em 1834 e concluído sete anos depois. Até obter o seu aspeto atual sofreu várias alterações: uma intervenção paisagística, em 1869, pelo alemão Emílio David; alguma da vegetação colocada na intervenção paisagística é derrubada em 1908 e em 1911 sofre uma nova alteração.

Antes de ser jardim era chamado de São Lázaro. Este local, tal como a maioria dos espaços do Porto que se tornaram jardins, ocupado por uma feira que passou para o Campo 24 de Agosto, local atual. Após a inauguração dos jardins do Palácio de Cristal e da Cordoaria, este jardim entrou um pouco em decadência, embora ainda hoje seja um dos jardins públicos mais frequentados da cidade do Porto.

Atualmente, é o único jardim envolvido por gradeamento com quatro portões. No seu interior existem diversas esculturas, um pequeno coreto e uma fonte de mármore vinda da sacristia do antigo Convento de São Domingos. Quanto à vegetação possui algumas das árvores mais antigas do Porto, doze magnólias que rodeiam um lago central, nos

canteiros estão presentes camélias, cedros e uma palmeira. As tílias envolvem as alamedas periféricas do jardim (*site* da C.M. Porto; *site* Visit Porto).



## Capítulo 4 – Contaminação do solo

### 4.1 Contaminação por metais pesados

Quando uma substância ocorre no solo, com uma concentração acima do *target value*, afirma-se que o ambiente, local ou o corpo foi “contaminado” por essa substância. A extensão do processo de contaminação, designado normalmente por poluição implica que ocorreram, ou poderão ocorrer, danos no ambiente (Rosa, 2016).

Os metais pesados ocorrem naturalmente nos solos, representando diferentes papéis na natureza. Os metais como o cobre (Cu), zinco (Zn) e cobalto (Co), desempenham uma função importante na nutrição de plantas e animais, enquanto o cádmio (Cd), chumbo (Pb) e arsénio (As) podem causar efeitos nocivos sobre vários componentes da biosfera (Silva *et al.*, 2007).

Os metais pesados são componentes naturais dos minerais que constituem as rochas. São incluídos na estrutura cristalina por substituição isomórfica constituindo minerais primários (Caires, 2009).

Maioritariamente, estes elementos são encontrados nos solos, em concentrações ou formas não prejudiciais ao ambiente. No entanto, nas últimas décadas, as atividades antropogénicas têm elevado, de forma considerável, a concentração de alguns metais pesados nos diferentes ecossistemas (Silva *et al.*, 2007).

A contaminação por metais pesados é incolor e inodora, por isso é de difícil verificação. Se a tolerância ambiental for excedida, ou quando ocorre alteração das condições ambientais, os metais pesados no solo podem causar graves problemas ecológicos. Estes podem permanecer retidos no solo por longos períodos de tempo ou moverem-se até atingirem a cadeia alimentar, resultando em consequências para a saúde dos seres vivos (Fernández, 2017).

As principais fontes antropogénicas dos metais pesados no solo incluem a atividade agrícola como o uso de fertilizantes, pesticidas e água de irrigação, resíduos da queima de combustíveis fósseis, indústria metalúrgica, indústria mineira, deposição de resíduos, centrais térmicas e atividades de treino militar (Fernández, 2017; Alloway, 1995a).

## 4.2 Caracterização dos metais pesados

O termo “metal pesado” aplica-se a elementos que possuem valores elevados de peso específico (maior que  $5 \text{ g.cm}^{-3}$ ), número atômico (superior a 20) e massa atômica. É um conjunto muito heterogêneo de elementos que incluem metais, semi-metais e não metais, como o caso do selênio (Se). São metais não-degradáveis, capazes de provocar alterações no material genético, cancerígenas e com tendência de acúmulo em solos e sedimentos (Caires, 2009; Pereira *et al.*, 2015).

A *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*, em parceria com a *United States Environmental Protection Agency (US EPA)*, publica de dois em dois anos uma Lista Prioritária das Substâncias Perigosas. Esta lista é elaborada para a determinação dos potenciais riscos para a saúde humana, em concordância com a toxicidade da substância e o potencial de exposição humana, sendo assim adotada pela Organização Mundial de Saúde (OMS). É de notar que esta lista não enumera as substâncias por ordem de toxicidade, é relativa à prioridade de substâncias baseada na combinação da sua toxicidade, frequência e potencial de exposição humana (Rosa, 2016). Na tabela 1, é possível observar a posição dos elementos químicos em estudo.

**Tabela 1** - Posição dos elementos em estudo na Lista Prioritária de Substâncias Perigosas.

Posição 2017	Elemento químico
1º	Arsénio (As)
2º	Chumbo (Pb)
3º	Mercúrio (Hg)
75º	Zinco (Zn)
78º	Crómio (Cr)
118º	Cobre (Cu)
334º	Molibdénio (Mo)

(Adaptado de ATSDR, 2017)

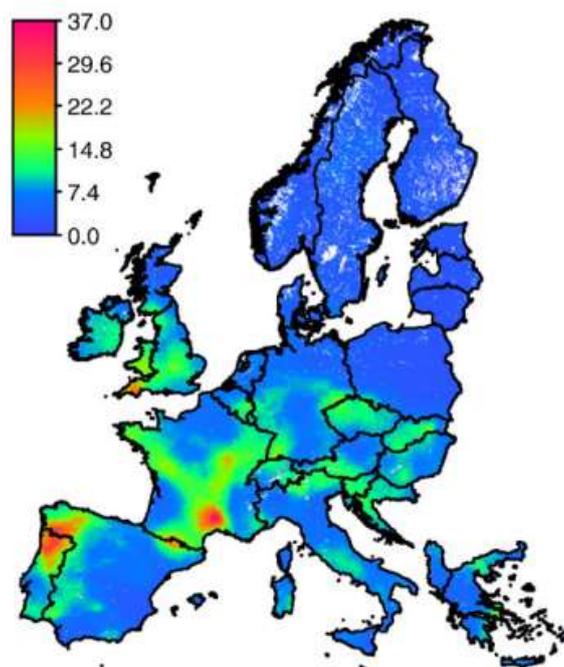
### 4.2.1 Arsénio

O arsénio é um elemento que ocorre de forma natural e é amplamente distribuído na crosta terrestre. Quimicamente é um metaloide, mas possui propriedades de um metal e de um não-metal, todavia é normalmente denominado de metal. O arsénico metálico

(arsénio na forma elementar) pode ter duas formas. Na forma cristalina é um aço de cor cinza e um sólido quebradiço, na segunda é um sólido amorfo cinza escuro. No entanto, é geralmente encontrado no ambiente em formas alotrópicas em três estados de oxidação de -3, 3 e 5. Os compostos podem ser inorgânicos quando combinados com oxigénio, cloro e enxofre, ou orgânicos se combinados com carbono e hidrogénio, sendo estes menos tóxicos que os primeiros. A maioria dos compostos deste elemento são granulados brancos ou incolores, não se evaporam, são inodoros ou sem sabor particular pelo que é difícil detetar a sua presença no ar, água ou alimentos (ATSDR, 2007).

O arsénio pode ser libertado para o meio ambiente a partir de fontes naturais ou fontes antropogénicas. As fontes naturais são o arrastamento dos solos por ação do vento e emissões de erupções vulcânicas. As fontes antropogénicas incluem a atividade mineira e metalúrgica, aplicação de pesticidas, combustão de carvão, combustão de madeira e incineração de resíduos (ATSDR, 2007).

O arsénio encontrado no solo forma complexos insolúveis relativamente imóveis como óxidos de ferro, alumínio e magnésio encontrados na superfície do solo. No entanto, sob condições de redução, este pode ser libertado da fase sólida, originando formas móveis e solúveis, que podem penetrar nas águas subterrâneas ou escoar pelas águas superficiais. Um dos maiores usos dos compostos de arsénio é em baterias de chumbo-ácido para automóveis e em semicondutores e diodos emissores de luz (ATSDR, 2007). Quando o ser humano tem exposição aguda ao As podem ocorrer sintomas imediatos como vômitos, dores abdominais e diarreia e em casos extremos morte. No caso da exposição a elevadas concentrações deste metal durante grandes períodos de tempo ocorrem ao nível da pele, feridas, mudanças de pigmentação e endurecimento da pele na palma das mãos e pés. Estes sintomas podem desencadear cancro na pele, pulmões e bexiga (Rosa, 2016).



**Figura 1** - Mapa Europeu da concentração de As à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado *et al.*, 2008).

#### 4.2.2 Chumbo

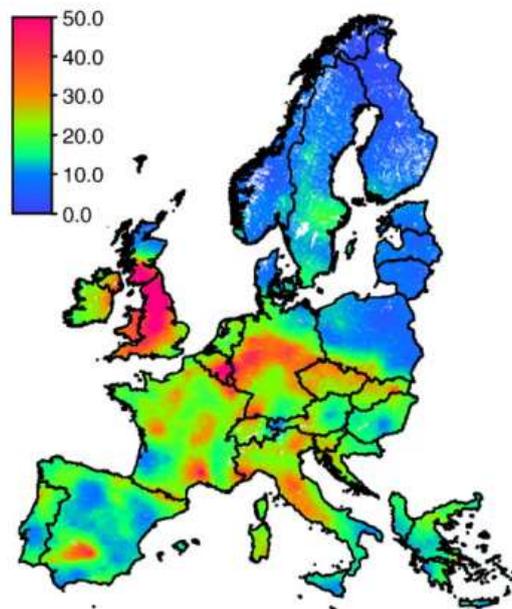
O chumbo ocorre naturalmente com uma abundância de 0,0016% na crosta terrestre, pertencendo ao grupo 14 da tabela periódica. Em contacto com o ar, este metal oxida adquirindo uma cor azul esverdeada. É encontrado em depósitos de minério de chumbo concentrados e muito acessíveis, distribuídos por todo o mundo. É raramente encontrado na forma metálica, ocorrendo normalmente como um mineral com enxofre ou oxigénio. O mineral de chumbo mais importante é a galena. O Pb pode ser usado na sua forma pura ou ligado a outros metais, ou também na forma de composto químico. O principal uso do Pb é nas baterias de ácido, sendo que maior parte das restantes aplicações usa ligas de chumbo. Possui uma grande importância comercial devido às suas propriedades físicas como a resistência à corrosão, baixo ponto de fusão, elevada densidade, facilidade de fundição, maleabilidade, reação eletroquímica com ácido sulfúrico e estabilidade química no ar, água e solo (ATSDR, 2019; Rosa, 2016).

O Pb encontra-se disperso pelo ambiente maioritariamente devido a atividades antropogénicas. No ar, encontra-se sob a forma de partículas e é removido pela chuva. O solo é uma grande fonte de chumbo e, sendo fortemente adsorvido por este, poucas são as quantidades de chumbo que são escoadas pelas águas superficiais ou lixiviadas

para as águas subterrâneas, excluindo casos sob condições ácidas. Os compostos de chumbo existentes no ambiente podem ser transformados noutros compostos de chumbo, no entanto este elemento não pode ser destruído ou degradado levando à acumulação de elevadas concentrações de Pb no meio ambiente (ATSDR, 2019).

As fontes antropogénicas do chumbo incluem a indústria mineira e de fundição, o fabrico e uso de produtos que contêm este elemento, a combustão de carvão e petróleo e a incineração de resíduos. No entanto, algumas fontes foram eliminadas ou reguladas como é o caso da gasolina com chumbo, tinta à base de chumbo, chumbo contido nas latas de alimentos e granadas (ATSDR, 2019).

O chumbo e os seus compostos não são conhecidos como essenciais nem benéficos para os organismos, tornando-se muito tóxicos para os seres humanos. A exposição ao Pb é feita através de alimentos, tabaco e solos contaminados, afetando maioritariamente o sistema nervoso. Pode também causar fraqueza nas articulações, aumentos da pressão sanguínea, anemia e em concentrações muito elevadas, graves danos no cérebro e rins, levando à morte (Rosa, 2016).



**Figura 2** - Mapa Europeu da concentração de Pb à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado *et al.*, 2008).

#### 4.2.3 Zinco

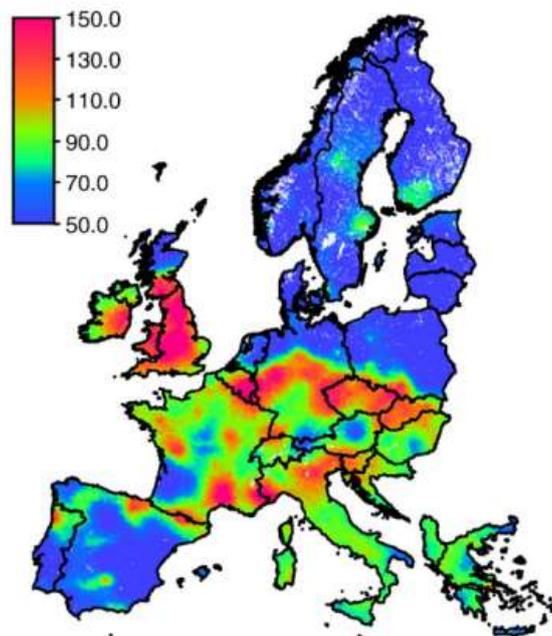
O zinco é um dos elementos mais comuns na crosta terrestre, está presente em todos os alimentos e pode ser encontrado no ar, no solo e na água. Este elemento pertence

ao grupo 12 da tabela periódica, tem número atômico 30 e massa atômica de 65,39 g/mol (ATSDR, 2005; Rosa, 2016).

O Zn é um nutriente essencial para humanos e animais que desempenha um papel importante na estabilidade membranar e no metabolismo de proteínas e ácidos nucleicos. No entanto, a carência e exposição a altas concentrações de zinco pode afetar a saúde, causando problemas de estômago, náuseas e vômitos. A carência de zinco diminui o apetite e enfraquece o sistema imunitário. A ingestão de produtos contaminados com Zn, por vários meses, pode causar anemia, danificar o pâncreas e rins (ATSDR, 2005).

O zinco elementar tem cor branca azulada e é um metal brilhante. Em pó, este elemento é explosivo e forma chama se for armazenado em locais húmidos. O zinco pode combinar-se com elementos como o cloro, oxigênio e enxofre formando os compostos de zinco. Os compostos mais comuns, normalmente encontrados em resíduos perigosos são o cloreto de zinco, óxido de zinco, sulfato de zinco e sulfeto de zinco (ATSDR, 2005). O zinco metálico e os seus compostos têm vários usos a nível industrial. O Zn metálico é usado como revestimento de aço e ferro ou outros metais de forma a evitar ferrugem e corrosão, fabrico de células e pilhas. Pode ainda formar ligas de latão e bronze quando misturado com outros metais. Os compostos são usados para produzir tintas brancas e cerâmicas, produção de borracha, preservação de madeira e fabrico e tingimento de tecidos (ATSDR, 2005).

O zinco entra no meio ambiente a partir de fontes naturais e fontes antropogénicas. As principais fontes antropogénicas estão ligadas à indústria mineira e metalúrgica. As atividades que mais contribuem para a libertação de zinco no solo são as descargas de resíduos de fundição, rejeitos de minas, carvão e cinzas volantes e o uso de produtos comerciais, como fertilizantes e conservantes de madeira. No ar, o zinco encontra-se em partículas finas de poeira que se depositam na terra ou na água. A maior parte deste elemento deposita-se no fundo de rios e lagos, porém uma pequena quantidade permanece dissolvida ou fica em suspensão como partículas finas (ATSDR, 2005).



**Figura 3** - Mapa Europeu da concentração de Zn à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado *et al.*, 2008).

#### 4.2.4 Crómio

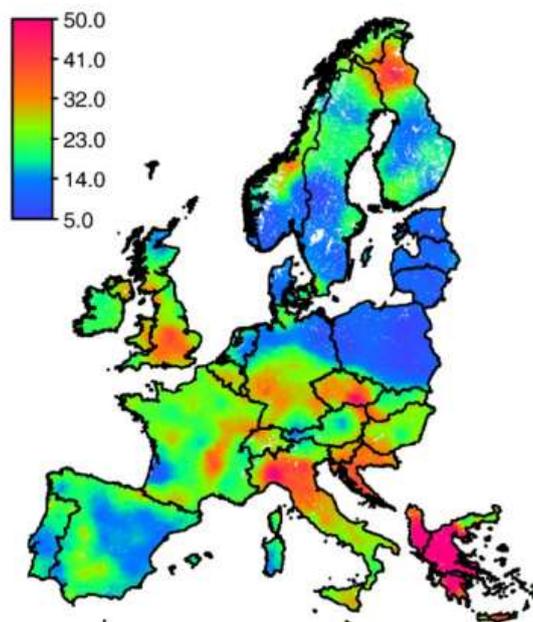
O crómio ocorre naturalmente em rochas, animais, plantas e solo, onde pode ser combinado com outros elementos para formar compostos. O crómio elementar não ocorre naturalmente. Mas existem mais três estados deste elemento, o estado divalente que, sendo relativamente instável sob condições ambientais, é oxidado originando o estado trivalente e o estado hexavalente. Os compostos de crómio no estado trivalente são mais estáveis e ocorrem na natureza em minérios. O estado hexavalente surge maioritariamente de fontes antropogénicas, sendo o segundo mais estável e ocorre apenas em minerais raros. A Agência Internacional de Pesquisa do Cancro (IARC) determinou que os compostos deste último estado do crómio são considerados cancerígenos para os seres humanos. No entanto, o estado trivalente desempenha a função de nutriente essencial que auxilia no metabolismo da glicose, gordura e proteínas e que potencializa a ação da insulina (ATSDR, 2012).

A exposição humana ao crómio pode ocorrer a partir de fontes naturais, como a poeira continental presente no ambiente ou antropogénicas, uma vez que este pode ser encontrado no ar, no solo e na água após a sua libertação por parte das indústrias que usam crómio. As indústrias de galvanoplastia e têxtil são responsáveis por libertar grandes quantidades destes elementos nas águas superficiais. A queima de gás natural,

óleo ou carvão são as principais fontes de libertação de cinzas e produtos que contêm crómio no solo. O Cr geralmente não permanece na atmosfera, mas é depositado no solo e na água (ATSDR, 2012).

A população é exposta ao crómio por inalação de ar, ingestão de alimentos e água potável que contenham crómio. Os problemas de saúde mais comuns associados à exposição deste elemento dizem respeito ao sistema respiratório. Os efeitos incluem irritação do revestimento do nariz e problemas respiratórios como asma, tosse e falta de ar. A exposição por longos períodos de tempo a elevadas concentrações de Cr podem levar ao desenvolvimento de alergias aos compostos de Cr podendo causar dificuldades respiratórias e erupções cutâneas (ATSDR, 2012).

O Cr tem várias aplicações na indústria. Na indústria metalúrgica, é usado para produzir aços inoxidáveis, ferros fundidos e ligas não ferrosas. Na indústria química, o estado trivalente é usado em pigmentos. Acabamento de metal, conservantes de madeira, catalisadores, lamas de perfuração, fitas magnéticas e suplementos alimentares são outros usos do crómio, mas em quantidades menores (ATSDR, 2012).



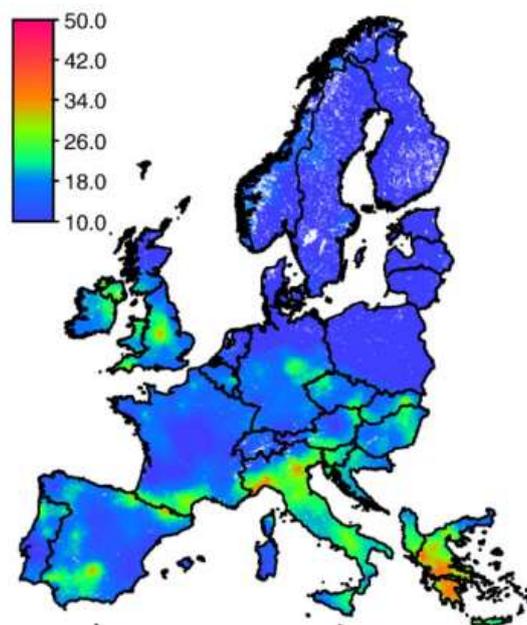
**Figura 4** - Mapa Europeu da concentração de Cr à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado *et al.*, 2008).

#### 4.2.5 Cobre

O cobre é um metal com cor avermelhada que ocorre na natureza em rochas, no solo, na água e, em menores quantidades, no ar. O cobre é o primeiro elemento do grupo 11 da tabela periódica, com número atômico 29 e massa atômica 63 g/mol. Apresenta em média uma concentração de 60 mg/kg e tem uma densidade de 8,93 g/cm<sup>3</sup>. Como propriedades físicas e químicas, o cobre tem uma alta condutividade térmica, maleabilidade, baixa corrosão e capacidade de formar compostos. Possui ainda uma elevada condutividade elétrica (Rosa, 2016; ATSDR, 2004).

O cobre é habitualmente encontrado nas imediações de minas, fundições, instalações industriais, aterros e locais de disposição de resíduos. Por isso, o Cu entra em contacto com o meio ambiente através da indústria extrativa ou outras que fabriquem ou utilizem este metal ou os seus compostos. Outras fontes antropogénicas são águas residuais domésticas, combustão de combustíveis fósseis e resíduos, produção de madeira e produção de fertilizantes. O cobre é frequentemente encontrado perto de minas, fundições, instalações industriais, aterros e locais de disposição de resíduos. Estima-se que 97% do cobre que é libertado a partir destas fontes tenha como principal destino o solo. Após ser introduzido no meio ambiente, como o Cu não se decompõe, é fortemente adsorvido pelas partículas do solo adquirindo pouca mobilidade. E, por consequência, tende a acumular-se no solo (ATSDR, 2004).

O cobre, em baixas concentrações, é reconhecido como um elemento essencial para uma boa saúde. Todavia, a exposição a doses mais elevadas pode ser prejudicial. Uma exposição prolongada ao pó deste elemento provocará irritação no nariz, boca e olhos e poderá causar dores de cabeça, tonturas, náuseas e diarreia. Se você beber água que contenha níveis superiores ao normal de cobre, você pode A ingestão de água contaminada com cobre pode provocar náuseas, vômitos, cólicas ou diarreia. A exposição a concentrações muito elevadas de Cu pode causar danos no fígado, nos rins e até levar à morte (ATSDR, 2004).



**Figura 5** - Mapa Europeu da concentração de Cu à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado *et al.*, 2008).

#### 4.2.6 Molibdénio

O molibdénio é um metal pesado pertencente ao sexto grupo da tabela periódica, com número atómico 42 e massa atómica 95,9 g/mol. No seu estado puro não ocorre na forma metálica mas sim como um pó cinza-escuro ou preto com brilho metálico ou como uma massa prateada. É um sólido inflamável sendo potencialmente explosivo. É comumente encontrado em forma de compostos de óxidos ou sulfetos (Rosa 2016; ATSDR, 2017)

O Mo ocorre naturalmente em plantas e animais. Em quantidades baixas este elemento é benéfico para a saúde humana e animal. A principal fonte de exposição a elevadas quantidades deste elemento é através do consumo de alimentos como grãos, leguminosas e laticínios, ou através de alguns suplementos alimentares. Respirar o ar ambiente, beber água e contactar com o solo e água através da pele são formas de exposição a pequenas quantidades de molibdénio. As fontes antropogénicas são as libertações de compostos de Mo através das operações mineiras, moagem e fundição. Sendo que, no ar, a principal fonte deste metal é a combustão de carvão. Após libertado no ar deposita-se no solo por ação da gravidade ou sob a forma de chuva ou neve. Pode ainda ser depositado diretamente nas águas superficiais. Como o molibdénio não se

decompõe, condições do solo, como a acidez, irão influenciar a forma de ligação deste metal com o solo e os seus sedimentos (ATSDR, 2017).

A exposição prolongada a elevadas concentrações de molibdénio sob a forma de poeira pode causar danos à cavidade nasal e pulmões. Em casos extremos, a inalação de molibdénio poderá resultar em cancro de pulmão. A ingestão de grandes quantidades deste metal pode danificar o sistema reprodutor masculino e feminino e causar problemas nos rins e no fígado. O Departamento de Saúde e Serviços Humanos (HHS), IARC e a US EPA classificaram o molibdénio como não cancerígeno (ATSDR, 2017).

Devido ao seu elevado ponto de fusão, o Mo é utilizado na indústria para fabricar ligas de aço. É principalmente usado para aplicações metalúrgicas, em ligas em ferro fundido, aço e superligas para melhorar propriedades como temperabilidade, força, tenacidade e resistência ao desgaste e à corrosão. Tem ainda uma variedade de aplicações químicas, na produção de catalisadores, lubrificantes e pigmentos (ATSDR, 2017).

#### **4.2.7 Mercúrio**

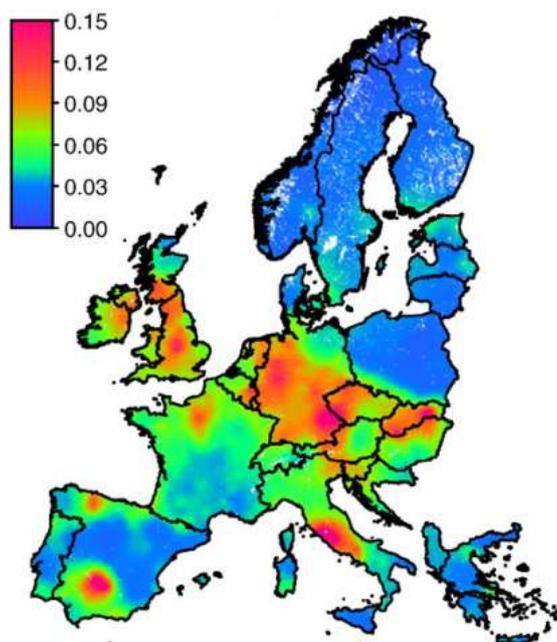
O mercúrio ocorre naturalmente no ambiente e existe na forma de mercúrio metálico (mercúrio elementar), mercúrio inorgânico e mercúrio orgânico. O mercúrio metálico é um metal branco prateado brilhante que, à temperatura ambiente, encontra-se no estado líquido, mas parte dele é evaporado formando vapores de mercúrio incolores e inodoros. A combinação de mercúrio com cloro, enxofre e oxigénio origina os compostos inorgânicos também denominados por sais de mercúrio. A sua maioria são pós ou cristais brancos, à exceção do sulfeto mercúrio que tem cor vermelha ficando preto após a exposição à luz. A combinação de Hg com carbono dá origem aos compostos orgânicos, sendo o mais comum o metilmercúrio (ATSDR, 1999).

O mercúrio é um metal natural que ocorre em todo o ambiente como resultado da decomposição de minerais das rochas e no solo pela ação do vento, água, e da atividade vulcânica. As atividades industriais são a principal fonte antropogénica de mercúrio no meio ambiente sendo que 80% é libertado no ar pela combustão de combustíveis fósseis, indústria mineira e metalúrgica e pela incineração de resíduos sólidos. Cerca de 15% é libertado no solo a partir do uso de fertilizantes, fungicidas e resíduos sólidos

municipais. Os restantes 5% é libertado pelas águas residuais industriais para as águas superficiais (ATSDR, 1999).

O mercúrio é utilizado para nomeadas aplicações na indústria. O mercúrio metálico é usado em termómetros e em alguns interruptores elétricos, e constitui 50% da composição das restaurações dentárias prateadas. O mercúrio orgânico, o metilmercúrio é utilizado para a produção de gás cloro e soda cáustica, na extração de ouro, em barómetros e baterias. Alguns compostos inorgânicos de mercúrio são usados como fungicidas (ATSDR, 1999).

A exposição humana a concentrações significativamente elevadas de mercúrio metálico pode causar danos permanentes no cérebro. O contacto com vapores de mercúrio ou mercúrio orgânico pode resultar em sintomas como irritabilidade, timidez, nervosismo, tremores, alterações na visão, surdez, perda de sensação e dificuldades de memória. A curto prazo pode danificar o revestimento da boca e irritar os pulmões e as vias aéreas, causando tensão respiratória, sensação de queimadura nos pulmões e tosse. Outros efeitos resultantes do contacto com vapor de mercúrio incluem náuseas, vômito, diarreia, aumento da pressão arterial ou frequência cardíaca, erupções cutâneas e irritação nos olhos (ATSDR, 1999).



**Figura 6** - Mapa Europeu da concentração de Hg à superfície do solo, obtido por krigagem (Lado *et al.*, 2008).

### 4.3 Legislação

Em Portugal, existe legislação referente ao domínio do solo com o objetivo de equilibrar o desenvolvimento socioeconómico das regiões. Todavia, estes instrumentos político-legais estão direcionados para os setores como o da deposição de resíduos, o da dragagem de sedimentos e depuração de lamas. Por isso, é notável que uma abordagem em setores não garante a proteção total do solo relativamente às diversas ameaças. Assim, sendo a legislação portuguesa no domínio dos solos deficitária, é necessário recorrer a legislação internacional (Ribeiro, 2013).

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) recomenda a utilização da Norma de Ontário como critério de referência para definir a qualidade do solo em Portugal, ou a adoção de outras normas desde que possuam uma exigência igual ou superior. No entanto, é de evidenciar que ao usar uma norma internacional não se tem em consideração as especificidades geológicas, climáticas, topográficas e hidrogeológicas da região em estudos e dos respetivos solo, dado que são aplicadas a realidades diferentes (Ribeiro, 2013).

O presente trabalho adota, como critério de referência, a legislação Holandesa. A Holanda foi o primeiro país europeu a criar uma política direcionada à contaminação do solo e limpeza ambiental tendo sido um modelo a seguir para vários países europeus, como Portugal. As primeiras abordagens criadas em 1980, com o objetivo de reabilitar o solo têm sofrido alterações ao longo dos anos por forma a tornar essa legislação mais eficiente. Desde 1994, a legislação Holandesa utiliza dois valores de referência calculados com base em estudos de risco para cada elemento, o *target value*<sup>1</sup> e o *intervention value*. O *target value* refere-se ao valor do solo em áreas naturais, indica que os solos com um valor abaixo deste encontra-se não contaminado podendo ser utilizado para qualquer fim. O *target value* indica um nível de qualidade do solo que deverá ser alcançado pelos trabalhos de remediação garantindo que o solo recupera totalmente as suas propriedades funcionais. O *intervention value* refere-se às concentrações máximas toleráveis sobre as quais é necessário remediação do solo, em que o solo perde, ou está em risco de perder, as suas propriedades funcionais. É um valor acima do qual se

---

<sup>1</sup> Decidiu-se manter a designação de valor alvo – “*target value*” e valor de intervenção – “*intervention value*” por ser a designação habitual e consagrada em trabalhos científicos.

considera a existência de uma contaminação severa, tendo riscos em seres humanos e ecossistemas (Ribeiro, 2013).

**Tabela 2** - *Target e intervention values* de acordo com a legislação holandesa para os diferentes elementos.

	<b>Target Value</b> (mg/kg)	<b>Target Value</b> (%)	<b>Intervention Value</b> (mg/kg)	<b>Intervention Value</b> (%)
<b>As</b>	29	0,0029	55	0,0055
<b>Cu</b>	36	0,0036	190	0,019
<b>Cr</b>	100	0,01	380	0,038
<b>Pb</b>	85	0,0085	530	0,053
<b>Zn</b>	140	0,014	720	0,072
<b>Mo</b>	3	0,0003	200	0,02
<b>Hg</b>	0,3	0,00003	10	0,001

(Fonte: Carlon *et al.*, 2007)

A tabela 2 apresenta os *target* e *intervention value* para sete dos dezanove elementos em estudo neste trabalho, por estes serem considerados os mais relevantes em termos de perigosidade relativamente à contaminação do solo, e por em alguns dos jardins estudados existirem amostra(s) com valores acima do *target value*. Ao longo do trabalho é sobre eles que será feita maior parte da análise.

## Capítulo 5 – Amostragem e instrumentação

### 5.1 Campanha de amostragem

De forma a cumprir os objetivos propostos no início desta dissertação, nomeadamente, no que respeita à caracterização da contaminação por metais pesados nas áreas verdes da cidade do Porto, realizou-se uma campanha de amostragem que abrangeu quatro espaços verdes do concelho de forma a ser o mais representativa possível da totalidade das zonas verdes da cidade do Porto.



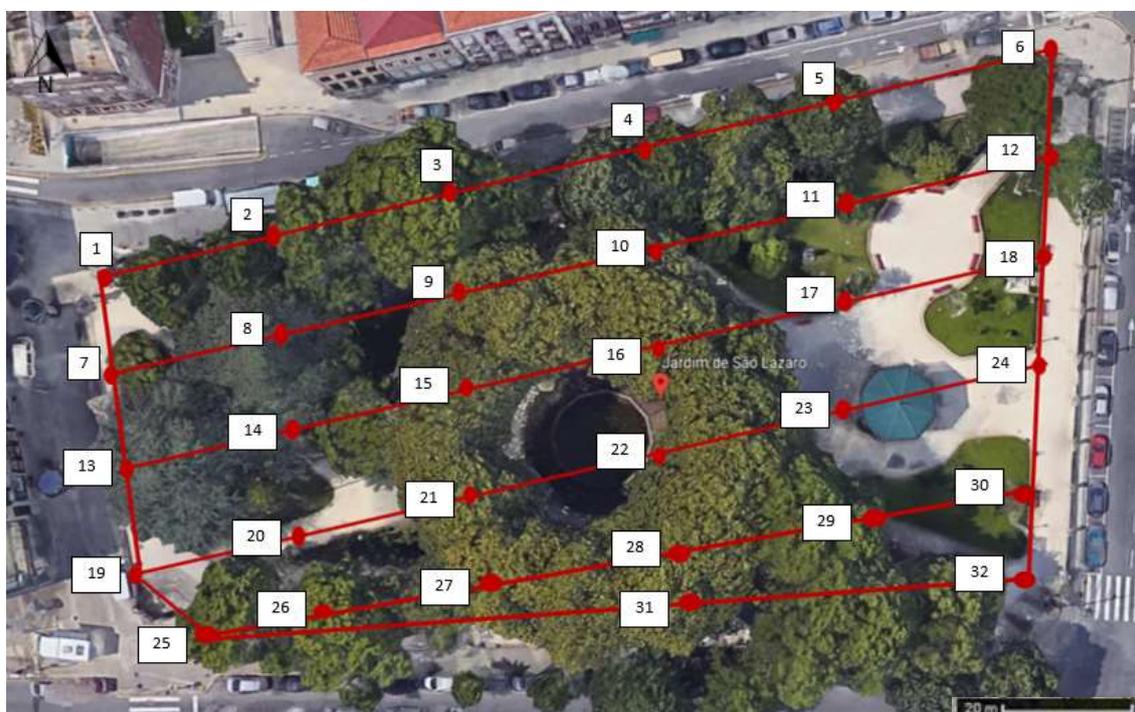
**Figura 7** - Recolha de amostras no Parque da Cidade.

Desde o início, a amostragem esteve condicionada por fatores climáticos e pela disponibilidade de recursos humanos. A campanha exigiu um elevado dispêndio de tempo para a realização dos levantamentos das amostras, pelo que teve que existir um compromisso entre a obtenção de um número representativo de amostras e o tempo disponível para a sua realização da parte de, pelo menos, dois intervenientes. Os fatores que mais se fizeram sentir foram as mudanças meteorológicas pela impossibilidade de retirar amostras em solo húmido e as indisponibilidades do aparelho de medição nos locais de intensa cobertura vegetal dada a exigência de céu limpo (desobstruído) para obtenção de sinal de satélite.

Ao longo de toda a campanha de amostragem, em todas as áreas escolhidas, a malha de amostragem foi aproximada a uma malha regular, de forma a promover um levantamento de dados que seja representativo (sem enviesamento direcional) de cada espaço verde. Devido à regularidade da malha, existiu alguma dificuldade, em certos pontos, em encontrar solo livre. Assim, em zonas de solo cimentado, houve necessidade de recorrer a locais como canteiros ou enraizamento de árvores próximas, alterando ligeiramente as coordenadas do local inicialmente planeado.

Considerando que fatores como o tipo de solo e a sua ocupação, condições de arejamento, intensidade de tráfego automóvel e proximidade a zonas de água pudessem contribuir para o aumento da concentração de metais pesados no solo, procurou-se que os pontos da malha de amostragem incluíssem todos estes fatores.

A campanha foi realizada em quatro espaços verdes da Cidade do Porto, sobre os quais se desenhou uma malha regular de pontos de amostragem, procurando que esta abrangesse uma área com a maior densidade de informação. Nos locais de amostragem procedeu-se à prévia remoção do coberto vegetal e a amostra de solo foi recolhida a uma profundidade que variava entre 10 a 20 cm.



**Figura 8** - Localização dos pontos de amostragem - Jardim de S.Lázaro (Fonte: Google Maps).

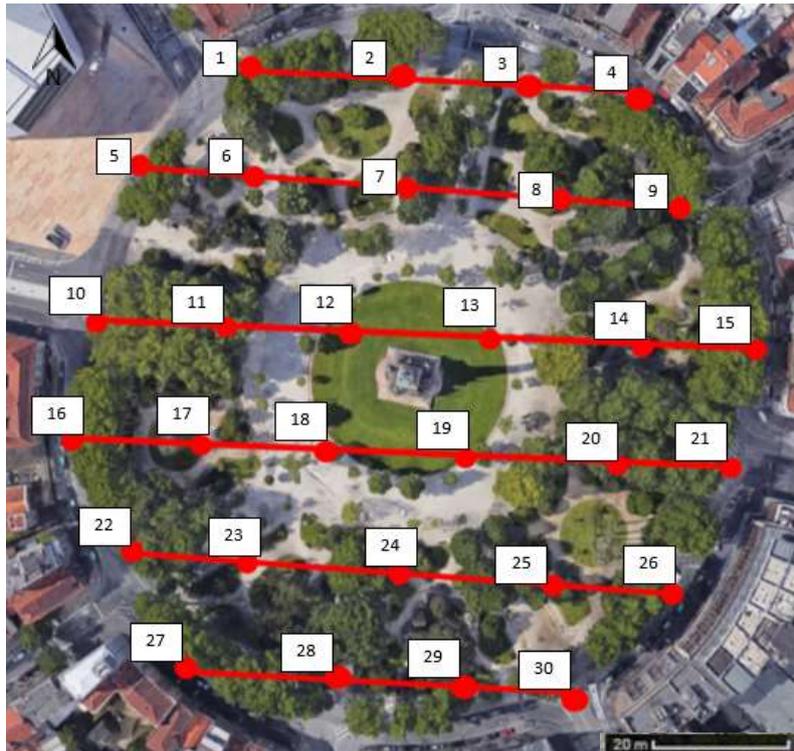


Figura 9 - Localização dos pontos de amostragem – Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista) (Fonte: Google Maps).



Figura 10 - Localização dos pontos de amostragem - Praça da República (Fonte: Google Maps).



Figura 11 - Localização dos pontos de amostragem - Parque da Cidade (Fonte: Google Maps).

Tabela 3 - Excerto da tabela da média das leituras de concentração em cada ponto da Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista).

Pontos	Latitude (N)	Longitude (W)	K	...	Ta	Pb
P1	41.15870°	-8.62989°	2.4257	...	0.0032	0.0063
P2	41.15884°	-8.62951°	1.8609	...	0.0021	0.0145
...	...	...	...	...	...	...
P29	41.15716°	-8.62887°	2.0229	...	0.003	0.0208
P30	41.15711°	-8.62865°	2.2193	...	0.0033	0.0174

A localização dos pontos de amostragem em latitude e longitude foi obtida por geoposicionamento por satélite (GPS). Utilizou-se para tal, um *personal navigator* eTrex Vista da Garmin e, por razões práticas, optou-se por manter as coordenadas dos pontos em formato decimal, embora haja conhecimento que as coordenadas retangulares são as mais apropriadas para aplicações da geoestatística. Todavia, como as áreas em estudo são relativamente pequenas, havendo pouca variação das coordenadas, a escolha destas é relativamente indiferente.

## 5.2 Instrumentação

Na campanha de amostragem, para todas as análises efetuadas, recorreu-se a um Espectrómetro de Fluorescência de Raio-X, X-MET7000 Series da marca Oxford

Intruments. Este instrumento permite agilizar a obtenção de dados uma vez que se encontra bem adaptado à rápida obtenção da concentração dos elementos.

A análise por fluorescência de raios-X é uma técnica de emissão atômica não destrutiva que não necessita de preparação prévia da amostra na maior parte dos casos. É fundamentada no efeito fotoelétrico e aplicável à identificação e quantificação de praticamente todos os elementos com número atômico superior a 13 (Ascenso, 2011). A espectrometria de fluorescência de raios-X permite induzir transições eletrônicas entre os orbitais mais internos dos átomos utilizando radiações eletromagnéticas. Essas transições podem emitir radiações de energia característica permitindo a identificação de espécies atômicas. Neste processo a energia da radiação de fluorescência identifica o elemento e a sua intensidade permite a medição da sua concentração na amostra em análise (Ferretti, 2008). A radiação eletromagnética produzida interage com a amostra de solo podendo ocorrer absorção, emissão ou espalhamento de radiação eletromagnética. Quando um átomo é sujeito a um processo de irradiação utilizando uma fonte de energia de raios-X, o elétron pode ser ejetado das camadas eletrônicas K e L mais internas criando uma lacuna. Imediatamente ocorre o preenchimento dessa lacuna por elétrons das camadas mais próximas, de forma a promover a estabilidade do átomo. Esta movimentação dos elétrons entre os níveis cria um excesso de energia no processo que é libertado sob a forma de radiação característica de cada átomo da amostra (Santos *et al.*, 2013).

A tecnologia de fluorescência de Raios-X possui cinco tipos de espectrômetros existentes no mercado (Rosa, 2016):

- Fluorescência de Raios-X de Dispersão por comprimento de onda (WDXRF);
- Fluorescência de Raios-X de Energia Dispersiva (EDXRF);
- Fluorescência de Raios-X de Reflexão Total (TXRF);
- Fluorescência de Raios-X por Radiação Síncrotrão (RXRF);
- Fluorescência de Micro Raios-X ( $\mu$ -XRF).

O Espectrômetro de Fluorescência de Raio-X X-MET7000 Series é um espectrômetro de energia dispersiva (EDXRF). Abaixo, a figura x apresenta alguns dos componentes básicos que constituem este aparelho.



Figura 12 - Componentes básicos do Espetrómetro de Fluorescência de Raio-X, X-MET7000 Series.

#### **Procedimento para ligar o aparelho:**

1. Pressionar o botão de alimentação durante 5 segundos;
2. Clicar em Login no painel de controlo e colocar a palavra-passe;

#### **Procedimento para medição:**

1. Escolher o método de análise (neste caso, método de solo);
2. Definir o nome da amostra;
3. Colocar o aparelho sobre o local a analisar ou, caso esteja ligado a um computador, colocar a amostra na gaveta;
4. Iniciar a análise, pressionando o gatilho;
5. Os resultados aparecem no ecrã.

#### **Procedimento para desligar o aparelho:**

1. Guardar e exportar os resultados da análise;
2. Pressionar o botão de alimentação durante 5 segundos.

## Capítulo 6 – Tratamento estatístico

A estatística é um conjunto de métodos de análise de dados com a finalidade de recolha, organização, descrição e interpretação de dados. A primeira abordagem a realizar sobre os dados é a estatística descritiva, esta baseia-se num conjunto de métodos para organizar e descrever os dados a partir de indicadores sintéticos (Silvestre, 2007).

*“... Os dados que se pretendem analisar podem constituir todos os possíveis valores da característica no conjunto de elementos objecto de estudo ou então serem apenas os valores da característica de uma parte dos elementos objecto de observação...”* (Silvestre, 2007). Sendo o primeiro designado por população e o seu subconjunto, a amostra.

As medidas centradas de localização são um aspeto de maior importância numa primeira abordagem aos dados, sendo necessário calcular algumas medidas referentes às características da amostra (Rosa, 2016).

### 6.1 Estatísticos básicos unidireccionais

A média aritmética ( $\bar{x}$ ) é utilizada para uma amostra constituída por  $N$  dados de uma variável aleatória discreta (ou variável continua tomada de forma discreta),  $x_n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) é definida pela equação 1.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N x_n \quad [\text{Eq. 1}]$$

A mediana ( $Me$ ) é o valor numérico que separa a metade inferior da metade superior da amostra ordenada crescente ou decrescentemente. Vulgarmente o valor da variável aleatória abaixo do qual se situam 50% dos registos e, naturalmente, acima do qual se localizam os restantes 50% dos valores da variável, equação 2.

$$Me = l_i + a_i \frac{\frac{N}{2} - A_{i-1}}{F_i} \quad [\text{Eq. 2}]$$

$i$  – classe da frequência acumulada igual ou imediatamente superior a  $\frac{N}{2}$ ;

$a_i$  – amplitude da classe  $i$ ;

$l_i$  – limite inferior da classe  $i$ ;

$F_i$  – frequência absoluta da classe  $i$ ;

$A_{i-1}$  – frequência acumulada da classe anterior à classe  $i$ .

A moda indica o valor que ocorre com maior frequência na amostra, ou seja, o mais comum.

A variância ( $s^2$ ) relaciona os desvios dos dados com a sua média, indicando o quão distantes dela estão. Nesta estatística a soma dos desvios quadráticos é dividida por  $N-1$  e é dada pela equação 3.

$$s^2 = \frac{1}{N-1} * \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2 \quad [\text{Eq. 3}]$$

O desvio padrão ( $s$ ) é uma das características amostrais mais utilizadas para avaliar a variabilidade da amostra. É expressa na mesma unidade da variável pelo que permite uma interpretação direta da dispersão da amostra. O desvio padrão é a raiz quadrada da variância pelo que é definido pela equação 4.

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} * \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2} \quad [\text{Eq. 4}]$$

O coeficiente de variação ( $C_v$ ) é uma outra característica amostral para avaliar a variabilidade da amostra, é expressa em percentagem e relativiza o desvio padrão relativamente à média. É determinado pela equação 5.

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} * 100\% \quad [\text{Eq. 5}]$$

O coeficiente de assimetria ( $\nu$ ) é uma medida da assimetria da distribuição dos dados em torno da sua média, origina um valor padronizado adimensional que pode ser nulo, positivo ou negativo consoante os dados forem simétricos, assimétricos à direita ou assimétricos à esquerda, respetivamente. O coeficiente é dado pela equação 6.

$$\nu = \frac{N}{(N-1) * (N-2)} * \sum_{n=1}^N \left( \frac{x_n - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad [\text{Eq. 6}]$$

A curtose ( $K$ ) ou coeficiente de achatamento é uma medida de dispersão que caracteriza o achatamento ou o pico de uma distribuição em relação à distribuição normal. Tal como o coeficiente de assimetria, devolve um valor adimensional que pode tomar valores maiores que zero, menores que zero e zero. Sendo que, quando é igual a zero a distribuição tem o mesmo achatamento da distribuição normal, quando devolve um valor positivo a distribuição é mais alta e centrada e quando toma valores negativos é mais achatada que a distribuição normal. Este indicador estatístico é obtido através da equação 7.

$$K = \left[ \frac{N * (N+1)}{(N-1) * (N-2) * (N-3)} * \sum_{n=1}^N \left( \frac{x_n - \bar{x}}{s} \right)^4 \right] - \frac{3 * (N-1)^2}{(N-2) * (N-3)} \quad [\text{Eq. 7}]$$

Abaixo, serão apresentas as tabelas com os estatísticos descritivos dos elementos em estudo para cada espaço verde público (em anexo encontram-se os estatísticos dos restantes elementos).

#### Jardim de S.Lázaro

Dos elementos anteriormente assinalados como relevantes para o nosso estudo e porque no Jardim de S.Lázaro só foi possível recolher informação em relação aos elementos Cu, Zn e Pb, somente serão estes os elementos analisados.

**Tabela 4** - Estatísticos básicos dos elementos em estudo para o Jardim de S.Lázaro.

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>
<b>Mínimo</b>	0.0000	0.0037	0.0029
<b>Máximo</b>	0.0065	0.0139	0.0250
<b>Intervalo</b>	0.0065	0.0102	0.0221
<b>Média</b>	0.0012	0.0083	0.0098
<b>Mediana</b>	0.0002	0.0080	0.0077
<b>Moda</b>	0.0000	0.0076	0.0034
<b>Variância</b>	0.0000	0.0000	0.0000
<b>Desvio padrão</b>	0.0020	0.0024	0.0063
<b>Coef. Variação</b>	160.3%	29.5%	64.1%
<b>Coef. Assimetria</b>	1.6102	0.1818	1.3499
<b>Curtose</b>	1.4031	-0.0860	0.8305
<b>Número de pontos</b>	32	32	32
<b>1º quartil</b>	0.0000	0.0069	0.0055
<b>3º quartil</b>	0.0015	0.0097	0.0111

Da análise da tabela 4, pode-se constatar que:

- O Cu apresenta um valor máximo (0.0065%) acima do *target value* (0.0036%), no entanto este não ultrapassa o *intervention value* (0.019%). Em média, no Jardim de S.Lázaro, a concentração de Cu no solo (0.0012%) é inferior ao *target value*. Este elemento apresenta um elevado coeficiente de variação de 160.3% e é também o elemento cuja curtose e coeficiente de assimetria apresentam os valores mais elevados para este local. Isto indica que a distribuição dos dados, em comparação a distribuições simétricas, apresenta uma assimetria à direita. É ainda possível, pela análise do terceiro quartil, com um valor de aproximadamente 0.0015%, verificar que apenas 25% dos dados encontram-se acima deste valor. Tendo em conta que o valor máximo excede o *target value*, o coeficiente de assimetria e a curtose têm valores elevados e que o terceiro quartil apresenta um valor baixo é possível perspetivar que concentrações de Cu acima do *target value* no solo assinalam apenas situações pontuais.
- Relativamente ao Zn, o seu valor mínimo é de 0.0037%, é inferior ao *target value* (0.014%) e o seu valor máximo (0.0139%) é ligeiramente inferior ao *target value*. Tal como seria de esperar a média dos valores da concentração de Zn no solo (0.0083%), é também muito inferior ao *target value*. Este elemento não apresenta uma dispersão significativa, tendo, de entre todos os elementos

analisados os menores valores para o coeficiente de variação, de assimetria e curtose.

- O Pb apresenta um valor mínimo (0.0029%) inferior ao *target value* (0.0085%) e um valor máximo de 0.0250% superior ao *target value*, mas que não ultrapassa o *intervention value* (0.0530%). Em média, a concentração de Pb no solo (0.0098%) é ligeiramente superior ao *target value*. Este elemento apresenta valores baixos de coeficiente de variação e curtose. É ainda possível, pela análise do terceiro quartil, com um valor de aproximadamente 0.0110%, verificar que apenas 25% dos dados encontram-se acima deste valor, e por consequência, acima do *target value*. Tendo em conta a análise dos parâmetros anteriores é possível perspetivar que concentrações de Pb no solo acima do *target value* sejam situações pontuais.

#### Praça Mouzinho de Albuquerque – Rontunda da Boavista

Dos elementos anteriormente assinalados como relevantes para o nosso estudo e porque na Praça Mouzinho de Albuquerque só foi possível recolher informação em relação aos elementos Cr, Cu, Zn e Pb, somente serão estes os elementos analisados.

**Tabela 5** - Estatísticos básicos dos elementos em estudo para a Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista).

	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>
<b>Mínimo</b>	0.0000	0.0000	0.0023	0.0023
<b>Máximo</b>	0.0089	0.0134	0.0182	0.0259
<b>Intervalo</b>	0.0089	0.0134	0.0159	0.0236
<b>Média</b>	0.0016	0.0031	0.0061	0.0090
<b>Mediana</b>	0.0013	0.0018	0.0054	0.0060
<b>Moda</b>	0.0000	0.0000	0.0068	0.0049
<b>Variância</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>Desvio padrão</b>	0.0022	0.0032	0.0032	0.0058
<b>Coef. Variação</b>	132.5%	104.9%	52.3%	64.5%
<b>Coef. Assimetria</b>	2.1485	1.4172	2.0265	1.3114
<b>Curtose</b>	5.2205	2.1444	6.3598	1.2294
<b>Contagem</b>	30	30	30	30
<b>1º quartil</b>	0.0000	0.0007	0.0040	0.0051
<b>3º quartil</b>	0.0028	0.0048	0.0073	0.0124

Da análise da tabela 5, pode-se constatar que:

- O elemento Cr apresenta um valor máximo de 0.0089% ligeiramente inferior ao *target value* (0.0100%). Em média, neste local, a concentração de Cr no solo (0.0016%) é muito inferior ao *target value*. Este elemento possui valores elevados no que diz respeito ao coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose o que indica que a distribuição apresenta uma assimetria à direita. Pela observação do valor do terceiro quartil verifica-se que apenas 25% dos dados estão acima do valor de 0.0028%.
- O Cu apresenta um valor máximo (0.0134%) muito superior ao *target value* (0.0036%), no entanto não ultrapassa o *intervention value* (0.019%). Em média, na Rotunda da Boavista, a concentração de Cu no solo (0.0031%) é ligeiramente inferior ao *target value*. Este elemento apresenta um coeficiente de variação muito elevado de 132.5% e possuem também uma curtose e coeficiente de assimetria elevados. Isto indica que a distribuição dos dados, em comparação a distribuições simétricas, apresenta uma assimetria à direita. É ainda possível, pela análise do terceiro quartil, com um valor de aproximadamente 0.0048%, verificar que apenas 25% dos dados encontram-se acima deste valor, sendo este superior ao *target value*. Pela observação dos valores das amostras do elemento Pb é possível concluir que concentrações de Cu acima do *target value* são casos apenas casos pontuais.
- Relativamente ao Zn, o seu valor mínimo é de 0.0023%, é inferior ao *target value* (0.014%) e o seu valor máximo (0.0182%) é ligeiramente superior ao *target value*. Tal como seria de esperar a média dos valores da concentração de Zn no solo (0.0061%), é também muito inferior ao *target value*. Este elemento apresenta uma dispersão significativa provada pelo seu elevado valor de curtose, tendo o coeficiente de variação mais baixo entre os restantes elementos. Analisando estes parâmetros e observando os valores das amostras para este elemento é possível concluir que, embora sejam situações pontuais, na sua totalidade são registados mais valores acima do *target value* do que nos restantes elementos.
- O Pb apresenta um valor mínimo (0.0023%) inferior ao *target value* (0.0085%) e um valor máximo de 0.0259% superior ao *target value*, mas que não ultrapassa

o *intervention value* (0.0530%). Em média, a concentração de Pb no solo (0.0090%) é ligeiramente superior ao *target value*. Este elemento apresenta um coeficiente de variação baixo e possui também a curtose e coeficiente de assimetria mais baixos entre os restantes elementos. É ainda possível, pela análise do terceiro quartil, com um valor de aproximadamente 0.0124%, verificar que apenas 25% dos dados encontram-se acima deste valor, e por consequência, acima do *target value*. Tendo em conta a análise dos parâmetros anteriores é possível perspetivar que concentrações de Cu no solo acima do *target value* sejam casos pontuais.

### Praça da República

Dos elementos anteriormente assinalados como relevantes para o nosso estudo e porque na Praça da República só foi possível recolher informação em relação aos elementos Cu, Zn, Mo e Pb, somente serão estes os elementos analisados.

**Tabela 6** - Estatísticos básicos dos elementos em estudo para a Praça da República.

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mo</b>	<b>Pb</b>
<b>Mínimo</b>	0.0003	0.0057	0.0002	0.0015
<b>Máximo</b>	0.0086	0.0388	0.0026	0.0357
<b>Intervalo</b>	0.0083	0.0331	0.0024	0.0342
<b>Média</b>	0.0035	0.0150	0.0019	0.0224
<b>Mediana</b>	0.0034	0.0145	0.0020	0.0232
<b>Moda</b>	0.0005	0.0083	0.0020	0.0220
<b>Variância</b>	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
<b>Desvio padrão</b>	0.0023	0.0075	0.0004	0.0073
<b>Coef. Variação</b>	67.6%	49.9%	22.4%	32.6%
<b>Coef. Assimetria</b>	0.5403	1.5633	-1.9607	-0.7343
<b>Curtose</b>	-0.2624	2.8318	6.6639	1.1120
<b>Contagem</b>	26	36	36	31
<b>1º quartil</b>	0.0013	0.0091	0.0017	0.0181
<b>3º quartil</b>	0.0044	0.0162	0.0022	0.0271

Da análise da tabela 6, pode-se constatar que:

- O elemento Cu apresenta um valor mínimo de 0.0003% inferior ao *target value* (0.0036%) e um valor máximo de 0.0086% superior ao *target value*. Em média, neste local, a concentração de Cu no solo (0.0035%) é ligeiramente inferior ao *target value*. Este elemento possui valores baixos de coeficiente de variação,

- coeficiente de assimetria e uma curtose negativa o que indica que a distribuição apresenta uma assimetria à esquerda. Pela observação do valor do terceiro quartil verifica-se que apenas 25% dos dados estão acima do valor de 0.0044%.
- Relativamente ao Zn, o seu valor mínimo é de 0.0057%, inferior ao *target value* (0.014%) e o seu valor máximo (0.0388%) não ultrapassa o *intervention value*. A média dos valores da concentração de Zn no solo (0.0150%), é superior ao *target value*. Este elemento apresenta um coeficiente de variação baixo, mas um coeficiente de assimetria positivo que indica uma assimetria à direita. Analisando estes parâmetros e observando os valores das amostras para este elemento é possível concluir que metade das amostras apresenta um valor acima do *target value*.
  - O Mo tem um valor mínimo de 0.0002%, ligeiramente inferior ao *target value* (0.0003%) e um valor máximo de 0.0026%, superior ao *target value*. Em média, as concentrações de Mo no solo da Praça da República (0.0019%) encontram-se acima do *target value*. O Mo apresenta o menor valor de coeficiente de variação entre os restantes elementos, mas possui os valores mais elevados de curtose e de coeficiente de assimetria. No entanto, o coeficiente de assimetria é negativo indicando que a distribuição apresenta uma assimetria à esquerda. Pela observação do valor do primeiro quartil (0.0017%) verifica-se que 75% dos dados estão acima deste valor, ou seja, acima do *target value*. Conclui-se assim que existe uma tendência generalizada para que os valores de Mo sejam superiores ao *target value*.
  - O Pb apresenta um valor mínimo (0.0015%) inferior ao *target value* (0.0085%) e um valor máximo de 0.0357% superior ao *target value*, mas que não ultrapassa o *intervention value* (0.0530%). Em média, a concentração de Pb no solo (0.0224%) encontra-se entre o *target* e o *intervention value*. Este elemento apresenta um coeficiente de variação baixo e um coeficiente de assimetria negativo que indica que a distribuição apresenta uma assimetria à esquerda. É ainda possível, pela análise do primeiro quartil, com um valor de aproximadamente 0.0181%, verificar que 75% dos dados encontram-se acima deste valor, e por consequência, acima do *target value*. Tendo em conta a análise

dos parâmetros anteriores é possível perspetivar que as concentrações de Pb no solo acima do *target value* constituam uma tendência generalizada.

### Parque da Cidade

Dos elementos anteriormente assinalados como relevantes para o nosso estudo e porque no Parque da Cidade só foi possível recolher informação em relação aos elementos Cr, Cu, Zn, As, Hg e Pb, somente serão estes os elementos analisados.

**Tabela 7** - Estatísticos básicos dos elementos em estudo para o Parque da Cidade.

	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Hg</b>	<b>Pb</b>
<b>Mínimo</b>	0.0000	0.0000	0.0021	0.0000	0.0000	0.0018
<b>Máximo</b>	0.0505	0.0059	0.0194	0.0085	0.0023	0.0145
<b>Intervalo</b>	0.0505	0.0059	0.0173	0.0085	0.0023	0.0127
<b>Média</b>	0.0015	0.0014	0.0070	0.0013	0.0005	0.0061
<b>Mediana</b>	0.0000	0.0014	0.0064	0.0008	0.0000	0.0057
<b>Moda</b>	0.0000	0.0000	0.0062	0.0000	0.0000	0.0050
<b>Variância</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>Desvio padrão</b>	0.0050	0.0010	0.0029	0.0016	0.0007	0.0022
<b>Coef. Variação</b>	331.3%	73.8%	41.7%	119.6%	138.2%	35.5%
<b>Coef. Assimetria</b>	8.6490	1.2968	1.8063	1.7775	0.9601	1.3041
<b>Curtose</b>	82.6096	3.6482	4.7817	4.2484	-0.5936	2.9631
<b>Contagem</b>	116	116	116	116	116	116
<b>1º quartil</b>	0.0000	0.0008	0.0054	0.0000	0.0000	0.0047
<b>3º quartil</b>	0.0017	0.0018	0.0078	0.0022	0.0012	0.0069

Da análise da tabela 7, pode-se constatar que:

- O elemento Cr apresenta um valor máximo (0.0505%) muito superior ao *intervention value* (0.0380%). Em média, neste local, a concentração de Cr no solo (0.0015%) é inferior ao *target value*. Este elemento possui os valores mais elevados de coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e de curtose. Pela observação do valor do terceiro quartil verifica-se que apenas 25% dos dados estão acima do valor de 0.0017%. Tendo em conta que o valor máximo, os coeficientes de variação e assimetria e a curtose têm valores elevados e o terceiro quartil um valor baixo é possível perspetivar que as elevadas concentrações de Cr no solo assinalam situações pontuais.
- O Cu apresenta um valor máximo (0.0059%) superior ao *target value* (0.0036%), mas que não ultrapassa o *intervention value*. Em média, no Parque da Cidade, as

concentrações de Cu (0.0014%) são inferiores ao *target value*. O Cu apresenta um coeficiente de assimetria positivo indicando que a distribuição apresenta uma assimetria à direita. O valor do terceiro quartil permite verificar que apenas 25% dos valores se encontram acima de 0.0018%, valor este inferior ao *target value*. Assim, é possível perspetivar que os valores acima do *target value* sejam situações pontuais.

- Relativamente ao Zn, o seu valor mínimo é de 0.0021%, inferior ao *target value* (0.014%) e o seu valor máximo de 0.0194% não ultrapassa o *intervention value* (0.0720%). A média dos valores da concentração de Zn no solo (0.0070%), é inferior ao *target value*. Este elemento apresenta um coeficiente de variação baixo, mas uma curtose relativamente elevada. O seu coeficiente de assimetria positivo indica que a distribuição apresenta uma assimetria à direita. Observando o valor do terceiro quartil de 0.0069% sabe-se que apenas 25% dos valores estão acima de 0.0069%. Analisando estes parâmetros é possível perspetivar que as concentrações acima do *target value* são meramente situações pontuais.
- O As tem um valor máximo de 0.0085% superior ao *intervention value* (0.0055%). Em média, as concentrações de As no solo (0.0013%) encontram-se abaixo do *target value*. O As tem um coeficiente de variação e curtose elevados e um coeficiente de assimetria positivo indicando que a distribuição possui uma assimetria à direita. Pela observação do valor do terceiro quartil (0.0022%) verifica-se que apenas 25% dos dados estão acima deste valor. Conclui-se assim que as elevadas concentrações em As tratam-se de situações pontuais.
- O Hg apresenta um valor máximo de 0.0023%, superior ao *intervention value* (0.0010%). Em média, as concentrações de Hg no solo (0.0005%) são superiores ao *target value* (0.00003%), mas não ultrapassam o *intervention value*. O Hg tem um elevado coeficiente de variação e o coeficiente de assimetria e curtose apresentam neste elemento os valores mais baixos em relação aos restantes. O coeficiente de assimetria é negativo indicando que a distribuição apresenta uma assimetria à esquerda. Revela-se como importante o terceiro quartil estar situado nos 0.0012%, o que indica que somente 25% dos valores estão acima do

*intervention value*. Analisando todos os parâmetros perspectiva-se que as elevadas concentrações de Hg representem situações pontuais.

- O Pb apresenta um valor mínimo (0.0018%) inferior ao *target value* (0.0085%) e um valor máximo de 0.0145% igualmente superior ao *target value*, mas que não ultrapassa o *intervention value* (0.0530%). Em média, a concentração de Pb no solo (0.0061%) encontra-se inferior ao *target value*. Este elemento apresenta valores baixos de coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose. É ainda possível, pela análise do terceiro quartil, com um valor de aproximadamente 0.0069%, verificar que somente 25% dos dados encontram-se acima deste valor. Tendo em conta a análise dos parâmetros anteriores é possível perspetivar que as concentrações de Pb no solo acima do *target value* sejam situações pontuais.

## 6.2 Análise em Componentes Principais

A Análise em Componentes Principais (ACP) é um método fatorial da Análise de Dados integrado no domínio da estatística multivariada e fundamentado na Álgebra Linear. É descritiva e adaptada ao tratamento de dados contidos em quadros multidimensionais de grandes dimensões (Góis, 2002).

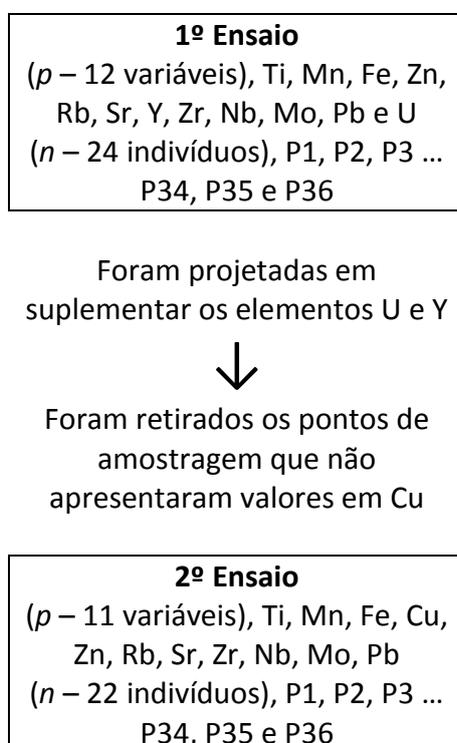
É uma técnica estatística da análise multivariada de modelação da estrutura da covariância. Tem como principal objetivo explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto por um dado número de variáveis aleatórias, através de combinações lineares das variáveis originais. A ACP utiliza estas variáveis que se encontram correlacionadas entre si, transformando-as linearmente num conjunto de variáveis menor, contendo a maioria da informação inicial, mas não correlacionadas. Este método procura fazer a redistribuição da variação existente nos eixos originais com a finalidade de obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados, transformando as variáveis originais em variáveis da mesma dimensão designadas por componentes principais. Estas componentes representam combinações lineares das variáveis originais, são independentes entre si e estimadas com o propósito de reter o máximo de informação possível relativamente à variação total contida nos dados (Hongyu *et al.*, 2016).

Apesar da análise de componentes principais ser uma técnica realizada para solucionar problemas mais pormenorizados, esta pode ser usada para a redução da dimensionalidade das variáveis e agrupar os indivíduos pelas suas similaridades, em múltiplas áreas do conhecimento (Hongyu *et al.*, 2016).

Os dados a serem tratados na ACP foram retirados a partir da campanha de amostragem realizada nas áreas verdes da cidade do Porto acima descritas. Foram dispostos em matrizes de  $p$  colunas por  $n$  linhas. As colunas contemplam as variáveis em estudo, os elementos químicos, e as linhas da matriz são os indivíduos que contêm essas variáveis.

### Praça da República

Efetuuou-se a ACP sobre dois ficheiros, um 1º ensaio com 12 variáveis (Ti, Mn, ..., Pb e U) e 24 indivíduos e um 2º ensaio com 11 variáveis (Ti, Mn, ..., Mo e Pb) e 22 indivíduos (ver figura 10). Os indivíduos selecionados correspondem aos pontos que apresentam simultaneamente valores para as variáveis representadas.



**Figura 13** - Plano metodológico de ensaios da ACP para os dados da Pç. da República.

Após uma análise aos resultados obtidos no primeiro ensaio e porque o elemento Cu era considerado relevante, optou-se por efetuar um segundo ensaio onde já se considerou, nos dados iniciais, o elemento Cu. Por forma a que esta nova matriz de input possui-se um número significativo de dados teve que ser amputada dos elementos Y e U (projetados em suplementar na aplicação do ANDAD). Pelas razões invocadas, optou-se, por reproduzir no corpo principal deste texto, somente os principais resultados do segundo ensaio (os restantes resultados podem ser consultados no anexo 3).

**Tabela 8** - Excerto da matriz input para a Pç. da República - ACP, 2º ensaio.

<b>Variáveis →</b> <b>Indivíduos ↓</b>	<b>Ti</b> <b>(%)</b>	<b>Mn</b> <b>(%)</b>	<b>Fe</b> <b>(%)</b>	<b>...</b>	<b>Nb</b> <b>(%)</b>	<b>Mo</b> <b>(%)</b>	<b>Pb</b> <b>(%)</b>
<b>p1</b>	0.3242	0.0197	2.1349	...	0.0025	0.0026	0.022
<b>p2</b>	0.235	0.0317	2.5588	...	0.0024	0.0024	0.0287
<b>p3</b>	0.2412	0.0257	2.0497	...	0.0021	0.002	0.0247
<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>
<b>p34</b>	0.2039	0.0154	1.8358	...	0.0016	0.0016	0.0207
<b>p35</b>	0.2567	0.0224	1.8952	...	0.0022	0.002	0.0254
<b>p36</b>	0.2168	0.0109	1.5777	...	0.0021	0.002	0.0163

**Tabela 9** - Coordenadas das variáveis (elementos químicos) nos eixos fatoriais - ACP, 2º ensaio (Pç. da República)<sup>2</sup>.

	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>	<b>Eixo 4</b>
<b>Ti</b>		<b>-0.83</b>		
<b>Mn</b>			<b>-0.65</b>	<b>-0.52</b>
<b>Fe</b>	<b>0.91</b>			
<b>Cu</b>	<b>0.51</b>			
<b>Zn</b>	<b>0.68</b>			
<b>Rb</b>		<b>0.61</b>		
<b>Sr</b>		<b>-0.56</b>		<b>-0.72</b>
<b>Zr</b>	<b>0.59</b>	<b>-0.58</b>		
<b>Nb</b>	<b>0.84</b>			
<b>Mo</b>	<b>0.60</b>			
<b>Pb</b>	<b>0.73</b>	<b>0.54</b>		

<sup>2</sup> Habitualmente, em ACP, considera-se que uma variável está relacionada com o eixo fatorial sempre que a sua coordenada no eixo fatorial é, em valor absoluto, superior a 0,5.

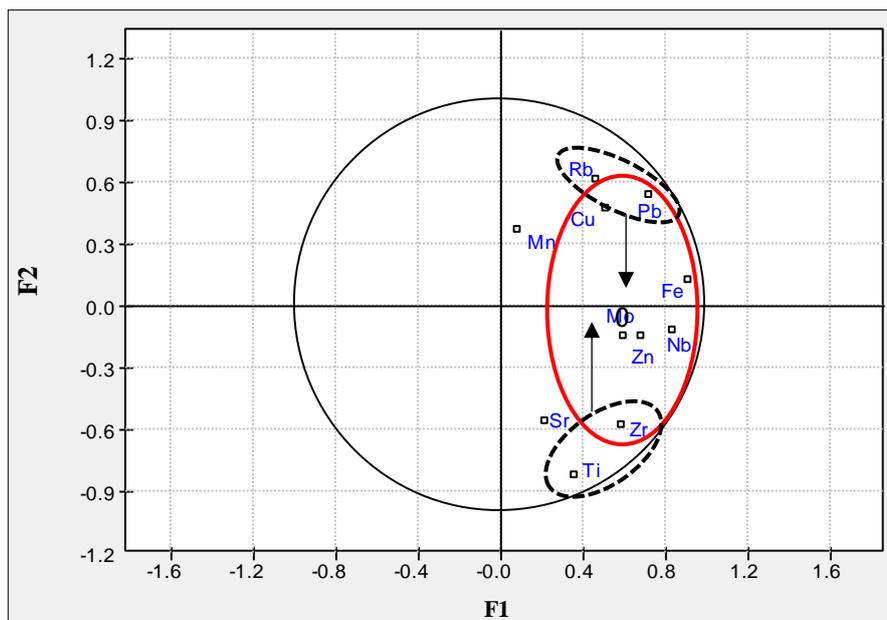
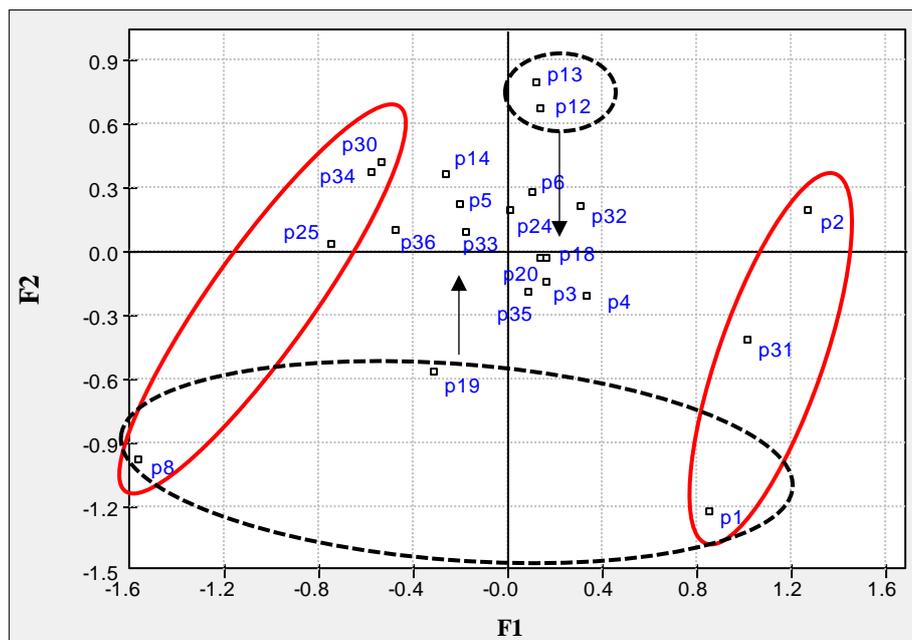


Figura 14 - ACP, 2º Ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2).

A observação da projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (ver figura 11), permite retirar as seguintes ilações:

- Ao longo do primeiro eixo (F1) verifica-se uma forte associação entre os elementos Cu, Pb, Fe, Mo, Zn, Nb e Zr no semi-eixo positivo.
- No segundo eixo (F2) – Semi-eixo-positivo – projeta-se, em forte associação com o eixo, as variáveis Pb e Rb. No semi-eixo negativo projeta-se, igualmente em forte associação com F2 as variáveis Zr e Ti. Estas variáveis estão fortemente associadas negativamente.



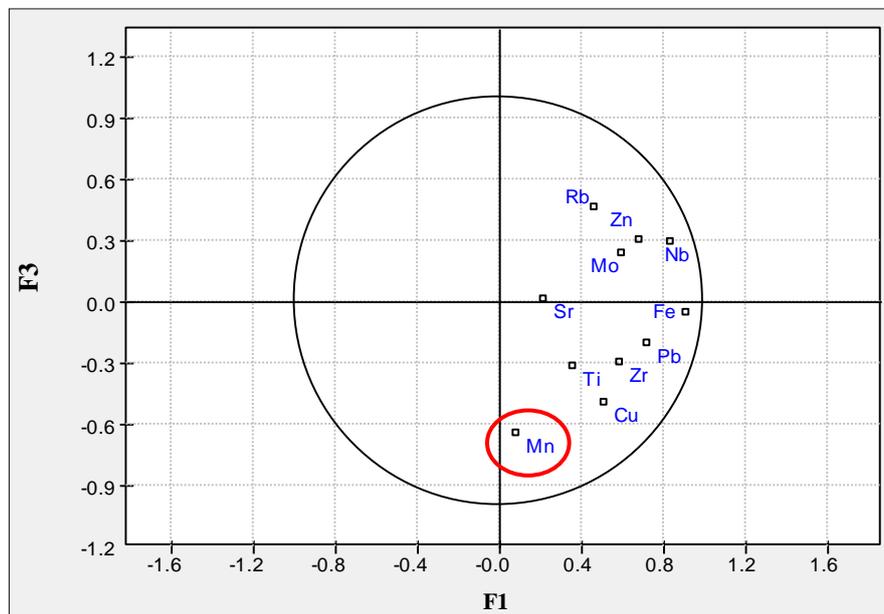
**Figura 15** - ACP, 2º Ensaio (Pç. da República), projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2).

Pela análise da figura 12, referente às projeções dos indivíduos no primeiro plano fatorial é possível identificar:

- Ao longo do eixo F1 (onde se projetavam anteriormente os elementos Cu, Pb, Fe, Mo, Zn, Nb e Zr), dois agrupamentos de pontos. No semi-eixo positivo, um primeiro conjunto que inclui os pontos de amostragem com as concentrações mais elevadas, em simultâneo, de Cu, Pb, Fe, Mo, Zn, Nb e Zr, e um outro conjunto oposto, no semi-eixo negativo, onde estão os pontos que contêm as concentrações mais baixas nestes elementos.
- Ao longo do eixo F2 (onde anteriormente se projetavam os elementos Rb, Pb, Ti e Zr) igualmente, dois agrupamentos de pontos. Um primeiro conjunto (semi-eixo positivo) que inclui os pontos com as concentrações mais elevadas em Rb e Pb e, simultaneamente, as concentrações mais baixas em Ti e Zr. O segundo (semi-eixo negativo), apresenta a situação contrária, projetam-se os pontos com concentrações mais baixas em Rb e Pb e, simultaneamente, as concentrações mais elevadas em Ti e Zr.

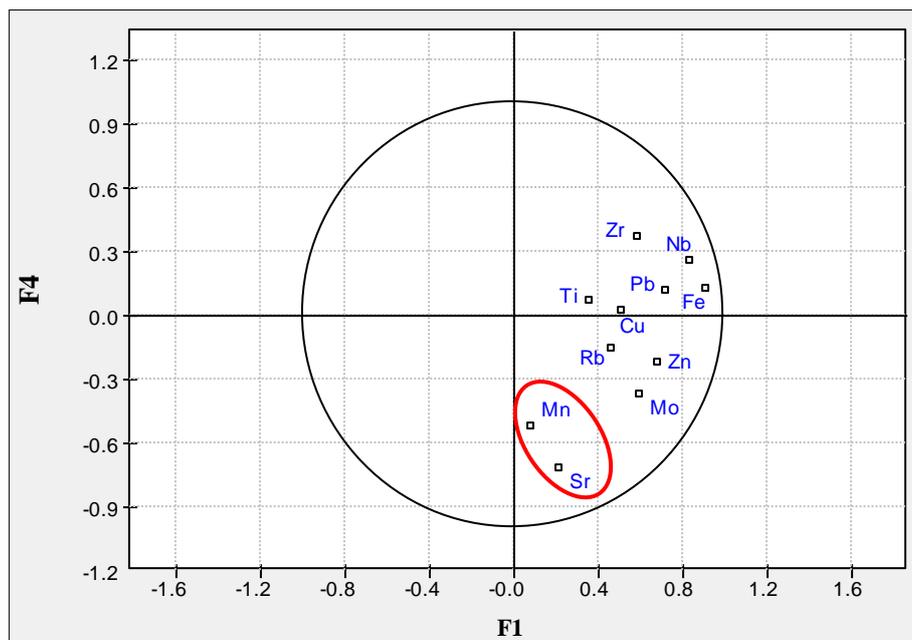
Através da análise da localização dos pontos de amostragem e, cruzando com os indivíduos que se projetam nos conjuntos de pontos no primeiro plano fatorial, permite concluir que estes se encontram em zonas de intenso tráfego automóvel, em particular

na rua do Quartel Militar e junto à Praça de Táxis. É de realçar que os pontos com elevadas concentrações de Cu, Pb, Fe, Mo, Zn, Nb e Zr (eixo F1 – semi-eixo positivo) localizam-se junto de cruzamentos com paragem em semáforos.



**Figura 16** - ACP, 2º Ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F3). Interpretação do eixo F3.

Na figura 13 assinalam-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F3. É possível verificar que, no semi-eixo negativo, projeta-se, em forte associação com o eixo, a variável Mn.



**Figura 17** - ACP, 2º Ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F4). Interpretação do eixo F4.

Na figura 14 assinalam-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F4. É possível observar que no semi-eixo negativo projeta-se, em forte associação com o eixo F4, as variáveis Sr e Mn.

Jardim de S.Lázaro

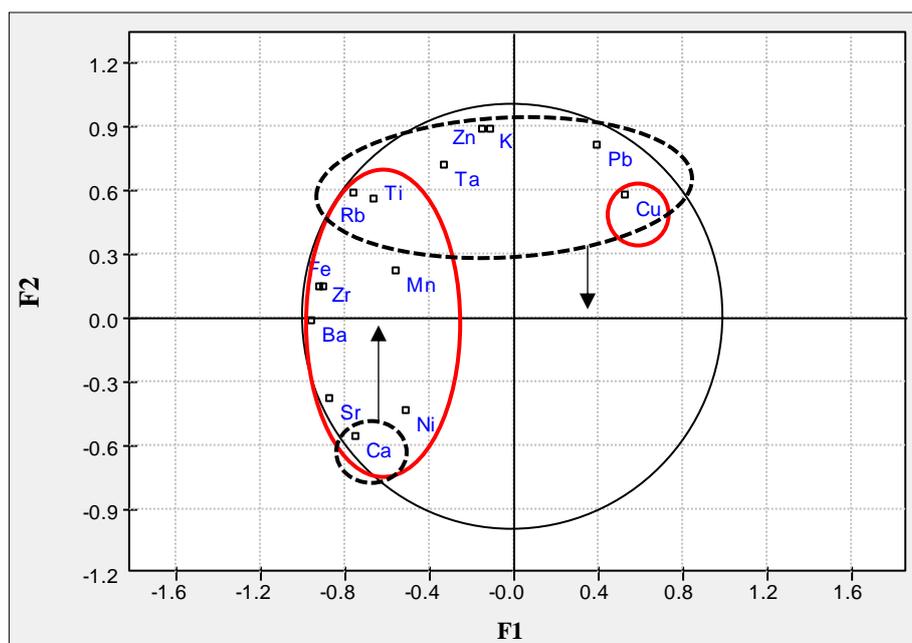
Efetou-se a ACP sobre os dados recolhidos no Jardim de S.Lázaro com 14 variáveis (K, Ca, Ti, ..., Ta e Pb) e 32 indivíduos. Os indivíduos selecionados correspondem aos pontos que apresentam simultaneamente valores para as variáveis representadas.

**Tabela 10** - Excerto da matriz input para o Jd. de S.Lázaro – ACP.

Variáveis → Indivíduos ↓	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	...	Ba (%)	Ta (%)	Pb (%)
P1	1.1641	2.857	0.1383	...	0.0193	0.0009	0.0034
P2	1.0675	8.1227	0.1577	...	0.0195	0.0005	0.0029
P3	1.0086	11.5121	0.1671	...	0.0285	0.0012	0.0034
...	...	...	...	...	...	...	...
P30	1.3693	12.7121	0.2939	...	0.0335	0.0019	0.0053
P31	2.4571	6.5505	0.5	...	0.0378	0.0028	0.0091
P32	1.9503	3.723	0.3199	...	0.027	0.0031	0.0238

**Tabela 11** - Coordenadas das variáveis (elementos químicos) nos eixos fatoriais - ACP (Jd. de S.Lázaro).

	1	2	3	4
K		0.88		
Ca	-0.74	-0.56		
Ti	-0.66	0.55		
Mn	-0.55			-0.64
Fe	-0.92			
Ni	-0.51		0.56	
Cu	0.53	0.57	0.52	
Zn		0.88		
Rb	-0.75	0.58		
Sr	-0.87			
Zr	-0.89			
Ba	-0.95			
Ta		0.71		
Pb		0.81		

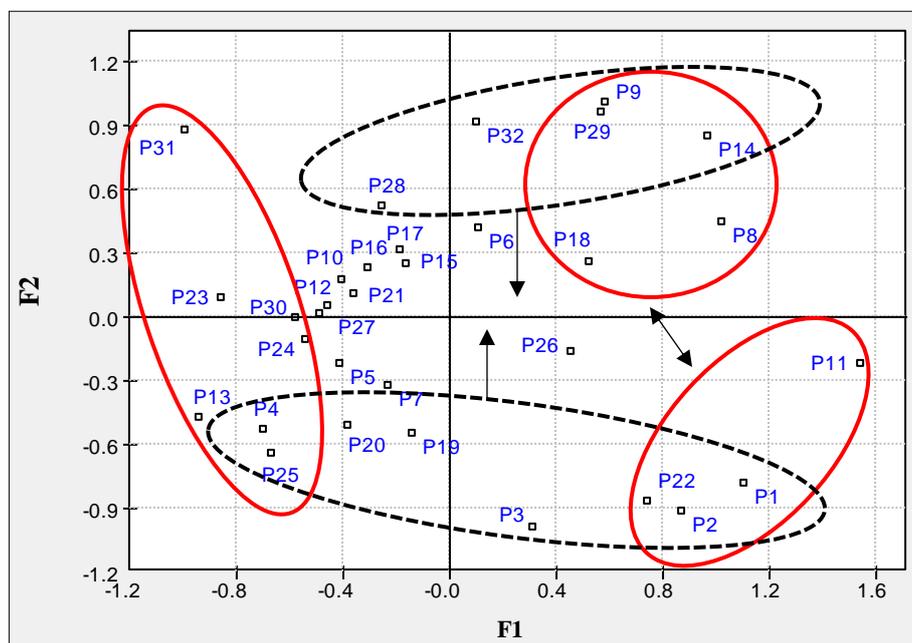


**Figura 18** - ACP (Jd. de S.Lázaro), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2).

A observação da projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (ver figura 15), permite retirar as seguintes ilações:

- No primeiro eixo (F1) – semi-eixo negativo – verifica-se uma forte associação entre os elementos Ti, Rb, Fe, Zr, Mn, Ba, Sr, Ni e Ca. No semi-eixo positivo projeta-se, em forte associação com o eixo, o elemento Cu.
- No segundo eixo (F2) – Semi-eixo-positivo – projeta-se, em forte associação com o eixo, as variáveis Rb, Ti, Ta, Zn, K, Pb e Cu. No semi-eixo negativo projeta-se,

igualmente em forte associação com F2 a variável Ca. Estas variáveis estão fortemente associadas negativamente.

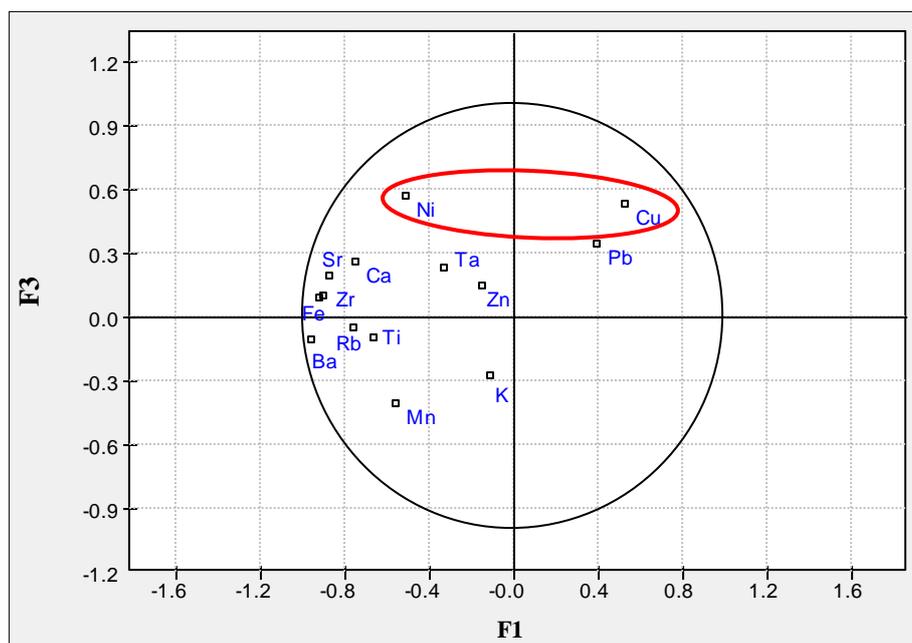


**Figura 19** - ACP (Jd. de S.Lázaro), projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2).

Analisando a figura 16, referente às projeções dos indivíduos no primeiro plano fatorial é possível identificar:

- Ao longo do eixo F1 (onde se projetavam anteriormente os elementos Ti, Rb, Fe, Zr, Mn, Ba, Sr, Ni, Ca e Cu), dois agrupamentos de pontos. No semi-eixo positivo, um primeiro conjunto que inclui os pontos de amostragem com as concentrações mais elevadas em Cu e, em simultâneo, as concentrações mais baixas em Ti, Rb, Fe, Zr, Mn, Ba, Sr, Ni e Ca, o conjunto oposto (semi-eixo negativo) estão representados os pontos que contêm as concentrações mais baixas em Cu e mais elevadas nos restantes elementos acima referidos.
- Ao longo do eixo F2 (onde anteriormente se projetavam os elementos Rb, Ti, Ta, Zn, K, Pb, Cu e Ca) igualmente, dois agrupamentos de pontos. Um primeiro conjunto (semi-eixo positivo) inclui os pontos com as concentrações mais elevadas em Rb, Ti, Ta, Zn, K, Pb e Cu e, simultaneamente, as concentrações mais baixas em Ca. O segundo (semi-eixo negativo), apresenta a situação contrária, projetam-se os pontos com concentrações mais elevadas em Ca e, simultaneamente, as concentrações mais baixas em Rb, Ti, Ta, Zn, K, Pb e Cu.

Uma análise dos indivíduos que se projetam no primeiro plano fatorial nos agrupamentos em estudo, conciliando com a localização dos pontos de amostragem, permite concluir que estes se encontram junto das ruas onde há tráfego automóvel, sobretudo junto a cruzamentos ou entroncamentos. É de realçar que, maior parte dos pontos com elevadas concentrações de Rb, Ti, Ta, Zn, K, Pb e Cu (eixo F2 – semi-eixo positivo), localizam-se junto à Av. Rodrigues de Freitas, rua com intenso tráfego automóvel, nomeadamente em horas de ponta.



**Figura 20** - ACP (Jd. de S.Lázaro), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F3). Interpretação do eixo F3.

Na figura 17 assinalam-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F3. É possível inferir que, no semi-eixo positivo, projetam-se, em forte associação com o eixo, as variáveis Ni e Cu.

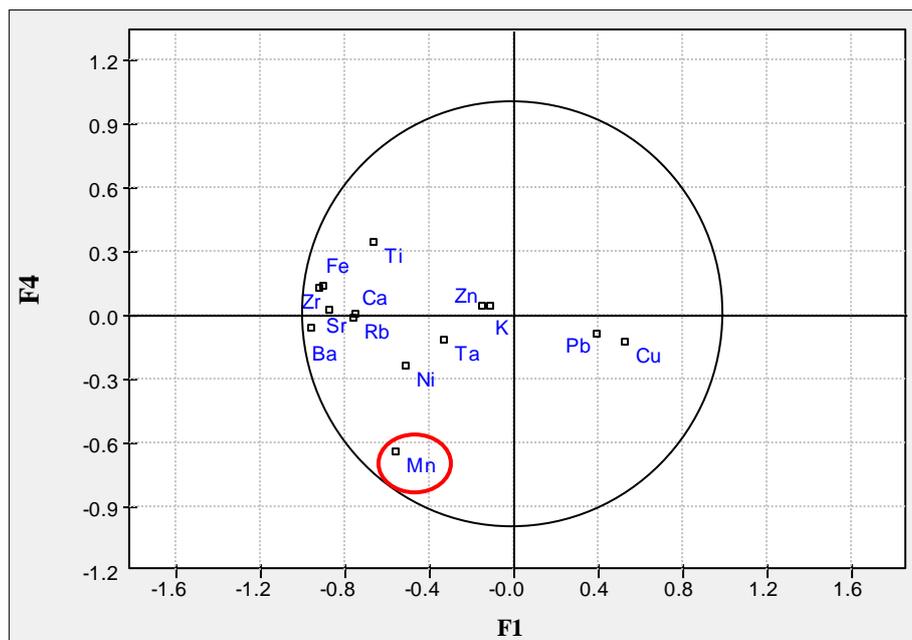


Figura 21 - ACP (Jd. de S.Lázaro), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F4). Interpretação do eixo F4.

Na figura 18 assinalam-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F4. É possível observar que no semi-eixo negativo projeta-se, em forte associação com o eixo F4, a variável Mn.

Praça Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista

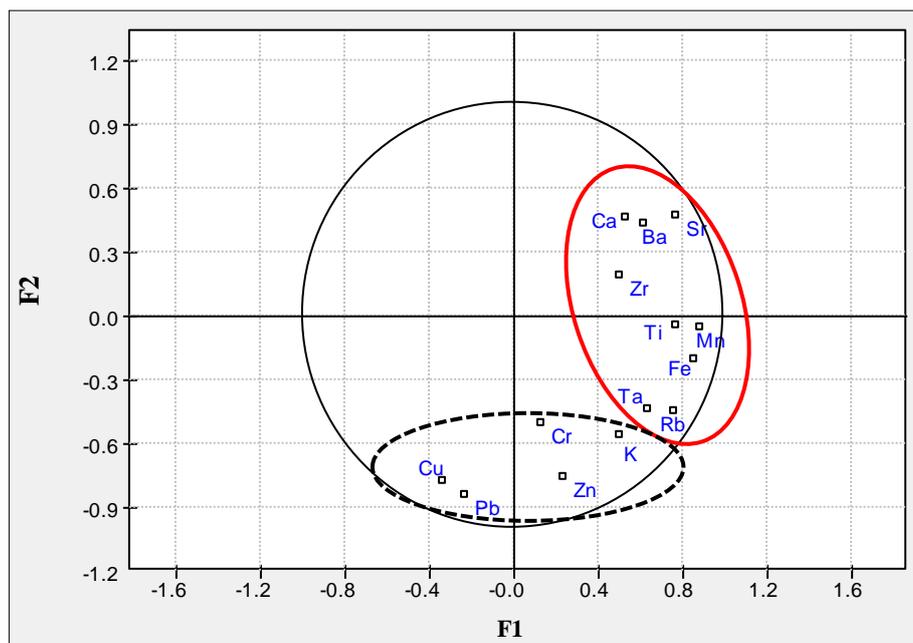
Efetuuou-se a ACP sobre os dados recolhidos na Rotunda da Boavista com 14 variáveis (K, Ca, Ti, ..., Ta e Pb) e 30 indivíduos. Os indivíduos selecionados correspondem aos pontos que apresentam simultaneamente valores para as variáveis representadas.

Tabela 12 - Excerto da matriz input para a Pç. Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista) – ACP.

Variáveis → Indivíduos ↓	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	...	Ba (%)	Ta (%)	Pb (%)
P1	2.4257	0.4367	0.3286	...	0.0274	0.0032	0.0063
P2	1.8609	0.4868	0.2676	...	0.0177	0.0021	0.0145
P3	1.6715	0.5891	0.2948	...	0.0328	0.0026	0.0049
...	...	...	...	...	...	...	...
P28	2.0367	0.5472	0.2962	...	0.0225	0.0036	0.0152
P29	2.0229	0.1657	0.2579	...	0.0193	0.003	0.0208
P30	2.2193	0.2062	0.2081	...	0.0236	0.0033	0.0174

**Tabela 13** - Coordenadas das variáveis (elementos químicos) nos eixos fatoriais - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista).

	1	2	3	4	5	6
K	0.50	-0.56			-0.53	
Ca	0.54					
Ti	0.77		0.50			
Cr		-0.51	-0.71			
Mn	0.88					
Fe	0.86					
Cu		-0.78				
Zn		-0.76				
Rb	0.76					
Sr	0.77					
Zr	0.50					-0.54
Ba	0.62					
Ta	0.64					
Pb		-0.84				

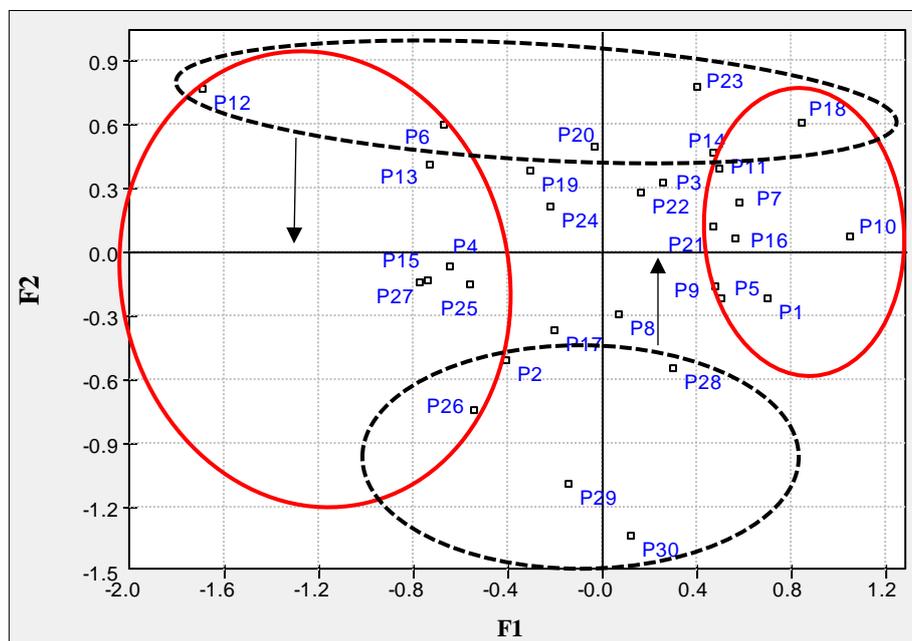


**Figura 22** - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2).

A observação da projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (ver figura 19), permite retirar as seguintes ilações:

- No primeiro eixo (F1) – semi-eixo positivo – verifica-se uma forte associação entre os elementos Ca, Ba, Sr, Zr, Ti, Mn, Fe, Ta e Rb.

- No segundo eixo (F2) – Semi-eixo negativo – projeta-se, em forte associação com o eixo, as variáveis Cu, Pb, Zn, Cr e K.

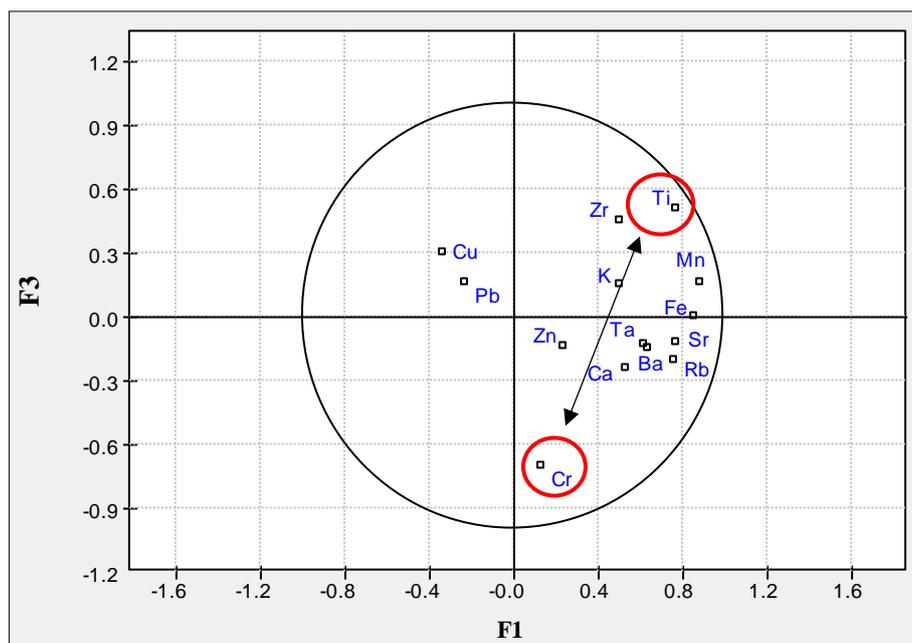


**Figura 23** - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2).

Pela análise da figura 20, referente às projeções dos indivíduos no primeiro plano fatorial é possível identificar:

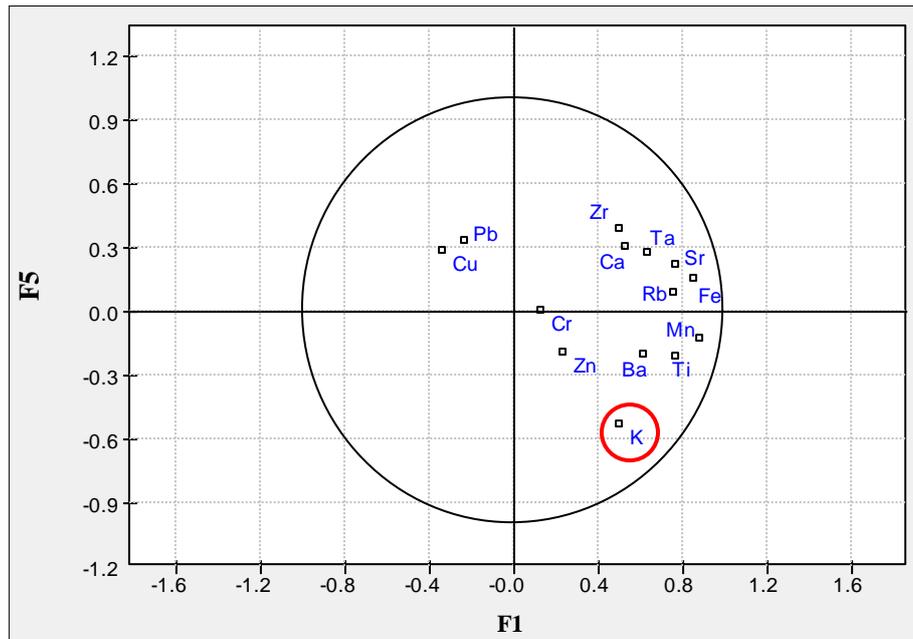
- Ao longo do eixo F1 (onde se projetavam anteriormente os elementos Ca, Ba, Sr, Zr, Ti, Mn, Fe, Ta e Rb), dois agrupamentos de pontos. No semi-eixo positivo, um primeiro conjunto que inclui os pontos de amostragem com as concentrações mais elevadas, em simultâneo, de Ca, Ba, Sr, Zr, Ti, Mn, Fe, Ta e Rb, e um outro conjunto oposto, no semi-eixo negativo, onde estão os pontos que contêm as concentrações mais baixas nestes elementos.
- Ao longo do eixo F2 (onde anteriormente se projetavam os elementos Cu, Pb, Zn, Cr e K) igualmente, dois agrupamentos de pontos. Um primeiro conjunto (semi-eixo positivo) que inclui os pontos com as concentrações mais baixas em Cu, Pb, Zn, Cr e K. O segundo conjunto (semi-eixo negativo), apresenta a situação contrária, projetam-se os pontos com concentrações mais elevadas nestes elementos.

Através da análise da localização dos pontos de amostragem e, cruzando com os indivíduos que se projetam nos conjuntos de pontos no primeiro plano fatorial, permite concluir que estes se encontram numa zona de intenso tráfego automóvel dado que a área verde em estudo é uma rotunda. É de realçar que os pontos com elevadas concentrações de Cu, Pb, Zn, Cr e K (eixo F2 – semi-eixo negativo) localizam-se junto de cruzamentos com elevado tráfego e paragem de transportes públicos.



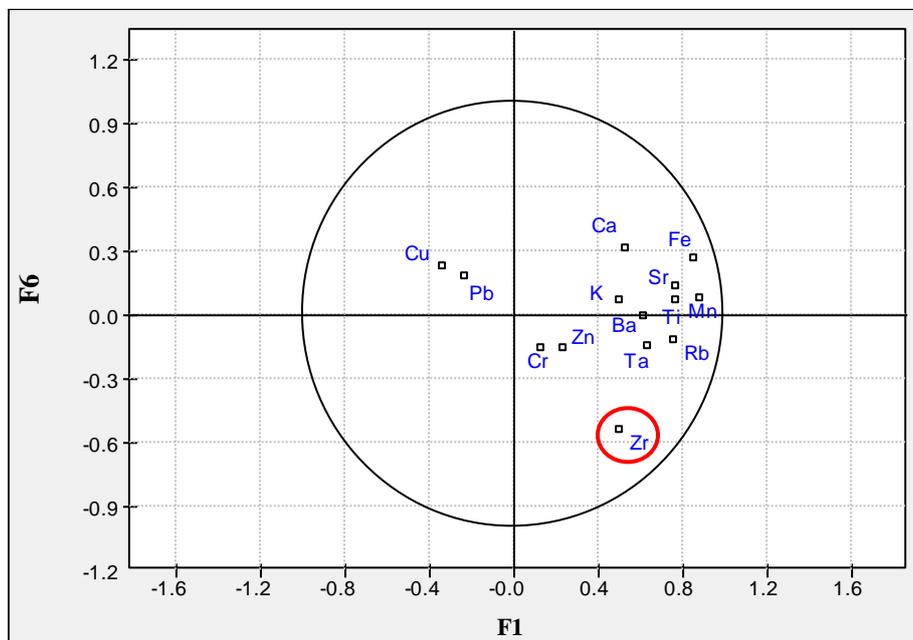
**Figura 24** - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F3). Interpretação do eixo F3.

Na figura 21 assinala-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F3. É possível inferir que, no semi-eixo positivo, projeta-se, em forte associação com o eixo, a variável Ti. No semi-eixo negativo projeta-se, igualmente em forte associação com F3 a variável Cr. Estas duas variáveis estão fortemente associadas negativamente.



**Figura 25** - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F5). Interpretação do eixo F5.

A observação da projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F5) (ver figura 22), permite concluir que no quinto eixo (F5) – Semi-eixo negativo – projeta-se, em forte associação com o eixo, a variável K.



**Figura 26** - ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F6). Interpretação do eixo F6.

Na figura 23 assinala-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F6. É possível observar que, no semi-eixo negativo, projeta-se, em forte associação com o eixo, a variável Zr.

Parque da Cidade

Efetou-se a ACP sobre os dados recolhidos no Parque da Cidade com 17 variáveis (K, Ca, Ti, ..., Hg e Pb) e 116 indivíduos. Os indivíduos selecionados correspondem aos pontos que apresentam simultaneamente valores para as variáveis representadas.

Tabela 14 - Excerto da matriz input para o Prq. da Cidade – ACP.

Variáveis → Indivíduos ↓	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	...	Ta (%)	Hg (%)	Pb (%)
P1	1.2066	1.4745	0.1963	...	0.0006	0	0.0051
P2	1.5802	2.0323	0.2163	...	0.0005	0	0.0032
P3	2.0789	0.3264	0.3559	...	0.0021	0	0.0115
...	...	...	...	...	...	...	...
P116	1.6937	0.2019	0.3035	...	0.0018	0	0.006
P117	2.0767	0.2962	0.3203	...	0.0022	0.0008	0.0093
P118	0.5814	0.0881	0.0862	...	0	0	0.0018

Tabela 15 - Coordenadas das variáveis (elementos químicos) nos eixos fatoriais - ACP (Prq. da Cidade).

	1	2	3	4	5	6
K	0.72					
Ca			0.59		0.61	
Ti	0.56	-0.61				
Cr			0.65	0.55		
Mn			0.70	0.51		
Fe	0.76					
Ni		-0.56				
Cu			0.55	-0.53		
Zn	0.51			-0.52		
As						-0.59
Rb	0.78					
Sr	0.59	0.66				
Zr	0.58	-0.57				
Ba	0.75					
Ta	0.68					
Hg					0.56	
Pb	0.56			-0.52		

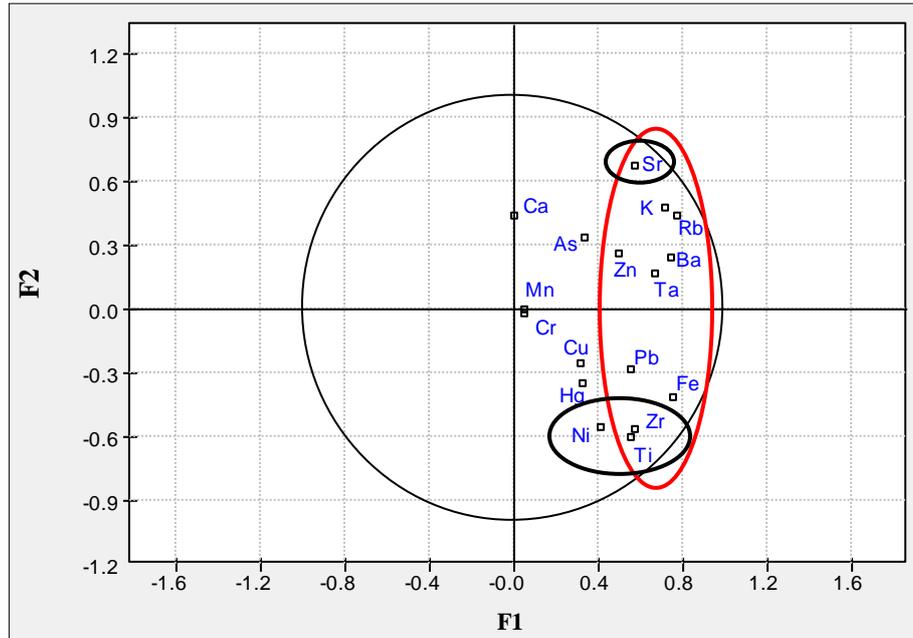


Figura 27 - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2).

Pela observação da projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (ver figura 24), permite retirar as seguintes ilações:

- No primeiro eixo (F1) – Semi-eixo positivo – verifica-se uma forte associação entre os elementos Ti, Zr, Fe, Pb, Ta, Ba, Zn, Rb, K e Sr.
- No segundo eixo (F2) – Semi-eixo positivo – projeta-se, em forte associação com o eixo, a variável Sr. No semi-eixo negativo, projetam-se, igualmente em forte associação com F2 as variáveis Zr, Ti e Ni. Estas variáveis estão fortemente associadas negativamente.

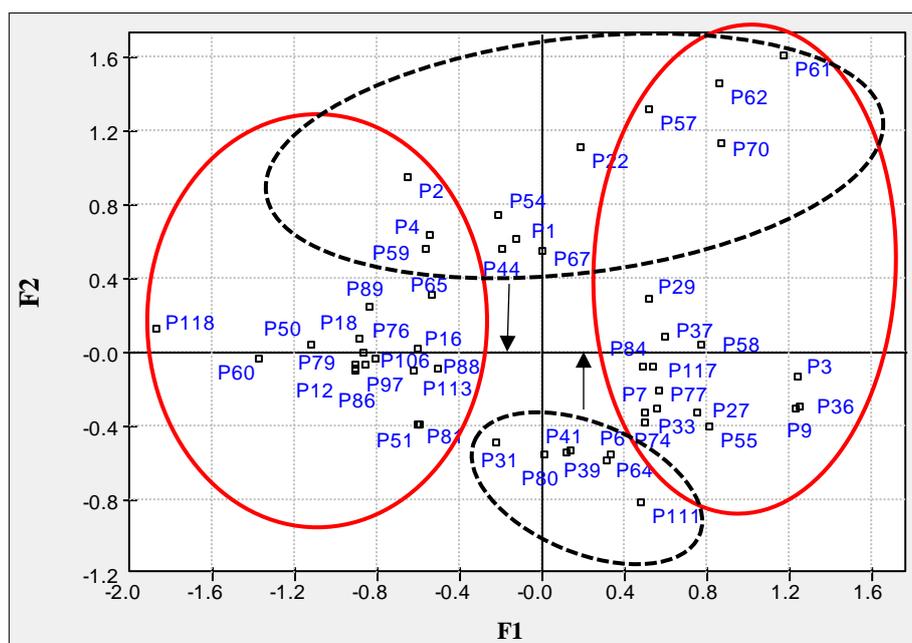


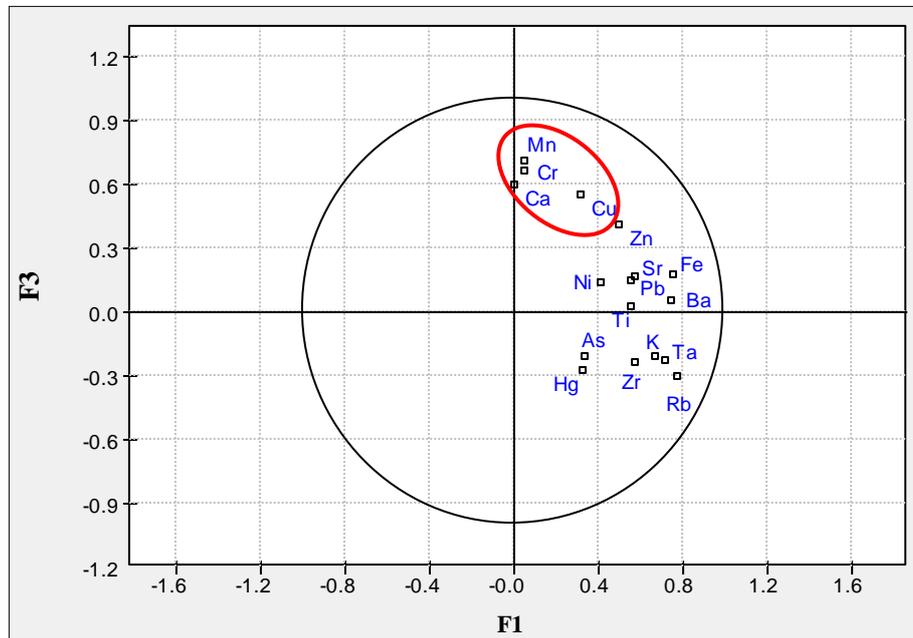
Figura 28 - ACP (Prq. da Cidade), projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2).

Pela análise da figura 25, referente às projeções dos indivíduos no primeiro plano fatorial é possível identificar:

- Ao longo do eixo F1 (onde se projetavam anteriormente os elementos Ti, Zr, Fe, Pb, Ta, Ba, Zn, Rb, K e Sr), dois agrupamentos de pontos. No semi-eixo positivo, um primeiro conjunto que inclui os pontos de amostragem com as concentrações mais elevadas, em simultâneo, destes elementos, e um outro conjunto oposto, no semi-eixo negativo, onde estão os pontos que contêm as concentrações mais baixas em Ti, Zr, Fe, Pb, Ta, Ba, Zn, Rb, K e Sr.
- Ao longo do eixo F2 (onde anteriormente se projetavam os elementos Zr, Ti e Ni e Sr) igualmente, dois agrupamentos de pontos. Um primeiro conjunto (semi-eixo positivo) que inclui os pontos com as concentrações mais elevadas em Sr e, simultaneamente, as concentrações mais baixas em Zr, Ti e Ni. O segundo conjunto (semi-eixo negativo), apresenta a situação contrária, projetam-se os pontos com concentrações mais baixas em Sr e, simultaneamente, as concentrações mais elevadas em Zr, Ti e Ni.

Através da análise da localização dos pontos de amostragem e, cruzando com os indivíduos que se projetam nos conjuntos de pontos no primeiro plano fatorial, permite concluir que estes se encontram numa zona de intenso tráfego automóvel dado que a

área verde em estudo se encontra delimitada a norte e a sul por duas grandes avenidas da cidade do Porto, a Estrada da Circunvalação (a norte) e a Avenida da Boavista (a sul).



**Figura 29** - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F3). Interpretação do eixo F3.

Na figura 26 assinalam-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F3. É possível verificar que, no semi-eixo positivo, projetam-se, em forte associação com o eixo, as variáveis Mn, Cr, Cu e Ca.

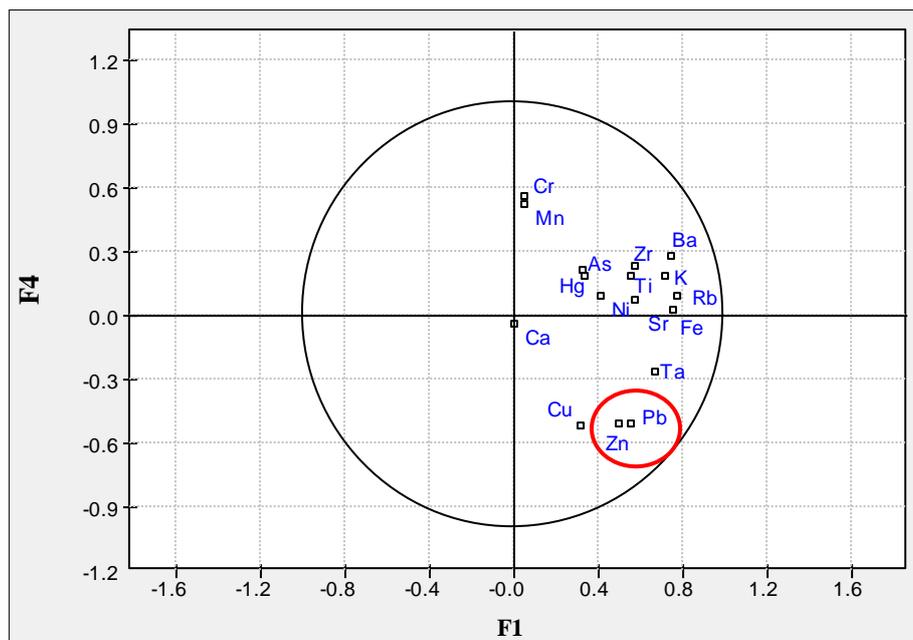


Figura 30 - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F4). Interpretação do eixo F4.

A observação da projeção das variáveis ao longo do semi-eixo negativo do eixo F4 (ver figura 27), permite verificar que as variáveis Zn e Pb estão fortemente associadas com o eixo F4.

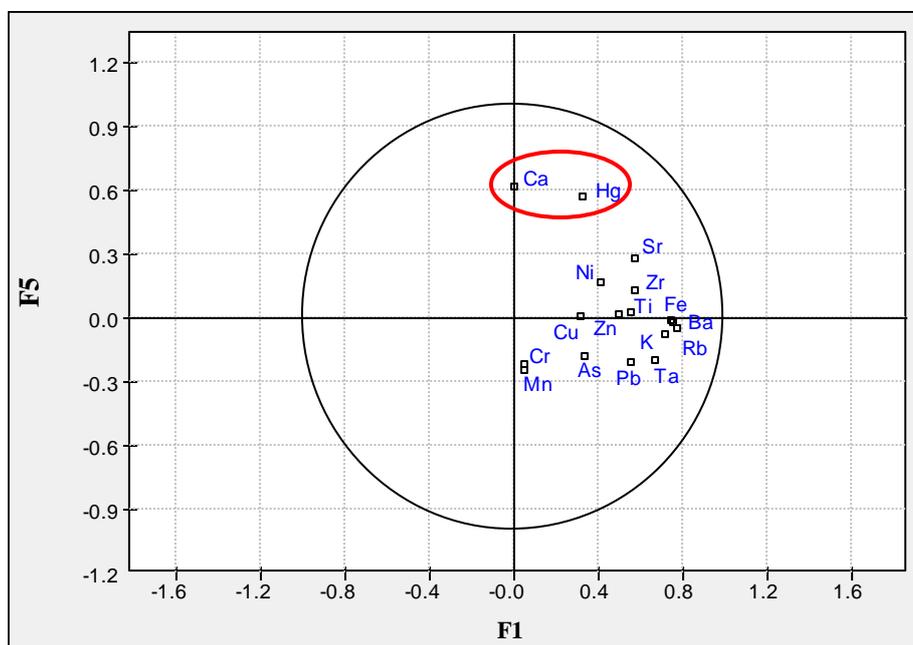


Figura 31 - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F5). Interpretação do eixo F5.

Na figura 28 assinalam-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F5. É possível observar que, no semi-eixo positivo, projetam-se, em forte associação com o eixo, as variáveis Ca e Hg.

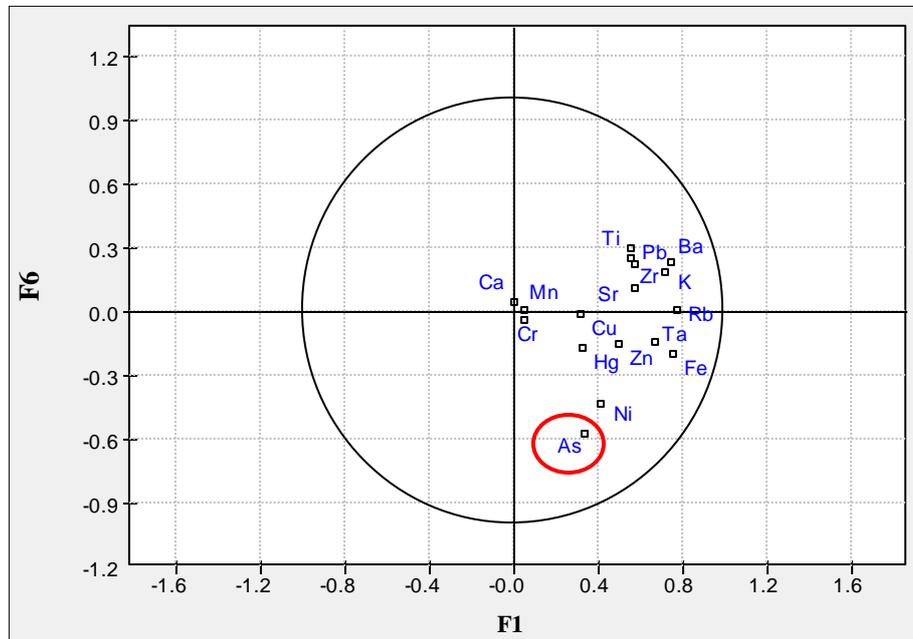


Figura 32 - ACP (Prq. da Cidade), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F6). Interpretação do eixo F6.

Na figura 29 assinalam-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F6. É possível observar que, no semi-eixo negativo, projeta-se, em forte associação com o eixo, a variável As.



## Capítulo 7 – Tratamento Geoestatístico

A geoestatística é uma ciência derivada da estatística, que utiliza um conjunto de métodos estatísticos com a finalidade de caracterizar a dispersão espacial das grandezas que definem quantitativa e qualitativamente os recursos naturais. Pode ainda caracterizar fenómenos cujos atributos manifestam uma dada estrutura no espaço. A geoestatística tem como objetivo a caracterização espacial dos fenómenos espaciais naturais a partir da conceção de um modelo representativo e a quantificação das incertezas associadas. Os pioneiros dos estudos relativos à geoestatística foram Daniel G. Krige e Sichel através dos seus trabalhos experimentais realizados nas minas da África do Sul (Lopes, 2013).

As áreas de aplicação da geoestatística apresentam fenómenos cujas variáveis dependem fortemente da sua localização espacial, sendo assim denominadas de variáveis regionalizadas (VR), ou seja, podem ser representadas por uma função numérica com distribuição espacial que varia de ponto a ponto com uma continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples. Esta é dependente de uma coordenada  $x_i$  e de um domínio  $G$ , que caracterizam uma variável aleatória  $Z(x_i)$  (Lopes, 2013; Rosa, 2016).

### 7.1 Análise da estrutura espacial dos dados

O modelo geoestatístico considera  $Z(x_i)$  uma realização particular de uma função aleatória sobre a qual é possível assumir vários graus de estacionaridade. A primeira é a estacionaridade da média, ou seja, as variáveis aleatórias têm média constante dentro de todo o domínio  $G$  (Lopes, 2013; Rosa, 2016).

$$E[Z(x_i)] = m(x_i) = m \quad \forall x_i \in G \quad [\text{Eq. 8}]$$

A segunda é a hipótese de estacionaridade da covariância que implica que a covariância centrada entre dois pontos separados por um vetor distância  $\vec{h}$ ,  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + \vec{h})$ , apenas depende desse vetor.

$$Cov[Z(x_i + \vec{h}), Z(x_i)] = E[Z(x_i + \vec{h}), Z(x_i)] - m^2 = Cov(\vec{h}) \quad \forall x_i \in G \quad [\text{Eq. 9}]$$

Impondo a estacionariedade de 2ª ordem aos acréscimos espaciais ( $\vec{h}$ ) da função aleatória obtemos:

$$\begin{aligned} \Delta(\vec{h}) &= Z(x_i + \vec{h}) - Z(x_i) \quad \forall x_i \in G \\ E\{\Delta(\vec{h})\} &= 0 \\ E\{\Delta(\vec{h})^2\} &= 2\gamma(\vec{h}) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 10}]$$

Com esta relação, que traduz a variância dos incrementos  $\vec{h}$  da variável regionalizada, é possível definir a função semi-variograma, ou normalmente designado de variograma. É um instrumento básico da geoestatística na deteção da estrutura espacial de uma V.R. e corresponde à média aritmética do quadrado das diferenças de todos os pares de pontos separados por um vetor  $\vec{h}$  com uma dada direção (Soares, 2000; Rosa, 2016).

$$\gamma(\vec{h}) = \frac{1}{2N(\vec{h})} \sum_{a=1}^{N(\vec{h})} [Z(x_i) - Z(x_i + \vec{h})]^2 \quad [\text{Eq. 11}]$$

Onde:

$Z(x_i)$  – valor da V.R. no ponto  $x_i$

$N(\vec{h})$  – número de pares de pontos distanciados de  $h$

$\vec{h}$  – distância que separa os dois pares

Na figura 30 é possível observar uma representação gráfica de um variograma, onde estão identificados os parâmetros que caracterizam esta função.

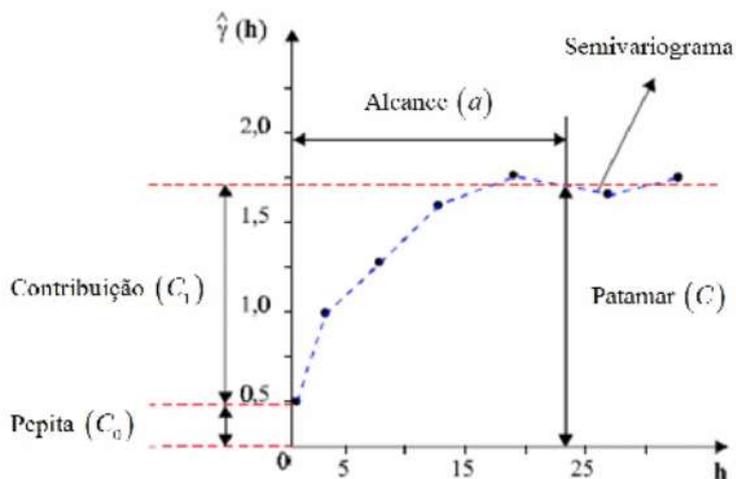


Figura 33 - Esquema de um variograma e dos seus parâmetros (Lopes, 2013).

O alcance ( $a$ ) é a distância a partir da qual as amostras se tornam independentes, ou seja, deixam de estar espacialmente correlacionadas. Este reflete o grau de homogeneização entre as amostras, logo, quanto maior for o alcance, maior é a distância de correlação entre os pares de amostras. O efeito de pepita ( $C_0$ ) é o valor da ordenada na origem do variograma, idealmente deveria ser nulo, mas quando existe, atribui-se este valor à eventual presença de descontinuidades do variograma para distâncias menores do que a menor distância entre amostras, podendo também resultar de erros de medição. Ou seja, a existência de um efeito de pepita, demonstra a possibilidade de existência de uma elevada variabilidade à pequena escala. O patamar ( $C$ ) é o valor da ordenada do variograma que corresponde ao alcance, este valor pode ser associado à variância dos dados da V.R. A distância intrapatamar ( $C_1$ ) é a diferença entre o patamar ( $C$ ) e o efeito pepita ( $C_0$ ) (Lopes, 2013).

Os variogramas experimentais foram construídos para todos os elementos em estudo, com o auxílio do *software* Surfer 13, aqui serão apresentados somente os variogramas dos 7 elementos que têm sido referidos ao longo deste trabalho, encontrando-se os restantes em anexo (ver anexo 4). Foram testados diferentes intervalos de pesquisa dos pares de pontos e diferentes direções de modo a definir a direção de maior continuidade e respectivas anisotropias. A pesquisa foi realizada com tolerância  $30^\circ$  e direções intervaladas de  $30^\circ$  e  $10^\circ$  conforme o comportamento do variograma. Em seguida, é feito o ajuste dos parâmetros e dos modelos teóricos.

Jardim de S.Lázaro

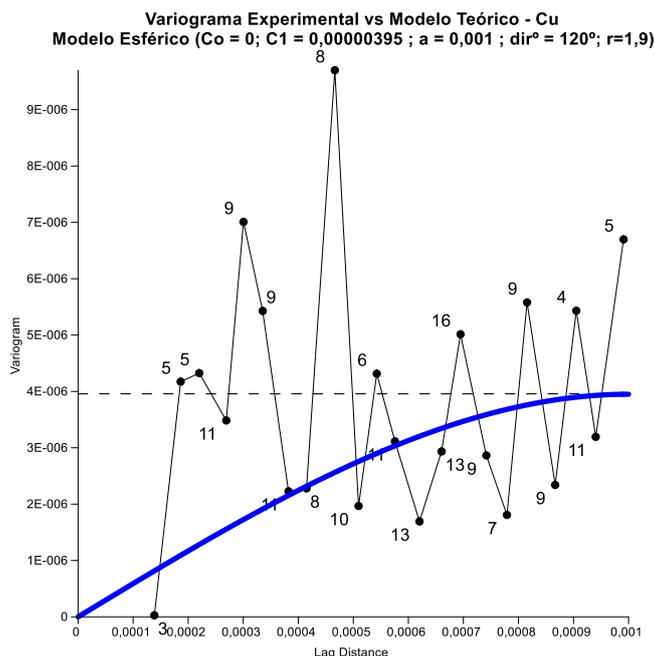


Figura 34 - Variograma ajustado do elemento Cu (Jd. S.Lázaro).

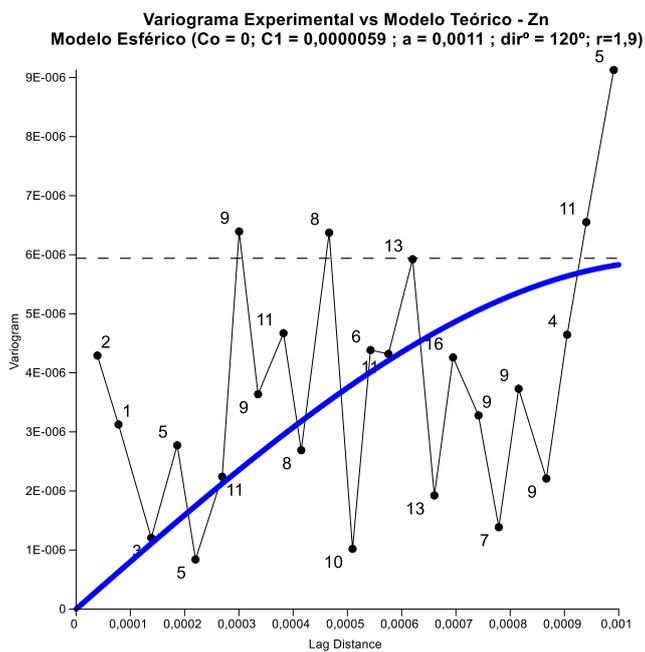


Figura 35 - Variograma ajustado do elemento Zn (Jd. de S.Lázaro).

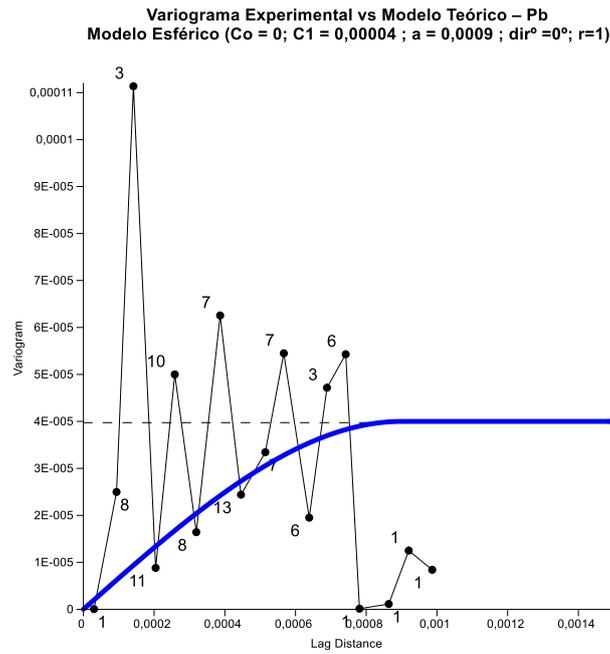
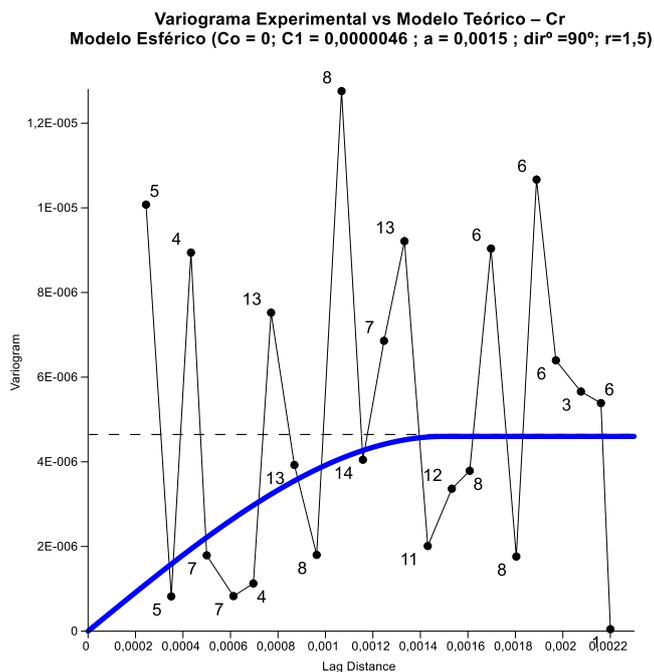


Figura 36 - Variograma ajustado do elemento Pb (Jd. de S.Lázaro).

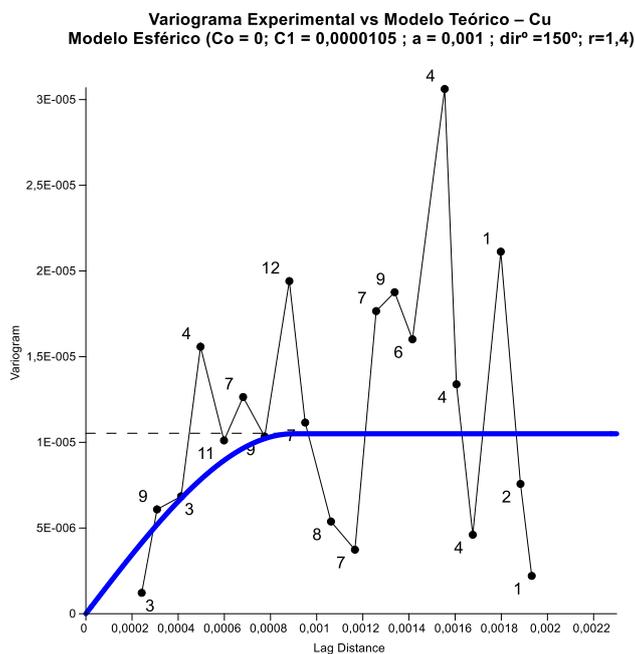
Tabela 16 - Análise estrutural: Variogramas teóricos (Jd. de S.Lázaro).

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>
<b>Modelo</b>	Esférico	Esférico	Esférico
<b>Alcance (<math>\alpha</math>)</b>	0.0010	0.0011	0.0009
<b>Efeito pepita (<math>C_0</math>)</b>	0.0000	0.0000	0
<b>Dist. intrapatamar (<math>C_1</math>)</b>	0.00000395	0.0000059	0.00004
<b>Dir. principal de anisotropia</b>	120°	120°	0°
<b>Razão de anisotropia</b>	1.9	1.9	1

Praça Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista



**Figura 37** - Variograma ajustado do elemento Cr (Pç. Mouzinho de Albuquerque - Rontunda da Boavista).



**Figura 38** - Variograma ajustado do elemento Cu (Pç. Mouzinho de Albuquerque - Rotunda da Boavista).

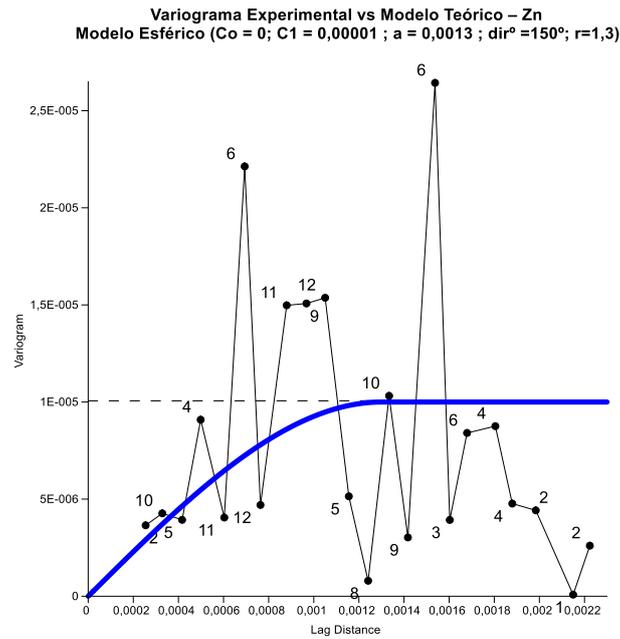


Figura 39 - Variograma ajustado do elemento Zn (Pç. Mouzinho de Albuquerque - Rotunda da Boavista).

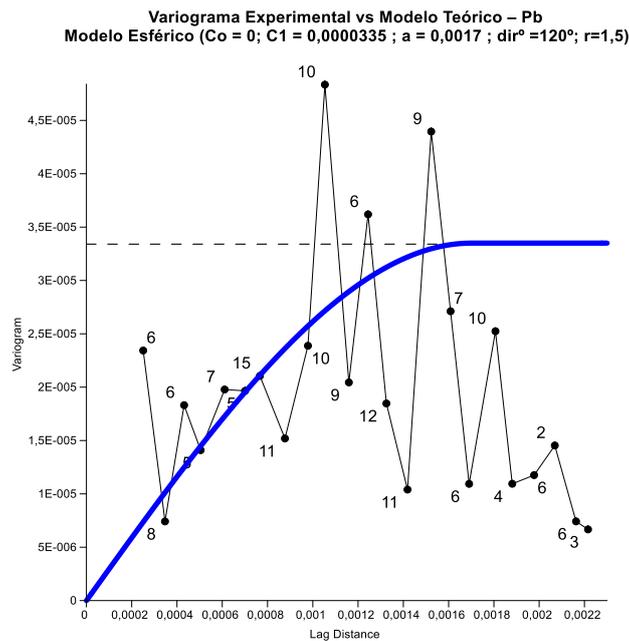


Figura 40 - Variograma ajustado do elemento Pb (Pç. Mouzinho de Albuquerque - Rotunda da Boavista).

Tabela 17 - Análise estrutural: Variogramas teóricos (Pç. Mouzinho de Albuquerque).

	Cr	Cu	Zn	Pb
<b>Modelo</b>	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
<b>Alcance (<math>a</math>)</b>	0.0015	0.0010	0.0013	0.0017
<b>Efeito pepita (<math>C_0</math>)</b>	0	0	0	0
<b>Dist. intrapatamar (<math>C_1</math>)</b>	0.0000046	0.0000105	0.00001	0.0000335
<b>Dir. principal de anisotropia</b>	90°	150°	150°	120°
<b>Razão de anisotropia</b>	1.5	1.4	1.3	1.5

Praça da República

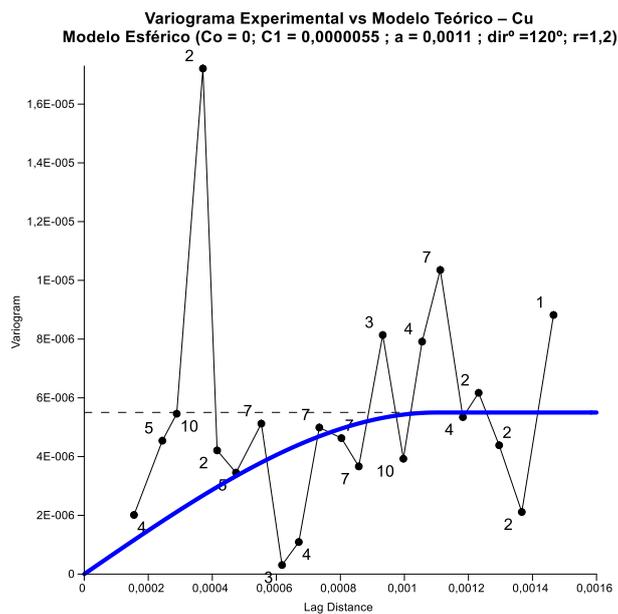


Figura 41 - Variograma ajustado do elemento Cu (Pç. da República).

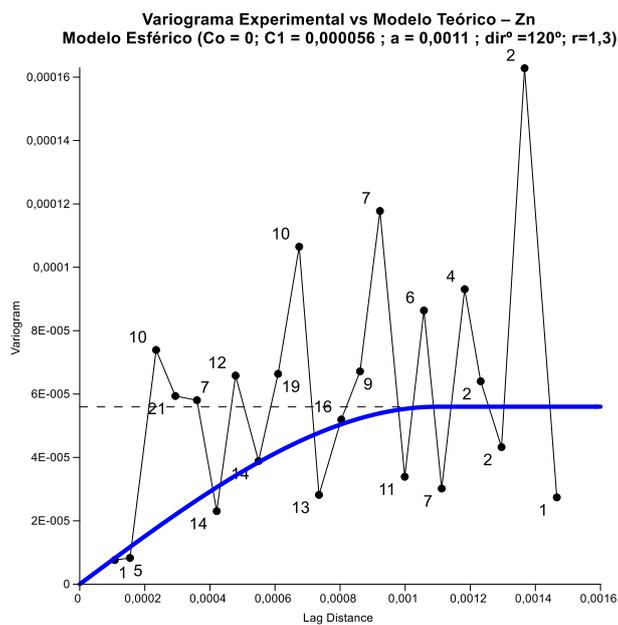


Figura 42 - Variograma ajustado do elemento Zn (Pç. da República).

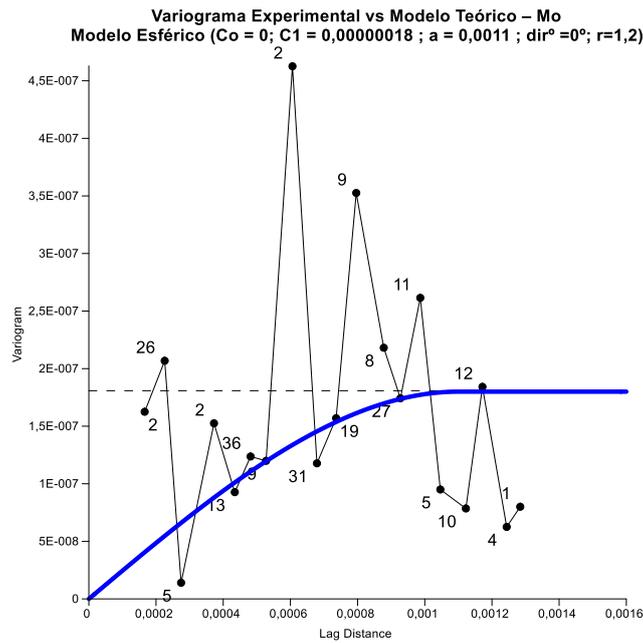


Figura 43 - Variograma ajustado do elemento Mo (Pç. da República).

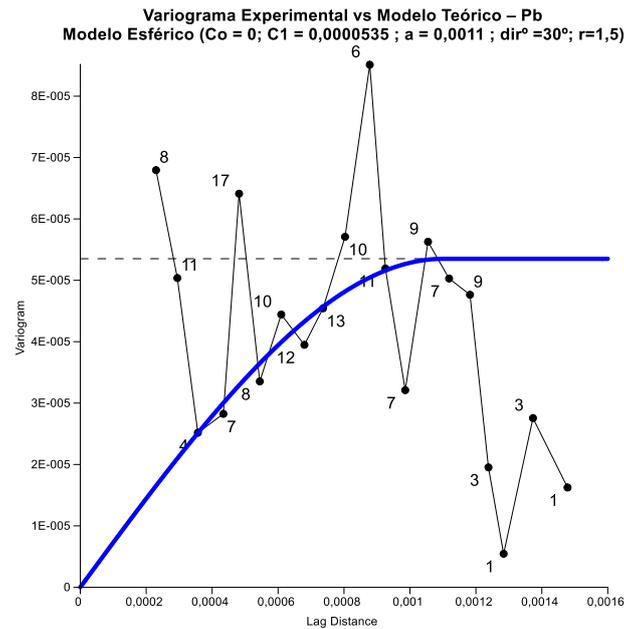


Figura 44 - Variograma ajustado do elemento Pb (Pç. da República).

Tabela 18 - Análise estrutural: Variogramas teóricos (Pç. da República).

	Cr	Cu	Zn	Pb
<b>Modelo</b>	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
<b>Alcance (a)</b>	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011
<b>Efeito pepita (<math>C_0</math>)</b>	0	0	0	0
<b>Dist. intrapatamar (<math>C_1</math>)</b>	0.0000055	0.000056	0.00000018	0.0000535
<b>Dir. principal de anisotropia</b>	120°	120°	0°	30°
<b>Razão de anisotropia</b>	1.2	1.3	1.2	1.5

Parque da Cidade

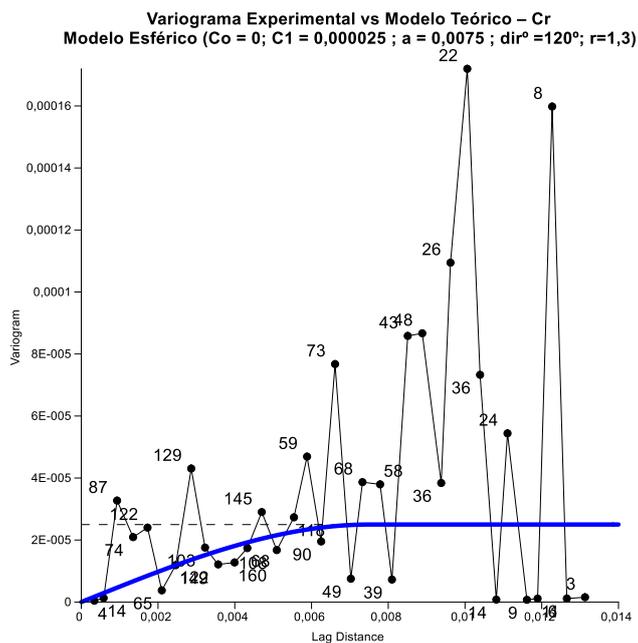


Figura 45 - Variograma ajustado do elemento Cr (Prq. da Cidade).

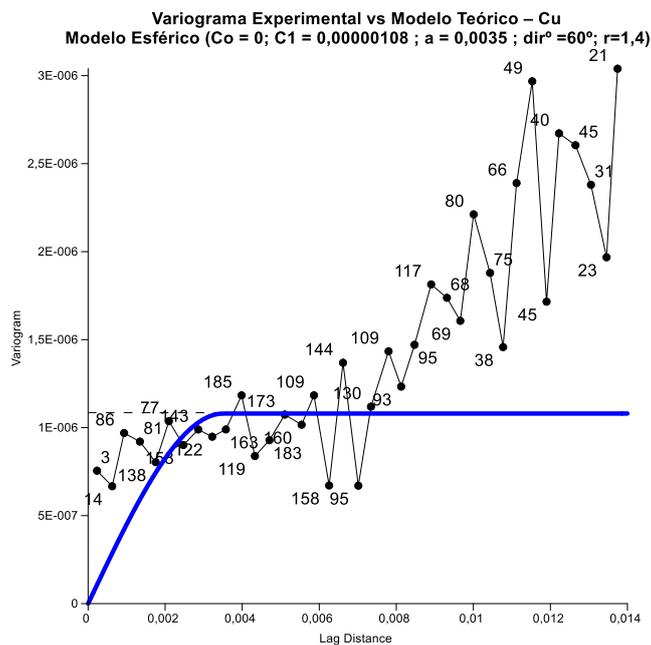


Figura 46 - Variograma ajustado ao elemento Cu (Prq. da Cidade).

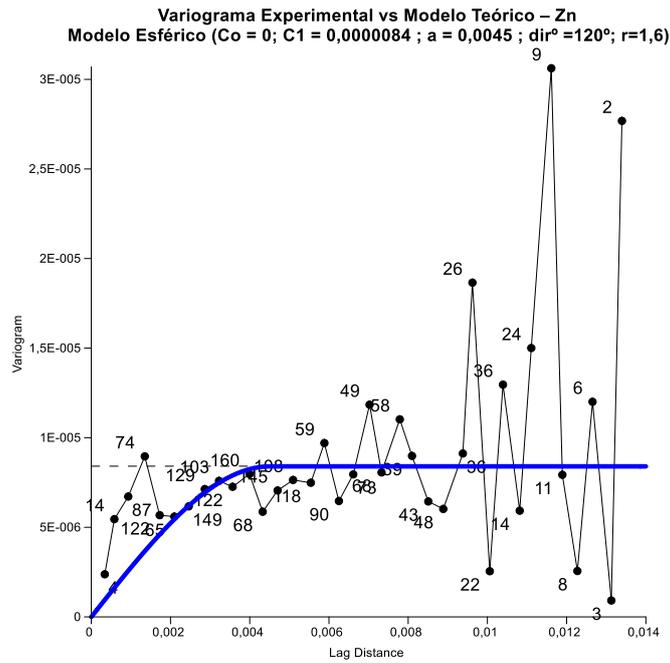


Figura 47 - Variograma ajustado do elemento Zn (Prq. da Cidade).

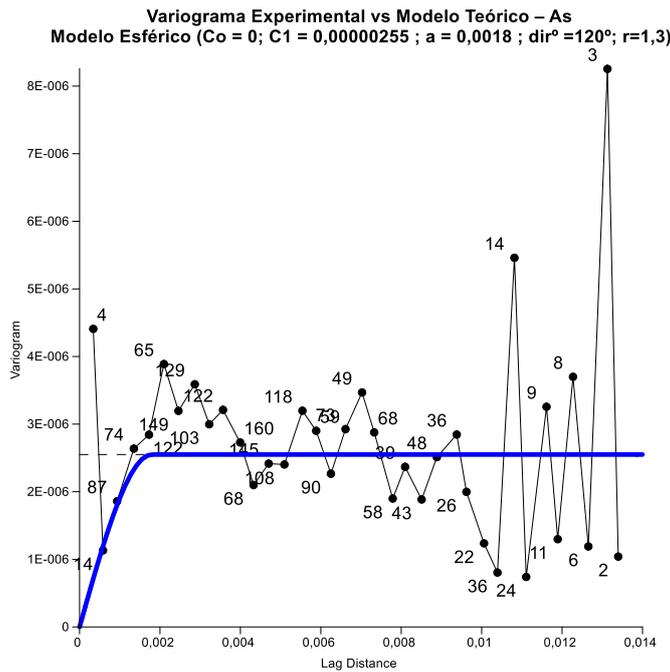


Figura 48 - Variograma ajustado do elemento As (Prq. da Cidade).

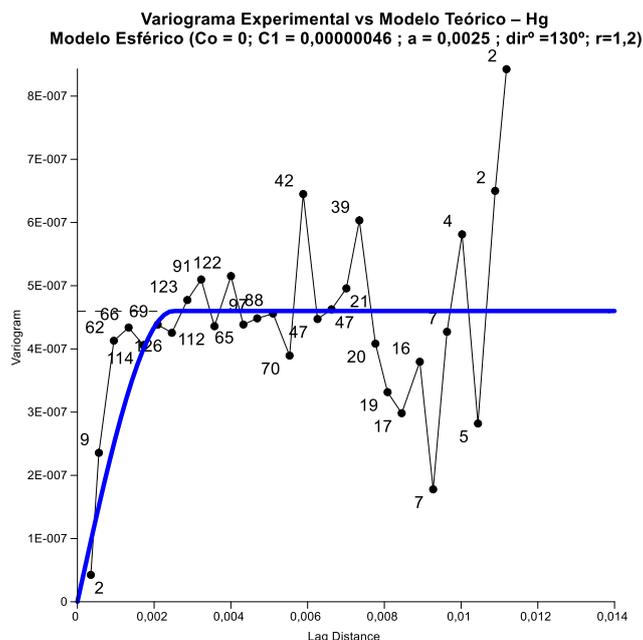


Figura 49 - Variograma ajustado do elemento Hg (Prq. da Cidade).

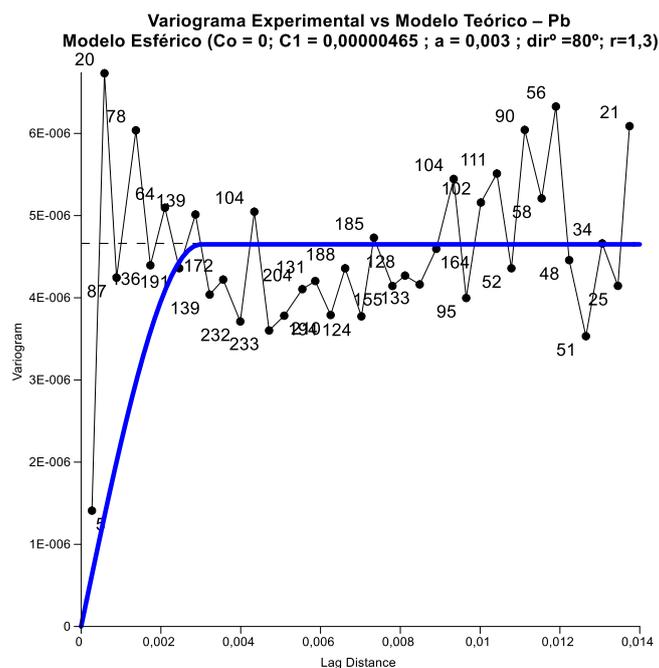


Figura 50 - Variograma ajustado do elemento Pb (Prq. da Cidade).

Tabela 19 - Análise estrutural: Variogramas teóricos (Prq. da Cidade).

	Cr	Cu	Zn	As	Hg	Pb
<b>Modelo</b>	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
<b>Alcance (a)</b>	0.0075	0.0035	0.0045	0.0018	0.0025	0.003
<b>Efeito pepita (C<sub>0</sub>)</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Dist. intrapatamar (C<sub>1</sub>)</b>	0.000025	0.00000108	0.0000084	0.00000255	0.00000046	0.00000465
<b>Dir. principal de anisotropia</b>	120°	160°	120°	120°	130°	80°
<b>Razão de anisotropia</b>	1.3	1.4	1.6	1.3	1.2	1.3

Analisando os variogramas anteriores e as tabelas 16, 17, 18 e 19, é possível tecer algumas considerações:

- O modelo esférico é o modelo teórico que melhor ajusta todos os variogramas experimentais dos quatro espaços verdes públicos;
- Sendo o alcance a distância a partir da qual as amostras deixam de estar espacialmente correlacionadas, os alcances dos modelos ajustados, que se encontram entre os 0.0009 e os 0.0011 graus para o Jardim de S.Lázaro, entre 0.0010 e os 0.0017 graus para a Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista), nos 0.0011 graus para a Praça da República e entre 0.0018 e os 0.0035 graus para o Parque da Cidade, demonstram que existe correlação espacial entre os valores da variável contaminação nestes quatro locais separadamente;
- A análise variográfica nas diferentes direções demonstrou a existência de uma anisotropia geométrica para todos os elementos. A razão de anisotropia varia entre 1 e 1.9 para o Jardim de S.Lázaro, entre 1.3 e 1.5 na Rotunda da Boavista, entre 1.2 e 1.5 na Praça da República e entre 1.2 e 1.6 no Parque da Cidade. As direções principais de anisotropia encontram-se no primeiro e segundo quadrantes para os quatro espaços verdes;
- O modelo que ajusta todos os variogramas experimentais é o modelo esférico, este modelo apresenta um comportamento linear junto à origem e é descrito pela equação 12.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \cdot \left[ 1,5 \cdot \frac{h}{a} - 0,5 \cdot \frac{h^3}{a^3} \right] & h \leq a \\ C & h > a \end{cases} \quad [\text{Eq. 12}]$$

## 7.2 Estimação por krigagem

Após a análise estrutural através do ajuste dos variogramas aos modelos teóricos é necessário realizar a estimação dos locais não amostrados. O conceito de estimação é a avaliação de uma grandeza desconhecida recorrendo a informação já existente. Assim, usando os parâmetros dos modelos ajustados é possível proceder à krigagem dos valores. A krigagem é considerada um método de estimação do tipo BLUE (*Best Linear*

*Unbiased Estimator*), ou seja, apresenta estimativas não enviesadas e com minimização da variância de estimação associada ao valor a determinar. As estimativas geoestatísticas possuem uma qualidade superior dado que fazem uso da função variograma, que permite identificar a presença de anisotropias na V.R. Assim, a existência ou ausência de correlação espacial indicará se será aplicada krigagem ou interpolação no processo de inferência espacial (Rosa, 2016; Lopes, 2013).

Os pontos são estimados através da combinação linear ponderada das amostras disponíveis. A estimação de um valor  $Z^*$  na posição  $x_0$  é dada por:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad [\text{Eq. 13}]$$

Onde:

$n$  – número de amostras disponíveis de  $Z(x)$  envolvidas na estimação de  $Z^*(x_0)$ ;

$\lambda_i$  – representa os pesos associados a cada valor medido de  $Z(x_i)$ .

Para garantir o não enviesamento do estimador e a variância da estimativa mínima são necessárias duas premissas. A primeira é assegurada pela obrigação da soma dos pesos das amostras ser igual a 1. Para que a variância da estimativa seja mínima é necessário a verificação da primeira condição. Após verificadas todas as condições introduz-se o multiplicador de Lagrange para a dedução das equações de krigagem.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad [\text{Eq. 14}]$$

$$\text{Var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = \text{mínimo}$$

O sistema de krigagem resultante e a variância de estimação são:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x_j) \quad [\text{Eq. 15}]$$

$$\sigma_E^2 = \mu + \sum \lambda_i \gamma(x_i, x_0)$$

O sistema de krigagem acima descrito admite somente uma solução para os  $n$  pesos e um multiplicador de Lagrange contendo  $n+1$  equações com igual número de incógnitas. A matriz  $A$  representa as covariâncias das amostras,  $b$  é o vetor das covariâncias do ponto a estimar e  $\lambda$  é o vetor que contém os pesos  $\lambda_i$  e o multiplicador de Lagrange.

$$\begin{aligned} A\lambda &= b \\ \lambda &= A^{-1}b \end{aligned} \quad [\text{Eq. 16}]$$

A matriz  $A$  é simétrica e a sua diagonal principal é igual a zero ou igual ao valor do efeito pepita. Para derivar os pesos de krigagem é necessário acrescentar uma coluna e uma linha para garantir que a soma dos pesos seja igual a 1. Os valores das matrizes  $A$  e  $b$  são dependentes da introdução do multiplicador de Lagrange.

$$A = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_1) & \gamma(x_1, x_2) & \dots & \gamma(x_1, x_n) & 1 \\ \gamma(x_2, x_1) & \gamma(x_2, x_2) & \dots & \gamma(x_2, x_n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(x_n, x_1) & \gamma(x_n, x_2) & \dots & \gamma(x_n, x_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_0) \\ \gamma(x_2, x_0) \\ \dots \\ \gamma(x_n, x_0) \\ 1 \end{bmatrix} \quad [\text{Eq. 17}]$$

Neste trabalho, todos os cálculos referentes ao método de krigagem foram realizados no *software* Surfer 13 e, o resultado final, são as representações espaciais que serão apresentadas no próximo subcapítulo.

### 7.3 Representação espacial

Com base na estimação por krigagem, é possível realizar a representação gráfica dos *outputs* tendo como suporte geográfico a planta de cada espaço verde em estudo. Os mapas seguintes apresentam a distribuição espacial dos metais pesados considerados mais relevantes no contexto ambiental, Arsénio, Cobre, Crómio, Zinco, Molibdénio, Chumbo e Mercúrio. As representações gráficas foram criadas no *software* Surfer 13

tendo por base todo o tratamento geoestatístico anteriormente efetuado e respetiva informação resultante.

Relativamente ao Jardim de S. Lázaro, e pela observação das figuras 48, 49 e 50 pode-se inferir que:

- Os pontos com concentrações mais elevadas dos três elementos correspondem às áreas de maior tráfego automóvel, sobretudo no cruzamento entre a Av. Rodrigues de Freitas e a Rua de D. João IV. Outro foco, a esquina do Passeio de S.Lázaro, pode advir de atividades antrópicas provocadas por uma elevada concentração populacional.
- É possível confirmar as informações retiradas da análise da estatística descritiva. O elemento Zn não possui concentrações acima do *target value*. Existem concentrações em Cu e Pb ligeiramente acima do *target value*, como anteriormente constatado, no entanto, estas não passam de situações pontuais, por isso não serão prejudiciais à saúde humana.

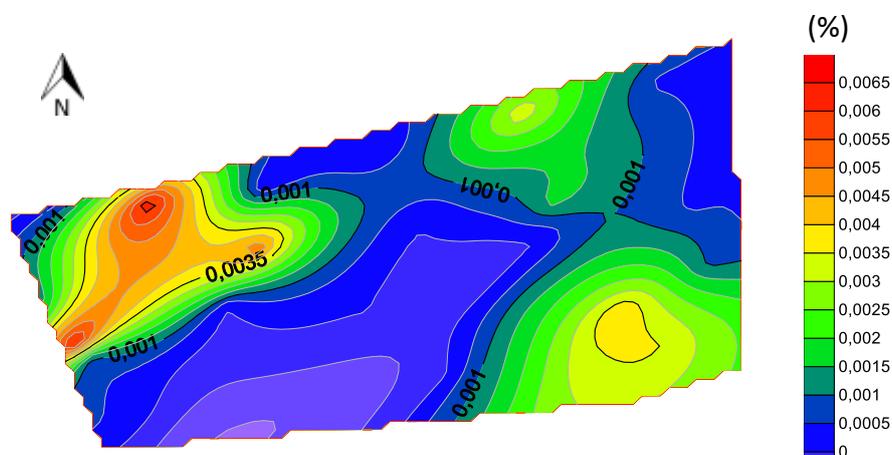


Figura 51 – Representação gráfica da distribuição espacial de Cu (Jd. de S.Lázaro).

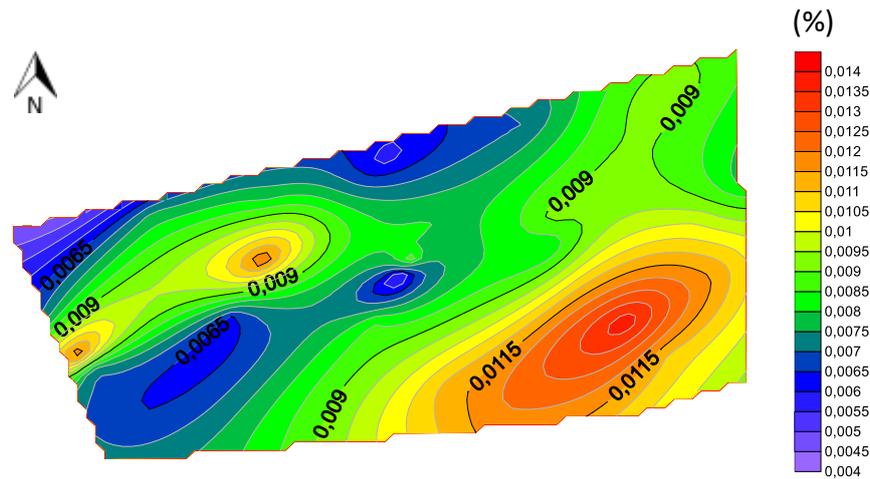


Figura 52 - Representação gráfica da distribuição espacial de Zn (Jd. de S.Lázaro)

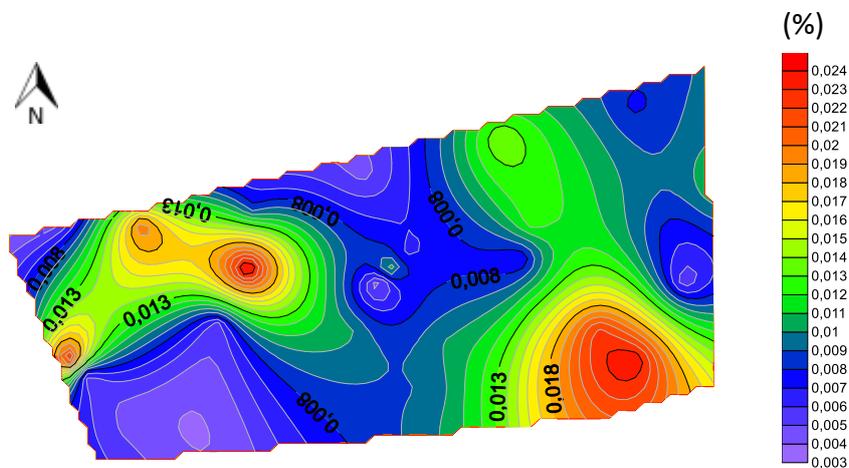


Figura 53 - Representação gráfica da distribuição espacial de Pb (Jd. de S.Lázaro).

Quanto à Rotunda da Boavista, a análise das figuras 51, 52, 53 e 54 permite concluir que:

- Para o caso do elemento Cr não existem vestígios de contaminação, porque embora no mapa seja possível observar uma pequena zona a vermelho (valores mais elevados de concentração), essas concentrações não ultrapassam o valor do *target value*.
- Para os restantes elementos, Cu, Zn e Pb os valores de contaminação acima do *target value* são situações pontuais assinaladas no mapa com cores quentes e tons de verde.
- As zonas do mapa assinaladas com valores de contaminação acima do *target value* são os locais mais próximos à rua que envolve a Rotunda da Boavista, ou seja, será uma contaminação associada ao elevado tráfego e libertação de gases combustíveis resultantes das paragens e esperas nos semáforos.

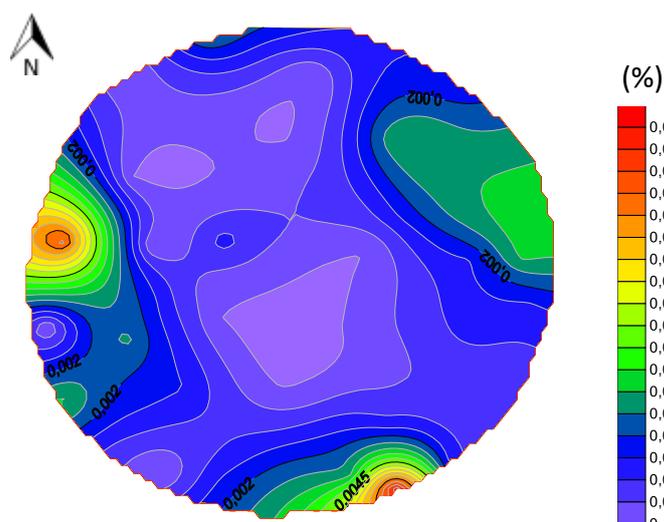


Figura 54 - Representação gráfica da distribuição espacial de Cr (Pç. Mouzinho de Albuquerque).

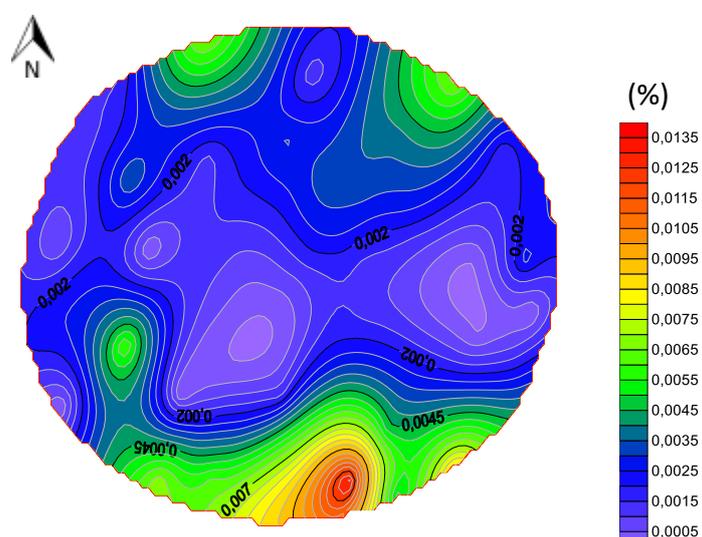


Figura 55 - Representação gráfica da distribuição espacial de Cu (Pç. Mouzinho de Albuquerque).

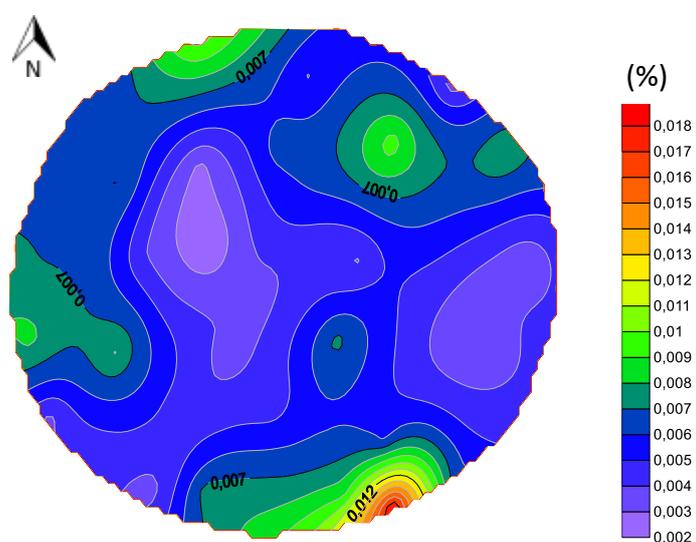


Figura 56 - Representação gráfica da distribuição espacial de Zn (Pç. Mouzinho de Albuquerque).

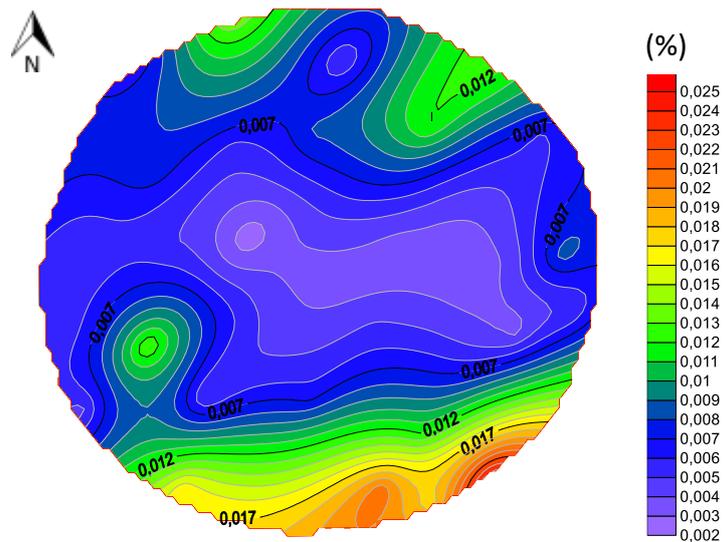


Figura 57 - Representação gráfica da distribuição espacial de Pb (Pç. Mouzinho de Albuquerque).

Para a Praça da República, e pela observação e análise das figuras 55, 56, 57 e 58 pode-se constatar que:

- As zonas de concentrações mais elevadas (cores quentes nos mapas) estão mais presentes nos quatro lados da Praça da República, ou seja, nos locais mais próximos às vias públicas com elevado tráfego automóvel, cruzamentos entre ruas e avenidas e semáforos.
- De todas as áreas verdes em estudo, a Praça da República, é o local onde todos os elementos exibem uma área mais abrangente com concentrações acima do *target value*, no entanto estes não excedem o *intervention value*. Apesar dos valores não exigirem intervenção ambiental é recomendável que este local seja monitorizado para que estes valores não sejam prejudiciais à saúde humana.

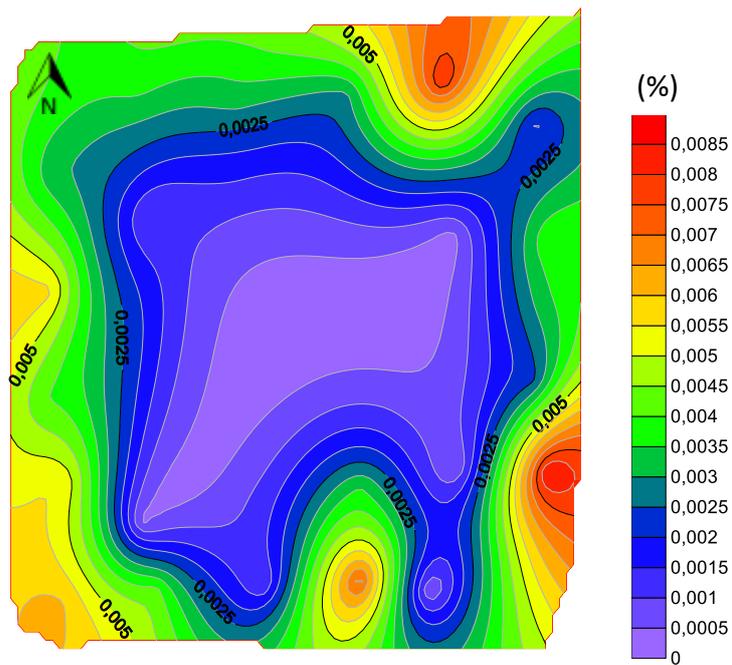


Figura 58 - Representação gráfica da distribuição espacial de Cu (Pç. da República).

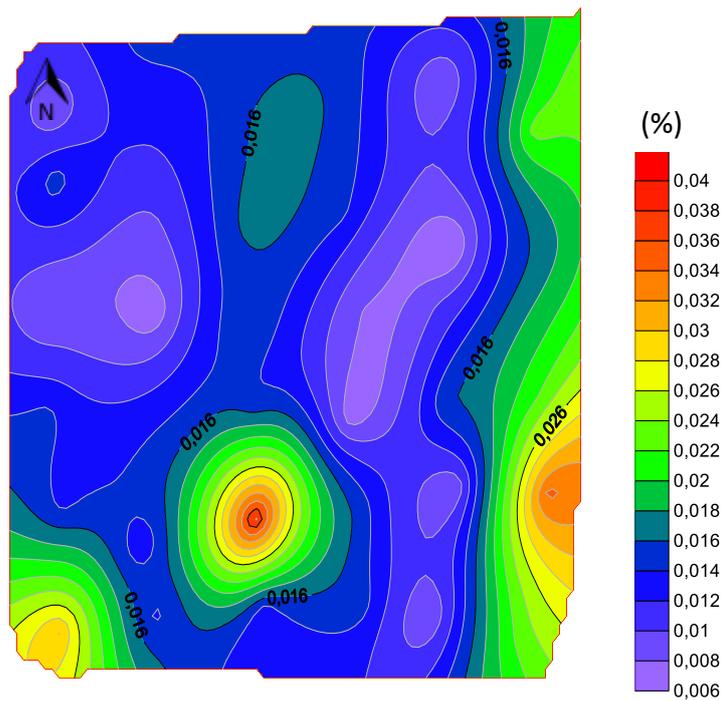


Figura 59 - Representação gráfica da distribuição espacial de Zn (Pç. da República).

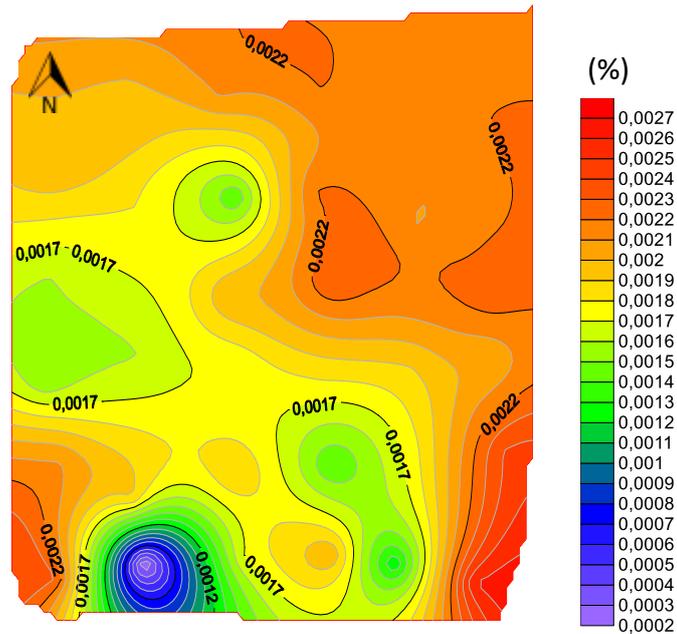


Figura 60 - Representação gráfica da distribuição espacial de Mo (Pç. da República).

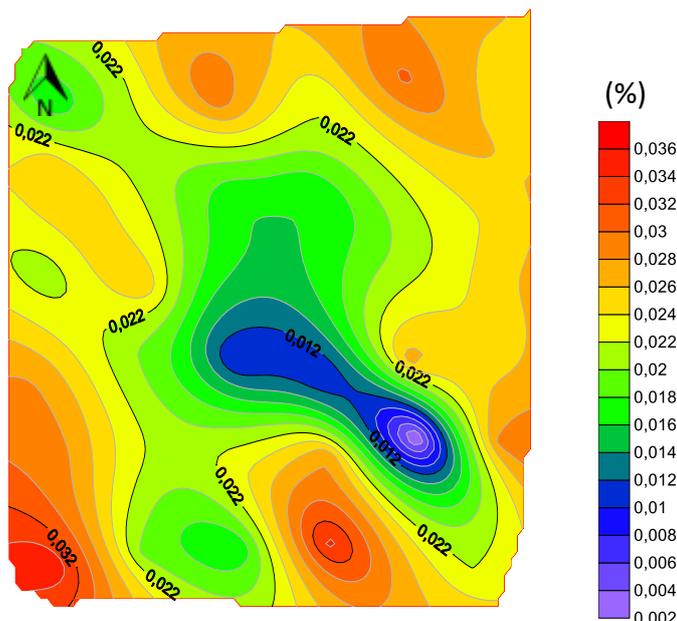


Figura 61 - Representação gráfica da distribuição espacial de Pb (Pç. da República).

Pela análise das figuras 59 a 64, referentes aos mapas de distribuição espacial dos elementos no Parque da Cidade pode-se constatar que:

- Relativamente aos elementos Cr, As e Hg, existem concentrações destes superiores ao *intervention value*. Embora sejam casos pontuais é necessário monitorizar a área e, se necessário, recorrer à reabilitação da mesma. Em particular, nos elementos As e Cr, a reabilitação será facilitada porque a

contaminação possui o seu foco apenas numa zona específica. Faz notar que os valores elevados em As e Hg podem resultar de limitações do equipamento utilizado, em particular, a sobreposição de espectros que, de alguma forma, alterem os valores medidos. Para ultrapassar estas limitações haveria que proceder a análises químicas nos locais onde ocorrem as concentrações elevadas.

- No caso dos restantes elementos, as concentrações mais elevadas são superiores ao *target value*, mas não ultrapassam o *intervention value*. Todavia tratam-se de situações pontuais como é possível observar nas figuras.
- Em todos os elementos as concentrações mais elevadas, como era de esperar, encontram-se junto à rotunda da “*She Changes*” ou à Estrada da Circunvalação, devido ao elevado tráfego automóvel e grande concentração populacional.

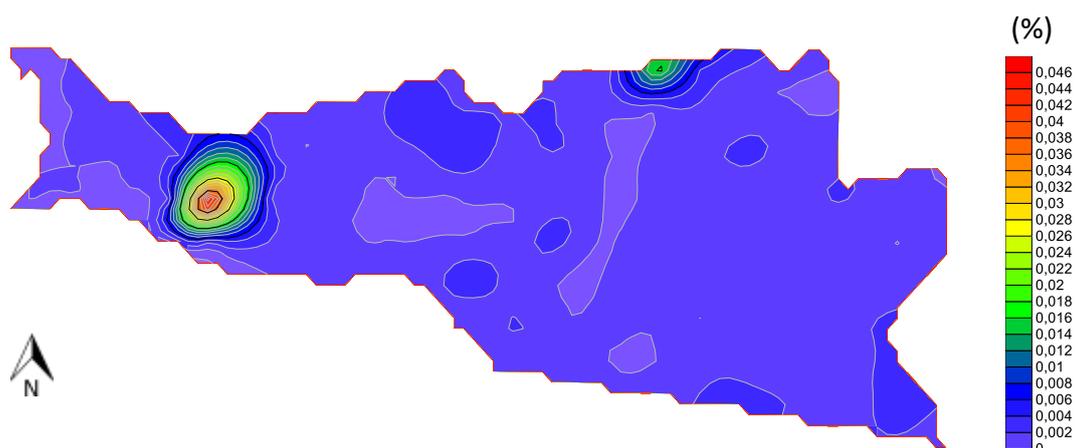


Figura 62 - Representação gráfica da distribuição espacial de Cr (Prq. da Cidade).

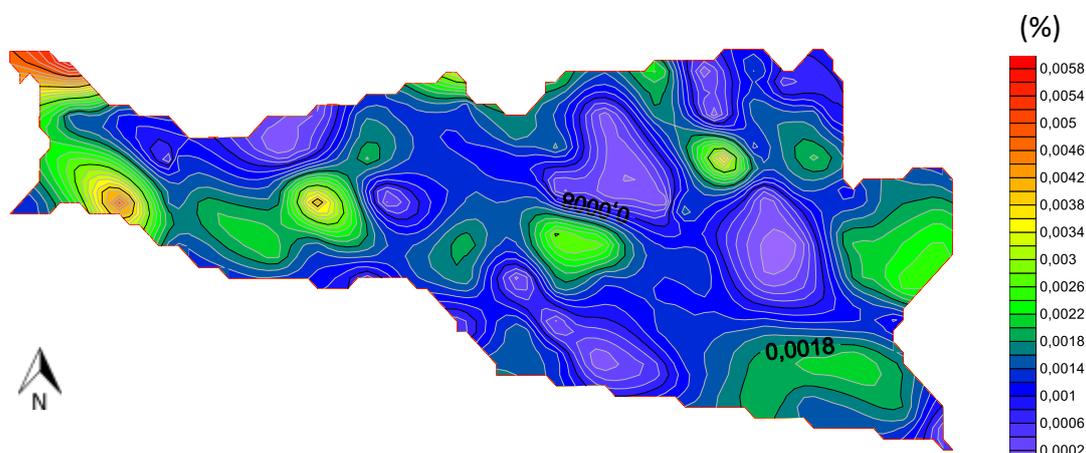


Figura 63 - Representação gráfica da distribuição espacial de Cu (Prq. da Cidade).

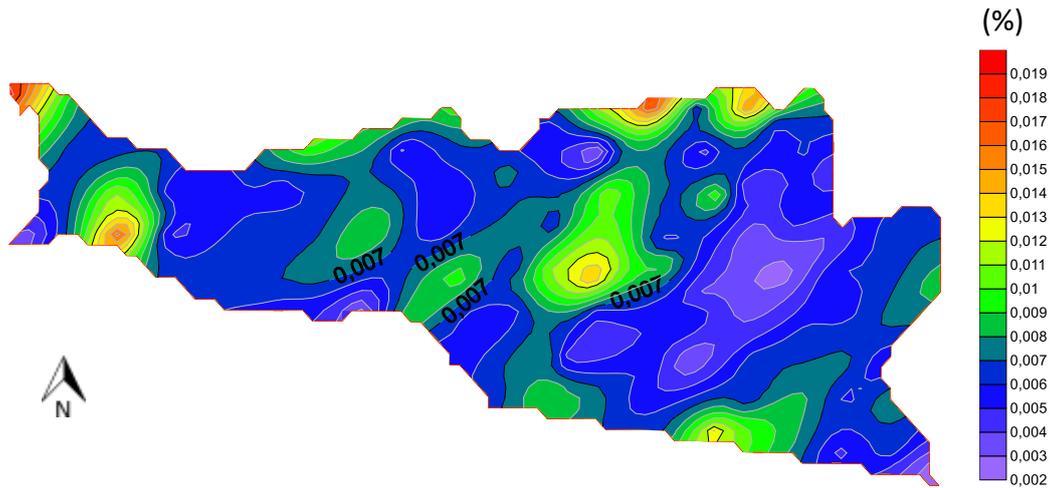


Figura 64 - Representação gráfica da distribuição espacial de Zn (Prq. da Cidade).

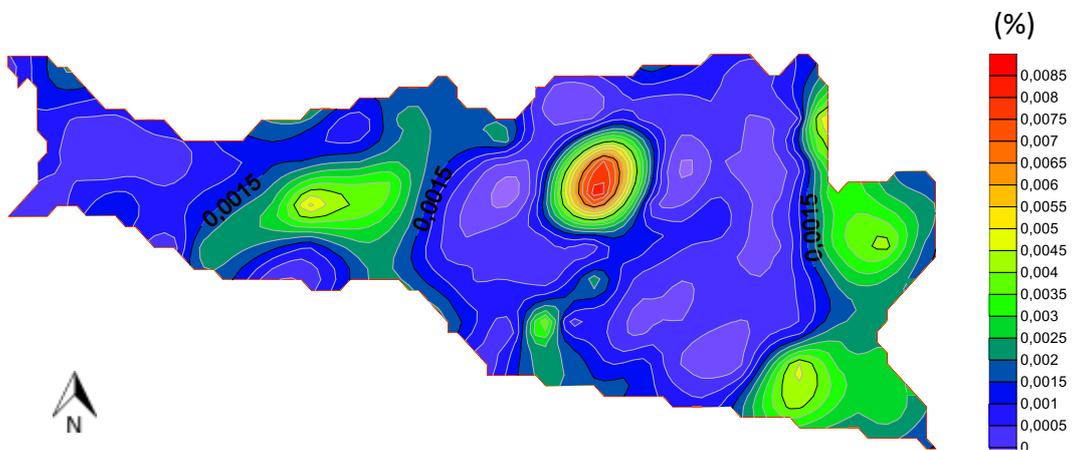


Figura 65 - Representação gráfica da distribuição espacial de As (Prq. da Cidade).

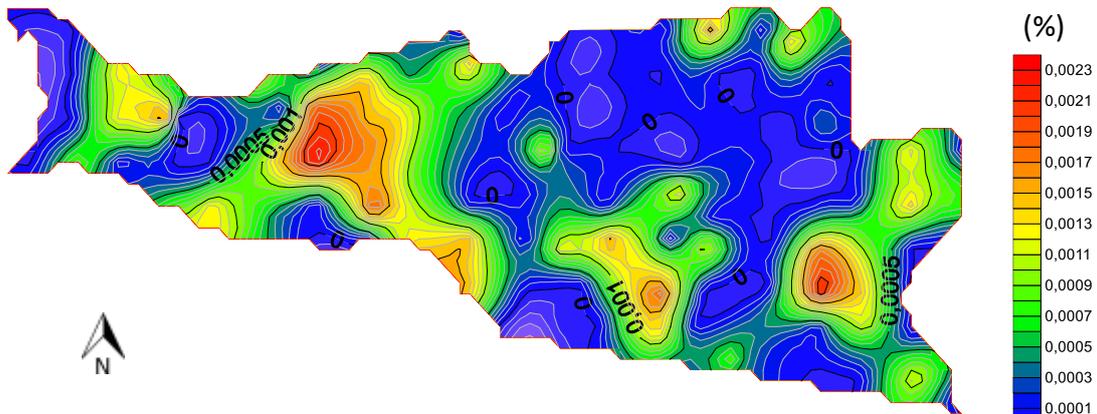


Figura 66 - Representação gráfica da distribuição espacial de Hg (Prq. da Cidade).

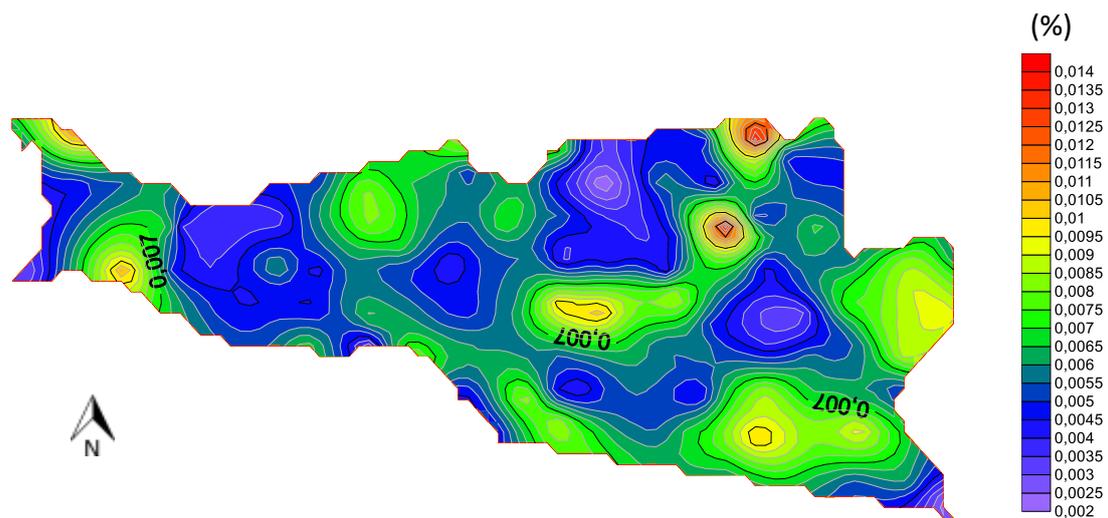


Figura 67 - Representação gráfica da distribuição espacial de Pb (Prq. da Cidade).

## Capítulo 8 – Considerações finais

### 8.1 Conclusões

Após as considerações parcelares que foram retiradas ao longo dos capítulos e subcapítulos deste trabalho, procura-se agora apresentar as conclusões principais desta dissertação indo ao encontro dos seus objetivos inicialmente propostos.

Apesar da existência de estudos anteriores mais pormenorizados (elevada densidade da malha de amostragem na cidade do Porto) relativos à contaminação de solos por metais pesados na cidade do Porto, nunca antes foi efetuado um estudo dirigido específica e diretamente orientado para os espaços verdes públicos desta cidade. Excetuam-se desta tendência os trabalhos preliminares desenvolvidos por Ana Monteiro nos anos 90 (Monteiro, 1997). Espaços esses de grande importância para o meio ambiente envolvente e para a promoção do bem-estar dos habitantes da cidade. É de salientar que o estudo da dispersão de metais pesados nestes locais é fundamental para a identificação, deteção e posterior monitorização, de possíveis focos de contaminação em espaços com finalidades de desporto e lazer.

Relativamente à dispersão espacial e concentração dos metais pesados, uma primeira conclusão surge na identificação dos locais, dentro dos espaços verdes estudados, com concentrações elevadas.

Os espaços verdes públicos com altos valores (maioritariamente acima do *target value*) nos elementos mais comuns (Cu, Zn e Pb) situam-se essencialmente nos jardins do centro da cidade, onde ocorre intenso tráfego automóvel. Provavelmente estes valores poderão advir de emissões gasosas libertadas pelos automóveis, ou por partículas com origem no sistema de frenagem dos automóveis. Salienta-se o Parque da Cidade, zona Ocidental do Porto, cujos focos de elevadas concentrações localizam-se nas imediações da rede viária. Todavia, os valores acima do *intervention value* de Cr, As e Hg, por serem situações pontuais, podem ter uma origem diferente, devido a fenómenos particulares ou devido a constrangimentos do equipamento utilizado nas campanhas de amostragem. A movimentação de terras vindas de outros locais para a construção do Parque da Cidade é também uma possível explicação para as elevadas concentrações em As e Hg.

A análise dos estatísticos descritivos, além de fornecer informação para as fases posteriores do tratamento estatístico subsequentes, permitiu, observar e compreender o comportamento individual de cada elemento em estudo.

A utilização de técnicas no âmbito da Estatística Multivariada, em particular, a aplicação da Análise em Componentes Principais (ACP) possibilitou a definição de tipologias de ocorrência de metais pesados associados quer entre os diferentes elementos, quer destes com os diferentes espaços verdes estudados. Realça-se, pela sua importância, a forte associação entre os elementos Cu, Pb e Zn. Este fenómeno é particularmente visível no Jardim de S.Lázaro, na Praça da República e na Rotunda da Boavista.

Consubstanciando uma *praxis* há muito estabelecida na representação espacial de variáveis regionalizadas, os tratamentos geoestatísticos efetuados provaram, uma vez mais, a sua aplicabilidade no estudo da distribuição espacial dos metais pesados. Desta abordagem relevam como principais resultados e conclusões a quantificação (em termos de concentrações dos elementos) da dispersão espacial dos metais pesados analisados, tendo em consideração a estrutura espacial dos dados.

Considerando os resultados obtidos que decorrem da análise geoestatística impõe-se a monitorização dos espaços verdes que exibem concentrações, em determinados elementos, acima do *target value*, isto é, e pela análise dos mapas produzidos, em todos os espaços verdes para a quase totalidade dos elementos analisados (exceção feita às concentrações de Zn e Cr no Jardim de S.Lázaro e na Rotunda da Boavista, respetivamente). Considerando ainda, as representações cartográficas dos elementos estudados torna-se imperativo a intervenção urgente nos locais identificados com valores superiores ao *intervention value*, Parque da Cidade para os elementos Cr, As e Hg.

## **8.2 Perspetivas futuras**

Trabalhos com a natureza do agora apresentado são sempre estudos inacabados. Tendo consciência que a metodologia proposta corresponde a uma análise estática (no espaço e no tempo) da fenomenologia em estudo, sugere-se, em trabalhos futuros, uma revisitação dos locais analisados nesta dissertação a fim de estudar a evolução das concentrações dos metais pesados.

Existe a consciência que esta tese privilegia a constatação em detrimento da explicação, não aprofundando as razões pelas quais se constatam, para determinados espaços verdes, a ocorrência de elevadas concentrações em alguns metais pesados. Esta insuficiência pode ser ultrapassada, em trabalhos futuros, por análises posteriores que tenham em linha de conta, no passado e no presente, o tipo e ocupação dos solos, a origem dos terrenos, fenómenos antrópicos com repercussões sobre os solos, condições ambientais envolventes, ciclicidade da intensidade do tráfego associada aos dias da semana, etc.

Em trabalhos futuros impõe-se a necessidade de incorporar os elementos climáticos enquanto importantes agentes da dinâmica da dispersão espacial de metais pesados. Como novas abordagens a explorar em trabalhos futuros aponta-se o estudo da variância de krigagem por forma a quantificar a incerteza associada às representações obtidas pelo tratamento geoestatístico, o uso da co-krigagem tirando partido das correlações assinaladas pela ACP e a utilização de metodologias envolvendo a krigagem da indicatriz que permitem pormenorizar as zonas com valores acima do *target value* e do *intervention value*.

Em trabalhos futuros sugere-se também a extensão das abordagens propostas a outros espaços verdes da cidade do Porto.

Para alguns metais pesados registados, como é o caso do Urânio, a legislação Holandesa não invoca valores de *target* ou de *intervention value*. Assim, é importante, com auxílio de outras ferramentas e legislação, procurar analisar e interpretar as consequências que advêm da dispersão espacial destes elementos.



## Referências bibliográficas

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2019) – *Public Health Statement for Lead*. Atlanta: US Department of Health and Human Services.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2017) – *Priority List of Hazardous Substances 2017*. Atlanta: US Department of Health and Human Services.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2017) – *Public Health Statement for Molybdenum*. Atlanta: US Department of Health and Human Services.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2012) – *Public Health Statement for Chromium*. Atlanta: US Department of Health and Human Services.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2007) – *Public Health Statement for Arsenic*. Atlanta: US Department of Health and Human Services.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2005) – *Public Health Statement for Zinc*. Atlanta: US Department of Health and Human Services.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2004) – *Public Health Statement for Copper*. Atlanta: US Department of Health and Human Services.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (1999) – *Public Health Statement for Mercury*. Atlanta: US Department of Health and Human Services.

ALLOWAY, B. (1995a) – *Heavy Metals in Soils*. London: Blackie Academic & Professional. 368p.

ANDRESEN, T., MARQUES, T. (2001) – *Jardins Históricos do Porto*. Lisboa: Edições Inapa

ARAÚJO, I. (1979) – *Jardins, Parques e Quintas de Recreio no Aro do Porto*. Comunicação ao Colóquio “O Porto na época Moderna”, Separata da Revista de História. (Vol. II), 5-17.

ASCENSO, R. (2011) – *Fluorescência de raios-X no controlo da qualidade de amostras sólidas*. Coimbra, Departamento de Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

BAYCAN-LEVENT, T., VREEKER, R., & NIJKAMP, P. (2009) – *A Multi-Criteria Evaluation of Green Spaces in European Cities*. *European Urban and Regional Studies*, 16(2), 193–213.

BOLUND, P., HUNHAMMAR, S. (1999) – *Ecosystem services in urban areas*. *Ecological Economics*, v. 29, n. 2, p. 293–301.

CAIRES, S. (2009) – *Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade*. Dissertação apresentada para obtenção do título de *Doctor Scientiae*. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Viçosa, Minas Gerais – Brasil.

CARLON, C. (Ed.) (2007) – *Derivation methods of soil screening values in Europe*. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. European Commission, Joint Research Centre, Ispra, EUR 22805-EN, 306 pp.

CHAVES, E. (2008) – *Absorção de metais pesados de solo contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de plantas *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia echinata**. Manaus, Universidade Federal do Amazonas Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação Doutorado em Biotecnologia.

CURRAN-COURNANE, F., LEAR, G., SCHWENDENMANN, L., KHIN, J. (2015) – *Heavy metal soil pollution is influenced by the location of green spaces within urban settings*. CSIRO publishing. *Soil Research*, 53, p 306-315.

ELMQVIST, T., SETALA, H., HANDEL, S., PLOEG, S., ARONSON, J., BLIGNAUT, J., BAGGETHUN, E., NOWAK, D., KRONENBERG, J. and GROOT, R. (2015) – *Benefits of restoring ecosystem services in urban areas*. Current Opinion in Environmental Sustainability, 14, 101–108. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>.

FERNÁNDEZ, Z. (2017) – *Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas*. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares para obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de Concentração: Dosimetria e Instrumentação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

FERRETTI, M. (2008) – *Princípios e aplicações de espectroscopia de fluorescência de Raios X (FRX) com instrumentação portátil para estudo de bens culturais*. Revista CPC, São Paulo, n. 7, pp. 74-98

GASIOREK, M., KOWALSKA, J., MAZUREK, R., PAJAK, M. (2017) – *Comprehensive assessment of heavy metal pollution in topsoil of historical urban park on an example of the Planty Park in Krakow (Poland)*. Chemosphere 179, p 148-158.

GÓIS, J. (2002) – *Contribuição dos modelos estocásticos para o estudo da climatologia urbana*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

HAIR, Jr., BLACK, W., BABIN, B., ANDERSON, R. e TATHAM, R. (2006) – *Multivariate Data Analysis*. 6ª edição. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

HONGYU, K., SANDANIELO, V., JUNIOR, G. (2016) – *Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação*. E&S - Engineering and Science, 5:1.

JAMES, P., TZOULAS, K., ADAMS, M., BARBER, A., BOX, J., BREUSTE, J., ELMQVIST, T., FRITG, M., GORDONH, C., GREENINGI, K., HANDLEYJ, J., HAWORTHK, S., KAZMIERCZAKA, A., JOHNSTONL, M., KORPELAM, K, MORETTIN, M., NIEMELÃO, J., PAULEITP, S., ROEQ,

M., SADLERR, J., THOMPSONS, C. (2009) – *Towards an integrated understanding of green space in the European built environment*. Urban Forestry & Urban Greening, 8(2), 65–75.

KHAN, S., MUNIR, S., SAJJAD, M., LI, G. (2016) – *Urban park soil contamination by potentially harmful elements and human health risk in Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan*. Journal of Geochemical Exploration 165, p 102–110.

LADO, L., HENGL, T., REUTER, H. (2008) – *Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database*. Geodema 148 p189-199.

LIN, M., LI, S., SUN, X., YANG S., LI, J. (2017) – *Heavy metal contamination in green space soils of Beijing, China*. Acta agriculturae scandinavica, section B – Soil & Plant Science.

LOPES, J. (2013) – *Tratamento geoestatístico dos dados provenientes da prospeção geolétrica. O caso de estudo de Kajol – Peru*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

MADUREIRA, H. (2016) – *Promover os serviços ecossistémicos urbanos com infraestruturas verdes*. In L. Lourenço (Ed.), Geografia, paisagem e riscos : livro de homenagem ao Prof. Doutor António Pedrosa (pp. 141-161). Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 141-161 DOI: [hMp://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-1233-1\\_7](https://doi.org/10.14195/978-989-26-1233-1_7)

MADUREIRA, H. (2012) – *Infra-estrutura verde na paisagem urbana contemporânea: o desafio da conectividade e a oportunidade da multifuncionalidade*. Revista da Faculdade de Letras – Geografia – Universidade do Porto, III série, vol. I, p. 33 -43.

NASKRÊT, H., RÓAŃSKI, S., BARTKOWIAK, A. (2016) – *Forms and mobility of trace elements in soils of park areas from the city of Bydgoszcz, north Poland*. Soil Science Annual, vol. 67, No. 2, p 73–78. DOI: 10.1515/ssa-2016-0010

MONTEIRO, Ana (1997) – *O clima urbano do Porto. Contribuição para a Definição das Estratégias de Planeamento e Ordenamento de Território*. Ed. Fundação Calouste

Gulbenkian, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica. ISBN: 972-31-0750-3

PARVEEN, N., GHAFAR, A., SHIRAZI, S., BHALLI, M. (2012) – *A GIS Based Assessment of Heavy Metals Contamination in Surface Soil of Urban Parks: A Case Study of Faisalabad City-Pakistan*. Geography & Natural Disasters. Mondal, J Geogr Nat Disast, 2:1.

PEREIRA, A., LIMA, E., SANTOS, A., SOBRINHO, N. (2015) – *Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo*. Incaper - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Capítulo 4, pp.71-89.

RIBEIRO, M. (2013) – *Contaminação do solo por metais pesados*. Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Lisboa.

ROSA, A. (2016) – *Contributos dos modelos geomatemáticos no estudo da dispersão espacial de metais pesados em solos urbanos*. Dissertação submetida para satisfação dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia de Minas e Geo-ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

SANTOS, E., GAMA, E., FRANÇA, R., SOUZA, A., MATOS, R. (2013) – *Espetrometria de fluorescência de raios-X na determinação de espécies químicas*. Instituto Multidisciplinar em Saúde Universidade Federal da Bahia.

SEIJO, A., ANDRADE, M., VEGA, F. (2015) – *Origin and spatial distribution of metals in urban soils*. Phytoremediation of polluted soils: Recent progress and developments. J Soils Sediments. DOI: 10.1007/s11368-015-1304-2

SILVA, M., VITTI, G. e TREVIZAM, A. (2007) – *Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação*. Pesq. agropec. Bras., Brasília, v.42, n.4, p.527-535.

SILVESTRE, A. (2007) – *Análise de dados e estatística descritiva*. Escolar Editora.

SOARES, A. (2000) – *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. Instituto Superior Técnico.

TZOULAS, K., KORPELA, K., VENN, S., YLI-PELKONEN, V., KAZMIERCZAK, A., NIEMELA, J. & JAMES, P. (2007) – *Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review*. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167–178.

## Páginas Web consultadas:

Câmara Municipal do Porto. Jardins e Parque Urbanos. <<http://www.cm-porto.pt/jardins-e-parques>> Acesso em: [25 mai. 2019].

Visit Porto. A sua viagem. Ruas e Jardins.

<<http://visitporto.travel/Visitar/Paginas/Viagem/Visitar.aspx?AreaType=3&Area=5>>

Acesso em: [25 mai. 2019].

GARSON, G. D. *Statnotes: Topics in Multivariate Analysis*. [Online] Disponível em

<<http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/statnote.htm>> Acesso em: [30 jun. 2019]



## Anexos



## Anexo 1

Anexo 1.1 – Tabela resumo das localizações e registos obtidos durante campanha de amostragem no Jardim de S.Lázaro.

Pontos	Lat. (N)	Long. (W)	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Ta	Pb
P1	41.14608°	-8.60321°	1.1641	2.857	0.1383	0.0111	1.048	0	0	0.0041	0.0153	0.0071	0.0091	0.0193	0.0009	0.0034
P2	41.14617°	-8.60303°	1.0675	8.1227	0.1577	0.0169	1.3367	0	0	0.0041	0.0156	0.0107	0.0082	0.0195	0.0005	0.0029
P3	41.14651°	-8.60301°	1.0086	11.5121	0.1671	0.0167	1.3764	0.0008	0	0.0037	0.0185	0.0173	0.0125	0.0285	0.0012	0.0034
P4	41.14616°	-8.60261°	1.4455	15.055	0.2389	0.0252	2.2311	0.0016	0	0.0058	0.0273	0.0231	0.0172	0.0384	0.0026	0.0046
P5	41.14642°	-8.60233°	1.7205	12.3838	0.2937	0.0247	1.9412	0.0004	0.0004	0.0086	0.0278	0.0217	0.0196	0.035	0.001	0.0071
P6	41.14649°	-8.60230°	1.9946	7.683	0.31	0.0214	1.7193	0	0.0041	0.0098	0.0274	0.0154	0.0132	0.0303	0.0027	0.0096
P7	41.14584°	-8.60329°	1.2215	11.3471	0.2525	0.0246	1.8926	0.0003	0	0.0065	0.0259	0.0192	0.0182	0.0309	0.0025	0.0062
P8	41.14606°	-8.60305°	1.7202	0.3038	0.21	0.0162	1.3287	0	0.0065	0.0076	0.0217	0.0054	0.014	0.0198	0.0022	0.0199
P9	41.14597°	-8.60284°	2.2478	0.7329	0.2571	0.0268	1.7741	0	0.005	0.0121	0.0294	0.0071	0.0118	0.024	0.0024	0.025
P10	41.14603°	-8.60253°	1.9316	7.5435	0.2817	0.0289	1.8781	0	0	0.0081	0.0336	0.0198	0.0181	0.0354	0.0025	0.007
P11	41.14623°	-8.60234°	1.1477	0.2449	0.1265	0.0114	0.9211	0	0.0034	0.007	0.0143	0.0038	0.0062	0.0122	0.0017	0.0141
P12	41.14629°	-8.60208°	1.7461	11.6338	0.2413	0.0235	1.9824	0.0007	0.0004	0.0094	0.0295	0.0192	0.0196	0.0372	0.0028	0.0078
P13	41.14576°	-8.60316°	1.201	16.5605	0.2831	0.0328	2.41	0.0013	0.0008	0.0071	0.0282	0.0263	0.0226	0.0386	0.002	0.0056
P14	41.14579°	-8.60319°	2.0208	0.4995	0.2267	0.0189	1.2551	0	0.0064	0.0121	0.024	0.0067	0.0127	0.0181	0.0025	0.0232
P15	41.14609°	-8.60283°	2.0463	4.0974	0.22	0.0714	1.5231	0	0	0.0079	0.0284	0.0115	0.0157	0.0348	0.0021	0.0084
P16	41.14597°	-8.60256°	1.8042	9.2435	0.2753	0.0287	1.9245	0	0	0.009	0.0299	0.0159	0.0201	0.0332	0.0027	0.011
P17	41.14606°	-8.60228°	1.8395	4.3421	0.394	0.0252	1.7558	0.001	0.0017	0.0093	0.027	0.0136	0.0218	0.0285	0.0021	0.0126
P18	41.14613°	-8.60191°	2.3419	1.5303	0.2089	0.0177	1.3087	0	0.0004	0.0075	0.0266	0.009	0.0093	0.0305	0.0025	0.0113
P19	41.14564°	-8.60331°	1.0195	15.4649	0.1846	0.0221	1.8569	0.0012	0.0014	0.0076	0.0239	0.0205	0.0158	0.0279	0.0022	0.0084
P20	41.14586°	-8.60290°	1.2006	11.1037	0.2247	0.0236	2.041	0.0007	0	0.0063	0.0272	0.0188	0.0207	0.0367	0.0014	0.0053
P21	41.14600°	-8.60253°	1.6921	8.9296	0.3777	0.0256	1.9817	0	0	0.0076	0.0284	0.0176	0.0192	0.0311	0.0026	0.0067
P22	41.14594°	-8.60258°	1.0593	7.2405	0.1654	0.0158	1.3026	0	0	0.0051	0.0173	0.0116	0.0128	0.0222	0	0.0038

CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

---

<b>P23</b>	41.14599°	-8.60230°	1.8533	10.32	0.324	0.0318	2.5383	0.0011	0	0.008	0.0337	0.0198	0.0209	0.0363	0.0027	0.0069
<b>P24</b>	41.14605°	-8.60201°	1.5023	11.9531	0.2633	0.0281	2.2208	0.0005	0.0004	0.0098	0.029	0.0211	0.0221	0.0338	0.0017	0.0076
<b>P25</b>	41.14565°	-8.60309°	1.1118	13.3436	0.2594	0.0288	2.2114	0.0014	0.0004	0.0066	0.0279	0.0222	0.0215	0.0383	0.0009	0.0049
<b>P26</b>	41.14554°	-8.60319°	1.6325	1.8585	0.233	0.0209	1.3827	0	0	0.0079	0.0279	0.0127	0.012	0.0258	0.0006	0.0075
<b>P27</b>	41.14585°	-8.60263°	1.7049	10.8641	0.3423	0.0279	2.0297	0	0	0.0085	0.0272	0.0178	0.0239	0.0346	0.0017	0.0101
<b>P28</b>	41.14583°	-8.60246°	2.5616	5.3342	0.3099	0.0193	1.9209	0	0	0.0097	0.0303	0.0135	0.0195	0.0361	0.0027	0.0099
<b>P29</b>	41.14585°	-8.60215°	2.2173	0.7535	0.2631	0.0215	1.4667	0	0.004	0.0139	0.028	0.008	0.0144	0.0237	0.0024	0.0222
<b>P30</b>	41.14594°	-8.60198°	1.3693	12.7121	0.2939	0.033	2.4739	0	0.0009	0.0114	0.0281	0.0223	0.0196	0.0335	0.0019	0.0053
<b>P31</b>	41.14573°	-8.60248°	2.4571	6.5505	0.5	0.038	3.0737	0	0	0.0113	0.0344	0.0142	0.0226	0.0378	0.0028	0.0091
<b>P32</b>	41.14579°	-8.60207°	1.9503	3.723	0.3199	0.0221	1.8261	0	0.0035	0.011	0.0322	0.0121	0.0189	0.027	0.0031	0.0238

Anexo 1.2 – Tabela resumo das localizações e registos obtidos durante campanha de amostragem na Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista).

Pontos	Lat. (N)	Long. (W)	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Ta	Pb
P1	41.15870°	-8.62989°	2.4257	0.4367	0.3286	0	0.0228	2.2585	0.0014	0.0062	0.0283	0.0092	0.0149	0.0274	0.0032	0.0063
P2	41.15884°	-8.62951°	1.8609	0.4868	0.2676	0.0028	0.0152	1.4641	0.0069	0.0108	0.0182	0.0077	0.0108	0.0177	0.0021	0.0145
P3	41.15868°	-8.62903°	1.6715	0.5891	0.2948	0	0.0221	1.7161	0.0012	0.0049	0.0216	0.0096	0.0177	0.0328	0.0026	0.0049
P4	41.15866°	-8.62839°	1.3661	0.1229	0.2072	0.0015	0.0122	1.6407	0.0067	0.0034	0.0182	0.0069	0.0135	0.0227	0.0024	0.0125
P5	41.15829°	-8.62985°	2.0337	0.6178	0.293	0	0.021	2.0198	0.0035	0.007	0.028	0.0092	0.0291	0.0204	0.0033	0.0078
P6	41.15836°	-8.62950°	0.9995	0.4446	0.1816	0	0.0135	1.0429	0.0013	0.0028	0.0169	0.0084	0.0281	0.0193	0.0023	0.0055
P7	41.15843°	-8.62915°	1.7698	0.8781	0.3298	0	0.0244	1.6549	0.0031	0.0066	0.0216	0.0104	0.0413	0.0328	0.0026	0.0082
P8	41.15844°	-8.62866°	1.8856	0.4073	0.2968	0.0029	0.0186	1.5141	0.0037	0.0095	0.0214	0.0086	0.0263	0.0227	0.0025	0.012
P9	41.15840°	-8.62818°	2.3433	0.7066	0.3105	0.0028	0.0226	1.8886	0.0017	0.0078	0.023	0.0096	0.0176	0.0263	0.0026	0.0057
P10	41.15805°	-8.63017°	1.6937	2.3963	0.2934	0.0078	0.0287	2.4652	0.0005	0.0068	0.0262	0.0124	0.0209	0.0287	0.0029	0.0054
P11	41.15803°	-8.62976°	1.689	1.1496	0.2569	0	0.0226	2.0281	0	0.0042	0.0256	0.0117	0.0118	0.0349	0.0028	0.0051
P12	41.15805°	-8.62944°	1.1296	0.4927	0.0925	0.0012	0.0088	0.5463	0.0013	0.0023	0.0077	0.0046	0.0038	0.0192	0.0004	0.0023
P13	41.15801°	-8.62881°	1.8312	0.3859	0.2723	0	0.0156	1.0654	0.0016	0.0039	0.0127	0.006	0.0083	0.0219	0.001	0.0035
P14	41.15798°	-8.62831°	1.9216	0.6253	0.2859	0.0015	0.0211	1.6886	0	0.0041	0.0216	0.0105	0.0171	0.0489	0.0025	0.0043
P15	41.15799°	-8.62808°	1.6234	0.1005	0.1594	0.0031	0.0084	1.3648	0.0027	0.0031	0.0238	0.0047	0.0102	0.0196	0.0028	0.0085
P16	41.15772°	-8.63024°	1.668	0.4325	0.2714	0	0.0271	2.108	0.0024	0.0082	0.0252	0.0097	0.015	0.0381	0.003	0.0052
P17	41.15767°	-8.62987°	1.6413	0.1794	0.3083	0.0026	0.0193	1.7152	0.0061	0.0081	0.0195	0.0062	0.0198	0.0197	0.0021	0.0132
P18	41.15776°	-8.62945°	1.6557	2.435	0.3639	0	0.0262	1.9616	0.0004	0.0041	0.0222	0.0122	0.0245	0.0333	0.0025	0.0056
P19	41.15772°	-8.62890°	1.8236	0.7355	0.3048	0	0.0218	1.4138	0.0018	0.0073	0.0147	0.0078	0.0185	0.0233	0	0.0054
P20	41.15771°	-8.62829°	1.3968	0.5036	0.2196	0.0013	0.02	1.6803	0	0.003	0.0213	0.0101	0.0155	0.0298	0.0023	0.0038
P21	41.15779°	-8.62805°	1.8711	0.4227	0.2822	0.0013	0.0225	2.1177	0	0.0043	0.0249	0.0091	0.0159	0.032	0.0032	0.0051
P22	41.15744°	-8.63016°	1.5442	0.3356	0.257	0.0031	0.019	1.8466	0	0.0038	0.0242	0.0074	0.0164	0.0392	0.0025	0.0046
P23	41.15749°	-8.62962°	1.449	2.785	0.2316	0.0015	0.0163	1.8404	0	0.0047	0.0208	0.0157	0.017	0.0304	0.0023	0.0049
P24	41.15749°	-8.62917°	1.7059	0.4163	0.2555	0	0.0179	1.5849	0.0013	0.0044	0.0198	0.0074	0.0106	0.0269	0.0023	0.0066
P25	41.15736°	-8.62869°	1.8738	0.3172	0.2429	0.0012	0.0141	1.3045	0.0047	0.0059	0.0177	0.0069	0.0092	0.0212	0.0021	0.0119

## CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

---

<b>P26</b>	41.15719°	-8.62839°	1.6305	0.0878	0.2139	0.0012	0.0168	1.7334	0.0094	0.0068	0.023	0.005	0.0127	0.0218	0.0022	0.0259
<b>P27</b>	41.15717°	-8.62972°	1.4538	0.1396	0.2079	0	0.0113	1.6915	0.0068	0.0036	0.0174	0.0061	0.0128	0.02	0.002	0.0167
<b>P28</b>	41.15717°	-8.62948°	2.0367	0.5472	0.2962	0.0013	0.0231	1.9146	0.0061	0.0073	0.0242	0.0083	0.0155	0.0225	0.0036	0.0152
<b>P29</b>	41.15716°	-8.62887°	2.0229	0.1657	0.2579	0.0028	0.0227	1.8941	0.0134	0.0087	0.0231	0.0059	0.0112	0.0193	0.003	0.0208
<b>P30</b>	41.15711°	-8.62865°	2.2193	0.2062	0.2081	0.0089	0.0198	1.5436	0.0048	0.0182	0.0299	0.0064	0.0093	0.0236	0.0033	0.0174

Anexo 1.3 – Tabela resumo das localizações e registos obtidos durante campanha de amostragem na Praça da República.

Pontos	Lat. (N)	Long. (W)	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Pb	U
P1	41.15494°	-8.61320°	2.342	0.3855	0.3242	0.0197	2.1349	0.0045	0.0224	0.026	0.0078	0.0013	0.022	0.0025	0.0026	0.022	0.001
P2	41.15501°	-8.61292°	2.8865	1.0545	0.235	0.0317	2.5588	0.0086	0.0346	0.0392	0.0094	0.0011	0.0138	0.0024	0.0024	0.0287	0.0014
P3	41.15498°	-8.61273°	2.6016	0.5197	0.2412	0.0257	2.0497	0.0024	0.0215	0.0343	0.0077	0.0012	0.0142	0.0021	0.002	0.0247	0.0016
P4	41.15500°	-8.61257°			0.2385	0.0241	1.8817	0.0033	0.0191	0.0342	0.0073	0.0013	0.017	0.0023	0.0023	0.0254	0.001
P5	41.15501°	-8.61244°	1.6515	0.2363	0.217	0.0216	1.7453	0.0039	0.0171	0.0321	0.006	0.0004	0.0115	0.0021	0.0022	0.0244	0.0009
P6	41.15498°	-8.61221°	2.5778	0.5082	0.2001	0.0205	2.0272	0.0019	0.0228	0.037	0.0068	0.0007	0.0127	0.0021	0.0022	0.0256	0.0005
P7	41.15474°	-8.61316°			0.2339	0.0066	1.2412	0.0005	0.0082	0.026	0.0105	0.0012	0.0119	0.001	0.0012		0.0009
P8	41.15480°	-8.61291°			0.2569	0.0112	1.176	0.0005	0.0083	0.0249	0.0101	0.0004	0.0105	0.0014	0.0018	0.0015	0.0013
P9	41.15478°	-8.61274°			0.2404	0.025	1.8324		0.0158	0.0344	0.0076	0.0017	0.0156	0.0022	0.0019	0.0268	0.0016
P10	41.15475°	-8.61254°	0.86	0.0894	0.2235	0.0067	2.031		0.0096	0.0336	0.0059	0.0009	0.0138	0.0023	0.0022	0.0207	0.001
P11	41.15479°	-8.61244°			0.2036	0.0078	1.6137	0.0003	0.0057	0.022	0.0067	0.0011	0.0139	0.002	0.0021		0.0009
P12	41.15477°	-8.61212°			0.221	0.0171	1.9734	0.008	0.0083	0.0357	0.0051	0.0013	0.0127	0.0021	0.0021	0.0305	0.0008
P13	41.15458°	-8.61314°			0.211	0.3855	1.9246	0.0073	0.0151	0.0329	0.0074	0.0011	0.0129	0.0018	0.002	0.0347	0.0009
P14	41.15458°	-8.61295°			0.1897	0.0197	1.9048	0.0035	0.0152	0.0312	0.0061		0.0129	0.0021	0.0014	0.0278	0.0006
P15	41.15456°	-8.61277°			0.1349	0.0123	1.2358		0.0068	0.0462	0.0053		0.0109	0.0023	0.0018	0.01	0.0005
P16	41.15458°	-8.61256°			0.2406		1.4543		0.0081	0.0299	0.0085	0.0007	0.0183	0.0019	0.0023		0.0008
P17	41.15454°	-8.61237°	0.9553	0.2405	0.2031	0.0206	1.6385		0.0145	0.0354	0.0065	0.0008	0.0114	0.0022	0.0022	0.0162	0.0014
P18	41.15455°	-8.61215°	1.9005	0.2845	0.2302	0.0181	1.9175	0.0029	0.0151	0.0377	0.0076	0.001	0.0151	0.0022	0.0022	0.0224	0.001
P19	41.15436°	-8.61315°			0.2561	0.0195	1.9158	0.0011	0.0127	0.0293	0.007	0.0012	0.0167	0.002	0.0017	0.0165	0.0015
P20	41.15434°	-8.61297°			0.2152	0.0227	1.8845	0.0011	0.0388	0.0343	0.0069	0.001	0.0128	0.0022	0.0019	0.0232	0.0015
P21	41.15434°	-8.61274°	0.99	0.1688	0.209	0.0129	1.3438		0.0144	0.0306	0.0075		0.0128	0.0017	0.0017	0.0101	0.001
P22	41.15432°	-8.61259°	1.634	0.25	0.2211	0.0186	1.503		0.0159	0.0316	0.0068		0.0125	0.0021	0.002	0.0154	0.001
P23	41.15434°	-8.61238°	1.2967	0.2008	0.1996	0.014	1.583		0.0172	0.0286	0.0057		0.0103	0.0016	0.0014	0.0166	0.006
P24	41.15430°	-8.61217°	0.7581	0.1164	0.2095	0.0185	1.9487	0.0031	0.0154	0.0332	0.0072	0.0007	0.0128	0.0021	0.0021	0.0295	0.0014

CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

---

<b>P25</b>	41.15411°	-8.61316°			0.2394	0.0209	1.8736	0.0042	0.0136	0.0284	0.0057	0.0009	0.0137	0.0018	0.00018	0.0196	0.0005
<b>P26</b>	41.15408°	-8.61302°			0.2499	0.0201	1.6828	0.0004	0.0125	0.0277	0.0095	0.0018	0.0181	0.0017	0.0019		0.0016
<b>P27</b>	41.15410°	-8.61272°			0.2109	0.0177	1.6985		0.012	0.034	0.0061	0.001	0.013	0.002	0.0016	0.02	0.0014
<b>P28</b>	41.15411°	-8.61257°	1.4062	0.0916	0.2161	0.0062	1.7509		0.0067	0.0299	0.0054	0.0004	0.0115	0.0019	0.0017	0.0262	0.0008
<b>P29</b>	41.15409°	-8.61240°			0.3402	0.0194	1.4811	0.001	0.0093	0.0264	0.009	0.0004	0.0174	0.0015	0.0018		0.0014
<b>P30</b>	41.15407°	-8.61213°			0.1875	0.0135	1.7201	0.0037	0.0132	0.0319	0.0055	0.0008	0.0113	0.0019	0.002	0.022	0.0011
<b>P31</b>	41.15389°	-8.61319°	2.3231	0.371	0.2843	0.0186	2.331	0.0061	0.0302	0.0303	0.0078	0.001	0.0187	0.0022	0.0023	0.0357	
<b>P32</b>	41.15390°	-8.61294°	1.6485	0.1912	0.2398	0.0185	2.0409	0.0054	0.0134	0.0373	0.007	0.0013	0.0148	0.0021	0.0021	0.0288	0.0011
<b>P33</b>	41.15386°	-8.61277°	2.4487	0.2318	0.2097	0.0194	1.8702	0.004	0.0147	0.0295	0.0065	0.0015	0.0148	0.0021	0.0015	0.0274	
<b>P34</b>	41.15387°	-8.61255°			0.2039	0.0154	1.8358	0.0056	0.008	0.0327	0.0057	0.0005	0.014	0.0016	0.0016	0.0207	0.005
<b>P35</b>	41.15388°	-8.61231°	2.4374	0.3137	0.2567	0.0224	1.8952	0.0031	0.015	0.0325	0.0067	0.0013	0.0151	0.0022	0.002	0.0254	0.0011
<b>P36</b>	41.15388°	-8.61217°			0.2168	0.0109	1.5777	0.0038	0.0083	0.0339	0.0059	0.0004	0.0135	0.0021	0.002	0.0163	0.001

Anexo 1.4 – Tabela resumo das localizações e registos obtidos durante campanha de amostragem no Parque da Cidade.

Pontos	Lat. (N)	Long. (W)	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Ba	Ta	Hg	Pb
P1	41.17154°	-8.68758°	1.2066	1.4745	0.1963	0	0.025	1.6327	0.0005	0.0045	0.0194	0	0.014	0.0098	0.0099	0.02	0.0006	0	0.0051
P2	41.16926°	-8.68715°	1.5802	2.0323	0.2163	0	0.0242	1.1187	0	0.0012	0.0033	0	0.013	0.011	0.0096	0.0201	0.0005	0	0.0032
P3	41.17159°	-8.68645°	2.0789	0.3264	0.3559	0	0.0284	2.3612	0.0015	0.0059	0.0084	0.0022	0.0203	0.0112	0.0196	0.0338	0.0021	0	0.0115
P4	41.17076°	-8.68643°	1.4688	1.1544	0.2208	0	0.013	1.0676	0	0.0013	0.0065	0.0004	0.013	0.0094	0.0126	0.0244	0	0	0.0045
P5	41.16998°	-8.68643°	1.8231	0.2253	0.2788	0	0.0231	1.5856	0.0008	0.0028	0.007	0.0005	0.0164	0.007	0.0129	0.0258	0.0024	0	0.0056
P6	41.16929°	-8.68640°	1.5474	0.1909	0.3537	0	0.021	2.3822	0.0013	0.0023	0.008	0.0006	0.0163	0.0041	0.0176	0.0237	0.0023	0.0009	0.0067
P7	41.17088°	-8.68573°	2.0936	0.2379	0.4025	0.0019	0.0563	2.1307	0.0008	0.0013	0.0062	0.0005	0.0192	0.0069	0.0229	0.025	0.0021	0.0013	0.0054
P8	41.17001°	-8.68576°	1.8003	0.4417	0.2879	0	0.0223	1.5813	0.0004	0.0024	0.0113	0	0.0195	0.0073	0.0197	0.0236	0.0024	0.0012	0.0073
P9	41.16934°	-8.68567°	2.2141	0.4162	0.3873	0	0.0388	2.9761	0.0017	0.0049	0.0169	0.0015	0.0205	0.0062	0.0137	0.024	0.0036	0	0.0108
P10	41.17075°	-8.68485°	1.7671	0.281	0.3025	0.0033	0.0235	1.9045	0.0012	0.0013	0.0069	0.001	0.017	0.0064	0.0169	0.021	0.002	0.0004	0.006
P11	41.17006°	-8.68478°	1.7956	0.8098	0.2535	0.0012	0.0247	1.3939	0.0003	0.0013	0.0051	0	0.0153	0.0089	0.0147	0.0213	0.0008	0	0.0041
P12	41.16933°	-8.68487°	1.0981	0.1927	0.2274	0.0025	0.0184	1.4107	0	0.0015	0.0048	0.0008	0.0109	0.0036	0.0114	0.0146	0.001	0	0.0047
P13	41.16864°	-8.68482°	1.7404	0.2401	0.3171	0	0.0196	1.9151	0.0005	0.0013	0.0064	0	0.0194	0.0063	0.0221	0.0235	0.0016	0.0008	0.0063
P14	41.17008°	-8.68491°	1.895	0.2273	0.3143	0.0021	0.0211	2.0717	0.0004	0.0003	0.0057	0	0.0202	0.0057	0.024	0.0235	0.0006	0.0017	0.0065
P15	41.16927°	-8.68428°	1.6976	0.9668	0.3443	0.0505	0.1751	2.464	0.0008	0.002	0.0055	0.0013	0.0144	0.0072	0.017	0.0295	0	0	0.004
P16	41.16863°	-8.68421°	1.6877	0.4166	0.2674	0.001	0.0343	1.4701	0	0.0016	0.0067	0.0025	0.0122	0.0044	0.0105	0.0126	0.0005	0.0013	0.005
P17	41.17075°	-8.68349°	2.1711	0.3175	0.2749	0.0012	0.0183	1.4884	0.0003	0.0004	0.0071	0.0018	0.0249	0.0072	0.0155	0.0209	0.0023	0.0013	0.005
P18	41.17016°	-8.68307°	1.3445	0.1667	0.2297	0	0.0114	1.3714	0	0	0.0054	0.0014	0.013	0.0039	0.012	0.0137	0.0009	0	0.0038
P19	41.16940°	-8.68318°	1.7383	0.1952	0.3038	0	0.0357	1.7599	0.0012	0.0016	0.0071	0.0023	0.0186	0.0054	0.0186	0.0229	0.0012	0.0014	0.0063
P20	41.16851°	-8.68321°	2.0435	0.2715	0.3864	0.0015	0.0283	1.2614	0	0.0022	0.007	0.0013	0.0134	0.0056	0.0165	0.0206	0	0.0004	0.0051
P21	41.16801°	-8.68318°	1.7012	0.1318	0.3558	0	0.0196	1.7386	0	0.0012	0.005	0	0.0188	0.0055	0.0206	0.0196	0.0023	0.0004	0.0058
P22	41.17091°	-8.68256°	2.4116	0.4475	0.1825	0	0.0273	1.4167	0	0	0.0108	0.0026	0.0278	0.009	0.0086	0.0239	0.0023	0	0.0047
P23	41.17019°	-8.68263°	1.9585	0.1675	0.2981	0.0025	0.0145	1.8181	0	0.0004	0.0062	0.0011	0.0291	0.0057	0.0215	0.0208	0.0026	0.0019	0.0056

CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

P24	41.16936°	-8.68255°	1.9759	0.3535	0.3372	0.0013	0.0233	1.5567	0.0007	0.0042	0.0066	0.0053	0.0187	0.0057	0.016	0.014	0.0011	0.0023	0.0042
P25	41.16869°	-8.68253°	2.0372	0.2211	0.3113	0	0.0221	0.9198	0	0.0015	0.0077	0.0011	0.0144	0.0058	0.0173	0.0188	0.0017	0	0.0044
P26	41.16805°	-8.6827°	1.9505	0.1871	0.338	0.0019	0.0211	1.6971	0.0003	0.0012	0.0053	0	0.0208	0.0053	0.0239	0.0197	0.0012	0	0.007
P27	41.17067°	-8.68177°	2.1438	0.2816	0.4197	0	0.0227	1.9991	0.0004	0.0017	0.008	0.0005	0.0219	0.0071	0.0271	0.0245	0.0021	0.0015	0.0082
P28	41.17008°	-8.68169°	1.8376	0.4417	0.3921	0	0.0421	1.8406	0	0.0021	0.0074	0.0019	0.0165	0.0081	0.0214	0.0199	0	0.0014	0.0081
P29	41.16941°	-8.68139°	2.0472	0.263	0.3026	0	0.0213	1.7441	0.0008	0	0.0086	0.0038	0.0281	0.0077	0.0185	0.0211	0.0026	0.0014	0.0052
P30	41.16856°	-8.68164°	1.7958	0.2871	0.3684	0	0.0286	1.7438	0.0003	0.0016	0.0056	0.0023	0.0177	0.0064	0.0255	0.024	0.0006	0.0019	0.0068
P31	41.16808°	-8.6817°	1.8039	0.0972	0.3967	0.0012	0.0328	1.7042	0.0015	0.0004	0.0026	0.0018	0.0132	0.0041	0.0198	0.0212	0.0005	0	0.0029
P32	41.17079°	-8.68106°	1.8848	0.1638	0.4153	0.0041	0.0175	1.6598	0	0.0013	0.0048	0.0021	0.0187	0.0058	0.0279	0.0226	0.0011	0.0004	0.0065
P33	41.16973°	-8.68118°	2.0047	0.2332	0.3587	0	0.0217	2.1519	0.0013	0.0011	0.0078	0.0035	0.0196	0.0063	0.0227	0.0211	0.0013	0.0013	0.0069
P36	41.16792°	-8.68101°	2.2962	0.2951	0.4484	0	0.0282	2.6905	0.0013	0.0013	0.0089	0.0023	0.0245	0.0076	0.0222	0.0281	0.0029	0.0014	0.0085
P37	41.17141°	-8.68019°	2.0425	0.2124	0.3332	0.0013	0.0179	1.9737	0.0003	0.0033	0.0096	0.0019	0.0223	0.0078	0.0187	0.0226	0.0027	0	0.0084
P38	41.17094°	-8.68012°	1.7023	0.2739	0.3435	0.0016	0.0212	2.0726	0.0013	0.0013	0.0073	0.0018	0.0162	0.0058	0.0198	0.022	0.0017	0.0014	0.005
P39	41.17003°	-8.68008°	1.7304	0.2015	0.4186	0.004	0.0209	1.9058	0.0008	0.0012	0.005	0.0012	0.0158	0.005	0.0253	0.0184	0.0017	0.0004	0.0053
P40	41.16949°	-8.68034°	1.6533	0.1952	0.3125	0	0.0207	2.1588	0.0005	0.0012	0.0052	0.0008	0.0147	0.0051	0.0124	0.0223	0	0.0004	0.004
P41	41.16869°	-8.68008°	1.1269	0.3791	0.285	0	0.0336	2.9316	0.0017	0.002	0.0098	0	0.0129	0.0058	0.0183	0.0183	0.0024	0	0.0047
P42	41.16808°	-8.68011°	1.9717	0.2925	0.3587	0.0037	0.0172	1.8187	0.0008	0.0018	0.0062	0.0007	0.0189	0.006	0.0239	0.023	0.0013	0.0015	0.0061
P43	41.1673°	-8.68019°	1.9307	0.258	0.2738	0	0.0267	1.6431	0	0.0004	0.0055	0.002	0.0241	0.0051	0.0164	0.0243	0.0014	0.0016	0.0042
P44	41.17041°	-8.67930°	2.137	0.3917	0.2198	0.0015	0.0304	1.2028	0	0.0017	0.0076	0.0023	0.0209	0.0056	0.0089	0.0198	0.0017	0	0.0068
P45	41.17004°	-8.67950°	1.6912	0.1683	0.2217	0.0013	0.0208	1.4178	0	0.001	0.0069	0	0.0159	0.0049	0.0127	0.0185	0.0016	0	0.0069
P46	41.16956°	-8.67886°	1.5968	0.2918	0.3221	0	0.0309	1.7122	0.0009	0.0012	0.0076	0	0.0138	0.0051	0.0131	0.0174	0	0.0012	0.0054
P47	41.16887°	-8.67922°	1.7585	0.1513	0.3714	0	0.0401	1.6803	0.0004	0.0015	0.0062	0.0004	0.0138	0.005	0.0199	0.0204	0.0006	0	0.0061
P48	41.16809°	-8.67922°	1.6359	0.1738	0.2196	0.0014	0.0164	1.4068	0	0	0.0054	0.0005	0.018	0.0048	0.0152	0.0183	0.0018	0	0.0058
P49	41.16727°	-8.67919°	2.046	0.1427	0.2679	0.0022	0.0299	1.7691	0	0.0016	0.0074	0	0.0238	0.0051	0.015	0.0193	0.0026	0	0.0086
P50	41.16665°	-8.67968°	1.2528	0.2066	0.1868	0.0011	0.0112	1.067	0	0.0016	0.0058	0	0.0105	0.0043	0.0109	0.0109	0.0004	0	0.004

CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

P51	41.17130°	-8.67854°	1.3009	0.1691	0.4174	0	0.0443	1.3671	0	0.002	0.0062	0	0.0101	0.0039	0.0113	0.0179	0	0	0.007
P52	41.17092°	-8.67874°	1.7954	0.1986	0.3735	0.0026	0.0385	1.7996	0.0007	0.0015	0.005	0	0.0173	0.0059	0.018	0.0249	0.0018	0	0.0049
P53	41.17023°	-8.67860°	1.8875	0.2205	0.2969	0.0025	0.0207	1.7515	0.0004	0.0017	0.0065	0.0004	0.0161	0.0049	0.0145	0.0198	0.0013	0	0.0055
P54	41.16956°	-8.67859°	2.0028	0.298	0.2009	0	0.0274	1.3952	0	0	0.0061	0.0021	0.0205	0.0083	0.0103	0.0248	0.0014	0	0.0036
P55	41.16880°	-8.67863°	1.9459	0.2269	0.4148	0.0034	0.0282	2.197	0.0008	0.0029	0.011	0.0005	0.0214	0.0066	0.024	0.0215	0.0029	0.0004	0.0099
P56	41.16796°	-8.67860°	1.5357	0.3768	0.2744	0	0.0202	1.6482	0.0004	0.0018	0.0071	0.0005	0.0141	0.0058	0.0153	0.0209	0.0006	0.0013	0.0055
P57	41.16734°	-8.67867°	3.072	0.3182	0.2011	0.0012	0.0281	1.344	0	0	0.008	0.0046	0.031	0.0111	0.0119	0.0274	0.0018	0	0.0045
P58	41.16682°	-8.6786°	2.0062	0.1746	0.375	0.0017	0.0229	2.3649	0.0004	0.0013	0.0091	0.0024	0.0251	0.0083	0.0209	0.0235	0.0026	0	0.0087
P59	41.17146°	-8.67783°	1.7443	0.3943	0.1971	0	0.0653	1.2182	0	0.0014	0.0112	0.0004	0.0114	0.0072	0.0075	0.02	0.0011	0	0.0032
P60	41.17074°	-8.67788°	1.1877	0.1624	0.2479	0	0.0759	0.721	0	0	0.0025	0	0.0068	0.0025	0.0095	0.0161	0	0	0.002
P61	41.17009°	-8.67765°	2.9355	0.3394	0.2304	0	0.0366	1.829	0	0	0.011	0.0075	0.0365	0.015	0.0139	0.033	0.0026	0	0.0041
P62	41.16945°	-8.67779°	2.8814	0.3989	0.2421	0	0.0358	1.5405	0	0	0.0107	0.0085	0.0311	0.012	0.0123	0.0311	0.0024	0	0.0041
P63	41.16867°	-8.67792°	1.9586	0.4541	0.3247	0	0.0398	1.866	0	0.0028	0.0143	0	0.0219	0.0063	0.0146	0.0221	0.0023	0	0.0105
P64	41.16807°	-8.67786°	1.5645	0.1562	0.3404	0	0.0218	2.3212	0.0012	0.0012	0.0051	0.0025	0.0161	0.0053	0.0238	0.0265	0.0006	0.0016	0.0066
P65	41.16737°	-8.67828°	1.5464	0.792	0.2951	0	0.0193	1.3446	0	0.0007	0.0042	0	0.0153	0.0074	0.0133	0.0224	0	0	0.004
P66	41.16676°	-8.67799°	1.5028	0.2744	0.2486	0	0.017	1.6173	0	0	0.0078	0.0015	0.0162	0.0053	0.0128	0.0178	0.0019	0	0.0067
P67	41.17149°	-8.67695°	1.9492	0.6414	0.3094	0.0181	0.0314	1.5395	0	0.0023	0.0175	0.0015	0.0161	0.0083	0.0091	0.0203	0.0006	0	0.0048
P68	41.17083°	-8.67699°	1.785	0.3248	0.2745	0	0.0297	1.567	0	0.0019	0.008	0	0.0176	0.0062	0.0155	0.0221	0.0017	0	0.006
P69	41.16991°	-8.67667°	1.851	0.2632	0.2888	0.0015	0.0319	1.7849	0.0004	0.001	0.0065	0	0.0192	0.0059	0.0146	0.0227	0.0021	0	0.005
P70	41.16932°	-8.67686°	3.1985	0.5318	0.342	0	0.0275	1.6742	0	0	0.0061	0	0.0286	0.0142	0.0137	0.0347	0.0022	0	0.0041
P71	41.16891°	-8.67675°	1.8619	0.5533	0.3187	0.0013	0.0303	2.0258	0.0007	0.0008	0.0094	0.0012	0.0197	0.0067	0.0165	0.0211	0.0023	0.0013	0.0089
P72	41.16811°	-8.67691°	1.7963	0.151	0.2852	0	0.0283	1.4632	0	0.0012	0.0053	0	0.0167	0.0053	0.0203	0.021	0.0012	0	0.0056
P73	41.16719°	-8.67701°	1.9302	0.3862	0.3413	0	0.025	1.5699	0	0.0012	0.0059	0	0.0187	0.0074	0.0205	0.0216	0.002	0.0019	0.0053
P74	41.16660°	-8.67707°	1.9073	0.133	0.3315	0	0.02	2.2056	0.0013	0.0004	0.0054	0.0014	0.0211	0.0061	0.0254	0.0275	0.0013	0.0014	0.0056
P75	41.17146°	-8.67624°	2.1079	0.2102	0.3817	0.0036	0.0283	2.121	0.0012	0	0.0061	0.0009	0.0208	0.0062	0.0254	0.0231	0.0015	0.0016	0.0048

CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

<b>P76</b>	41.17077°	-8.67610°	1.2476	0.1049	0.2462	0.0013	0.0134	1.4273	0	0	0.0045	0.0004	0.013	0.0038	0.0137	0.0175	0.001	0	0.0038
<b>P77</b>	41.17002°	-8.67590°	1.9	0.2152	0.3436	0.0019	0.0396	1.7433	0.0004	0.004	0.0102	0	0.0182	0.0075	0.0186	0.0264	0.0012	0	0.0145
<b>P78</b>	41.16925°	-8.67667°	1.6944	0.1888	0.2833	0	0.0267	1.3996	0	0.0017	0.0058	0	0.0143	0.0047	0.0163	0.021	0.0005	0	0.0063
<b>P79</b>	41.16845°	-8.67617°	1.4813	0.1611	0.265	0.0011	0.0298	1.1006	0	0.0012	0.0038	0	0.0107	0.0037	0.0119	0.0158	0.0005	0	0.0048
<b>P80</b>	41.168°	-8.67631°	1.396	0.2636	0.3122	0.0017	0.0208	1.9313	0.0015	0.0013	0.0062	0	0.0151	0.0052	0.0209	0.0209	0.0013	0.0012	0.0059
<b>P81</b>	41.1673°	-8.67634°	1.3454	0.2006	0.2939	0.0022	0.0194	1.3242	0.0015	0.0012	0.0029	0	0.0109	0.004	0.0146	0.0212	0.0005	0	0.0042
<b>P82</b>	41.16673°	-8.67651°	1.8475	0.1152	0.3058	0	0.0243	2.073	0.0009	0.0013	0.0055	0	0.0198	0.0053	0.0182	0.0218	0.0015	0	0.0068
<b>P83</b>	41.16585°	-8.67684°	1.4998	0.4247	0.1946	0.0012	0.0206	1.5982	0.0004	0.0016	0.0068	0.0011	0.0143	0.0056	0.0139	0.017	0.0022	0	0.0061
<b>P84</b>	41.17149°	-8.67538°	1.7867	0.3584	0.307	0.0017	0.0224	2.1163	0.0004	0.0015	0.0154	0	0.0176	0.0064	0.017	0.0258	0.0009	0	0.0145
<b>P85</b>	41.17088°	-8.67546°	1.6443	0.1569	0.3378	0	0.0337	1.593	0	0.0016	0.0073	0	0.0151	0.0049	0.0157	0.0201	0.0011	0	0.0078
<b>P86</b>	41.17019°	-8.67542°	1.4466	0.2443	0.2633	0.0032	0.0263	1.0956	0	0.0011	0.004	0	0.0099	0.0043	0.0146	0.0188	0	0	0.0046
<b>P87</b>	41.16944°	-8.67527°	1.7921	0.1042	0.2811	0	0.0139	1.3843	0	0	0.0033	0	0.0159	0.0053	0.0207	0.0271	0	0	0.0043
<b>P88</b>	41.16869°	-8.67534°	1.6885	0.1114	0.311	0	0.0321	1.4718	0.0004	0	0.0032	0	0.0137	0.004	0.0145	0.0246	0.0005	0	0.0035
<b>P89</b>	41.16808°	-8.67525°	1.7316	0.1486	0.207	0.0011	0.0141	1.0578	0	0	0.0038	0	0.0147	0.0042	0.0109	0.0161	0.0013	0	0.0041
<b>P90</b>	41.16733°	-8.67528°	2.1409	0.1932	0.272	0	0.0141	1.6191	0.0004	0.0014	0.0067	0	0.0205	0.0061	0.015	0.0232	0.0019	0	0.0087
<b>P91</b>	41.1666°	-8.67541°	1.8396	0.1457	0.3298	0.0012	0.0219	1.7915	0.0004	0.0019	0.0064	0	0.0185	0.0055	0.02	0.0234	0.0013	0.0004	0.0102
<b>P92</b>	41.16616°	-8.67591°	1.795	0.8405	0.2744	0.003	0.0295	1.9051	0	0.0017	0.0131	0.0006	0.0195	0.0063	0.0173	0.0213	0.0022	0.0008	0.0067
<b>P93</b>	41.17123°	-8.67496°	1.8518	0.2122	0.3367	0	0.0301	2.1411	0.0014	0.0004	0.0061	0.0005	0.0196	0.0059	0.0226	0.0247	0.0011	0.0014	0.0047
<b>P94</b>	41.17075°	-8.67448°	1.4417	0.2736	0.2789	0	0.0888	1.4636	0.0007	0.0016	0.0062	0.0004	0.0134	0.0055	0.0153	0.0171	0.0004	0	0.005
<b>P95</b>	41.17000°	-8.6744°	1.6759	0.1734	0.3422	0	0.0259	1.7165	0	0.0021	0.006	0.0005	0.0164	0.0057	0.019	0.0193	0.0014	0.0004	0.0069
<b>P96</b>	41.16952°	-8.67473°	1.692	0.4334	0.3107	0.0013	0.027	1.6315	0.0004	0.0014	0.005	0	0.0152	0.0063	0.0186	0.0226	0.0005	0	0.006
<b>P97</b>	41.16865°	-8.67470°	1.428	0.1499	0.3115	0	0.0221	1.2058	0	0	0.0029	0	0.0106	0.0035	0.0122	0.0182	0.0005	0	0.0032
<b>P98</b>	41.16789°	-8.67454°	2.255	0.2659	0.316	0.0018	0.0173	1.2081	0.0004	0.0005	0.0059	0.0005	0.0189	0.0065	0.0169	0.0204	0.0006	0.0018	0.0059
<b>P99</b>	41.16725°	-8.67450°	1.7136	0.5251	0.3066	0	0.0214	1.5648	0.0004	0.0014	0.007	0.0005	0.0176	0.0069	0.0181	0.0182	0.0006	0.0022	0.0066
<b>P100</b>	41.16666°	-8.67453°	1.7277	0.3546	0.282	0.0018	0.0392	1.8985	0.0004	0.0021	0.0084	0.0048	0.0203	0.0065	0.0232	0.0237	0.0012	0	0.008

CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

<b>P101</b>	41.16602°	-8.67455°	1.708	0.147	0.2717	0.0017	0.0204	1.7822	0	0.0014	0.008	0.0043	0.0189	0.0049	0.0149	0.0198	0.002	0	0.0067
<b>P102</b>	41.17072°	-8.67412°	2.0211	0.1551	0.2826	0	0.0196	1.7466	0	0.0008	0.005	0.005	0.0184	0.0052	0.0188	0.0245	0.0013	0	0.005
<b>P103</b>	41.17018°	-8.67414°	1.7507	0.1542	0.2923	0.0014	0.0209	1.5965	0	0.0017	0.0047	0.0036	0.0154	0.0064	0.0163	0.0221	0.0016	0	0.0057
<b>P104</b>	41.16948°	-8.67392°	1.6519	0.1229	0.3182	0.0027	0.0166	1.7444	0	0.001	0.0041	0.0034	0.0149	0.0043	0.0186	0.0204	0.001	0	0.0055
<b>P105</b>	41.16874°	-8.67393°	1.7714	0.2116	0.3326	0	0.029	1.443	0	0.002	0.006	0.0031	0.0138	0.0044	0.0135	0.0171	0	0	0.0076
<b>P106</b>	41.16807°	-8.67374°	1.2082	0.3295	0.2555	0	0.0366	1.0681	0	0.002	0.0057	0.0024	0.0089	0.0042	0.0084	0.0175	0	0.0008	0.0056
<b>P107</b>	41.16726°	-8.67380°	2.3719	0.245	0.2913	0.0018	0.0106	1.4163	0	0.0013	0.0074	0.0022	0.0207	0.0058	0.0187	0.0255	0.0022	0.0014	0.0062
<b>P108</b>	41.16673°	-8.67375°	1.9861	0.1705	0.3595	0	0.0271	1.8491	0.0004	0.0022	0.0057	0.0026	0.0188	0.0058	0.0199	0.0242	0.0017	0.0012	0.0094
<b>P109</b>	41.16586°	-8.67386°	1.9236	0.2016	0.3472	0	0.0307	1.703	0.0008	0.0015	0.0046	0.0028	0.0167	0.0064	0.0161	0.0207	0.0011	0	0.0052
<b>P110</b>	41.16948°	-8.67308°	2.073	0.1667	0.3313	0	0.02	1.7848	0.0004	0.0017	0.0064	0.0026	0.0202	0.0058	0.0203	0.0251	0.002	0.0013	0.0082
<b>P111</b>	41.16866°	-8.67303°	1.4718	0.1581	0.3599	0.0022	0.0261	2.4246	0.002	0.0022	0.0067	0.0043	0.0148	0.0045	0.0225	0.0228	0.0012	0.0014	0.0086
<b>P112</b>	41.16797°	-8.67304°	1.7065	0.2006	0.2695	0	0.0284	1.5257	0	0.0025	0.0072	0.0022	0.0153	0.0054	0.0154	0.0218	0.0005	0	0.0089
<b>P113</b>	41.16735°	-8.67308°	1.3694	0.1179	0.23	0.003	0.015	1.5884	0.0008	0.0008	0.005	0.0026	0.0128	0.0043	0.0129	0.0173	0.0005	0	0.0048
<b>P114</b>	41.16663°	-8.67302°	1.6627	0.3112	0.2614	0.0034	0.0187	1.6615	0.0012	0.0018	0.0081	0.0027	0.016	0.006	0.0152	0.0218	0.0019	0	0.0069
<b>P115</b>	41.16588°	-8.67298°	1.8464	0.2262	0.3159	0.0041	0.03	1.9605	0.0008	0.0018	0.0067	0.0028	0.0179	0.0053	0.0167	0.0228	0.0013	0.0012	0.0062
<b>P116</b>	41.16954°	-8.67220°	1.6937	0.2019	0.3035	0	0.0196	1.7054	0.0004	0.0015	0.0065	0.0019	0.0172	0.0053	0.0211	0.0237	0.0018	0	0.006
<b>P117</b>	41.16862°	-8.67230°	2.0767	0.2962	0.3203	0	0.0191	1.8936	0.0005	0.0024	0.0086	0.0016	0.0204	0.006	0.0199	0.0255	0.0022	0.0008	0.0093
<b>P118</b>	41.16554°	-8.67230°	0.5814	0.0881	0.0862	0	0.006	0.64	0	0	0.0021	0.0016	0.0069	0.0019	0.0058	0.0107	0	0	0.0018

## Anexo 2

Anexo 2.1 – Estatísticos básicos dos restantes elementos para o Jardim de S.Lázaro.

	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Ti</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Rb</b>	<b>Sr</b>	<b>Zr</b>	<b>Ba</b>	<b>Ta</b>
<b>Mínimo</b>	1.0086	0.2449	0.1265	0.0111	0.9211	0.0000	0.0143	0.0038	0.0062	0.0122	0.0000
<b>Máximo</b>	2.5616	16.5605	0.5000	0.0714	3.0737	0.0016	0.0344	0.0263	0.0239	0.0386	0.0031
<b>Intervalo</b>	1.5530	16.3156	0.3735	0.0603	2.1526	0.0016	0.0201	0.0225	0.0177	0.0264	0.0031
<b>Média</b>	1.6563	7.6826	0.2608	0.0250	1.8104	0.0003	0.0264	0.0152	0.0167	0.0300	0.0020
<b>Mediana</b>	1.7126	7.9029	0.2583	0.0241	1.8675	0.0000	0.0279	0.0157	0.0182	0.0310	0.0022
<b>Moda</b>	#N/D	#N/D	#N/D	0.0252	#N/D	0.0000	0.0284	0.0071	0.0196	0.0285	0.0027
<b>Variância</b>	0.2049	24.7587	0.0061	0.0001	0.2219	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>Desvio padrão</b>	0.4527	4.9758	0.0782	0.0105	0.4711	0.0005	0.0052	0.0059	0.0048	0.0071	0.0008
<b>Cof. Variação</b>	27.3%	64.8%	30.0%	42.0%	26.0%	149.6%	19.8%	39.0%	28.7%	23.6%	39.9%
<b>Coef. Assimetria</b>	0.1876	-0.0640	0.7964	2.8116	0.3746	1.2030	-1.0045	-0.2018	-0.4964	-0.7465	-0.9007
<b>Curtose</b>	-0.9562	-1.1883	1.6603	12.0304	0.3646	0.0319	0.5335	-0.9346	-0.7840	-0.2859	-0.0929
<b>Número de pontos</b>	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
<b>1º quartil</b>	1.2009	3.5065	0.2175	0.0192	1.3811	0.0000	0.0254	0.0113	0.0128	0.0254	0.0016
<b>3º quartil</b>	1.9614	11.5425	0.2979	0.0283	2.0325	0.0007	0.0291	0.0198	0.0203	0.0356	0.0026

**Anexo 2.2** – Estatísticos básicos dos restantes elementos para a Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista).

	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Ti</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Rb</b>	<b>Sr</b>	<b>Zr</b>	<b>Ba</b>	<b>Ta</b>
<b>Mínimo</b>	0.9995	0.0878	0.0925	0.0084	0.5463	0.0077	0.0046	0.0038	0.0177	0.0000
<b>Máximo</b>	2.4257	2.7850	0.3639	0.0287	2.4652	0.0299	0.0157	0.0413	0.0489	0.0036
<b>Intervalo</b>	1.4262	2.6972	0.2714	0.0203	1.9189	0.0222	0.0111	0.0375	0.0312	0.0036
<b>Média</b>	1.7412	0.6517	0.2597	0.0192	1.6903	0.0214	0.0085	0.0165	0.0265	0.0024
<b>Mediana</b>	1.6998	0.4407	0.2695	0.0199	1.7034	0.0216	0.0084	0.0155	0.0235	0.0025
<b>Moda</b>	#N/D	#N/D	#N/D	0.0226	#N/D	0.0216	0.0092	0.0155	0.0328	0.0023
<b>Variância</b>	0.0993	0.4684	0.0032	0.0000	0.1492	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000
<b>Desvio padrão</b>	0.3151	0.6844	0.0564	0.0051	0.3862	0.0047	0.0025	0.0075	0.0074	0.0008
<b>Coef. Variação</b>	18.1%	105.0%	21.7%	26.8%	22.9%	22.0%	29.9%	45.6%	28.0%	32.7%
<b>Coef. Assimetria</b>	-0.0648	2.2727	-0.9019	-0.4078	-0.7810	-0.7989	0.7477	1.3846	1.1522	-1.5487
<b>Curtose</b>	0.6176	4.5292	1.4371	-0.2974	1.7136	1.3637	0.8962	2.9743	1.2615	3.1187
<b>Número de pontos</b>	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
<b>1º quartil</b>	1.6252	0.3218	0.2226	0.0158	1.5215	0.0185	0.0065	0.0114	0.0206	0.0022
<b>3º quartil</b>	1.8827	0.6234	0.2959	0.0226	1.9095	0.0242	0.0097	0.0183	0.0316	0.0029

**Anexo 2.3** – Estatísticos básicos dos restantes elementos para a Praça da República.

	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Ti</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Rb</b>	<b>Sr</b>	<b>Y</b>	<b>Zr</b>	<b>Nb</b>	<b>U</b>
<b>Mínimo</b>	0.7581	0.0894	0.1349	0.0062	1.1760	0.0220	0.0051	0.0004	0.0103	0.0010	0.0005
<b>Máximo</b>	2.8865	1.0545	0.3402	0.3855	2.5588	0.0462	0.0105	0.0018	0.0220	0.0025	0.0060
<b>Intervalo</b>	2.1284	0.9651	0.2053	0.3793	1.3828	0.0242	0.0054	0.0014	0.0117	0.0015	0.0055
<b>Média</b>	1.8069	0.3091	0.2281	0.0281	1.7855	0.0321	0.0071	0.0010	0.0140	0.0020	0.0013
<b>Mediana</b>	1.6515	0.2405	0.2211	0.0186	1.8530	0.0323	0.0069	0.0010	0.0136	0.0021	0.0010
<b>Moda</b>	#N/D	#N/D	#N/D	0.0197	#N/D	0.0260	0.0057	0.0013	0.0128	0.0021	0.0010
<b>Variância</b>	0.4782	0.0530	0.0013	0.0039	0.0874	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>Desvio padrão</b>	0.6915	0.2301	0.0364	0.0625	0.2957	0.0045	0.0014	0.0004	0.0026	0.0003	0.0011
<b>Coef. Variação</b>	38.3%	74.5%	16.0%	222.3%	16.6%	14.2%	19.3%	39.0%	18.5%	15.3%	83.0%
<b>Coef. Assimetria</b>	-0.0753	2.3076	0.9472	5.8366	0.0017	0.4813	0.8598	0.0593	1.0767	-1.2466	3.4624
<b>Curtose</b>	-1.3984	6.7044	3.2845	34.3579	0.5770	1.7052	0.2912	-0.4831	1.2601	2.1098	12.3598
<b>Número de pontos</b>	17	17	36	35	36	36	36	31	36	36	34
<b>1º quartil</b>	1.2967	0.1912	0.2094	0.0138	1.6060	0.0295	0.0060	0.0007	0.0127	0.0019	0.0009
<b>3º quartil</b>	2.4374	0.3710	0.2405	0.0208	1.9306	0.0343	0.0076	0.0013	0.0151	0.0022	0.0014

**Anexo 2.4** – Estatísticos básicos dos restantes elementos para o Parque da Cidade.

	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Ti</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Rb</b>	<b>Sr</b>	<b>Zr</b>	<b>Ba</b>	<b>Ta</b>
<b>Mínimo</b>	0.5814	0.0881	0.0862	0.0060	0.6400	0.0000	0.0068	0.0019	0.0058	0.0107	0.0000
<b>Máximo</b>	3.1985	2.0323	0.4484	0.1751	2.9761	0.0020	0.0365	0.0150	0.0279	0.0347	0.0036
<b>Intervalo</b>	2.6171	1.9442	0.3622	0.1691	2.3361	0.0020	0.0297	0.0131	0.0221	0.0240	0.0036
<b>Média</b>	1.8027	0.3062	0.3024	0.0276	1.6902	0.0004	0.0175	0.0061	0.0168	0.0217	0.0013
<b>Mediana</b>	1.7936	0.2271	0.3062	0.0243	1.6773	0.0004	0.0171	0.0058	0.0165	0.0214	0.0013
<b>Moda</b>	#N/D	0.4417	0.3587	0.0196	#N/D	0.0000	0.0130	0.0058	0.0186	0.0237	0.0000
<b>Variância</b>	0.1364	0.0688	0.0037	0.0003	0.1602	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>Desvio padrão</b>	0.3694	0.2623	0.0611	0.0180	0.4002	0.0005	0.0049	0.0020	0.0046	0.0041	0.0008
<b>Coef. Variação</b>	0.2049	0.8569	0.2022	0.6507	0.2368	1.1857	0.2813	0.3312	0.2762	0.1874	0.6347
<b>Coef. Assimetria</b>	0.7425	3.8962	-0.2874	5.4485	0.4307	1.0776	0.8900	1.7686	0.0985	0.2983	0.0960
<b>Curtose</b>	3.5599	19.5579	0.5700	40.3578	1.1570	0.2162	1.9359	4.9892	-0.4708	1.5999	-0.7986
<b>Número de pontos</b>	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116
<b>1º quartil</b>	1.6500	0.1689	0.2691	0.0200	1.4249	0.0000	0.0144	0.0051	0.0137	0.0197	0.0006
<b>3º quartil</b>	1.9728	0.3320	0.3415	0.0300	1.9000	0.0008	0.0199	0.0066	0.0199	0.0238	0.0020

Anexo 2.5 – Matriz de correlações entre os elementos do Jardim de S.Lázaro.

	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Ta	Pb
K	1.000													
Ca	-0.501	1.000												
Ti	0.562	0.128	1.000											
Mn	0.267	0.193	0.368	1.000										
Fe	0.165	0.625	<b>0.738</b>	0.458	1.000									
Ni	-0.417	0.674	0.001	0.074	0.404	1.000								
Cu	0.268	-0.566	-0.094	-0.254	-0.354	-0.253	1.000							
Zn	<b>0.713</b>	-0.312	0.537	0.216	0.286	-0.301	0.509	1.000						
Rb	0.629	0.188	<b>0.762</b>	0.526	<b>0.736</b>	0.111	-0.120	0.602	1.000					
Sr	-0.306	<b>0.938</b>	0.317	0.300	<b>0.729</b>	0.646	-0.569	-0.142	0.446	1.000				
Zr	0.138	0.587	<b>0.725</b>	0.446	<b>0.838</b>	0.391	-0.340	0.274	<b>0.714</b>	<b>0.719</b>	1.000			
Ba	0.178	0.679	0.550	0.547	<b>0.815</b>	0.464	-0.578	0.068	<b>0.737</b>	<b>0.816</b>	<b>0.806</b>	1.000		
Ta	0.637	-0.078	0.502	0.235	0.363	-0.018	0.291	0.577	0.627	0.039	0.306	0.291	1.000	
Pb	0.555	-0.666	0.113	-0.104	-0.243	-0.358	<b>0.848</b>	<b>0.705</b>	0.168	-0.598	-0.169	-0.430	0.467	1.000

Anexo 2.6 – Matriz de correlações entre os elementos da Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista).

	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Ta	Pb
K	1.0000													
Ca	-0.0993	1.0000												
Ti	0.5966	0.3163	1.0000											
Cr	0.2306	0.0894	-0.1293	1.0000										
Mn	0.4831	0.4095	0.7882	0.0925	1.0000									
Fe	0.4480	0.3600	0.6208	0.1433	0.7527	1.0000								
Ni	-0.2180	0.5590	-0.0456	0.3135	0.0007	0.0607								
Cu	0.1578	-0.4548	-0.1176	0.1414	-0.1879	-0.0422	1.0000							
Zn	0.5972	-0.1236	0.2281	0.6103	0.3052	0.1662	0.4077	1.0000						
As	-0.0737	0.4351	0.0877	0.1585	0.0387	0.0798	-0.0960	0.0837						
Rb	0.5558	0.1177	0.3984	0.3630	0.5886	<b>0.8041</b>	-0.0073	0.4256	1.0000					
Sr	0.0454	<b>0.8341</b>	0.4819	-0.0650	0.5826	0.5501	-0.5552	-0.0982	0.3425	1.0000				
Zr	-0.0008	0.2986	0.5268	-0.1608	0.4312	0.2640	-0.1732	0.0086	0.2302	0.4602	1.0000			
Ba	0.0586	0.3290	0.3646	-0.1030	0.5337	0.4333	-0.5810	-0.2017	0.3345	0.5885	0.2020	1.0000		
Ta	0.4140	0.0398	0.2879	0.2677	0.4338	<b>0.6924</b>	0.1047	0.2838	<b>0.8772</b>	0.2943	0.2302	0.2435	1.0000	
Pb	0.1969	-0.3902	-0.1090	0.2665	-0.1609	0.0453	<b>0.9132</b>	0.5017	0.1670	-0.4831	-0.1563	-0.4951	0.2144	1.0000

Anexo 2.7 – Matriz de correlações entre os elementos da Praça da República.

	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Pb	U
K	1.0000														
Ca	<b>0.7521</b>	1.0000													
Ti	0.4546	0.2426	1.0000												
Mn	<b>0.6752</b>	<b>0.7946</b>	-0.0546	1.0000											
Fe	0.6184	<b>0.6682</b>	0.2226	0.1294	1.0000										
Cu	0.2443	0.5559	-0.1142	0.3593	0.6679	1.0000									
Zn	<b>0.6747</b>	0.8589	0.1739	0.0602	0.6269	0.2433	1.0000								
Rb	0.1470	0.4462	-0.4838	0.0579	0.2618	0.5459	0.2262	1.0000							
Sr	0.5293	<b>0.7699</b>	0.5520	0.0645	-0.1108	-0.3431	0.1742	-0.3379	1.0000						
Y	0.5144	0.2573	0.1015	0.0866	0.3235	0.0645	0.2135	0.0587	0.1898	1.0000					
Zr	0.4765	0.2094	<b>0.7344</b>	-0.0362	0.3736	0.0162	0.1894	-0.2485	0.3527	0.4168	1.0000				
Nb	0.4302	0.4451	-0.0732	-0.0690	0.6167	0.4144	0.4434	0.5417	-0.3804	0.2503	0.2712	1.0000			
Mo	0.2643	0.4363	0.1788	0.0638	0.3253	0.2031	0.2786	0.2635	0.1559	0.0329	0.3294	0.5508	1.0000		
Pb	0.4848	0.2904	0.1814	0.3448	<b>0.7994</b>	0.6229	0.3800	0.1360	-0.0642	0.4266	0.3609	0.4032	0.2500	1.0000	
U	-0.1700	-0.0647	-0.0622	-0.0733	-0.0182	0.0925	0.0393	-0.1215	-0.1169	-0.0949	-0.1200	-0.3006	-0.1659	-0.1316	1.0000

Anexo 2.8 – Matriz de correlações entre os elementos do Parque da Cidade.

	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Ba	Ta	Hg	Pb
K	1.0000																
Ca	-0.0114	1.0000															
Ti	0.2495	-0.2203	1.0000														
Cr	-0.0147	0.2252	0.0958	1.0000													
Mn	0.0066	0.2024	0.1399	0.6885	1.0000												
Fe	0.2248	-0.0711	0.5915	0.1776	0.1495	1.0000											
Ni	-0.0504	-0.0959	0.4196	0.0705	0.0836	0.6781	1.0000										
Cu	-0.0616	0.1940	0.2981	0.0741	0.1328	0.3357	0.2633	1.0000									
Zn	0.2826	0.3225	0.0237	0.0509	0.0714	0.3618	0.0857	0.4874	1.0000								
As	0.3990	-0.1003	-0.0463	0.0032	-0.0108	0.1238	0.0383	-0.0279	0.1218	1.0000							
Rb	<b>0.8514</b>	-0.0267	0.1491	-0.0610	-0.0950	0.3751	0.0134	-0.1066	0.3591	0.4372	1.0000						
Sr	<b>0.6815</b>	0.5218	-0.0085	0.0379	0.0912	0.1694	-0.0432	0.0956	0.4308	0.3055	<b>0.6527</b>	1.0000					
Zr	0.2159	-0.2711	<b>0.7241</b>	0.0112	-0.0746	0.5832	0.4085	0.0908	-0.0845	0.0204	0.3032	-0.0027	1.0000				
Ba	<b>0.6735</b>	0.0927	0.3210	0.1293	0.1631	0.4657	0.2312	0.0738	0.2233	0.2483	0.6284	<b>0.6584</b>	0.3682	1.0000			
Ta	0.5193	-0.1184	0.1478	-0.1383	-0.1699	0.4761	0.1959	0.1367	0.4277	0.2005	<b>0.6897</b>	0.3408	0.2423	0.3592	1.0000		
Hg	0.1469	-0.0541	0.3681	-0.0738	-0.1137	0.2830	0.3027	-0.0156	-0.0181	0.1113	0.2337	-0.0195	0.4929	0.0658	0.0821	1.0000	
Pb	0.1928	-0.1191	0.4077	-0.0815	-0.0635	0.4849	0.1800	0.5753	0.4711	-0.0218	0.2558	0.0767	0.3699	0.2811	0.3521	0.0796	1.0000

## Anexo 3

Anexo 3.1 – Excerto da matriz input para a Pç. da República – ACP, 1º ensaio.

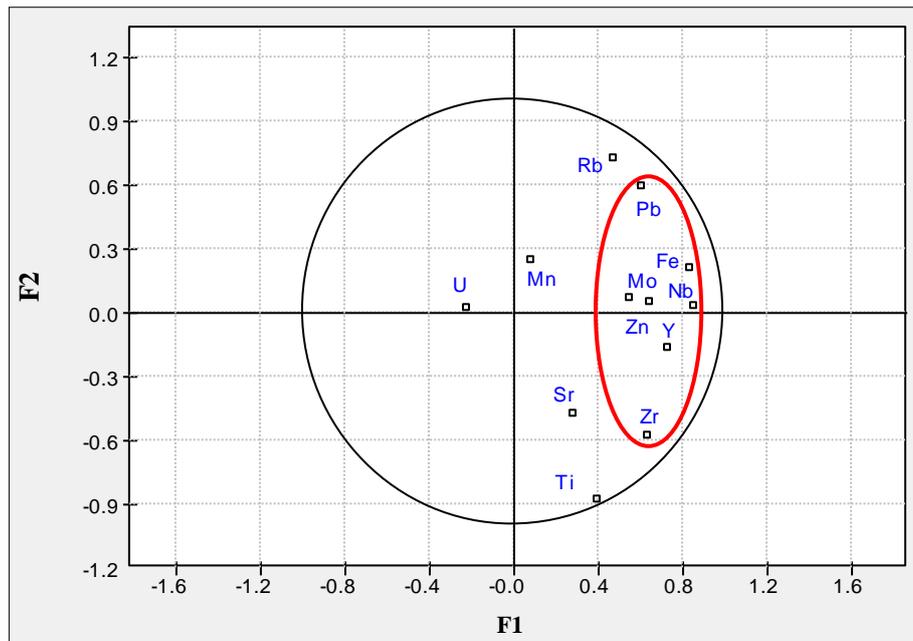
Variáveis → Indivíduos ↓	Ti (%)	Mn (%)	Fe (%)	...	Mo (%)	Pb (%)	U (%)
P1	0.3242	0.0197	2.1349	...	0.0026	0.022	0.001
P2	0.235	0.0317	2.5588	...	0.0024	0.0287	0.0014
P3	0.2412	0.0257	2.0497	...	0.002	0.0247	0.0016
...	...	...	...	...	...	...	...
P34	0.2039	0.0154	1.8358	...	0.0016	0.0207	0.005
P35	0.2567	0.0224	1.8952	...	0.002	0.0254	0.0011
P36	0.2168	0.0109	1.5777	...	0.002	0.0163	0.001

Anexo 3.2 – Valores próprios e taxa de inércia transportada – ACP, 1º Ensaio (Pç. da República).

Eixos Fatoriais	Valor Próprio	% Exp	% Acum
1	4.0	33.3	33.3
2	2.3	19.5	52.9
3	1.3	10.8	63.7
4	1.3	10.5	74.2
5	1.1	8.9	83.1

Anexo 3.3 – Coordenadas das variáveis (elementos químicos) nos eixos fatoriais – ACP, 1º ensaio (Pç. da República).

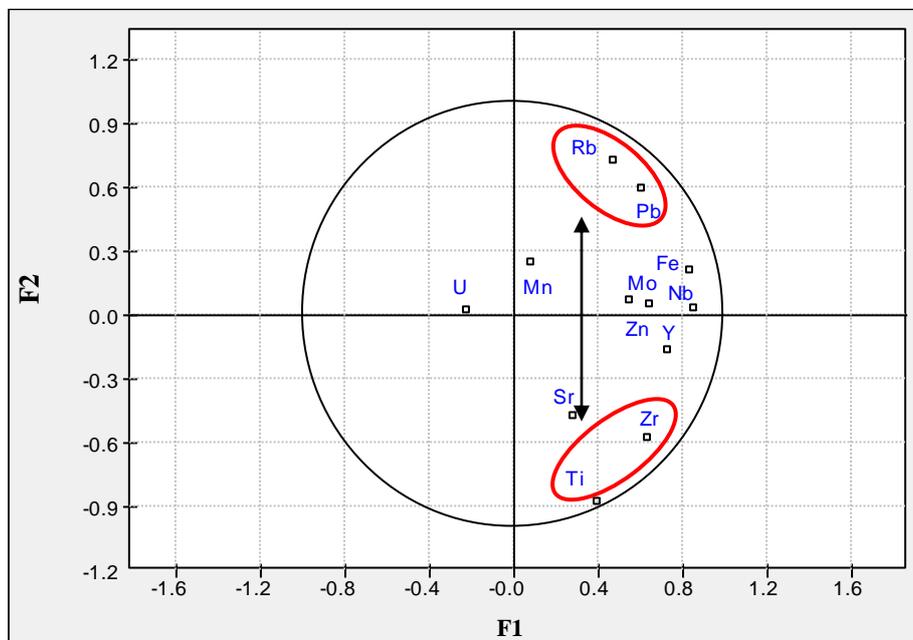
	1	2	3	4	5
Ti		<b>-0.88</b>			
Mn			-0.61	<b>0.68</b>	
Fe	<b>0.83</b>				
Zn	<b>0.65</b>				
Rb		<b>0.73</b>			
Sr				<b>0.69</b>	
Y	<b>0.73</b>				
Zr	<b>0.64</b>	<b>-0.58</b>			
Nb	<b>0.86</b>				
Mo	<b>0.55</b>				
Pb	<b>0.61</b>	<b>0.59</b>			
U					<b>-0.95</b>



**Anexo 3.4** – ACP, 1<sup>o</sup> Ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação do eixo F1.

A observação da projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (ver anexo 3.4), permite retirar as seguintes ilações:

- No primeiro eixo (F1) – Semi-eixo positivo – verifica-se uma forte associação entre os elementos Pb, Fe, Mo, Zn, Y, Nb e Zr.

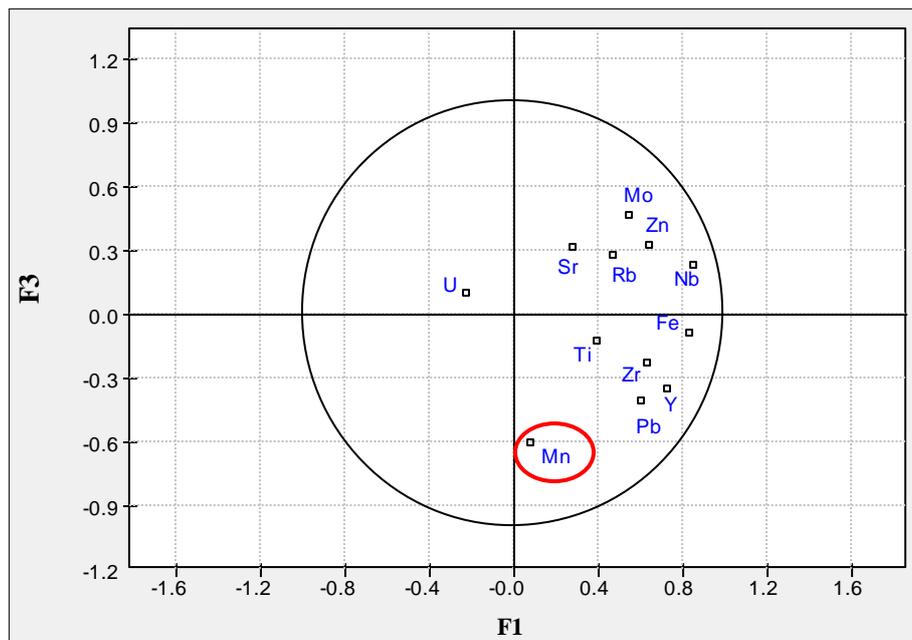


**Anexo 3.5** – ACP, 1<sup>o</sup> ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação do eixo F2.

No anexo 3.5 assinala-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F2.

É possível inferir:

- No segundo eixo (F2) – Semi-eixo positivo – projetam-se, em forte associação com o eixo, as variáveis Rb e Pb. No semi-eixo negativo projetam-se, igualmente em forte associação com F2 as variáveis Ti e Zr. Estas duas variáveis estão fortemente associadas negativamente.

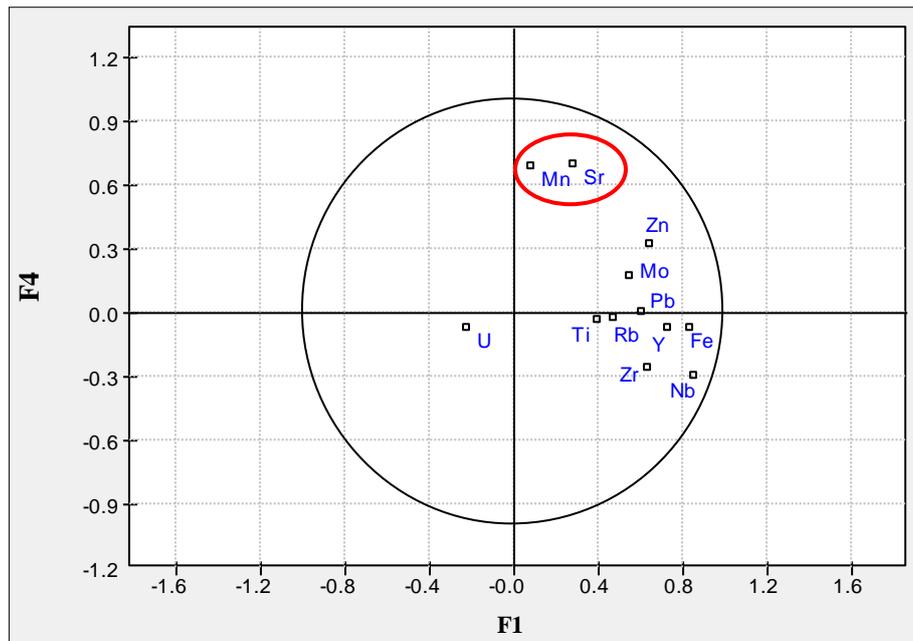


Anexo 3.6 – ACP, 1º ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F3). Interpretação do eixo F3.

No anexo 3.6 assinala-se as variáveis que são interpretáveis ao longo do eixo fatorial F3.

É possível verificar:

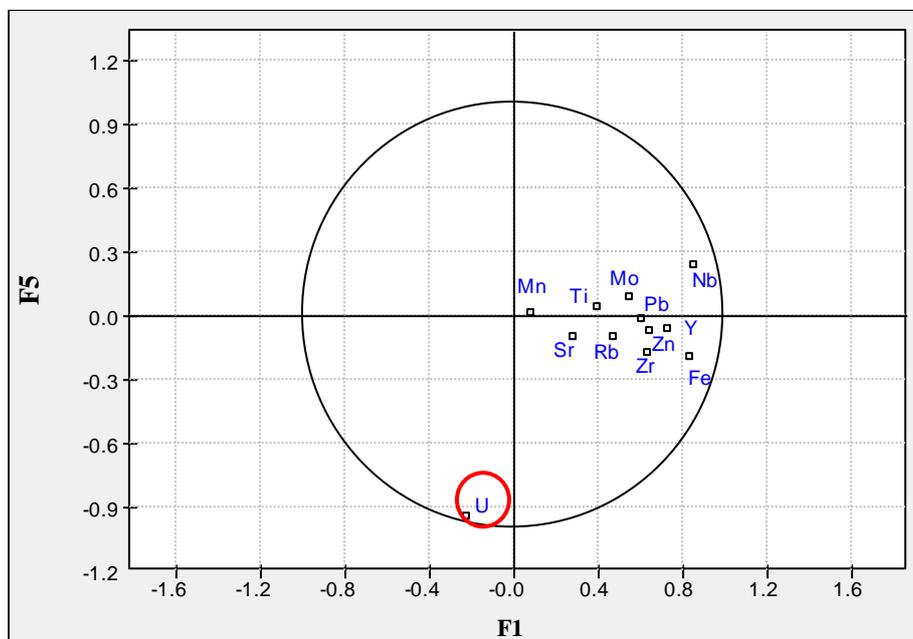
- No terceiro eixo (F3) – Semi-eixo negativo – projeta-se, em forte associação com o eixo, a variável Mn.



**Anexo 3.7** – ACP, 1º ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F4). Interpretação do eixo F4.

A observação da projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F4) (ver anexo 3.7), permite retirar as seguintes ilações:

- No quarto eixo (F4) – Semi-eixo positivo – verifica-se uma forte associação entre os elementos Mn e Sr.



**Anexo 3.8** – ACP, 1º ensaio (Pç. da República), projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F5). Interpretação do eixo F5.

A observação da projeção das variáveis no plano fatorial (F1, F5) (ver anexo 3.8), permite retirar as seguintes ilações:

- No quinto eixo (F5) – Semi-eixo negativo – projeta-se, em forte associação com o eixo, a variável U.

**Anexo 3.9**– Valores próprios e taxa de inércia transportada – ACP, 2º Ensaio (Pç. da República)<sup>3</sup>.

Eixos Fatoriais	Valor Próprio	% Exp	% Acum
1	3.9	35.4	35.4
2	2.4	22.1	57.4
3	1.3	12.2	69.6
4	1.2	11.3	80.9

**Anexo 3.10** – Valores próprios e taxa de inércia transportada – ACP (Jd. de S.Lázaro).

Eixos Fatoriais	Valor Próprio	% Exp	% Acum
1	6.0	42.7	42.7
2	4.4	31.7	74.4
3	1.2	8.2	82.6
4	0.7	4.8	87.4

**Anexo 3.11** – Valores próprios e taxa de inércia transportada – ACP (Pç. Mouzinho de Albuquerque).

Eixos Fatoriais	Valor Próprio	% Exp	% Acum
1	5.1	36.3	36.3
2	3.6	25.5	61.8
3	1.3	9.2	71.0
4	1.1	7.7	78.7
5	1.0	7.2	85.9
6	0.7	4.7	90.6

**Anexo 3.12** – Valores próprios e taxa de inércia transportada – ACP (Prq. da Cidade).

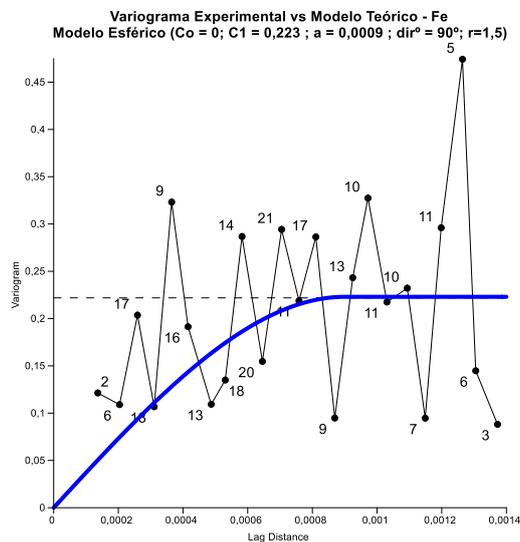
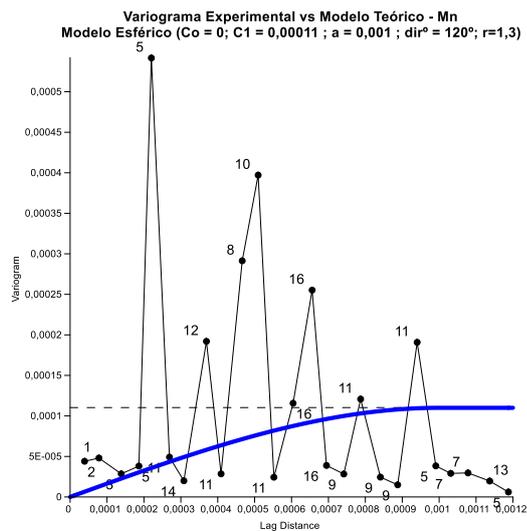
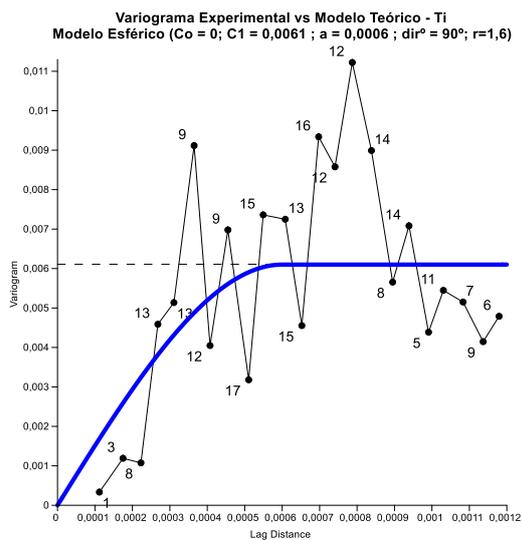
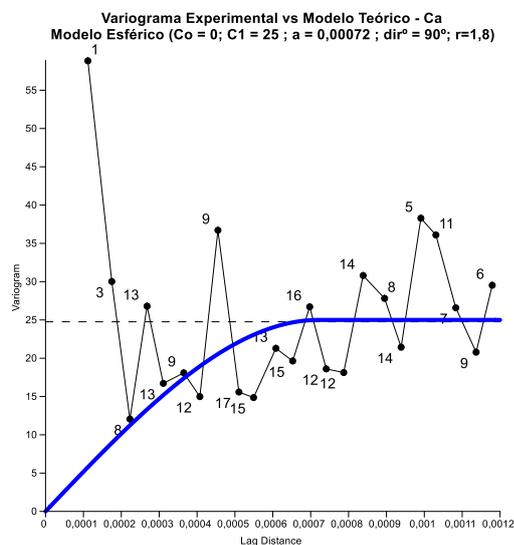
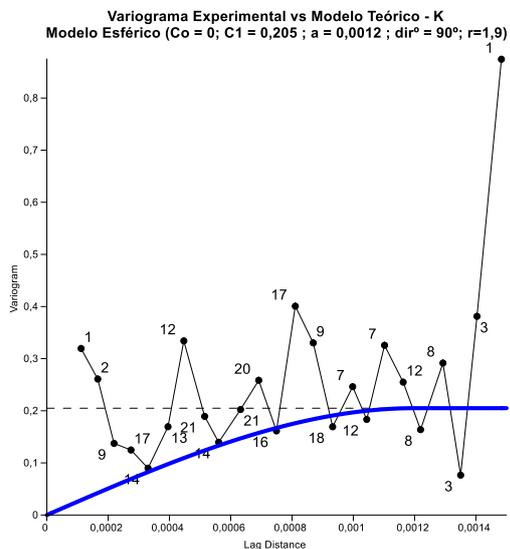
Eixos Fatoriais	Valor Próprio	% Exp	% Acum
1	4.8	28.3	28.3
2	2.7	16.2	44.5
3	2.2	13.0	57.5
4	1.7	10.2	67.7
5	1.1	6.2	73.9
6	0.9	5.6	79.4

---

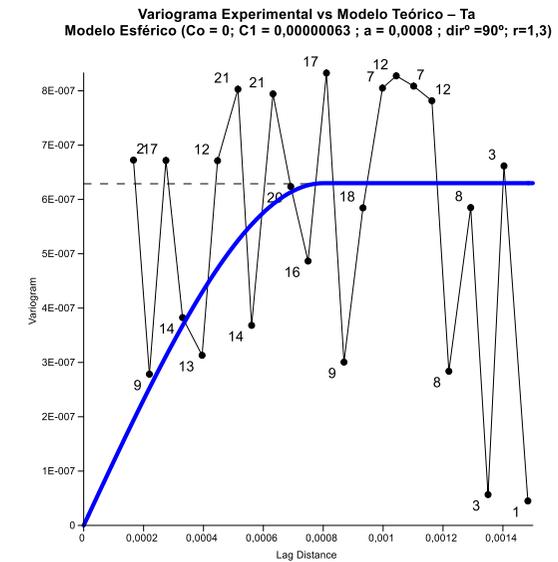
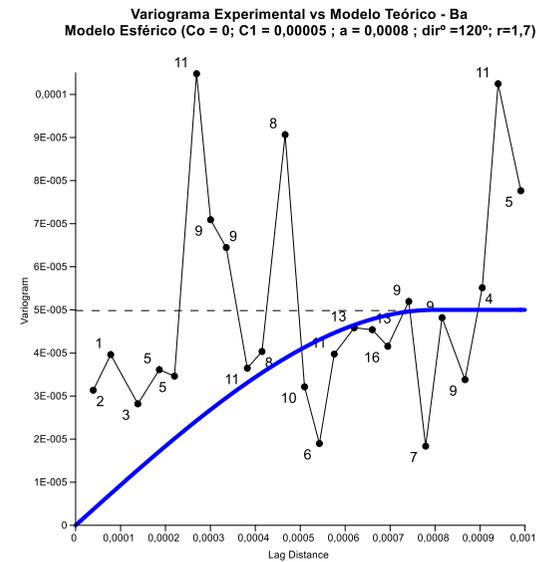
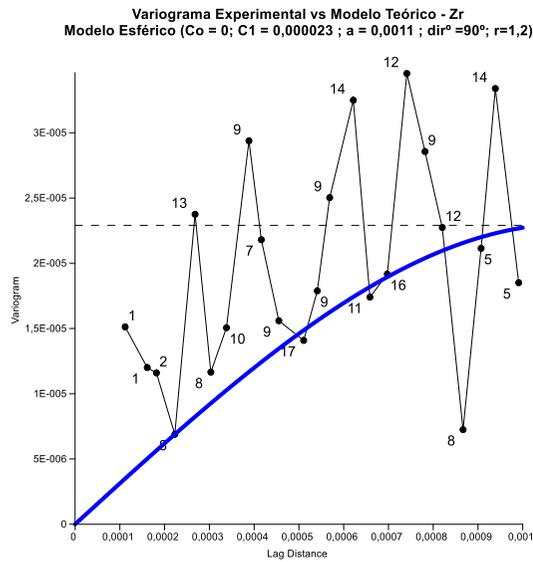
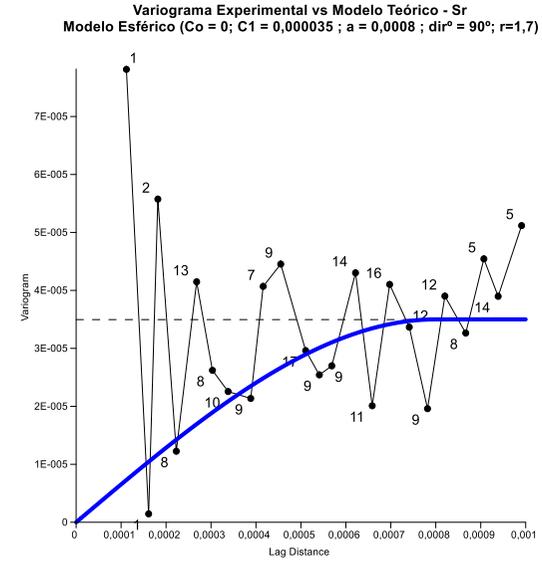
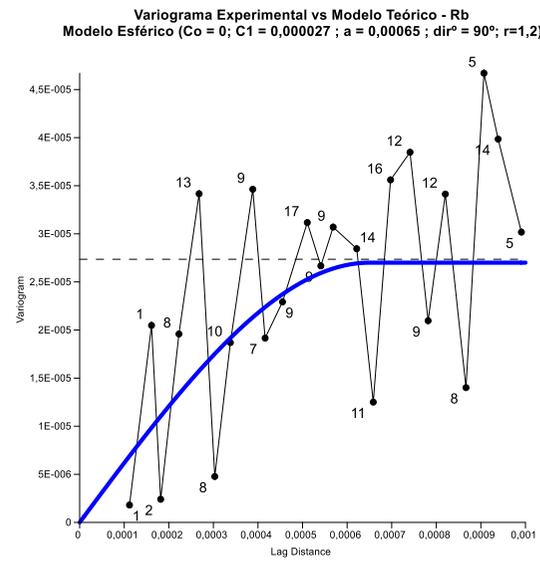
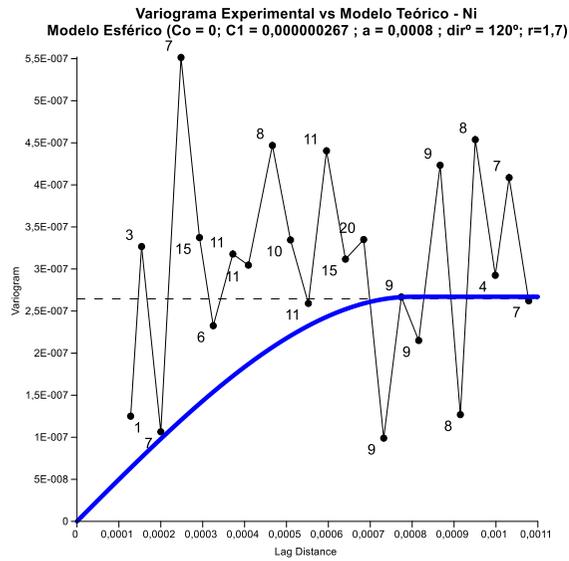
<sup>3</sup> Os eixos retidos levam em linha de conta o critério de Kaiser (valores próprios superiores a 1) e o critério de Pearson (taxa de inércia transportada acumulada superior a 80%), (Hair *et al.*, 2006), (Garson, 2009).

# Anexo 4

## Anexo 4.1 – Variogramas experimentais ajustados dos restantes elementos (Jd. de S.Lázaro).

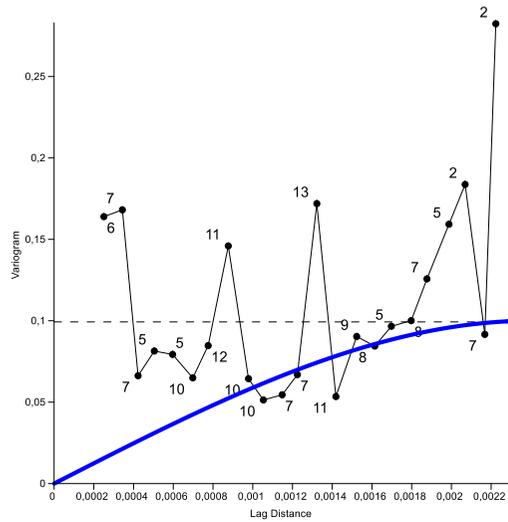


# CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

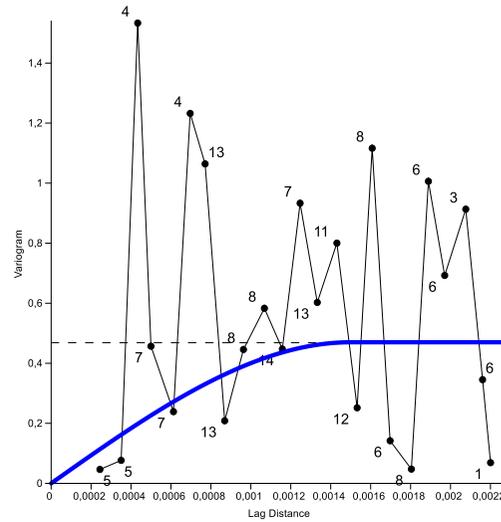


**Anexo 4.2 – Variogramas experimentais ajustados dos restantes elementos (Pç. Mouzinho de Albuquerque – Rotunda da Boavista).**

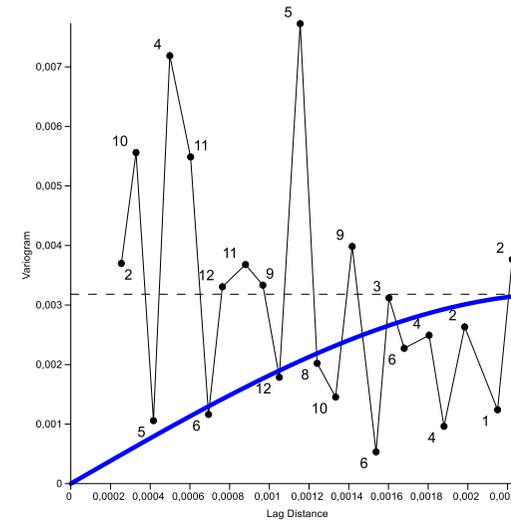
**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – K**  
 Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,1 ; a = 0,0024 ; dir° = 120°; r=1,3)



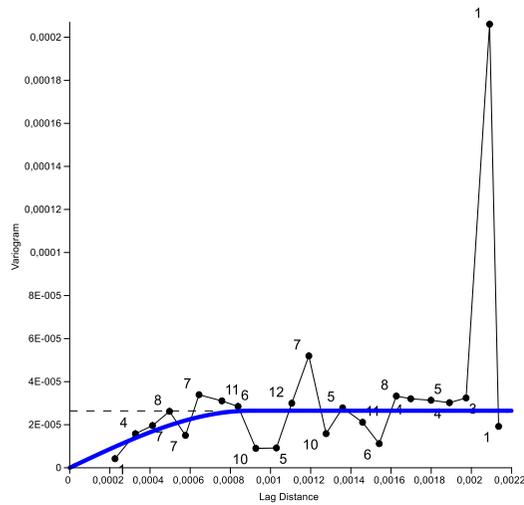
**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – Ca**  
 Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,47 ; a = 0,0015 ; dir° = 90°; r=1,5)



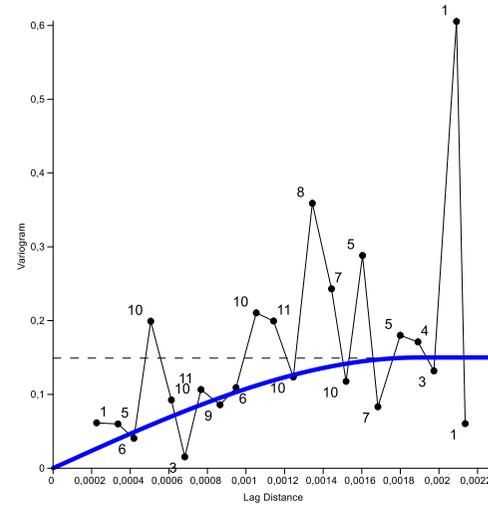
**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – Ti**  
 Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,0032 ; a = 0,0025 ; dir° = 150°; r=1,9)



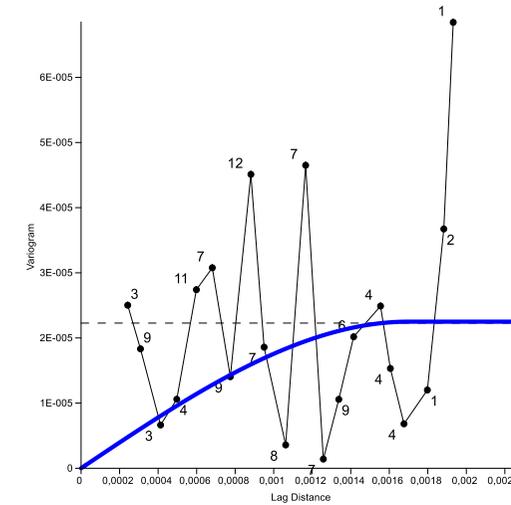
**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – Mn**  
 Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,0000265 ; a = 0,0009 ; dir° = 60°; r=1,2)



**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – Fe**  
 Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,15 ; a = 0,0019 ; dir° = 60°; r=1,3)

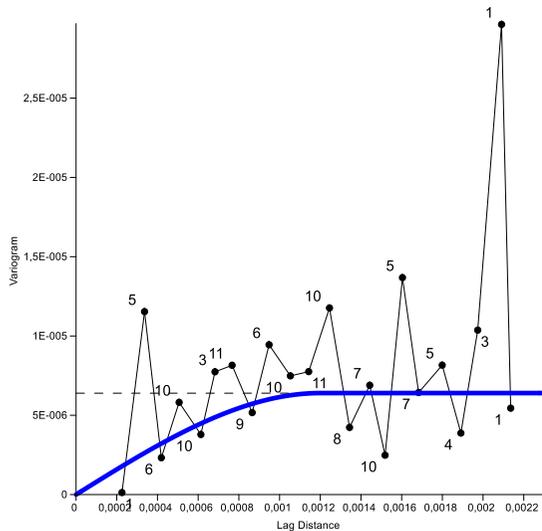


**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – Rb**  
 Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,0000225 ; a = 0,0017 ; dir° = 0°; r=1,5)

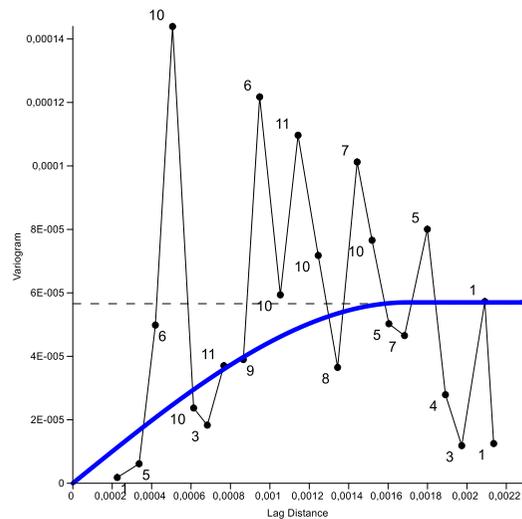


# CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS DE ÁREAS VERDES DA CIDADE DO PORTO

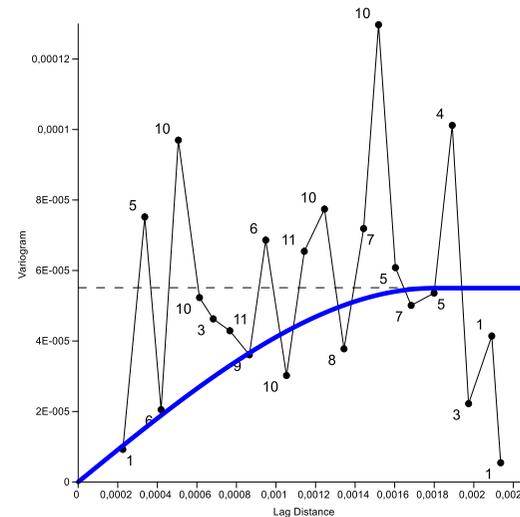
**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – Sr**  
**Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,00000064 ; a = 0,0012 ; dir<sup>2</sup> =60°; r=1,3)**



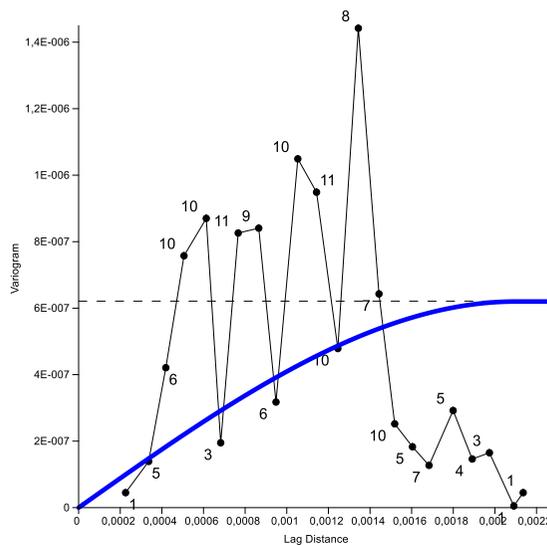
**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – Zr**  
**Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,000057 ; a = 0,0017 ; dir<sup>2</sup> =60°; r=1,2)**



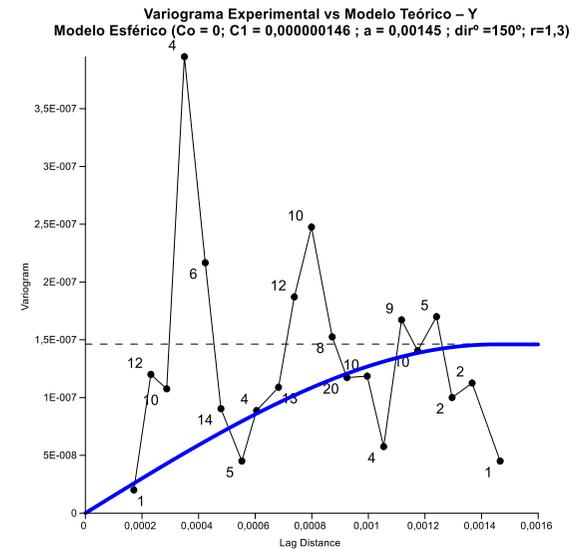
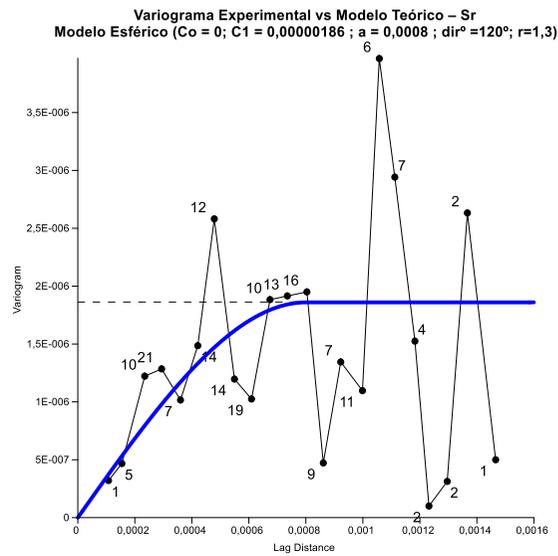
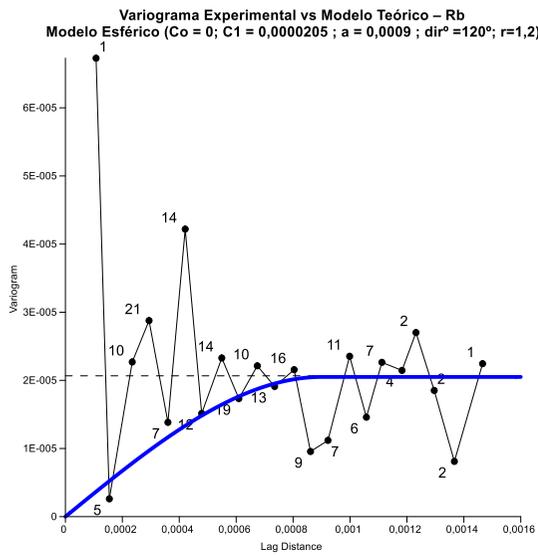
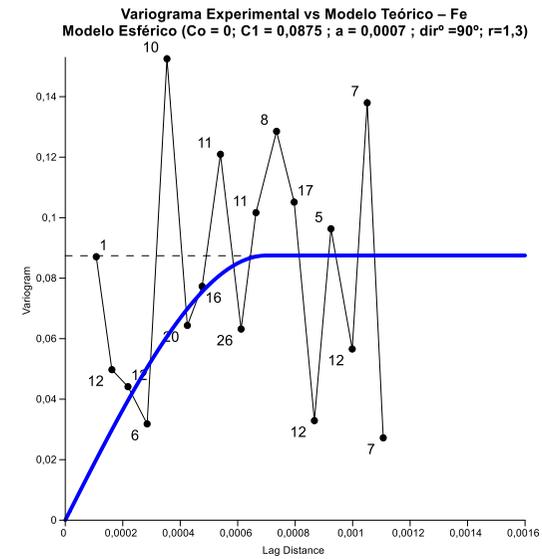
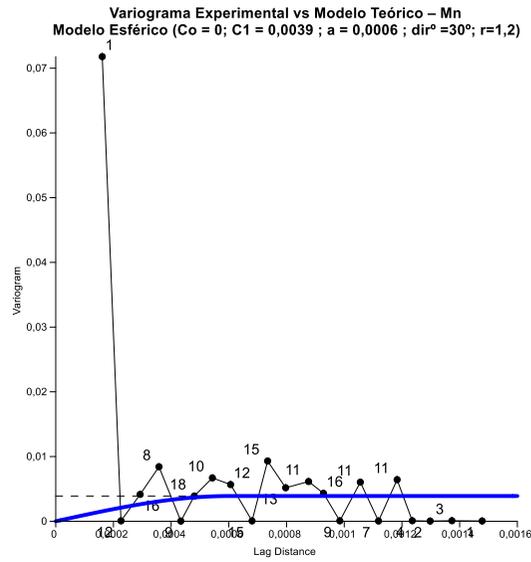
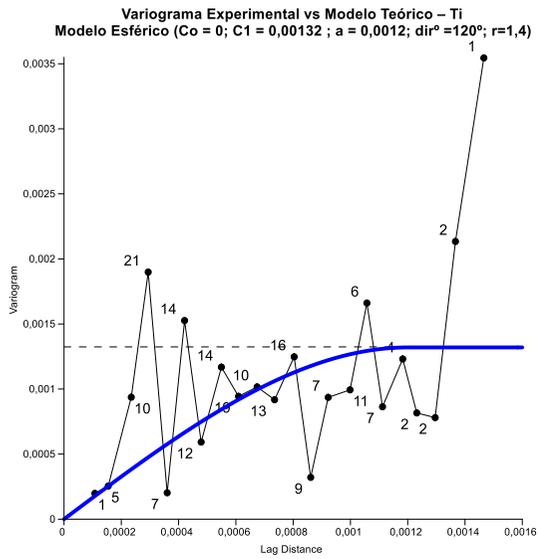
**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – Ba**  
**Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,000055 ; a = 0,0018 ; dir<sup>2</sup> =60°; r=1,5)**

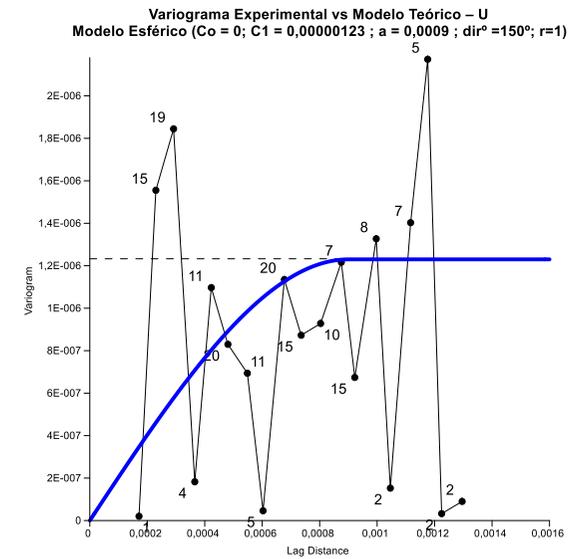
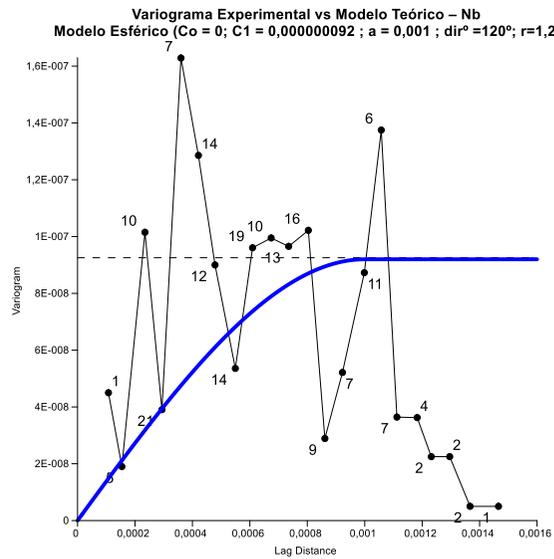
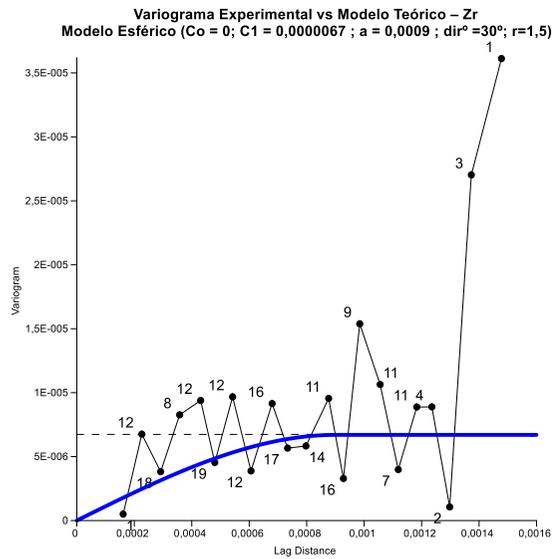


**Variograma Experimental vs Modelo Teórico – Ta**  
**Modelo Esférico (Co = 0; C1 = 0,00000062 ; a = 0,0021 ; dir<sup>2</sup> =60°; r=1,3)**



**Anexo 4.3 – Variogramas experimentais ajustados dos restantes elementos (Pç. da República).**





**Anexo 4.4 – Variogramas experimentais ajustados dos restantes elementos (Prq. da Cidade).**

