

CONTRIBUTOS PARA UM MODELO ESPACIAL DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE PARTÍCULAS NA ENVOLVENTE DE UMA CENTRAL TÉRMICA DE CARVÃO

PATRÍCIA PINTO LOURENÇO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE

Orientador: Professor Doutor Joaquim Eduardo Sousa Góis

Co-Orientadora: Professora Doutora Maria de Lurdes Proença de Amorim Dinis

JULHO DE 2011

MESTRADO EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Tel. +351-22-508 196

Fax +351-22-508 1448

✉ 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

🌐 <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 – 2010/2011 - Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo 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 electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Desenvolvido no âmbito do Projecto: Modelação da dispersão na atmosfera dos elementos radioactivos e dos metais originada por uma central térmica de carvão, financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de competitividade - COMPETE (Programa Operacional Factores de Competitividade) e por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, FCOMP01-0124-FEDER-009745, FCT referência: PTDC/ECM/100735/2008.

RESUMO

As partículas totais em suspensão são elementos atmosféricos constituídos por complexas misturas resultantes de fenómenos naturais e de fenómenos antropogénicos tais como processos industriais, tráfego rodoviário, queima de combustíveis fósseis e reacções químicas na atmosfera. Devido à sua constituição multivariada, na qual poderão existir compostos prejudiciais para a saúde humana, tornaram-se alvo de investigação recorrente nos mais diversos centros populacionais e industriais.

Pretendeu-se com este trabalho desenvolver um modelo de dispersão espacial do fluxo de deposição das partículas atmosféricas na envolvente a um pólo industrial, no caso particular do objecto de estudo, a Central Termoelétrica integrada no complexo industrial de Sines. Foram exploradas várias técnicas estatísticas, nomeadamente: a estatística linear, a estatística direccional e análise factorial das correspondências binárias, até chegar aos modelos de dispersão espacial com a aplicação das ferramentas da geostatística. Nesta última abordagem para além da estatística exploratória das variáveis em estudo, foi efectuado um estudo da deriva, uma análise variográfica, a validação cruzada e finalmente a estimação por krigagem ordinária.

No seu conjunto podemos dizer que esta dissertação resulta de uma abordagem em 3 vertentes. A primeira, de carácter essencialmente descritivo, aborda o enquadramento legislativo e normativo para a emissão e monitorização de partículas em suspensão. Nesta abordagem é ainda feito o enquadramento do pólo industrial de Sines e, consequentemente da Central Termoelétrica de Sines. A segunda consistiu na obtenção e tratamento de dados de natureza diferente; dados referentes às partículas depositadas (fluxo de deposição) e dados relacionados com as variáveis climáticas locais (dados recolhidos pela estação meteorológica colocada no complexo industrial de Sines).

Finalmente, na última vertente procurou-se definir um modelo de dispersão espacial do fluxo de deposição das partículas atmosféricas de forma a caracterizar as áreas na envolvente à Central Termoelétrica, onde a deposição de partículas (seja de fontes industriais ou de fontes naturais) deverá ser mais expressiva. O principal objectivo do modelo é, portanto, identificar as zonas onde foi depositada uma maior quantidade de partículas, assim como estimar a sua possível dispersão atmosférica para delimitar as áreas que deverão ser monitorizadas e analisadas de forma a identificar as suas fontes emissoras.

Palavras-chave: Partículas em suspensão, fluxo de deposição, dispersão espacial, central termoelétrica, análise factorial das correspondências binárias, estatística direccional, geoestatística.

ABSTRACT

Suspension particles are atmospheric elements formed by complex mixtures that result from natural and anthropogenic sources. These sources include industrial processes, traffic, fossil fuel combustion and chemical reactions that may occur in the atmosphere. Particles have a multivariate constitution which often includes harmful compounds to human health. This is the main reason why this subject became a target of research related to population exposure and industrial agglomeration.

The aim of this work was to develop a spatial dispersion model for the atmospheric particles settlement flow. The model was developed for the compelling area of an industrial facility, in particular, the thermal power plant at the industrial complex of Sines. Several statistical techniques were applied namely, linear statistics, directional statistics and factor analysis for binary data correspondence, to achieve the spatial dispersion model through the application of geostatistical tools. In this last approach, and beside the exploratory statistical analysis of the variables, a study of the statistical drift was also carried out as well as variography, cross validation and finally estimation by ordinary kriging.

Globally, this thesis resulted from an approach in three main directions. The first one is essentially descriptive and it includes the legislative and normative framework for the emission and monitoring of suspended particles. It also includes the description of the industrial centre and Sines thermal power plant. The second direction was based on data collecting and further statistical analysis. These data included the flux deposition referring to field collected particles and to local climate variables (data obtained from the meteorological station placed on the industrial complex at Sines).

Finally, in the third direction, a spatial dispersion model was built describing particles deposition (both from natural and industrial sources) in the vicinity of Sines thermal power plant, where the deposition should be more intense. We may say that the main purpose of the model is to identify the areas where most of the particles deposition occurs, as well as to estimate the possible atmospheric dispersion in order to determine which areas should be monitored and analyzed in a way to identify the emission source.

Key words: Suspended particles, deposition flow, spatial dispersion, thermal power plant, factor analysis for binary data correspondence, directional statistics

AGRADECIMENTOS

“A vida é assim, faz-se muito das coisas que acabam”

José Saramago, 2000

E eu sinto que só fui capaz de acabar devido a várias pessoas que sempre me acompanharam e apoiaram e a tantas outras que sempre disseram e pensaram que eu não era capaz. Todas me deram a força necessária para chegar ao fim, cada uma à sua maneira.

Agradeço todo o acompanhamento durante o meu percurso académico e especialmente durante o período desta dissertação:

Aos professores, do departamento de Engenharia de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e aos professores da Universidade Federal de Pernambuco.

Em especial ao professor Góis, coordenador da presente prova de mestrado, pela cuidada orientação, pelas críticas sempre construtivas, pelo profissionalismo, pela sua inteligência humana e científica, permanente acessibilidade e pela constante e sincera motivação. A “moça” agradece feliz pelo trabalho desenvolvido e pelo bem-estar gerado desde o início desta dissertação (“quando estiveres lá em cima e não souberes onde te agarrar, eu puxo-te para baixo e subimos os dois”).

À professora Lurdes, co-orientadora deste trabalho, por ter criado este projecto, pela dedicação, por todas as horas de simpatia, apoio e compreensão, e por todas as horas de rigidez necessária para que as coisas acabassem por acontecer.

Fecho este discurso dedicado aos professores com o professor Soeiro, que sempre me ouviu, apoiou, e fez do seu gabinete um bom lugar para desabafar, ele à imagem de tantos outros fez-me sentir capaz.

Agradeço também aos meus amigos:

À Si... e si engloba tudo, engloba os dias, as noites, as revisões, as conversas e a falta delas, as discussões contadas pelos dedos de uma mão. A nossa amizade é o resultado de uma dedicação constante, nos anos que se acumulam cheios de sorrisos e cumplicidade... Si diz tudo, sempre disse tudo (acabamos Joana!).

À Mafalda que esteve no apoio com a amizade inquestionável sem dia nem hora marcada, mas sempre presente, (desculpa a ausência durante este período).

Ao Artur, o que se enganou no caminho, e acabou por ficar pelo meu.

Aos meus colegas e amigos Bernardo, João, e Miguel, pela proximidade e paciência comigo. Estes a título de exemplo acabam por representar tantos outros colegas de carteira que me acompanharam ao longo destes anos.

Ao Mendanha que me levou ao lugar certo, na hora certa, e que representa todos os colegas e amigos que mesmo não tendo frequentado comigo aulas em lugares fechados, frequentaram comigo aulas de vida, de sorrisos, e de bem estar.

A Recife, ao Roy, ao Mágico, ao Paulo, ao Tátá, à Aninha, ao Guigo, ao Samuca, à Nams, à Sawako e a todos os professores e amigos que se cruzaram no período que mais me motivou e mais me fez sorrir no meu percurso escolar. Casa é apenas um sentimento, e eles deram-mo todo.

Ao Paulo, por todo o apoio. Não foi fácil compreender sempre, não foi fácil estar lá sempre, mas no fim acabaste sempre por estar, com inteligência e sensatez, com um sorriso e um abraço, pedindo para eu desligar e me distrair, porque sim às vezes o melhor trabalho é feito pelas horas de descanso.

Por fim...

À parte de tudo, e acima de tudo agradeço à minha família.

Ao meu avô pela inteligência que só se alcança com a idade, pela compreensão do que eu sou e pela falta de compreensão do que eu faço, obrigada por pões sempre a tua mão sobre a minha.

Ao meu irmão pela paciência e apoio constantes. Por toda a inspiração e por todos os (bons) exemplos físicos e humanos de profissionalismo, competência e responsabilidade. Um dia eu chego lá.

Aos meus pais que suportaram todas as dores, todos os sorrisos, todas as dúvidas e todas as dificuldades, que acreditaram e insistiram para que eu terminasse. Sem os meus pais e sem as suas regras, cobranças e colo não teria chegado onde cheguei, e ainda bem que cheguei.

Agradeço no fim, porque fim sempre se agradece.

Obrigada a todos.

*Aos meus pais
e irmão.*

*“...Duas ou três lagartas terei que suportar se quiser saber como são as borboletas...”
Antoine de Saint-Exupéry*

ÍNDICE

Resumo.....	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas.....	xix
Abreviaturas.....	xxi
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Considerações gerais.....	1
1.2. Objectivos.....	4
1.3. Estrutura do trabalho	5
Capítulo 2	7
Caracterização da área em estudo	7
2.1. Considerações gerais.....	7
2.1.1. Acidentes ambientais	8
2.2. Localização e densidade populacional.....	9
2.3. Ordenamento territorial e urbanístico.....	9
2.4. A Central Termoeléctrica de Sines.....	10
Capítulo 3	13
Metodologia para a obtenção e tratamento de dados	13
3.1. Considerações gerais.....	13

3.2. Definição da área de amostragem	15
3.3. Descrição das campanhas de amostragem	18
3.4. Tratamento laboratorial das amostras.....	20
3.5. Georreferenciação. Malha de amostragem.....	23
Capítulo 4	27
Tratamento estatístico das variáveis climáticas	27
4.1. Considerações gerais.....	27
4.2. Metodologia	28
4.2.1. Instrumentação utilizada.....	29
4.2.2. Registos efectuados	29
4.3. Estatísticas exploratórias	30
4.3.1. Temperatura	31
4.3.2. Precipitação.....	32
4.4. Estudo particular da variável velocidade do vento.....	35
4.5. Direcção do vento - estatística circular	37
4.6. Análise factorial das correspondências binárias	47
Capítulo 5	53
Modelos de dispersão espacial	53
5.1. Considerações gerais.....	53
5.2. Breve introdução aos fundamentos geoestatísticos	54
5.3. Estudo estatístico exploratório das variáveis	58
5.3.1. Estudo da deriva.....	60
5.4. Variografia	61
5.4.1. Variogramas experimentais – malha de amostragem.....	61
5.4.2. Modelo teórico de ajuste aos variogramas experimentais – malha de amostragem	63
5.4.3. Variogramas experimentais - fluxo de deposição	64
5.4.3.1. Primeira campanha de amostragem	64
5.4.3.2. Segunda campanha de amostragem	66
5.4.4. Modelo teórico de ajuste aos variogramas experimentais - fluxo de deposição.....	67
5.4.4.1. Primeira campanha de amostragem	67

5.4.4.2. Segunda campanha de amostragem	68
5.5. Validação cruzada	69
5.6. Krigagem Ordinária	70
5.6.1. Modelo de superfície	72
5.6.2. Modelos de dispersão espacial de partículas	73
5.6.2.1. Fluxo de deposição - 1ª Campanha de amostragem.....	77
5.6.2.2. Fluxo de deposição - 2ª campanha de amostragem.....	81
5.7. Estudo da relação altitude vs fluxo de deposição	82
Capítulo 6	85
Conclusões	85
6.1. Perspectivas para trabalhos futuros.....	86
Bibliografia.....	89
Anexo.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quantidade de partículas (PM_{10}) libertadas pelo complexo industrial de Sines (Fonte: EEA, 2010).....	3
Figura 2 - Emissões atmosféricas das Centrais térmicas e outras indústrias de combustão na região do Alentejo (Fonte: EEA, 2009).....	4
Figura 3: Localização geográfica do concelho de Sines (Fonte: INE, 2011).	9
Figura 4: Mapa urbanístico actual do município de Sines (Fonte: CMS, 2011).....	10
Figura 5: Emissões diárias da Central Termoeléctrico de Sines (Fonte: SinesBioar, 2002).	12
Figura 6: Área de amostragem definida pelos círculos de raios 6 e 20 km e centro nas chaminés da CTS.....	16
Figura 7: Área de amostragem definida e localização dos pontos de amostragem.	17
Figura 8: Equipamento laboratorial utilizado para a filtragem das amostras.	20
Figura 9: Representação georreferenciada e quantitativa do fluxo de deposição calculado para os respectivos pontos de amostragem (1ª campanha de amostragem).....	22
Figura 10: Representação georreferenciada e quantitativa do fluxo de deposição calculado para os respectivos pontos de amostragem (2ª campanha de amostragem).....	22
Figura 11: Zona de enquadramento da área de amostragem.	25
Figura 12: Levantamento das altitudes e correspondentes georreferencias para obtenção de uma malha rectangular.	25
Figura 13: Representação dos pontos de amostragem sobre a malha rectangular.	26
Figura 14: Histograma da variável temperatura.	32
Figura 15: Resultado gráfico obtido através do teste Kolmogorov-Smirnov.	32
Figura 16: Histograma da variável precipitação medida em intervalos tempo de 10 em 10 minutos...	33
Figura 17: Histograma da variável precipitação medida em intervalos de 10 em 10 minutos (figura ampliada).	33
Figura 18: Histograma das precipitações acumuladas em 24 h no período entre 16 de Setembro a 14 de Junho de 2011.	34
Figura 19: Histograma da variável velocidade do vento.	36
Figura 20: Histograma dos registos da velocidade do vento, ajuste da lei de Weibull.	37

Figura 21: Representação circular dos registos da direcção do vento, perspectiva global de todos os registos.	39
Figura 22: Representação circular dos registos da direcção do vento no período de 15 de Setembro a 17 de Outubro de 2010.....	40
Figura 23: Representação circular dos registos da direcção do vento no período de 1 de Abril a 1 de Maio de 2011.....	40
Figura 24: Ajuste da lei uniforme à variável circular em estudo.....	41
Figura 25: Ajuste da distribuição de von-Mises à variável circular em estudo.	41
Figura 26: Representação circular da direcção do vento vs temperatura - análise geral.....	43
Figura 27: Representação circular da direcção do vento vs radiação solar - análise geral.	43
Figura 28: Representação circular da direcção do vento vs precipitação- análise geral.....	44
Figura 29: Representação circular da direcção do vento vs pressão - análise geral.	45
Figura 30: Representação circular da direcção do vento vs ponto de orvalho - análise geral.	45
Figura 31: Representação circular da direcção do vento vs humidade relativa - análise geral.....	46
Figura 32: Representação circular da direcção do vento vs velocidade do vento - análise geral.	47
Figura 33: Análise factorial das correspondências binárias.....	50
Figura 34: Análise factorial das correspondências binárias (II).	50
Figura 35: Análise factorial das correspondências binárias (III).	51
Figura 36: Esquema representativo de um semivariograma (Fonte: Lourenço, 2005).	56
Figura 37: Relação entre a covariância e a variância para $h=0$ (Fonte: SERRPIOP, s.d.).	57
Figura 38: Avaliação da deriva do fluxo de deposição em relação à latitude (1ªcampanha de amostragem).	60
Figura 39: Avaliação da deriva do fluxo de deposição em relação à longitude (1ªcampanha de amostragem).	60
Figura 40: Avaliação da deriva do fluxo de deposição em relação à longitude (2ªcampanha de amostragem).	61
Figura 41: Avaliação da deriva do fluxo de deposição em relação à longitude (2ªcampanha de amostragem).	61
Figura 42: Variograma experimental da malha de amostragem (direcção de maior continuidade).	62
Figura 43: Variograma experimental da malha de amostragem (direcção de menor continuidade). ...	62
Figura 44: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico para a malha de amostragem (direcção de maior continuidade).	63
Figura 45: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico para a malha de amostragem (direcção de menor continuidade).	64
Figura 46: Variograma experimental do fluxo de deposição referente à primeira campanha de amostragem (direcção de menor continuidade).	65
Figura 47: Variograma experimental do fluxo de deposição referente à primeira campanha de amostragem (direcção de maior continuidade).	66
Figura 48: Variograma experimental do fluxo de deposição referente à segunda campanha de amostragem (direcção de menor continuidade).	66

Figura 49: Variograma experimental do fluxo de deposição referente à segunda campanha de amostragem (direcção de maior continuidade).	67
Figura 50: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico para a primeira campanha de amostragem.....	68
Figura 51: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico para a segunda campanha de amostragem.....	68
Figura 52: Mapa bidimensional da superfície utilizado como base para a modelação tridimensional. 72	
Figura 53: Modelo tridimensional da superfície local e envolvente do pólo industrial.	72
Figura 54: Mapa Geral do caso em estudo - Localização geográfica dos Pontos de amostragem, CTS e Fluxo de posição da 1ª Campanha de amostragem sobre as Cartas Militares Portuguesas.....	75
Figura 55: Fluxo de deposição referente à primeira campanha de amostragem.	77
Figura 56: Mapa Geral do caso em estudo - Localização geográfica dos Pontos de amostragem, CTS e Fluxo de posição da 2ª Campanha de amostragem sobre as Cartas Militares Portuguesas.....	79
Figura 57: Fluxo de deposição referente à segunda campanha de amostragem.	81
Figura 58: Regressão linear do fluxo de deposição vs altitude e respectivos coeficientes de correlação (1ª campanha de amostragem).	82
Figura 59: Regressão linear do fluxo de deposição vs altitude e respectivos coeficientes de correlação (2ª campanha de amostragem).	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Densidade populacional (N.º/km ²) por local de residência (Fonte: INE, 2011).....	9
Tabela 2: Características técnicas da Central Termoeléctrica de Sines (Fonte: EDP, 2009).	11
Tabela 3: Pontos de amostragem localizados na área dentro do círculo de raio 6 km com centro na CTS.....	16
Tabela 4: Pontos de amostragem localizados na área compreendida entre os círculos de raio 6 e 20 km com centro na CTS.....	17
Tabela 5: Parâmetros espaciais e temporais da 1 ^a e 2 ^a campanha de amostragem.	19
Tabela 6: Cálculo do fluxo médio de deposição.	21
Tabela 7: Posição geográfica dos pontos de amostragem, conversão de coordenadas e cota topográfica.	24
Tabela 8: Características técnicas da estação meteorológica (Fonte: Vaisala WXT510 – Folheto informativo).	29
Tabela 9: Identificação das variáveis e correspondentes siglas.	30
Tabela 10: Excerto da tabela dos registos das variáveis climatológicas - observações de 10 em 10 minutos.	30
Tabela 11: Estatísticos exploratórios para todos os registos das variáveis climatológicas - Período de 15 de Setembro de 2010 a 14 de Junho de 2011 – observações de 10 em 10 minutos.	31
Tabela 12: Estatísticos exploratórios da variável precipitação total acumulada (de 16-09-2010 a 14-06-2011).	34
Tabela 13: Tabela comparativa dos estatísticos exploratórios da precipitação “instantânea” nos períodos referentes à exposição de placas no terreno.	35
Tabela 14: Estudo estatístico exploratório dos registos da direcção do vento.	39
Tabela 15: Coeficientes de correlação linear-circular.	42
Tabela 16: Escolha das modalidades e respectivas frequências.	48
Tabela 17: Matriz de dados codificada em disjuntiva completa.	48
Tabela 18: Taxa de Inércia transportada em cada factor.	49
Tabela 19: Contribuições absolutas.	49
Tabela 20 - Estatísticos exploratórios para o fluxo de deposição.	59
Tabela 21: Resultados da aplicação do método validação cruzada.	69

ABREVIATURAS

AEMET – *Agência Estatal de Meteorología*

Aicep Global Parques – *Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal*

APA – *Agência Portuguesa do Ambiente*

CCDR Alentejo – *Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo*

CIGAR – *Centro de investigação em Geo-Ambientes e Recursos*

CMS – *Câmara Municipal de Sines*

CTS – *Central Termoeléctrica de Sines*

CVRM – *Centro de Geosistemas do IST*

EDP – *Gestão da Produção de Energia, S.A*

EEA – *European Environment Agency*

E-PRTR – *The European Pollutant Release and Transfer Register*

GISA – *Gestão Integrada de Saúde e Ambiente*

IA – *Instituto do Ambiente*

IGeoE – *Instituto Geográfico do Exército*

IM – *Instituto de Meteorologia*

INE – *Instituto Nacional de Estatística*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IST – *Instituto Superior Técnico*

MAOT – *Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território*

MAOTDR - *Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional*

MAOTDR.ADRP – *Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território, e do Desenvolvimento Regional e da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas*

MCOTA – *Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente*

MEI – *Ministério da Economia e da Inovação*

OMM – *Organização Mundial Meteorológica*

SERRPIOP – *Soluciones en Evaluación de Recursos, Reservas, Proyectos de Inversión y Operaciones Minera*

UE – *União Europeia*

WWF – *World Wildlife Fund*

Zils – Zona Industrial e Logística de Sines

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

*“... O conhecimento científico que nos abre o infinito
é exactamente o mesmo que nos aponta os limites materiais
e insuperáveis do planeta em que vivemos...”*

José J. Delgado Domingos, 1995

1.1. Considerações gerais

A imposição de limites para a poluição do ar e o seu enquadramento legislativo e normativo têm sofrido diversas alterações ao longo do tempo. Em Portugal existe legislação específica dedicada a este tema desde 8 de Junho de 1961, com a publicação do Decreto-Lei n.º 43726, (*“...regras relativas à emissão de efluentes para a atmosfera provenientes das indústrias de acumuladores eléctricos de chumbo...”*) até à actualidade, estando em vigor o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro de 2010, que *“...fixa os objectivos para a qualidade do ar ambiente tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial da Saúde, destinados a evitar, prevenir ou reduzir as emissões de poluentes atmosféricos...”* (Nunes, 2011).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 78/2004 emitido pelo Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente a 3 de Abril de 2004, que estabelece *“...o regime da prevenção e controlo das emissões de poluentes para a atmosfera, fixando os princípios, objectivos e instrumentos apropriados à garantia da protecção do recurso natural ar, bem como as medidas, procedimentos e obrigações dos operadores das instalações abrangidas, com vista a evitar ou reduzir a níveis aceitáveis a poluição atmosférica originada nessas mesmas instalações...”*, os poluentes atmosféricos são caracterizados como sendo *“as substâncias introduzidas, directa ou indirectamente, pelo homem no ar ambiente, que exercem uma acção nociva sobre a saúde humana e ou o meio ambiente...”* (MCOTA, 2004).

Por sua vez a Estratégia Temática Sobre a Poluição Atmosférica reconhece o ozono troposférico (formado pela reacção dos compostos orgânicos voláteis (COV) e de óxidos de azoto (NOx) na presença da luz solar) e as partículas em suspensão, definidas à luz da legislação Portuguesa no capítulo 3 deste trabalho, como um dos problemas resultantes da poluição atmosférica mais expressivos, relativamente à saúde humana. Este mesmo texto afirma que a exposição do ser humano a estes poluentes pode conduzir desde efeitos ligeiros no sistema respiratório à mortalidade prematura (MAOTDR, 2006).

Neste sentido, o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação tem por base uma metodologia genérica para o estudo do fluxo de deposição de partículas provenientes de um qualquer processo industrial. Esta metodologia abrange o estudo dos modelos de dispersão que permite visualizar, através de mapas de contorno, a distribuição espacial e contínua da quantidade de partículas existentes na envolvente à Central Termoeléctrica de Sines (caso de estudo). A metodologia adoptada deixa, no entanto, em aberto todas as possibilidades de análises qualitativas para se obter o calibre e os constituintes das partículas amostradas de forma a caracterizar a sua fonte emissora. Feita esta análise poder-se-á combinar tanto os mapas de dispersão espacial como o estudo do sistema climático obtido no decorrer desta dissertação com os resultados qualitativos, de forma a caracterizar as partículas atmosféricas locais. Apesar desta tarefa estar prevista no programa de trabalhos do Projecto, está fora do âmbito desta dissertação.

Sines é um concelho do distrito de Setúbal e que actualmente possui o maior pólo industrial e portuário do país. Contudo, o desenvolvimento deste pólo industrial foi muito contestado no passado pela população, assim como pelas associações ambientais locais, e tem sido alvo recorrente de diversos estudos de caso, tais como pelo projecto GISA – Gestão Integrada de Saúde e Ambiente¹ (Projecto GISA, 2008-2011).

A Central Termoeléctrica de Sines (CTS) integrada na Zils Global Parques - Zona Industrial e Logística de Sines, sob gestão da “aicep Global Parques”, foi considerada uma das centrais produtoras de energia eléctrica mais poluentes na União Europeia, em conformidade com um relatório oficial da organização ambientalista *World Wildlife Fund (WWF)*. Esta informação foi publicada pela jornalista Paula Ferreira num artigo do Diário de Noticias em 2005, acrescentando também informações acerca das emissões lançadas pela CTS na atmosfera. Paula Ferreira refere a este respeito que “...houve um aumento de 600 toneladas a mais do que previsto nas licenças de emissão, atribuídas pelo Governo, no âmbito do comércio de emissões de gases com efeito de estufa...”, no mesmo artigo a autora faz referência que a EDP (empresa proprietária da CTS) defendia que “...os valores dos poluentes emitidos estão conforme e mesmo abaixo dos limites permitidos por lei”. Apesar desta garantia não confirmada, nesse ano a Central Termoeléctrica de Sines viria a ser a única central portuguesa na lista da WWF (WWF, 2007).

Ainda no mesmo ano as Centrais Térmicas portuguesas absorviam dois terços das licenças concedidas, em termos das emissões de carbono, a Portugal pela UE (Ferreira, 2005).

¹ Projecto desenvolvido através de um protocolo de cooperação entre a GALP, REPSOL, EDP e restantes empresas do pólo industrial de Sines, Câmaras do litoral Alentejano, CCDR Alentejo, Administração Regional de Saúde do Alentejo, Instituto Superior Técnico, ISCTE (OBSERVA) e a Faculdade de Ciências.

Em 2008, segundo Cristina Sambado, jornalista da Rádio Televisão Portuguesa foi apresentado ao governo um estudo que sugeriu o encerramento da CTS, no entanto, a mesma jornalista refere que o secretário de Estado do Ambiente, Humberto Rosa, em funções nesse respectivo ano, tinha opinião que o cenário de encerramento da Central ser “...*meramente no campo das hipóteses, não se trata de estar eminente ou de neste momento ser viável...*” (Sambado, 2008). As anteriores informações não têm qualquer dado concreto acerca das emissões de partículas atmosféricas da Central ou do Complexo Industrial que confirme a sua fundamentação.

Relativamente aos dados oficiais, sobre a emissão de partículas atmosféricas pelos complexos industriais, a base de dados Europeia, E-PRTR, *The European Pollutant Release and Transfer Register*², publica anualmente a quantidade de emissões lançadas para atmosfera pelas indústrias que colaboram com esta base de dados. A figura seguinte representa as emissões de partículas industriais libertadas para a atmosfera em Sines, essas medições foram quantificadas segundo células de 5x5 km² para o ano de 2008, e disponibilizadas em 2010, esta classificação é exclusivamente quantitativa, não fazendo caracterização dos elementos constituintes das partículas. As unidades são expressas em toneladas por célula da grelha (EEA, 1995-2010).

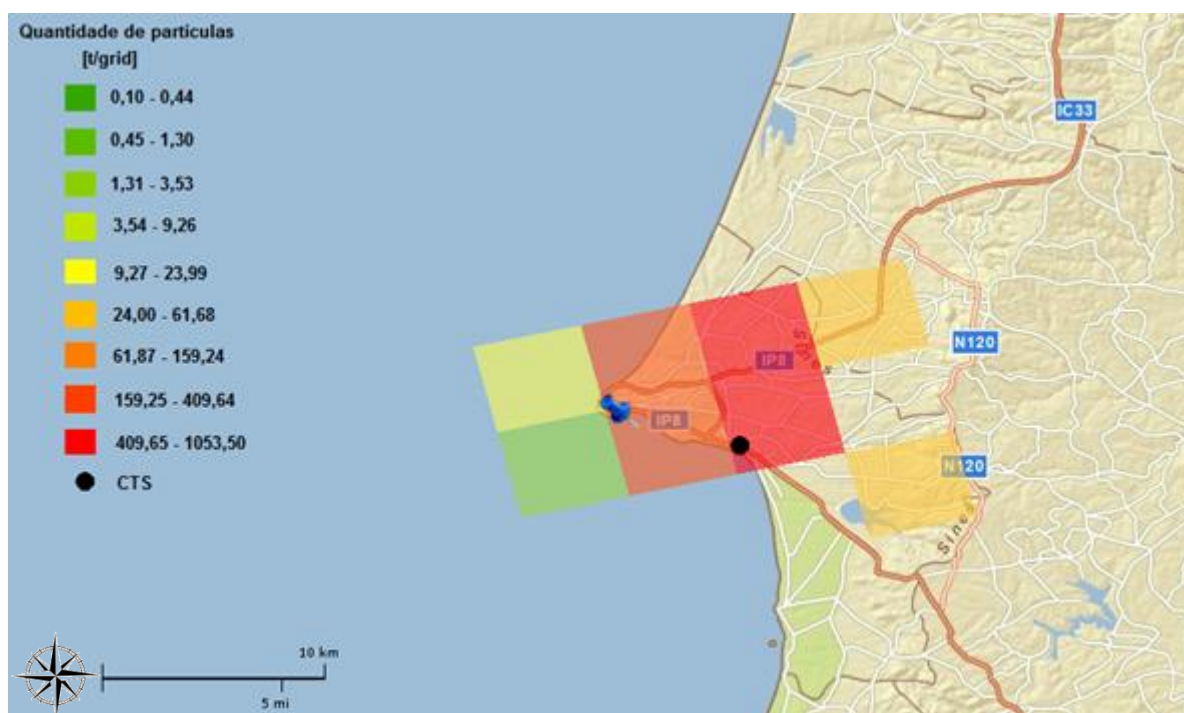


Figura 1: Quantidade de partículas (PM₁₀) libertadas pelo complexo industrial de Sines (Fonte: EEA, 2010).

Ainda na mesma base de dados é possível encontrar informações acerca das emissões industriais de partículas de diâmetro inferior a 10 µm (PM₁₀) referentes às Centrais térmicas e outras instalações de combustão existentes no Alentejo durante o ano de 2009 (ver Figura 2).

Neste seguimento a Comissão Europeia emitiu um relatório limiar a 17 de Julho de 2000, no âmbito do artigo 15 da Directiva 96/61/CE do Conselho relativo à prevenção e controlo integrados do

² Base de dados digital com 28000 instalações industriais abrangendo 65 actividades económicas.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) que impõe o valor limiar de 50 000 kg/ano para as PM₁₀ (EEA, 1995-2010).

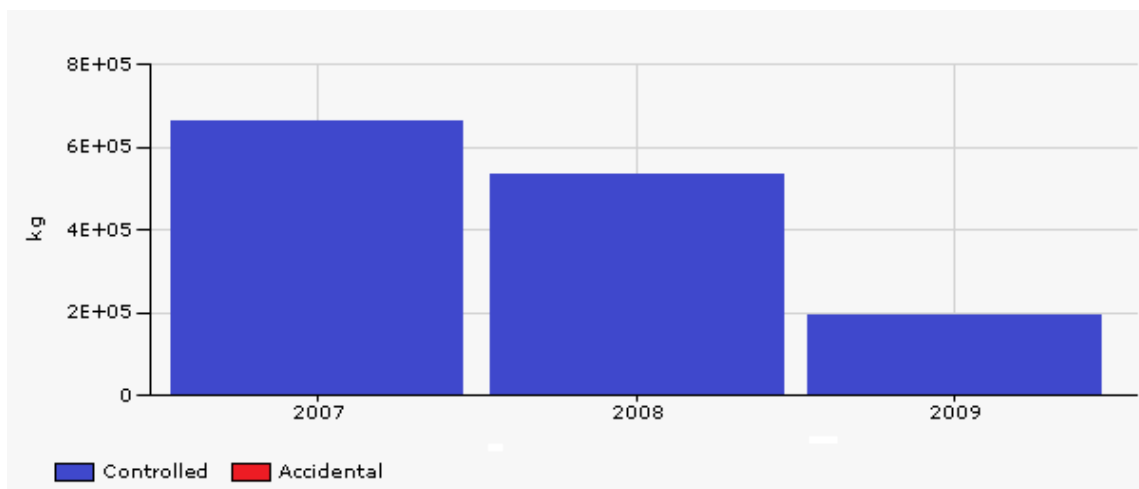


Figura 2 - Emissões atmosféricas das Centrais térmicas e outras indústrias de combustão na região do Alentejo (Fonte: EEA, 2009)

É possível então verificar a partir da figura anterior que o valor limiar estabelecido pela Comissão Europeia foi ultrapassado na Região do Alentejo. Desta forma a região deverá ser sinalizada como potencialmente perigosa, sendo fundamental identificar quais os poluentes e de que forma estes se encontram distribuídos na envolvente da CTS. Dado que existem várias fontes emissoras de poluentes na região, mas apenas uma usa o carvão como combustível, a caracterização qualitativa das partículas permitirá associá-las com a sua fonte emissora.

No âmbito desta dissertação de mestrado, como já foi referido, procurar-se-á apresentar uma metodologia para a quantificação da dispersão espacial de partículas em suspensão de natureza genérica tendo-se utilizado, como caso de estudo a Central Termoeléctrica de Sines.

1.2. Objectivos

O presente trabalho teve como principal objectivo o estudo da dispersão do fluxo de deposição das partículas na envolvente da Central Termoeléctrica de Sines. Este estudo teve por base a interligação de modelos espaciais georreferenciados com a interpretação de padrões direccionais preferenciais para o fluxo de deposição na área em estudo.

Para cumprir o objectivo genérico a que nos propusemos foram sendo estabelecidos objectivos intermédios, que não foram mais do que metas a atingir com a metodologia adoptada. Esta metodologia foi implementada essencialmente em 3 grandes fases.

A primeira fase diz respeito ao trabalho de campo, desenvolvido em 2 campanhas de amostragem, para recolha de poeiras e que decorreu em dois períodos diferentes (Setembro/Outubro 2010 e Abril/Maio 2011).

A segunda fase remete-nos para o trabalho laboratorial onde foi efectuada a dissolução do revestimento das placas e posterior filtração com o objectivo de se obter as partículas secas e livres

da resina usada no processo de captação das mesmas. Depois de pesadas, obteve-se o fluxo de deposição das partículas, sendo estes dados objecto de estudo na fase seguinte.

A terceira e última fase descreve o tratamento dos dados do fluxo de deposição obtidos nas 2 campanhas de amostragem, bem como dos dados meteorológicos locais recolhidos em contínuo desde Outubro de 2010. Nesta fase foram aplicadas técnicas no domínio da matemática, estatística e geoestatística com o propósito de caracterizar as condições climatológicas e evidenciar o comportamento de algumas das variáveis susceptíveis de influenciarem directamente a deposição de partículas atmosféricas.

1.3. Estrutura do trabalho

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos. Cada capítulo contém uma breve introdução aos conceitos que serão utilizados, assim como todo o enquadramento histórico e/ou tecnológico que seja relevante para a compreensão das variáveis envolvidas neste trabalho.

O capítulo 1 é dedicado à introdução do trabalho desenvolvido, com o respectivo enquadramento legislativo, objectivos e consequente estrutura que levaram à realização desta dissertação no âmbito do curso de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente.

No capítulo 2 é feita a caracterização da área em estudo, desde a sua localização, ordenamento e enquadramento industrial, de forma a se obter um conhecimento geral do problema a estudar. Neste capítulo é também apresentada a Central Termoeléctrica de Sines e a sua envolvente, local onde decorreu de trabalho de campo para a recolha de poeiras.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia genérica para a obtenção dos dados para posterior tratamento geoestatístico. Neste capítulo, é descrito o procedimento para realizar a amostragem de partículas de pequena dimensão de várias origens, utilizando a norma NF X 43-007, bem como os trabalhos experimentais realizados para a obtenção das partículas secas e livres da resina usada para a captação das mesmas terminando com o posterior cálculo do fluxo de deposição.

O capítulo 4 descreve a caracterização das condições climatológicas com o intuito de descrever o comportamento de algumas variáveis que influenciam a deposição das partículas.

O capítulo 5, por sua vez, inclui os resultados deste trabalho obtidos com o tratamento geoestatístico dos dados e com o desenvolvimento de modelos de dispersão espacial das partículas.

Por último, no capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões deste trabalho e algumas perspectivas futuras originadas quer pelos resultados obtidos quer pelas dificuldades que foram sendo sentidas ao longo da realização desta dissertação.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

*“... estenderam-se tubos prateados, onde escorre o negro líquido
levantaram-se imensas chaminés, serpenteiam auto-estradas na paisagem
irreconhecível do teu rosto...”*
Al Berto Mar-de-leva
(sete textos dedicados à vila de Sines)

2.1. Considerações gerais

Nesta secção, de acordo com a história e desenvolvimento industrial publicado pelo Município Sines é feita uma breve descrição dos factos mais preponderantes para o desenvolvimento da área em estudo.

Até meados do século XX Sines foi uma zona predominantemente rural com alguns focos populacionais, onde a pesca, agricultura, e indústria da cortiça constituíam as fontes de rendimento da população local.

No entanto, no início da década de 70 durante o governo economicamente próspero de Marcello Caetano³, Sines muda totalmente de configuração socioeconómica e urbanística aquando da decisão de instalar um complexo portuário e industrial, com o objectivo de desenvolver Portugal em áreas fundamentais como a energia e a transformação de matérias-primas. Previa-se então a construção de uma refinaria, uma petroquímica, uma siderurgia e outras unidades industriais que, para facilitar as importações e exportações de grande porte, deveriam localizar-se junto a um porto. Desta forma Sines apareceu como uma opção viável, devido às suas condições marítimas, próprias de uma zona portuária.

Em 11 de Junho de 1971 é criado o Gabinete da Área de Sines para o planeamento e coordenação da criação das infra-estruturas. Contudo em 1973, devido à guerra do Yom Kyppur, os

³ Entra em funções a 27 de Setembro de 1968 em substituição de António de Oliveira Salazar.

preços do petróleo aumentam e com eles surge uma crise que atrasa toda a construção do complexo industrial, mantendo-se quase inalterado durante a década de 80.

Em 1988 é criada a Sociedade de Promoção e Gestão de Áreas Industriais e Serviços com o objectivo de gerir os terrenos do complexo industrial e as infra-estruturas já construídas de modo a relançar o projecto inicial.

Em 1990 é construído um porto de contentores e um terminal de gás natural liquefeito que marcam o avanço da construção do complexo para as dimensões hoje conhecidas (CMS, 2001).

Na actualidade, o parque industrial é gerido pela "aicep Global Parques", sendo a maior área de localização para unidades industriais e logísticas da Península Ibérica (aicep Global Parques, 2010).

Com base na informação relativa ao complexo industrial de Sines, que constam no site oficial do Município, as principais indústrias do complexo Industrial são (CMS, 2001):

- Repsol YPF – Petroquímica;
- Carbogal - Negro de Fumo;
- C.L.C. - Logística de Combustíveis;
- CTS - Central Termoeléctrica de Sines;
- Euroresinas - Formaldeídos e Resina;
- Ibera - Betão Pronto;
- Metalsines – Metalomecânica;
- SCIAL (Grupo Cimpor) – Cimento;
- SHELL - Blending de Gasolinas;
- Petrogal – Refinaria;
- Recipneu - Reciclagem de Pneus;
- Artlant – Petroquímica.

2.1.1. Acidentes ambientais

A população de Sines e a própria administração municipal do concelho estiveram muitas vezes contra o desenvolvimento deste complexo, em particular devido a alguns acidentes relacionados mais com a área marítima do que propriamente com o complexo industrial. Podemos citar alguns destes acidentes como por exemplo, a explosão do petroleiro "Campeón" ao largo de Sines a 15 de Agosto de 1980; as descargas de poluentes na costa norte de Sines em 1982; o derrame de crude do navio "Marão" a Julho de 1989 e um novo derrame de descargas poluentes em 1990.

Estes acidentes tiveram grande impacte emocional na população e na própria economia da região. Em 1982, Sines realiza a primeira "Greve Verde" do país, os trabalhadores de Sines paralisaram totalmente a actividade económica da vila. A 8 de Junho do mesmo ano os pescadores boicotam o porto industrial, repetindo-o em 1995.

Em 1980, a Câmara Municipal de Sines foi a primeira instituição organizacional do país a embargar uma obra do Estado tentando impedir a construção da Central Termoeléctrica da EDP em

S. Torpes. No final da década de 90, esteve também ao lado da população na luta contra a instalação de uma unidade de incineração de lixos tóxicos no concelho (CMS, 2001).

2.2. Localização e densidade populacional

Sines é um concelho do distrito de Setúbal que se situa no litoral sudoeste de Portugal. O concelho de Sines está limitado a sul pelo concelho de Odemira e a norte e nordeste pelo concelho de Santiago do Cacém, localizações onde foram definidos alguns dos pontos de amostragem.

Segundo o INE, Sines tem uma área total de 202,7 km² (Figura 3).



Figura 3: Localização geográfica do concelho de Sines (Fonte: INE, 2011).

Com a instalação do parque industrial e portuário de Sines, a cidade teve um crescimento urbanístico e populacional muito acima de qualquer outra zona nesta região. Segundo o INE entre 1972 e 1981, a população de Sines aumentou 92%.

A tabela seguinte apresenta a evolução da densidade populacional desde o ano 2000, onde, apesar de gradual e não muito significativo, se pode verificar que mesmo Portugal atravessando uma crise económica e industrial, o concelho continua a crescer (INE, 2011).

Tabela 1: Densidade populacional (N.º/km²) por local de residência (Fonte: INE, 2011).

Densidade populacional de Sines - Total de indivíduos/ Área (km ²)									
2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
67,6	67,5	67,5	67,5	67,3	67,2	66,8	66,4	66	65,4

2.3. Ordenamento territorial e urbanístico

Como já foi referido anteriormente, o complexo industrial potencializou no concelho de Sines toda uma reformulação humana, urbanística e organizacional, passando de zona com poucos focos

populacionais e urbanísticos, e de carácter fundamentalmente rural e piscatório, para uma zona fortemente industrializada.



Figura 4: Mapa urbanístico actual do município de Sines (Fonte: CMS, 2011).

De acordo com o projecto SinesBioar – projecto da responsabilidade da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo (CCDR – Alentejo), financiado pela Comunidade Europeia e por instituições nacionais públicas e privadas, que visou “...garantir o desenvolvimento sustentável de um adequado ordenamento territorial, enquadrado na legislação nacional e comunitária vigente...” foi feito um levantamento do solo no concelho de Sines e verificou-se que “...97,5% da área é ocupada por culturas arvenses, sendo que a área é maioritariamente ocupada por sistemas agro-silvo-pastoris e florestais (51,4%) e por sistemas culturais arvenses de sequeiro (31,4%) ...”, e que “...a distribuição espacial da ocupação do solo não apresenta nenhum padrão organizado. É de notar que as fontes emissoras se encontram localizadas em áreas urbanas junto à costa...” (SinesBioar, 2004).

2.4. A Central Termoeléctrica de Sines

As centrais termoeléctricas são instalações para a produção de energia eléctrica através de energias primárias, tais como da energia armazenada na água, carvão e gás natural. No caso das centrais termoeléctricas que usam o carvão como combustível, a energia calorífica gerada pela queima de carvão aquece água de forma a gerar uma quantidade suficiente de vapor de água. Este vapor de água coloca em movimento uma turbina que quando acoplada a um alternador e a um gerador produz energia (INETI, 2003).

A Central Termoeléctrica de Sines (CTS) é propriedade da EDP, produz energia a partir da queima de carvão betuminoso, pertence ao complexo industrial de Sines, e está situada a SE do porto de Sines. A CTS é uma das maiores produtoras de energia em Portugal, fornecendo cerca de

20 a 25 % de toda a energia produzida. Na tabela seguinte é possível visualizar as suas características técnicas actuais (EDP, 2009).

Tabela 2: Características técnicas da Central Termoeléctrica de Sines (Fonte: EDP, 2009).

Características Técnicas		
Entrada em serviço	1985	
Potência total instalada (MW)	1192	
Número de grupos	4	
Combustível	Carvão	
Gerador de Vapor		
Tipo	Circulação natural	
Capacidade vaporização (t/h)	950	
Temperatura (°C)	535	
Pressão vapor (Pa)	Sobreaquecido	16,7x10 ⁶
	Reaquecido	4,7x10 ⁶
Rendimento (%)	87	
Consumo (máx. carga) (t/h)	106	
Chaminé (m)	225	
Turbina		
Tipo	Fluxo axial	
Velocidade (r.p.m)	3000	
Nº de corpos	Altas pressões	1
	Médias pressões	1
	Baixas pressões	2
Pressão de vapor (Pa)	Altas pressões	16,7x10 ⁶
	Médias pressões	4,7x10 ⁶
Rendimento (%)	45	
Alternador		
Potência aparente (MVA)	360	
Refrigeração	Rótor	Hidrogénio
	Estator ⁴	Água
Tensão de geração (kV)	18	
Transformador		
Potência aparente (MVA)	340	
Razão de transformação (kV)	Grupo 1	150/18
	Grupos 2,3 e 4	400/18

A CTS tem ainda um sistema contínuo de monitorização interna das emissões lançadas para o meio ambiente, com 5 postos de vigilância onde faz o controlo dos poluentes SO₂, NO_x e partículas sólidas. Aquando do estudo de impacte ambiental realizado na fase de projecto da CTS, foi decidido que seriam construídas chaminés com 225 m de altura de forma a assegurar a dispersão atmosférica das partículas emitidas. Posteriormente foram instalados despoeiradores electrostáticos de elevado rendimento, para redução das emissões atmosféricas de poeiras. (EDP, 2010)

⁴ Condutor de energia arrefecido com água. Componente do alternador.

No projecto SinesBioar (2002) encontram-se publicadas as emissões médias libertadas pela CTS (Figura 5).

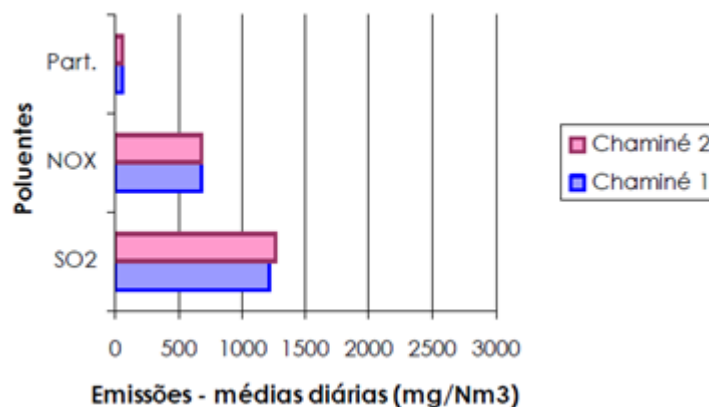


Figura 5: Emissões diárias da Central Termoeléctrica de Sines (Fonte: SinesBioar, 2002).

A CTS encontra-se instalada num complexo industrial de grandes dimensões, com um forte contributo na libertação ambiental de partículas de pequenas dimensões. Já fora do âmbito deste trabalho, encontra-se em curso um estudo qualitativo das amostras de poeiras recolhidas na zona em estudo. Esta análise qualitativa permitirá discriminar a contribuição da CTS na libertação das partículas no ambiente, com origem no complexo industrial.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA PARA A OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

"...Não podemos escapar dos dados, assim como não podemos evitar o uso de palavras. Tal como palavras os dados não se interpretam a si mesmos, mas devem ser lidos com entendimento..."

Moore, 2000

3.1. Considerações gerais

No presente capítulo será feita a apresentação da metodologia utilizada para a obtenção dos dados necessários para o cálculo do fluxo de deposição das partículas.

O conceito de amostragem é muito debatido no seio da comunidade científica, seja pela sua representatividade, significância, ou pela técnica utilizada para dar resposta a um problema em particular. A este propósito Steven K. Thompson (2006) caracterizou amostragem como sendo um conceito estatístico que "...consiste em seleccionar parte de uma população para observar, de modo a que seja possível estimar alguma coisa sobre toda a população..." (Thompson, 2006).

Não será fácil apurar um período da história em que a definição de amostragem tenha sido amplamente divulgada, estando intimamente relacionada com o início da própria estatística por Achenwall em 1748. Este autor introduziu as primeiras conclusões obtidas através de inferências sobre dados, e cujo contributo fundamentou os estudos de Gauss entre 1750 e 1828. Desta forma, é natural que com a evolução da estatística se tenham desenvolvido também os métodos amostrais para que estes sejam os mais representativos possíveis (Hald, 1998).

Em particular, no que diz respeito às técnicas de amostragem e meios possíveis para captação de partículas em suspensão, estas técnicas foram introduzidas pela primeira vez no livro *Environmental Engineering* (Peavy, 1985) estando, inicialmente associadas aos problemas da

poluição ambiental. No entanto com o passar dos anos foram desenvolvidos métodos e instrumentos para a captação e posterior quantificação de partículas aerossóis. O aerossol é definido como sendo uma mistura de partículas sólidas e/ou líquidas em suspensão no ar. O tamanho dessas partículas encontra-se compreendido entre nanómetros (nm) e fracções de milímetro (mm). No entanto, não existem meios capazes de indicar qual a dimensão a partir da qual um agrupamento de moléculas é classificado como uma partícula (Barbosa, 2007).

Em Portugal, existem diversos equipamentos usados na amostragem de partículas em suspensão, entre os quais se destaca o sistema RAMAN LIDAR (Light Detection and Ranging) instalado no Centro de Geofísica de Évora. Este equipamento, único no país, permite medir o perfil vertical dos aerossóis e integra uma base de dados Europeia. Todos os métodos de amostragem têm vindo a ser aperfeiçoados e cada país e/ou comunidade adoptou referências próprias para o que considera ser a “representatividade da amostra” (Pardal, 2011).

Neste sentido, a lei Portuguesa prevê no Decreto-Lei n.º111/2002 que *“...os pontos de amostragem devem estar localizados de modo a evitar medir microambientes de muito pequena dimensão, na sua proximidade imediata. A título de orientação, um ponto de amostragem deve ter uma localização que o torne representativo da qualidade do ar numa área circundante de pelo menos 200 m² nos locais dirigidos para o tráfego, e de vários quilómetros quadrados nos locais situados em meio urbano de fundo. Os pontos de amostragem deverão, se possível, ser igualmente representativos de locais similares não situados na sua proximidade imediata ... A título de orientação, um ponto de amostragem deve estar situado de modo a ser representativo da qualidade do ar numa área envolvente de pelo menos 1000 km²...”* (MAOT, 2002).

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) as partículas são elementos da atmosfera constituídos por misturas de várias origens, formas e densidades, sendo que as fontes de contaminação mais importantes são o tráfego rodoviário, a queima dos combustíveis fósseis e os processos industriais. As consequências da inalação das partículas dependem das espécies químicas envolvidas, da quantidade existente no ar ambiente e do seu tamanho, pois este vai determinar o local em que estas se alojam dentro sistema respiratório.

A classificação das partículas é ainda alvo de discussão dentro da comunidade científica com diversos autores a defenderem diferentes classes para as fracções de partículas. No entanto, existe consenso quanto à forma como esta divisão é estabelecida, a este respeito Andreia Barbosa (2007) refere que *“...o tamanho da partícula é estabelecido em função de seu diâmetro aerodinâmico, ou diâmetro equivalente...”* em que o diâmetro equivalente é definido como sendo *“...o diâmetro de uma esfera hipotética de densidade igual a 1 g/cm³, que possui a mesma velocidade de assentamento, em ar calmo, ao da partícula em questão, independentemente de seu tamanho, geometria e densidade real...”*. Para este trabalho foram adoptadas as seguintes divisões para as classes de partículas:

- Partículas com diâmetro superior a 50 µm são definidas como poeira sedimentável, pois caem livremente pela acção da gravidade a partir da fonte emissora, enquanto as partículas totais em suspensão com diâmetro inferior a 50 µm ficam suspensas no ar por vários dias. Para além das fontes de contaminação presentes na região em estudo (sejam de origem antropogénica ou natural), as partículas em suspensão num dado local

são contaminadas por partículas provenientes de regiões áridas, que sofrem longos transportes desde a sua zona de origem até à zona em estudo.

- Partículas com calibre menor que 50 μm podem ser subdivididas em:
 - Partículas com diâmetro maior que 10 μm , que quando inaladas não atingem os pulmões, ficando retidas nas veias respiratórias até serem expelidas sem prejuízo para a saúde;
 - PM_{10} , partículas com diâmetro inferior a 10 μm , que atingem o tracto inferior do aparelho respiratório e ficam alojadas nos alvéolos pulmonares;
 - $\text{PM}_{2,5}$, partículas com diâmetro inferior a 2,5 μm que também podem ter origem em reacções químicas que ocorrem na atmosfera.

A legislação Portuguesa tem por base a Directiva Comunitária 2008/50/CE, de 21 de Maio, transposta pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro que estabelece o valor limite das concentrações de partículas no ar ambiente, e ainda, descreve as normas de gestão da qualidade do ar que lhe são aplicáveis. Como é referido num artigo da APA (2011) os principais limites para as concentrações de partículas no ar ambiente são “...para as PM_{10} valor médio diário de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a não exceder em mais do que 35 dias num ano, e valor da média anual de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, introduziu objectivos de qualidade do ar para as $\text{PM}_{2,5}$, cuja concentração média anual não deverá ultrapassar o valor limite 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a partir de Janeiro de 2015, valor que é considerado como valor alvo a atingir a partir de 1 de Janeiro de 2010.

Uma vez que não foi possível definir um limiar abaixo do qual as $\text{PM}_{2,5}$ não constituem problemas para a saúde humana, a legislação contemplou também o objectivo de alcançar a redução contínua das concentrações urbanas de fundo, estabelecendo objectivos adicionais de exposição da população para as $\text{PM}_{2,5}$ baseados no cálculo de um indicador de exposição média...” (MAOT; APA, 2011).

3.2. Definição da área de amostragem

Foram realizadas duas campanhas de amostragem, em Setembro de 2010 e Abril de 2011, com o objectivo recolher partículas existentes no ar ambiente, susceptíveis de serem depositadas sobre uma superfície horizontal.

A zona de estudo, que foi alvo de amostragem, abrange uma área terrestre aproximada de 870,2 km^2 e que corresponde à envolvente da CTS. Nesta área, foram definidos 40 pontos de amostragem numa malha aproximadamente regular de forma a minimizar algum efeito de enviezamento no posterior tratamento dos dados. Os pontos foram também definidos de acordo com 2 círculos de influência com centro nas chaminés da CTS, o mais interno com raio de 6 km, e o mais externo com um raio de 20 km. A área interior ao círculo de 6 km corresponde à área de maior densidade populacional e a área compreendida entre o círculo de 6 e de 20 km corresponde à área teoricamente sem influência dos materiais libertados pelas chaminés e que servirá de comparação com a área sob influência das chaminés.

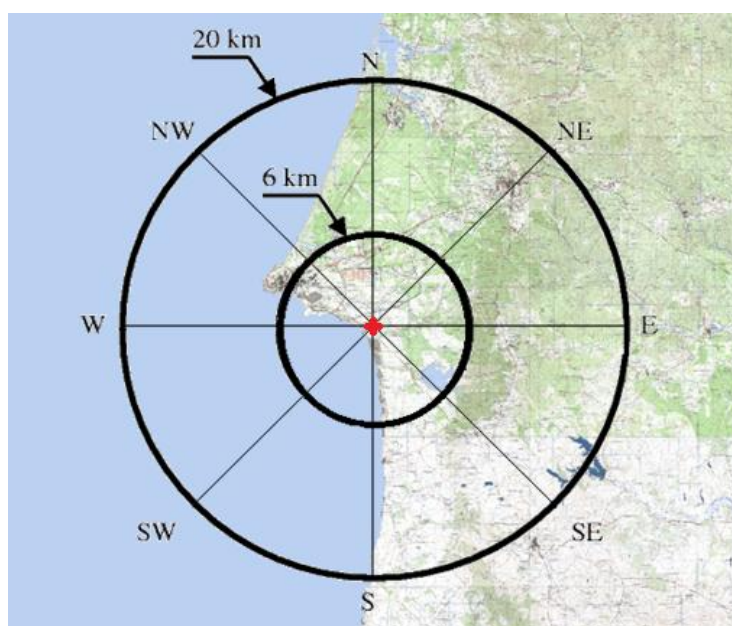


Figura 6: Área de amostragem definida pelos círculos de raios 6 e 20 km e centro nas chaminés da CTS.

A localização dos pontos de amostragem foi adaptada em muitos casos à situação no terreno; pela impossibilidade física de colocação dos colectores (ausência de postes, localização em zonas inacessíveis, etc.) e pelo risco de serem removidas, uma vez que muitos dos pontos de amostragem estão localizados em zonas habitadas e ao alcance da população local. Nas tabelas seguintes estão descritas as distâncias de cada ponto de amostragem à CTS.

Tabela 3: Pontos de amostragem localizados na área dentro do círculo de raio 6 km com centro na CTS.

	Formato UTM				Distância compreendida entre a CTS e o respectivo ponto de amostragem (m)
	Ponto de amostragem		Central Termoeléctrica de Sines		
Amostra	Longitude (m)	Latitude (m)	Longitude (m)	Latitude (m)	
3	135725,11	110596,82	140854,10	107631,99	5924,26
4	138000,42	109908,60	140854,10	107631,99	3650,54
6	142281,16	111367,35	140854,10	107631,99	3998,68
7	144648,28	110581,45	140854,10	107631,99	4805,74
8	141973,84	109304,59	140854,10	107631,99	2012,81
9	140082,59	108101,61	140854,10	107631,99	903,20
10	141425,58	106736,46	140854,10	107631,99	1062,33
11	143866,98	106058,88	140854,10	107631,99	3398,84
12	145649,64	105137,53	140854,10	107631,99	5405,51
14	141880,47	103610,89	140854,10	107631,99	4150,02
15	135769,39	110266,48	140854,10	107631,99	5726,68
34	142783,48	106739,59	140854,10	107631,99	2125,76

Tabela 4: Pontos de amostragem localizados na área compreendida entre os círculos de raio 6 e 20 km com centro na CTS.

	Formato UTM				Distância compreendida entre a CTS e o respectivo ponto de amostragem (m)
	Ponto de amostragem		Central Termoelétrica de Sines		
Amostra	Longitude (m)	Latitude (m)	Longitude (m)	Latitude (m)	
1	137273,53	113289,29	140854,10	107631,99	6695,19
2	141351,85	115324,10	140854,10	107631,99	7708,20
5	143268,13	113218,88	140854,10	107631,99	6086,12
13	145158,51	103055,24	140854,10	107631,99	6282,88
16	145390,24	101275,99	140854,10	107631,99	7808,66
17	148008,82	100612,27	140854,10	107631,99	10023,29
18	142292,43	97193,85	140854,10	107631,99	10536,77
19	145340,85	96853,80	140854,10	107631,99	11674,77
20	142757,15	90586,96	140854,10	107631,99	17150,93
21	144744,28	87867,42	140854,10	107631,99	20143,77
22	147308,84	89364,94	140854,10	107631,99	19373,92
23	150827,56	92398,89	140854,10	107631,99	18207,61
24	153078,45	91935,51	140854,10	107631,99	19895,08
25	156400,71	91605,98	140854,10	107631,99	22327,78
26	157790,91	95821,63	140854,10	107631,99	20648,00
27	159278,01	102238,96	140854,10	107631,99	19197,01
28	141633,82	123495,90	140854,10	107631,99	15883,06
29	141929,47	122062,53	140854,10	107631,99	14470,56
30	149385,16	121795,33	140854,10	107631,99	16534,18
31	148977,50	119049,42	140854,10	107631,99	14012,40
32	153337,18	119353,66	140854,10	107631,99	17123,81
33	147487,81	114690,17	140854,10	107631,99	9686,28
35	155669,13	103675,92	140854,10	107631,99	15334,13
36	150841,73	113992,95	140854,10	107631,99	11841,22
37	151722,93	109943,85	140854,10	107631,99	11111,98
38	154854,38	112644,37	140854,10	107631,99	14870,50
39	158638,54	110160,73	140854,10	107631,99	17963,32
40	148509,69	115780,29	140854,10	107631,99	11180,47

Na figura 7 está representada a localização de cada ponto de amostragem de acordo com as duas subáreas de definidas (área dentro dos 6km e entre 6 e 20 km).

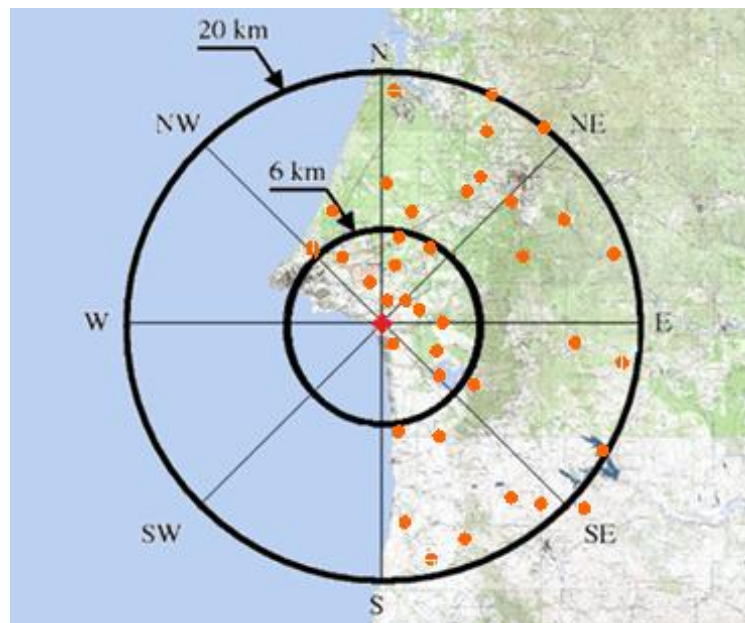


Figura 7: Área de amostragem definida e localização dos pontos de amostragem.

3.3. Descrição das campanhas de amostragem

A metodologia implementada nas campanhas de amostragem, bem como o procedimento laboratorial das poeiras recolhidas, teve por base a norma francesa homologada NF X 43-007 – “Pollution atmosphérique, mesure des «retombées» par la méthode des «plaquettes de dépôt»”.

A amostragem das partículas consistiu na exposição de finas placas em aço inoxidável (também designados por colectores de poeiras na bibliografia da especialidade) com área superficial útil de 50 cm² colocadas fixas na direcção horizontal.

Previamente à colocação das placas nos pontos de amostragem definidos procedeu-se à limpeza das mesmas utilizando um hidrocarboneto clorado imiscível em água, o diclorometano, seguindo-se um período de secagem em estufa a uma temperatura de 105°C, de acordo com o previsto na norma.

As placas foram devidamente identificadas com o respectivo número do ponto de amostragem. No momento imediatamente anterior à colocação, para diminuir os riscos de contaminação, as placas foram retiradas da embalagem hermética e revestidas com uma mistura de polímeros lineares resistente a uma gama de temperaturas entre os -60°C e os 250°C, o dimetil poliissiloxano.

As placas são completamente cobertas com a resina de forma que toda a superfície útil seja revestida, visto que a área de deposição é um dos parâmetros usados no cálculo do fluxo médio de deposição das partículas.

A colocação das placas no terreno deve respeitar rigorosamente a superfície útil de exposição tentando não modificar ou interferir no circuito normal das partículas. A placa deve encontrar-se a uma altura mínima de 1,5 m do chão e estar exposta num local onde esteja sujeita às variáveis climatológicas, devendo evitar-se, por isso, zonas muito acidentadas, terrenos de construção muito elevados e afastados de vias de circulação, tais como estradas ou caminhos-de-ferro.

A norma prevê que a duração da exposição seja de 14 dias com ± 1 dia de tolerância para zonas pouco poluídas em que os valores de partículas depositadas sejam inferiores a 30 g/m²/mês, e de 7 dias com ± 1 dia de tolerância para zonas muito poluídas. No entanto estes limites podem ser extrapolados em situações excepcionais onde haja fenómenos de extrema deposição, ou pelo contrário fenómenos de pouca deposição. Para este estudo foi estipulada uma duração média de um mês devido à quantidade de partículas depositadas, bem como a factores logísticos no processo de recolha e de colocação das placas. Foi feito o registo das horas de colocação bem como da sua coordenada geográfica.

Inicialmente estava previsto registar tanto a hora de colocação como a hora de recolha de forma a obter o período exacto de exposição. No entanto, ao fim da primeira campanha de amostragem não foi feito o registo da hora de recolha das placas. Para ultrapassar este problema, considerou-se que todas as placas foram recolhidas sempre à mesma hora (13h00) do efectivo dia de recolha. Desta forma, diminui-se o erro inerente a esta diferença no horário de recolha e, consequentemente, presente no cálculo do fluxo de deposição.

Na segunda campanha de amostragem foram registadas as horas de colocação e as horas de recolha das placas, conforme previsto. Nas tabelas seguintes são apresentados os dados

registados durante as duas campanhas de amostragem; a localização é a mesma para cada número identificativo do ponto de amostragem.

Tabela 5: Parâmetros espaciais e temporais da 1ª e 2ª campanha de amostragem.

Ponto	Coordenadas (WGS84 decimais)		1ª Campanha de amostragem				2ª Campanha de amostragem			
			Colocação		Recolha		Colocação		Recolha	
	Latitude	Longitude	Data	Hora (h)	Data	Hora (h)	Data	Hora (h)	Data	Hora (h)
1	37,984	-8,847	13-09-2010	9,84	16-10-2010	13,00	01-04-2011	16,33	30-04-2011	9,05
2	38,003	-8,801	13-09-2010	10,86	16-10-2010	13,00	01-04-2011	16,75	30-04-2011	9,33
3	37,960	-8,864	13-09-2010	11,38	16-10-2010	13,00	01-04-2011	13,58	30-04-2011	19,83
4	37,954	-8,839	13-09-2010	11,97	17-10-2010	13,00	01-04-2011	13,25	30-04-2011	19,30
5	37,984	-8,779	13-09-2010	15,08	16-10-2010	13,00	01-04-2011	17,00	30-04-2011	9,62
6	37,967	-8,790	13-09-2010	15,57	16-10-2010	13,00	01-04-2011	17,42	30-04-2011	9,97
7	37,960	-8,763	13-09-2010	15,80	16-10-2010	13,00	01-04-2011	17,67	30-04-2011	10,10
8	37,949	-8,793	13-09-2010	16,15	16-10-2010	13,00	01-04-2011	18,25	30-04-2011	10,35
9	37,938	-8,815	13-09-2010	16,41	16-10-2010	13,00	01-04-2011	12,75	30-04-2011	10,48
10	37,925	-8,799	13-09-2010	16,78	16-10-2010	13,00	01-04-2011	12,42	30-04-2011	10,65
11	37,920	-8,771	13-09-2010	17,08	16-10-2010	13,00	01-04-2011	11,83	30-04-2011	10,77
12	37,911	-8,751	13-09-2010	17,32	16-10-2010	13,00	01-04-2011	11,42	30-04-2011	10,92
13	37,893	-8,757	13-09-2010	17,54	16-10-2010	13,00	01-04-2011	10,75	30-04-2011	11,05
14	37,897	-8,794	13-09-2010	17,88	17-10-2010	13,00	01-04-2011	18,67	30-04-2011	11,58
15	37,957	-8,864	13-09-2010	18,23	17-10-2010	13,00	01-04-2011	13,83	30-04-2011	19,67
16	37,877	-8,754	14-09-2010	9,82	17-10-2010	13,00	01-04-2011	10,25	30-04-2011	11,28
17	37,871	-8,724	14-09-2010	10,39	17-10-2010	13,00	02-04-2011	19,67	01-05-2011	9,20
18	37,840	-8,789	14-09-2010	10,87	17-10-2010	13,00	01-04-2011	9,37	01-05-2011	9,58
19	37,837	-8,754	14-09-2010	11,36	17-10-2010	13,00	01-04-2011	19,42	01-05-2011	9,78
20	37,780	-8,783	14-09-2010	11,86	17-10-2010	13,00	02-04-2011	8,83	01-05-2011	10,00
21	37,756	-8,760	14-09-2010	12,17	17-10-2010	13,00	02-04-2011	9,25	01-05-2011	10,18
22	37,769	-8,731	14-09-2010	12,62	17-10-2010	13,00	02-04-2011	9,75	01-05-2011	10,33
23	37,797	-8,691	14-09-2010	13,26	17-10-2010	13,00	02-04-2011	10,33	01-05-2011	10,58
24	37,793	-8,666	14-09-2010	15,23	17-10-2010	13,00	02-04-2011	10,75	01-05-2011	11,08
25	37,790	-8,628	14-09-2010	15,87	17-10-2010	13,00	02-04-2011	11,25	01-05-2011	11,35
26	37,828	-8,613	14-09-2010	16,25	17-10-2010	13,00	02-04-2011	11,33	01-05-2011	11,62
27	37,886	-8,596	14-09-2010	16,90	16-10-2010	13,00	02-04-2011	11,75	01-05-2011	11,92
28	38,076	-8,798	14-09-2010	19,16	16-10-2010	13,00	02-04-2011	17,92	30-04-2011	14,58
29	38,064	-8,795	15-09-2010	7,70	16-10-2010	13,00	02-04-2011	18,33	30-04-2011	14,08
30	38,062	-8,710	15-09-2010	8,33	16-10-2010	13,00	02-04-2011	19,00	30-04-2011	15,30
31	38,037	-8,714	15-09-2010	9,15	16-10-2010	13,00	02-04-2011	18,67	30-04-2011	15,53
32	38,040	-8,665	15-09-2010	10,15	16-10-2010	13,00	02-04-2011	16,58	30-04-2011	17,13
33	37,997	-8,731	15-09-2010	11,01	16-10-2010	13,00	02-04-2011	17,33	30-04-2011	16,25
34	37,926	-8,784	15-09-2010	11,59	16-10-2010	13,00	01-04-2011	12,08	01-05-2011	15,75
35	37,899	-8,637	15-09-2010	15,12	16-10-2010	13,00	02-04-2011	12,50	01-05-2011	12,20
36	37,991	-8,693	15-09-2010	15,97	16-10-2010	13,00	02-04-2011	15,75	30-04-2011	16,77
37	37,955	-8,682	15-09-2010	16,95	16-10-2010	13,00	02-04-2011	15,33	01-05-2011	14,78
38	37,979	-8,647	15-09-2010	17,72	16-10-2010	13,00	02-04-2011	16,08	01-05-2011	14,07
39	37,957	-8,604	15-09-2010	17,97	16-10-2010	13,00	02-04-2011	12,25	01-05-2011	13,75
40	38,007	-8,719	15-09-2010	18,92	16-10-2010	13,00	02-04-2011	17,00	30-04-2011	15,88

3.4. Tratamento laboratorial das amostras

No procedimento laboratorial obteve-se o peso das partículas depositadas e recolhidas nas placas, para posterior cálculo do fluxo de deposição.

No laboratório pesou-se e tarou-se a balança para cada filtro utilizado (membrana de celulose da Teknokroma – 47mm Ø pk/50) de modo a este não influenciar o peso das partículas. De seguida lavou-se a placa com diclorometano para diluir a mistura de polímeros lineares. A escolha desta solução de lavagem (prevista na norma) baseou-se no facto de não haver interacção entre os compostos químicos, nem destes com as poeiras, para que o filtro se mantenha intacto e não ocorra a colmatação do sistema de filtragem.

Após a lavagem, a separação das poeiras foi feita por filtração a vácuo, num funil de Buchner (equipamento laboratorial para filtrar a baixas pressões) ficando retidos os particulados na superfície de filtragem. A pressão na bomba de vácuo foi mantida até se observar que a membrana se encontra seca e sem vestígios da solução orgânica. Posteriormente, o filtro foi pesado e registou-se o seu valor (NF X43-007, 1967).

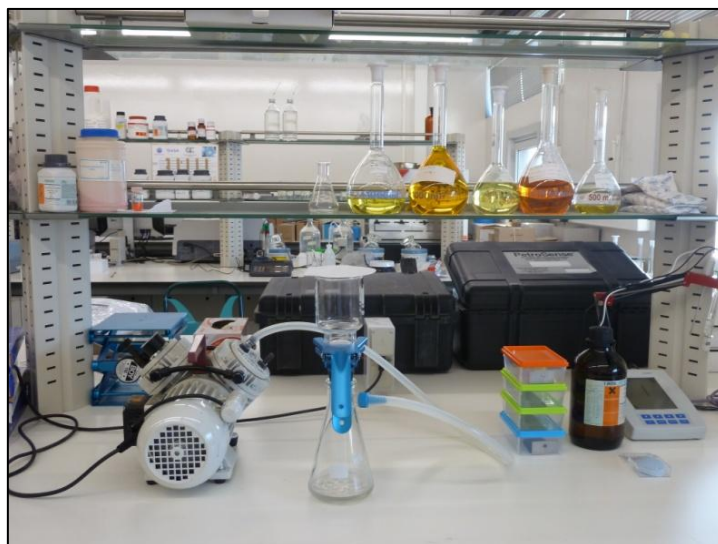


Figura 8: Equipamento laboratorial utilizado para a filtragem das amostras.

O fluxo médio de deposição das poeiras p , pode ser expresso em gramas por metro quadrado por mês, com a seguinte expressão:

$$p = \frac{m}{10^3} \times \frac{10^4}{s} \times \frac{730}{t} = 7300 \frac{m}{st}$$

em que t (h) corresponde à duração de exposição, m (mg) é a massa de partículas depositadas e s (cm²) representa a superfície de exposição. Na tabela seguinte são apresentados os fluxos médios de deposição calculados, referentes à primeira e à segunda campanha de amostragem, respectivamente.

Tabela 6: Cálculo do fluxo médio de deposição.

Amostra	Superfície (cm ²)	1ª Campanha de amostragem			2ª Campanha de amostragem		
		Pesagem (g)	Tempo de exposição (h)	Fluxo médio de deposição (g/m ² /mês)	Pesagem (g)	Tempo de exposição (h)	Fluxo médio de deposição (g/m ² /mês)
1	50	0,026	795,16	4,77	0,0060	688,72	1,27
2	50	0,009	794,14	1,56	0,0127	688,58	2,69
3	50	0,007	793,62	1,29	0,0040	702,25	0,83
4	50	0,017	817,03	3,04	0,0057	702,05	1,19
5	50	0,005	789,92	0,91	0,0025	688,62	0,53
6	50	0,007	789,43	1,24	0,0063	688,55	1,34
7	50	0,005	789,20	0,87	0,0012	688,43	0,25
8	50	0,012	788,85	2,28	0,0010	688,10	0,21
9	50	0,009	788,59	1,63	0,0030	693,73	0,63
10	50	0,009	788,22	1,57	0,0024	694,23	0,50
11	50	0,030	787,93	5,48	0,0057	694,93	1,20
12	50	0,003	787,68	0,56	0,0063	695,50	1,32
13	50	0,004	787,46	0,76	0,0130	696,30	2,73
14	50	0,004	811,12	0,63	0,0090	688,92	1,91
15	50	0,005	810,77	0,92	0,0053	701,83	1,10
16	50	0,002	795,18	0,37	0,0025	697,03	0,52
17	50	0,002	794,61	0,35	0,0027	685,53	0,58
18	50	0,017	794,13	3,16	0,0028	720,22	0,57
19	50	0,002	793,64	0,39	0,0037	710,37	0,76
20	50	0,003	793,14	0,48	0,0016	697,17	0,34
21	50	0,009	792,83	1,66	0,0055	696,93	1,15
22	50	0,007	792,38	1,36	0,0052	696,58	1,09
23	50	0,017	791,74	3,17	0,0017	696,25	0,36
24	50	0,015	789,77	2,70	0,0015	696,33	0,31
25	50	0,012	789,13	2,29	0,0020	696,10	0,42
26	50	0,013	788,75	2,41	0,0026	696,28	0,55
27	50	0,009	764,10	1,78	0,0012	696,17	0,25
28	50	0,006	761,84	1,09	0,0009	692,67	0,19
29	50	0,007	749,30	1,29	0,0011	667,75	0,24
30	50	0,005	748,67	0,90	0,0142	668,30	3,10
31	50	0,009	747,85	1,84	0,0026	668,87	0,57
32	50	0,013	746,85	2,48	0,0015	672,55	0,33
33	50	0,012	745,99	2,39	0,0019	670,92	0,41
34	50	0,015	745,41	2,96	0,0025	723,67	0,50
35	50	0,006	741,88	1,10	0,0010	719,70	0,20
36	50	0,005	741,03	0,99	0,0000	697,02	0,00
37	50	0,008	740,05	1,66	0,0011	719,45	0,22
38	50	0,010	739,28	1,99	0,0010	717,98	0,20
39	50	0,028	739,03	5,53	0,0046	721,50	0,93
40	50	0,021	738,08	4,09	0,0003	670,88	0,07

Na figura seguinte encontram-se representados os pontos de amostragem com o respectivo valor calculado para o fluxo de deposição (escala de cor).

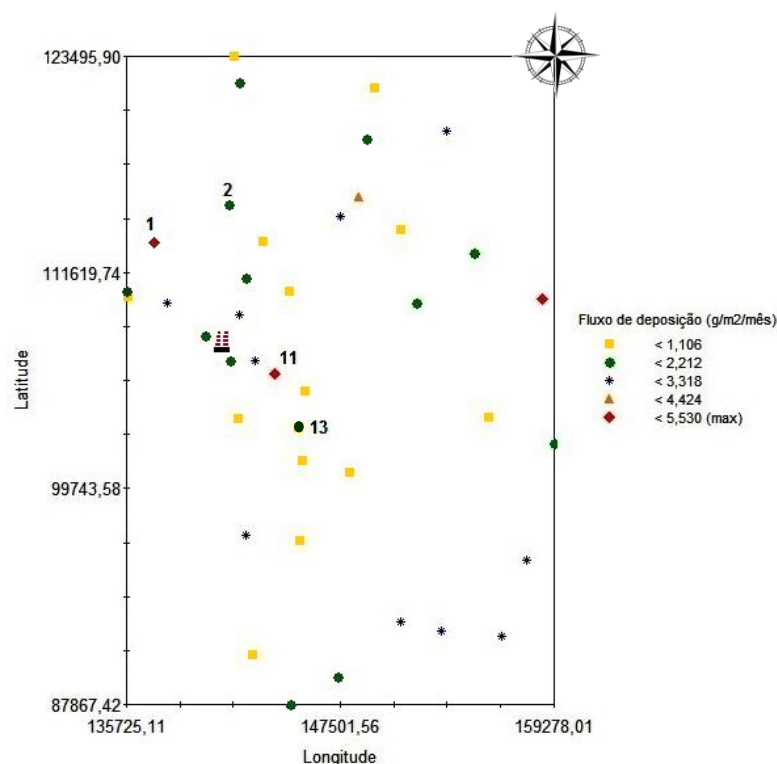


Figura 9: Representação georreferenciada e quantitativa do fluxo de deposição calculado para os respectivos pontos de amostragem (1ª campanha de amostragem).

Verifica-se a existência de 3 pontos de amostragem com correspondência aos valores mais elevados para o fluxo de deposição (a vermelho).

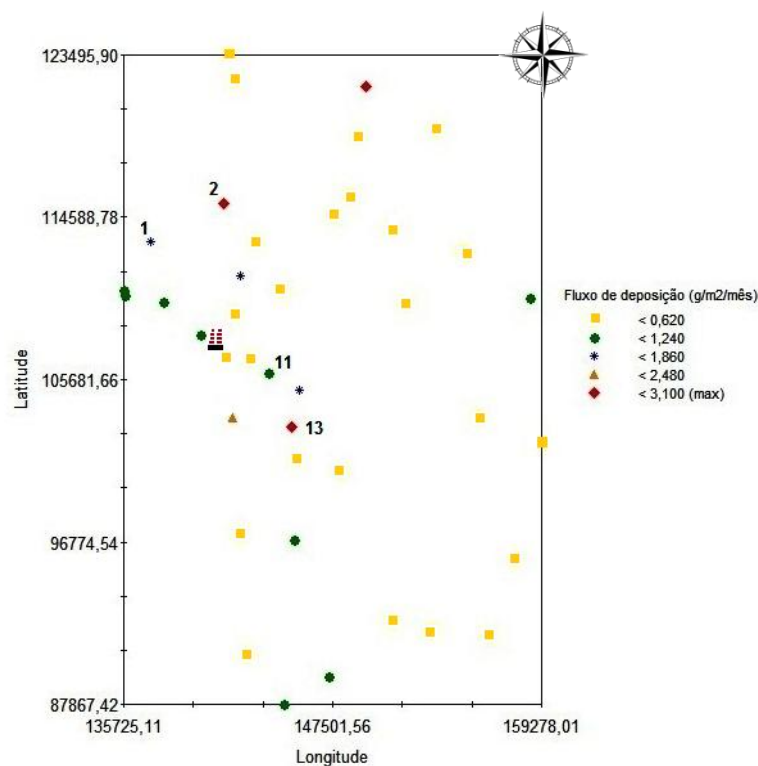


Figura 10: Representação georreferenciada e quantitativa do fluxo de deposição calculado para os respectivos pontos de amostragem (2ª campanha de amostragem).

Relativamente à segunda campanha de amostragem também se verifica a existência de três pontos de amostragem (a vermelho) onde o fluxo de deposição foi mais intenso.

Embora não exista nenhum ponto (a vermelho) na segunda campanha de amostragem (Figura 10) coincidente com a primeira campanha de amostragem (Figura 9), é possível verificar que existem 2 zonas preferenciais para a deposição de partículas comuns às duas campanhas de amostragem. Estas zonas correspondem aos pontos de amostragem números 11 e 13 e que se encontram aproximadamente a 3 e 6 km respectivamente para SE da CTS, e aos pontos 1 e 2, que se encontram a NW da CTS distanciados aproximadamente de 7 e 6 km respectivamente.

3.5. Georreferenciação. Malha de amostragem

Como já foi referido anteriormente, no momento da colocação dos colectores de partículas, foram registadas as suas posições geográficas, o que permitiu fazer a ponte entre as campanhas de amostragem e a utilização dos métodos de estimação geoestatísticos.

Segundo a referenciação militar as coordenadas geográficas são a longitude, a latitude e a altitude. Para a construção de um modelo de superfície tridimensional do local em estudo as coordenadas foram obtidas através das cartas militares portuguesas (UTM) enquanto para os pontos amostrados foram conseguidas através do sistema GPS (WGS84 decimais). Foram usadas as cartas do Instituto Geográfico do Exército, na escala de 1:25000, (Figura 11).

A conversão das coordenadas em formato WGS84 decimais para UTM militar foi feita através de uma aplicação do site do Instituto Geográfico do Exército que permite efectuar a respectiva transformação (IGeoE, 2011). Na tabela 7 é possível verificar os dados obtidos através do GPS (georreferencias e cota topográfica) assim como a respectiva conversão para UTM.

O sistema de coordenadas UTM assenta no sistema de projecção Gauss-Kruger referente ao elipsóide internacional. Na projecção cilíndrica de um elipsóide, considera-se um cilindro tangente a um elipsóide que por sua vez o tem o seu eixo de simetria colocado sobre o plano do equador. Deve-se a Johan Heinrich Lambert (1772) a criação da primeira projecção cilíndrica apoiada neste plano, inicialmente chamada de projecção Mercator Transversa.

Através das cartas militares foi possível definir uma malha rectangular com o levantamento da altitude dos pontos distanciados de 1 km na área envolvente à Central. Este levantamento serviu não só para a localização geográfica dos pontos de amostragem como também para a implementação dos métodos geoestatísticos que permitiram fazer inferências acerca do fluxo de deposição, como será descrito no capítulo 5 desta dissertação.

O programa utilizado para a leitura das cartas militares foi o GeoViewer, sobre o qual foram implementados manualmente todos os pontos da grelha (ver figura 12). A criação desta grelha permitiu não só a georreferenciação de todos os nós da grelha, mas também permitiu obter a sua altitude.

Tabela 7: Posição geográfica dos pontos de amostragem, conversão de coordenadas e cota topográfica.

Amostra	Resultado da conversão de coordenadas				
	GPS (WGS84 decimais)		Cartas militares (UTM)		Cota
	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	
1	-8,84709	37,98421	137273,53	113289,29	78,06
2	-8,80083	38,00282	141351,85	115324,10	83,53
3	-8,86447	37,95985	135725,11	110596,82	95,15
4	-8,83852	37,95381	138000,42	109908,60	150,17
5	-8,77885	37,98397	143268,13	113218,88	113,30
6	-8,78993	37,96723	142281,16	111367,35	98,98
7	-8,76294	37,96030	144648,28	110581,45	123,06
8	-8,79327	37,94863	141973,84	109304,59	116,10
9	-8,81468	37,93767	140082,59	108101,61	76,82
10	-8,79929	37,92546	141425,58	106736,46	63,92
11	-8,77147	37,91951	143866,98	106058,88	103,80
12	-8,75113	37,91132	145649,64	105137,53	123,67
13	-8,75656	37,89253	145158,51	103055,24	124,84
14	-8,79387	37,89733	141880,47	103610,89	71,83
15	-8,86394	37,95688	135769,39	110266,48	93,90
16	-8,75379	37,87651	145390,24	101275,99	137,68
17	-8,72398	37,87069	148008,82	100612,27	247,96
18	-8,78867	37,83955	142292,43	97193,85	78,57
19	-8,75402	37,83667	145340,85	96853,80	137,73
20	-8,78287	37,78006	142757,15	90586,96	110,40
21	-8,76011	37,75568	144744,28	87867,42	118,52
22	-8,73112	37,76932	147308,84	89364,94	144,39
23	-8,69139	37,79685	150827,56	92398,89	252,55
24	-8,66580	37,79279	153078,45	91935,51	219,17
25	-8,62807	37,78999	156400,71	91605,98	203,54
26	-8,61253	37,82803	157790,91	95821,63	167,62
27	-8,59600	37,88592	159278,01	102238,96	179,93
28	-8,79829	38,07645	141633,82	123495,90	73,74
29	-8,79480	38,06356	141929,47	122062,53	62,08
30	-8,70983	38,06160	149385,16	121795,33	155,57
31	-8,71428	38,03684	148977,50	119049,42	172,30
32	-8,66464	38,03981	153337,18	119353,66	315,29
33	-8,73093	37,99748	147487,81	114690,17	177,46
34	-8,78385	37,92557	142783,48	106739,59	90,17
35	-8,63711	37,89869	155669,13	103675,92	189,52
36	-8,69270	37,99139	150841,73	113992,95	301,10
37	-8,68240	37,95496	151722,93	109943,85	224,55
38	-8,64694	37,97945	154854,38	112644,37	173,00
39	-8,60372	37,95725	158638,54	110160,73	106,00
40	-8,71937	38,00736	148509,69	115780,29	180,89

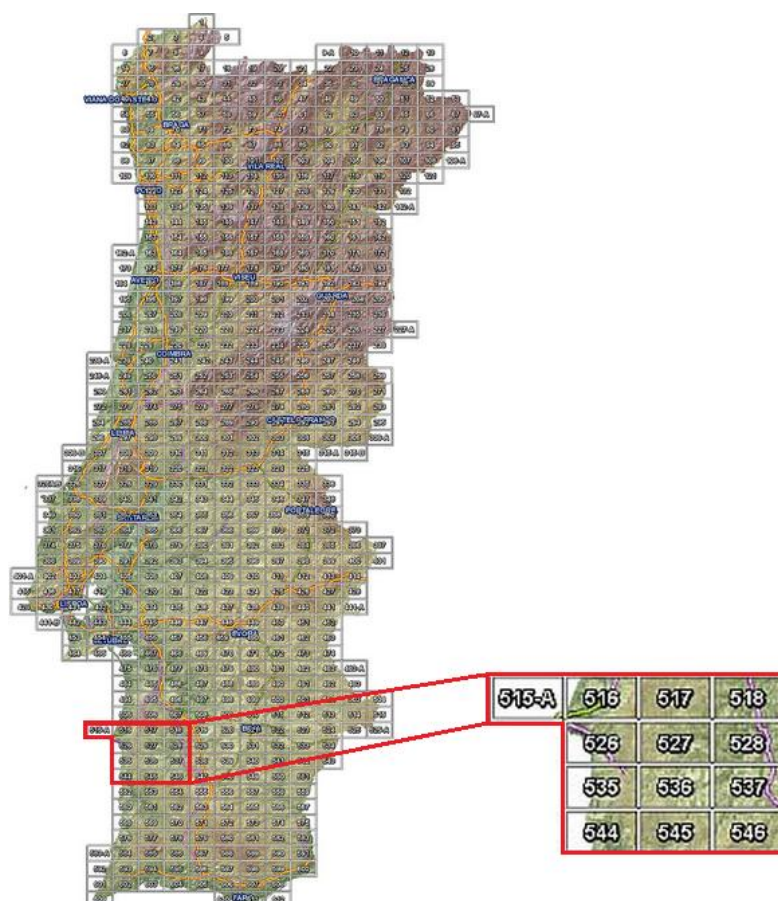


Figura 11: Zona de enquadramento da área de amostragem.

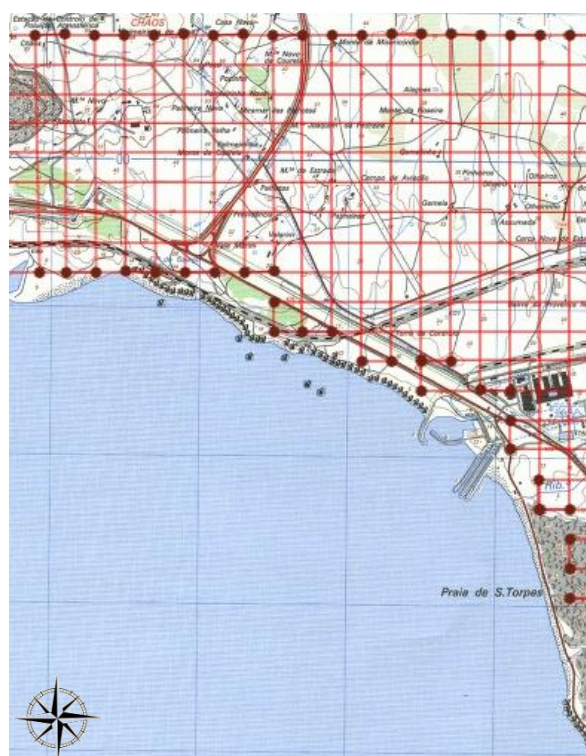


Figura 12: Levantamento das altitudes e correspondentes georreferências para obtenção de uma malha rectangular.

As representações da malha de amostragem foram obtidas recorrendo ao software SURFER que será também utilizado na modelação espacial. Deste modo, a abordagem pormenorizada e necessária deste tópico será feita no decorrer do capítulo 5.

As imagens seguintes representam a malha rectangular gerada através das cartas militares para a obtenção superfície do terreno e a localização espacial dos pontos sobre a mesma.

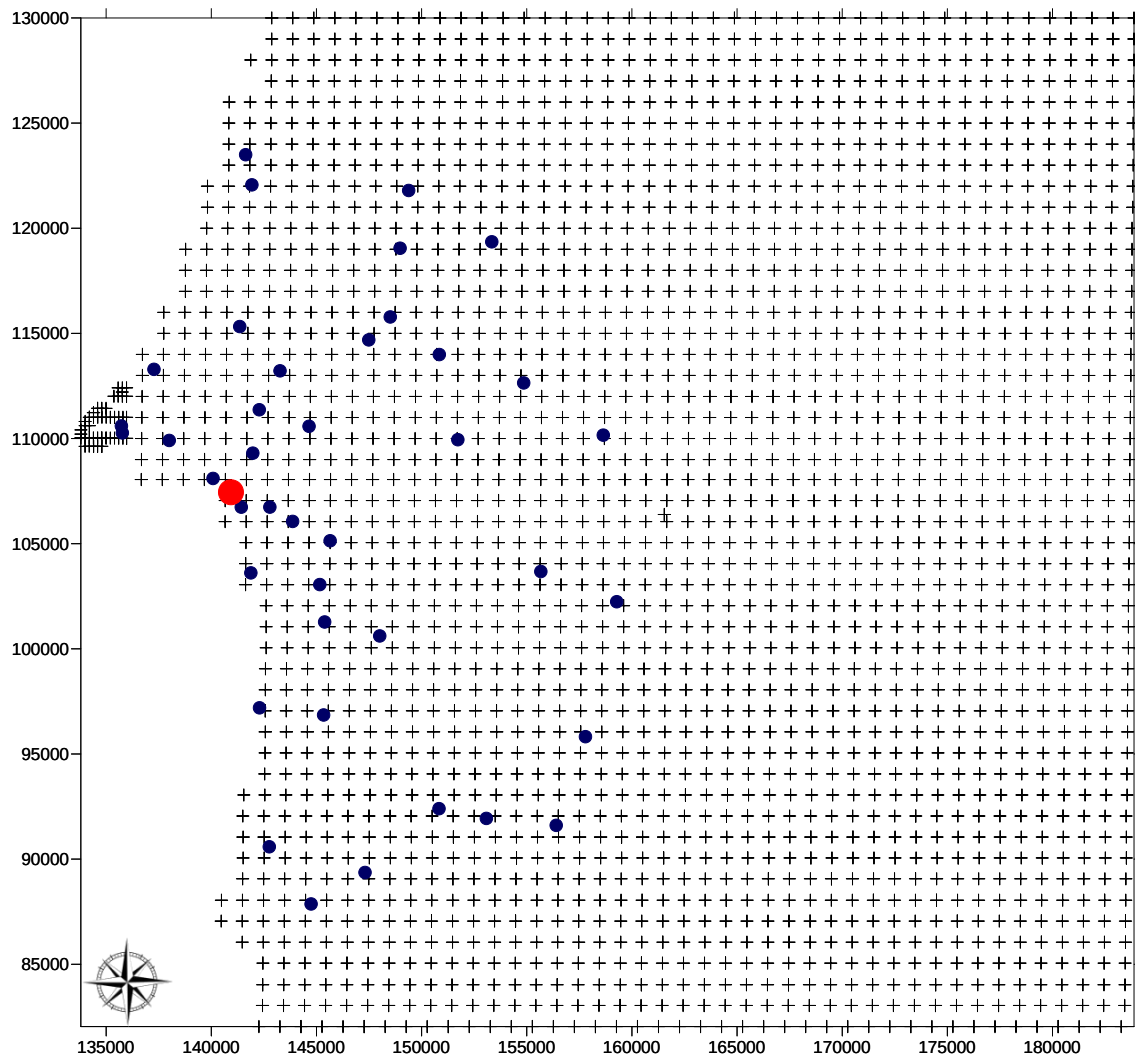


Figura 13: Representação dos pontos de amostragem sobre a malha rectangular.

CAPÍTULO 4

TRATAMENTO ESTATÍSTICO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

*“...todo o conhecimento degenera em probabilidade;
essa probabilidade é maior ou menor segundo a nossa experiência da veracidade
ou da falsidade do nosso entendimento e segundo a simplicidade
ou a complexidade da questão...”*

David Hume, 1740

4.1. Considerações gerais

O clima é a descrição estatística em termos do valor médio e da variabilidade dos registos climáticos referentes a períodos de tempo suficientemente longos. Essas quantidades, designadas como variáveis climatológicas, são geralmente variáveis observadas à superfície da Terra. Desta forma, as variáveis em estudo não podem ser consideradas pontuais e independentes do meio em que estão inseridas, sendo caracterizadas pela sua repetição, valores médios actuais e expectáveis bem como pela sua variância estatística (IPCC, 2011).

A definição de clima está intimamente relacionada com o conceito de meteorologia que é apresentada pelo Instituto de Meteorologia (IM) como sendo “...os fenómenos físicos que ocorrem na atmosfera e à superfície do globo, assim como transformações químicas que nela ocorrem entre os seus diferentes componentes, naturais e antropogénicos...”. As variáveis climatológicas são o resultado qualitativo e quantitativo dos fenómenos meteorológicos, (INMG, 2008).

Não existe um ano específico para o registo das primeiras observações meteorológicas realizadas em Portugal devido à falta de continuidade temporal dos registos. No entanto, Jacques Pretorius publicou em 1785 um registo contínuo das condições meteorológicas observadas entre 1777 e 1785 em Lisboa. Por sua vez, o primeiro Observatório Meteorológico em Portugal foi construído pela Antiga Escola Politécnica de Lisboa e começou a funcionar diariamente a partir de 1 de Outubro de 1854. A construção de novos postos de observação expandiu-se exponencialmente

desde essa época até aos dias de hoje. A forma de recolha dos diferentes parâmetros climáticos sofreu ao longo dos anos várias alterações que acompanharam a evolução tecnológica e legislativa entretanto desenvolvida.

Em 1946 houve uma reorganização de todos os serviços meteorológicos em Portugal levando à unificação da rede no Serviço Meteorológico Nacional. Em 1993 foi criado o Instituto de Meteorologia (IM) estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 192/93 de 24 de Maio, apresentando uma estrutura central bem definida, da qual já fazem também parte as delegações regionais dos Açores e da Madeira (AEMET, 2011).

A continuidade temporal no registo das observações meteorológicas foi definida pela Organização Meteorológica Mundial para um intervalo de tempo de 30 anos. Os dados contínuos para um período de 30 anos são considerados compatíveis e comparáveis nas diversas regiões do planeta. Admite-se ainda que este intervalo de tempo é suficiente para que sejam filtradas as flutuações de menor escala temporal nos valores médios (AEMET, 2011).

As variáveis climáticas são caracterizadas por grandezas puramente quantitativas, e também por grandezas vectoriais, definidas por uma direcção e por uma intensidade, cujas realizações são representadas com pontos num círculo de raio unitário.

O estudo das variáveis climáticas é relevante para o desenvolvimento deste trabalho uma vez que as partículas sofrem transporte atmosférico bem como outros processos tais como suspensão, re-suspensão, dispersão e finalmente deposição, até locais, muitas vezes, afastados da fonte que as originou (Dinis, 1999).

Relativamente à dispersão das partículas, objectivo principal deste estudo, esta ocorre como resposta a vários factores naturais que controlam o seu transporte, em particular, a direcção e velocidade do vento bem como a turbulência atmosférica. O vento tem uma elevada influência na advecção das partículas transportadas; além de controlar a direcção do movimento das partículas, dilui as emissões contínuas (quanto maior a velocidade do vento maior o volume de ar por unidade de contaminante libertado e maior é a diluição) (Dinis, 1999).

4.2. Metodologia

Durante a primeira campanha de amostragem foi colocada uma estação meteorológica na zona em estudo que se encontra a registar as variáveis climatológicas de 10 em 10 minutos. Para o desenvolvimento deste trabalho foram usados os dados registados desde Setembro de 2010 até Junho de 2011.

O período de tempo analisado é pequeno (inferior a 12 meses) o que não reflecte a representatividade das condições meteorológicas médias expectáveis para períodos futuros semelhantes. No entanto, a quantidade de dados é suficiente para estudar as condições meteorológicas sobre as quais as partículas em suspensão estiveram sujeitas, bem como a correlação entre as variáveis envolvidas na sua dispersão. Adicionalmente, é também possível compreender se durante o período de exposição de recolha das poeiras ocorreram fenómenos meteorológicos consideráveis que afectem o fluxo normal de deposição de partículas.

Numa primeira abordagem, foi feita uma análise global dos registos das variáveis climatológicas para efectuar um enquadramento geral e identificar algum tipo de padrão na variabilidade espaço-temporal. Na fase seguinte, foi feita uma divisão de acordo com o período em que as placas estiveram expostas para a recolha de partículas.

Posteriormente, foi feita a análise das correspondências binárias de modo a sintetizar o sistema climático local. Esta ferramenta estatística permite analisar as tendências gerais de um conjunto de variáveis, tendo como resultado final um gráfico onde se poderão analisar as principais correlações e as principais dissemelhanças entre as variáveis em estudo.

4.2.1. Instrumentação utilizada

A estação meteorológica usada nos registos climatológicos no local em estudo é composta por uma sonda meteorológica combinada Vaisala WXT510, com um conjunto completo de sensores que medem a velocidade e direcção do vento, precipitação líquida, pressão barométrica, temperatura e humidade relativa (Vaisala, 2008).

Tabela 8: Características técnicas da estação meteorológica (Fonte: Vaisala WXT510 – Folheto informativo).

Velocidade do vento	Intervalo de medição	[0;60] m/s
	Precisão	$\pm 0,3$ m/s
Direcção do vento	Intervalo de medição	[0;360] °
	Precisão	± 2 °
Pressão barométrica	Intervalo de medição	[600;1100] hPa
	Precisão	± 1 hPa na gama de temperaturas [-52;60] °C
Temperatura	Intervalo de medição	[-52;60] °C
	Precisão	$\pm 0,3$ °C
Humidade relativa	Intervalo de medição	[0;100] %HR
	Precisão	± 3 %HR na gama de temperaturas [0;90] %HR ± 5 %HR na gama de temperaturas [90;100] %HR
Precipitação líquida	Queda de precipitação	Acumulação desde a última inicialização Precisão = 5%
	Duração precipitação	Contagem em incrementos de 10 segundos cada vez que uma gota é detectada
	Intensidade da precipitação	Média de um minuto em separações de 10 segundos

4.2.2. Registos efectuados

A estação meteorológica efectua o registo das variáveis climatológicas de 10 em 10 minutos fornecendo automaticamente a média diária, máximo e mínimo de algumas das variáveis medidas.

Durante o período de tempo considerado para este trabalho (Setembro 2010 - Junho 2011) verificou-se uma falha nos registos das variáveis climatológicas referente ao período de 3 de Dezembro de 2010 a 12 de Janeiro de 2011 onde não foram registados quaisquer dados

climatológicos. Esta lacuna não afecta directamente o trabalho desenvolvido uma vez que neste período não houve exposição das placas de recolha de partículas, no entanto, o estudo das condições climatológicas globais e sazonais reflectirá esta lacuna de dados.

Devido à elevada quantidade de dados analisados no decorrer deste trabalho apenas serão apresentados e descritos os procedimentos considerados como mais relevantes.

Em seguida são apresentadas as siglas e as unidades correspondentes a cada uma das variáveis.

Tabela 9: Identificação das variáveis e correspondentes siglas.

Radiação solar média (Wm^2)	W
Precipitação (mm)	U
Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)	T
Pressão relativa (mbar)	P
Ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$)	PO
Humidade relativa (%)	HR
Velocidade do vento média (m/s)	V
Direcção do vento (Graus)	D

Tabela 10: Excerto da tabela dos registos das variáveis climatológicas - observações de 10 em 10 minutos.

Data Hora	Amostra	W (Wm^2)	U (mm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	P (mbar)	PO ($^{\circ}\text{C}$)	HR (%)	V (m/s)	D (Graus)
2010-09-15 12:20:00	1	364,72	0,00	22,97	1021,34	16,42	66,55	4,27	4,10
2010-09-15 12:30:00	2	333,39	0,00	23,51	1021,02	16,16	63,33	4,27	5,50
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2011-06-14 13:40:00	39177	956,68	0,00	22,24	1022,45	13,46	57,45	3,55	304,82
2011-06-14 13:50:00	39178	946,77	0,00	22,22	1022,37	13,36	57,18	3,80	291,90

4.3. Estatísticas exploratórias

Seguindo a metodologia adoptada para a análise das variáveis climatológicas, inicialmente, foi realizada uma descrição estatística global dos dados recolhidos desde 15 de Setembro de 2011 a 14 de Junho de 2011. Esta descrição permitiu-nos analisar a consistência dos dados recolhidos.

Tabela 11: Estatísticos exploratórios para todos os registos das variáveis climatológicas - Período de 15 de Setembro de 2010 a 14 de Junho de 2011 – observações de 10 em 10 minutos.

	W (Wm ²)	U (mm)	T (°C)	P (mbar)	PO (°C)	HR (%)	V (m/s)
N.º de registos efectuados	33433	33433	33433	33433	33433	33433	33433
N.º de registos não efectuados	5745	5745	5745	5745	5745	5745	5745
Mínimo	0,06	0,00	-0,81	997,15	-8,62	21,61	0,18
Máximo	1102,13	8,08	31,91	1036,09	18,15	93,64	14,31
Média	188,60	0,02	15,22	1017,07	10,07	73,20	2,71
Mediana	2,15	0,00	15,25	1017,81	10,38	76,13	2,44
Moda	0,19	0,00	16,80	1019,84	15,56	92,90	1,415
Desvio Padrão	271,58	0,20	4,87	6,92	4,08	14,95	1,67
Variância	73755,5	0,04	23,73	47,95	16,66	223,45	2,78

Verifica-se que foi possível obter 33 433 observações durante o período considerado, no entanto, não foram registadas 5 745 que correspondem ao período de 3 de Dezembro de 2010 a 12 de Janeiro de 2011. Os respectivos estatísticos exploratórios referentes às estações do ano encontram-se no Anexo 1.

Posteriormente, recorrendo ao software MATLAB efectuaram-se os histogramas das variáveis quantitativas e submeteram-se as mesmas ao teste de Kolmogorov-Smirnov. Adoptou-se um nível de significação de 0,01 de forma a analisar as variáveis que se ajustavam a uma distribuição normal; por definição, estas são descritas pela sua média e desvio padrão igual a um e a zero, respectivamente. A partir da distribuição normal é possível determinar qualquer probabilidade de ocorrência da variável em causa.

4.3.1. Temperatura

A variação da temperatura, normalmente, está relacionada com as transferências energéticas que acontecem entre a superfície terrestre e a atmosfera e com o transporte horizontal de ar frio ou quente. As temperaturas mais elevadas favorecem o transporte vertical, devido à diferença de densidades, o que provoca o transporte dos contaminantes para níveis mais elevados da atmosfera, enquanto que temperaturas mais baixas mantêm os poluentes perto da superfície da terra (Barbosa, 2007).

Nas figuras seguintes encontram-se representados o histograma para a variável temperatura bem como o resultado gráfico do teste Kolmogorov-Smirnov, feito o ajuste a uma distribuição normal.

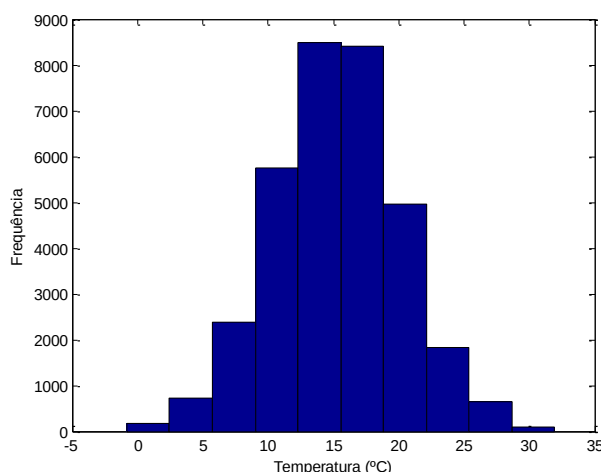


Figura 14: Histograma da variável temperatura.

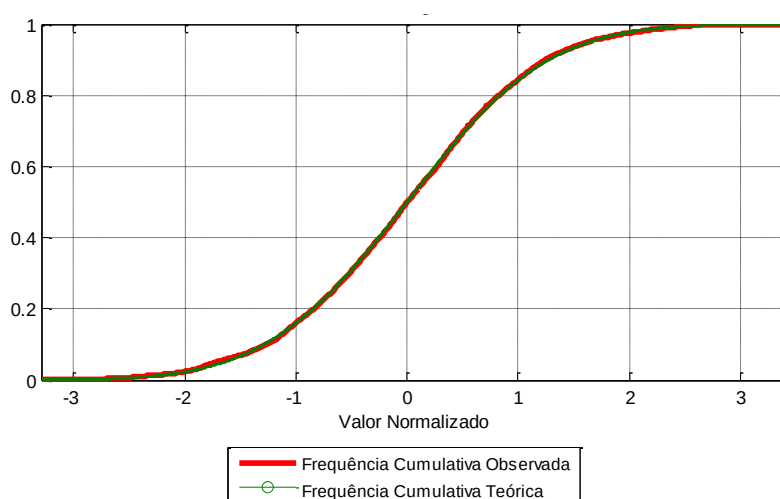


Figura 15: Resultado gráfico obtido através do teste Kolmogorov-Smirnov.

Relativamente ao ajuste obtido para o histograma da temperatura é possível verificar que a quantidade de dados obtidos é suficiente para compreender o comportamento desta variável e será de esperar que esta tenha um comportamento próprio de uma distribuição normal. Assim sendo, podemos deduzir que Sines é uma localidade com uma grande amplitude de temperaturas, o que favorece o transporte convectivo, e que a sua média anual é aproximadamente 15°C, podendo atingir temperaturas na ordem dos 30°C mesmo fora da época estival (estação do ano não privilegiada por este estudo).

4.3.2. Precipitação

Apesar da precipitação ser um factor que actua na remoção das partículas presentes na atmosfera e por isso bastante relevante no processo de deposição, não foi possível realizar um ajuste a uma distribuição conhecida. Dado que a precipitação não ocorre de forma contínua e o período de tempo sem registos corresponde precisamente a uma parte substancial do Inverno, foi feito um

estudo descritivo da precipitação de forma a compreender o comportamento do regime pluviométrico durante o período de recolha das partículas.

A ocorrência de precipitação indica-nos a instabilidade presente na atmosfera e pode implicar uma taxa mais elevada de deposição de partículas, da mesma forma, fenómenos intensos de precipitação podem ser prejudiciais durante o período de recolha das partículas, uma vez que aumentam o risco de ocorrer a lavagem dos colectores. A precipitação impede também os fenómenos de re-suspensão de partículas.

Numa primeira aproximação foi feito o histograma para a variável precipitação “instantânea”, registada de 10 em 10 minutos (ver Figura 16). Esta representação permitiu compreender de que forma o elevado número de registos nulos da variável precipitação influenciam negativamente a distribuição do histograma, impedindo um ajuste correcto do mesmo.

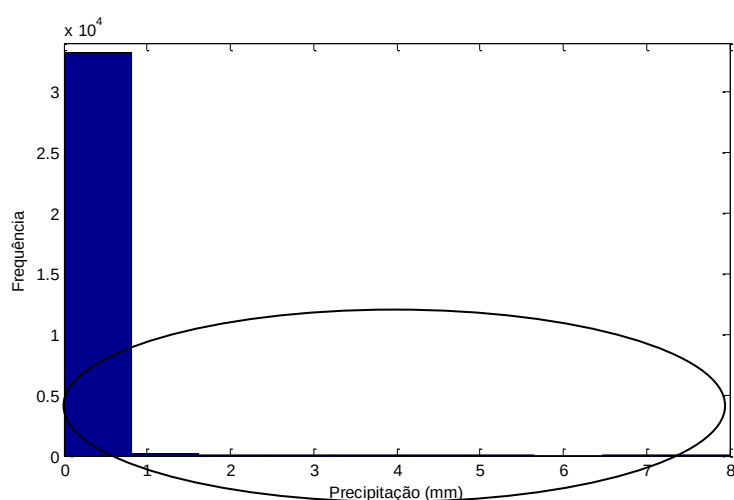


Figura 16: Histograma da variável precipitação medida em intervalos tempo de 10 em 10 minutos.

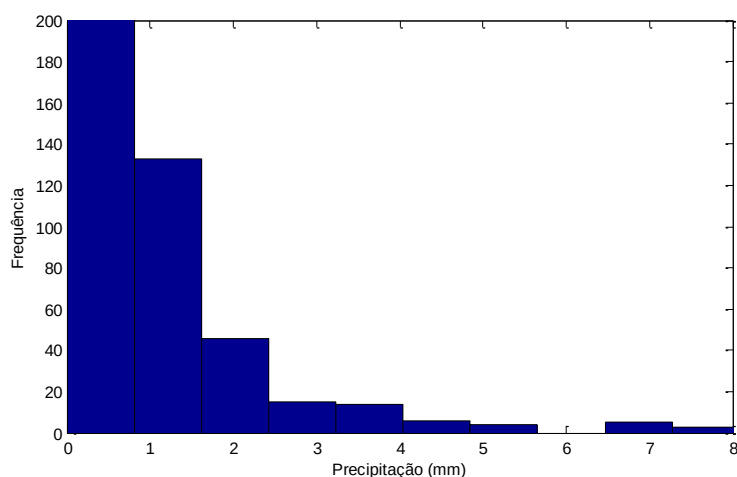


Figura 17: Histograma da variável precipitação medida em intervalos de 10 em 10 minutos (figura ampliada).

Na Figura 17 encontra-se representado o mesmo histograma da Figura 16 mas com uma diminuição das frequências observados dos registos nulos. Desta forma, foi possível a identificação

de todas as classes para a variável precipitação. Poder-se-ia constatar que um aumento do número de observações, hipoteticamente até 30 anos (período mínimo de tempo recomendado para uma amostragem climatológica ser representativa), conduziria a um ajuste à lei de Weibull.

Posteriormente, realizaram-se os estatísticos exploratórios dos registos da precipitação acumulada em 24 h, obtendo-se a tabela com os seguintes estatísticos básicos:

Tabela 12: Estatísticos exploratórios da variável precipitação total acumulada (de 16-09-2010 a 14-06-2011).

Variável	Precipitação total acumulada (mm)
Dias com registos de precipitação	118
Média	2,99
Mínimo	0
Máximo	40,63
Desvio padrão	7,38
Variância	54,43

Pela observação da tabela anterior podemos concluir que dos 220 dias referentes ao período de tempo em análise, obtivemos 118 dias com registos de precipitação com um valor médio diário de aproximadamente 3 mm. O valor máximo para a precipitação total diária foi de 40,33 mm no dia 20 de Abril de 2011, precisamente na altura em que decorreu a recolha de partículas referente à segunda campanha de amostragem. Este dia foi provavelmente desfavorável no que respeita à recolha de partículas pelo método de deposição em placas, uma vez que estavam presentes as condições que promovem a sua lavagem.

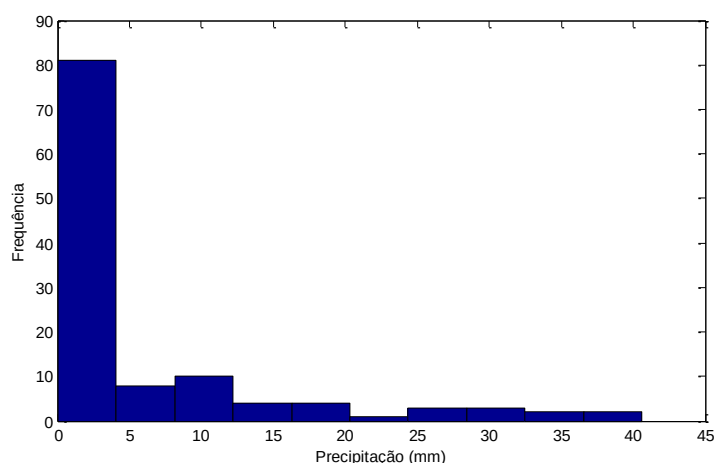


Figura 18: Histograma das precipitações acumuladas em 24 h no período entre 16 de Setembro a 14 de Junho de 2011.

O histograma representado na Figura 18 revela que os fenómenos de precipitação foram em média de baixa intensidade o que se por um lado facilita a deposição de partículas, por outro lado, não evidencia intensidade suficiente para provocar a lavagem das placas de recolha.

Na tabela seguinte encontra-se representada uma comparação dos estatísticos exploratórios aplicados à variável precipitação para os 2 períodos (2 campanhas de amostragem) em que tiveram expostas as placas de recolha.

Tabela 13: Tabela comparativa dos estatísticos exploratórios da precipitação “instantânea” nos períodos referentes à exposição de placas no terreno.

Variável	Precipitação (mm) - observações de 10 em 10 minutos	
	De 15-09-2011 a 16-10-2010	De 01-04-2011 a 01-05-2011
Período de registo		
N.º total de registos efectuados	4678	4464
N.º de dias com precipitação	13	19
Mínimo	0	0
Máximo	7,24	4,62
Precipitação total	95,1	129,9
Média de precipitação nos dias em que esta ocorreu	7,3	6,8

Durante a primeira campanha de amostragem, em 31 dias possíveis foram registados 13 dias com ocorrência de precipitação, com o valor médio de 7 mm. Para a segunda campanha de amostragem estes valores são ligeiramente diferentes: foram registados 19 dias onde ocorreram fenómenos de precipitação, com um valor médio de aproximadamente 7 mm, mas a precipitação acumulada foi 35 mm superior à registada na primeira campanha de amostragem. Este facto pode explicar a menor quantidade de partículas recolhidas, em média, durante a segunda campanha de amostragem.

4.4. Estudo particular da variável velocidade do vento

A velocidade do vento assim como a sua direcção assumem particular importância para o estudo do fluxo de deposição de partículas, visto que as partículas se mantêm em suspensão na atmosfera e são passíveis de transporte de acordo com os fenómenos climáticos.

Se à partida o objectivo deste trabalho foi criar uma metodologia para a análise de partículas na envolvente de um pólo industrial, foi importante perceber de que forma as emissões libertadas por estas instalações industriais são influenciadas pelas variáveis climatológicas.

A caracterização da velocidade e da direcção do vento permite tirar algumas conclusões sobre a amplitude da dispersão e sobre a localização/direcção preferencial de deposição das partículas provenientes do pólo industrial em estudo.

A definição mais clássica e abrangente para o vento é dizer que este é um movimento de massas de ar na atmosfera. No entanto, esta definição não engloba a sua génese e as suas implicações na superfície da Terra. Góis refere que a circulação da atmosfera é “...*composta por movimentos (leia-se ventos) horizontais e verticais de grandes massas de ar e que por sua vez implicam, como factores primeiros, as diferenças de pressões que envolvem a superfície terrestre.*”

Estas variações (fruto da heterogeneidade com que a radiação solar atinge o planeta, maior nas zonas equatoriais do que nas zonas polares), em paralelo com o movimento de rotação da Terra, criam um complexo sistema de circulação geral de ventos aos quais, não raramente, se junta uma dinâmica própria que é consequência das características físico-morfológicas específicas de cada local...” (Góis, 2004).

Desta forma, a velocidade do vento será analisada de acordo com a sua função densidade de probabilidade ajustada. Posteriormente, a velocidade do vento será analisada conjuntamente com a sua direcção, tendo como objectivo o estudo da dispersão esperada das emissões do pólo industrial em estudo.

De acordo com os dados recolhidos, obtivemos o seguinte histograma para a variável velocidade do vento:

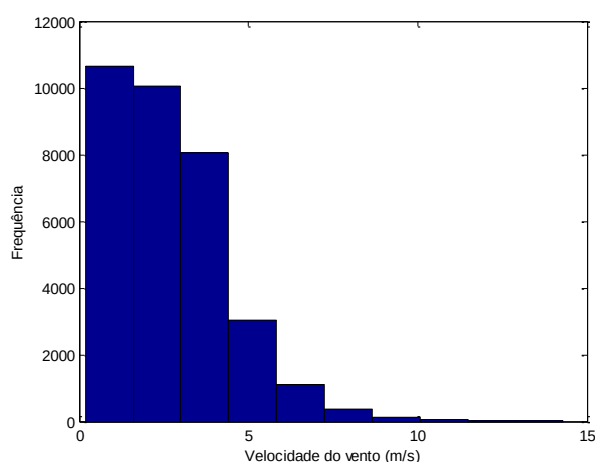


Figura 19: Histograma da variável velocidade do vento.

O passo seguinte para o estudo da velocidade do vento foi tentar ajustar uma distribuição conhecida ao histograma obtido. As distribuições mais aceites para caracterizar a velocidade do vento são a distribuição de Weibull e a distribuição de Rayleigh, sendo muito utilizadas para o desenvolvimento de sistemas de conversão de energia eólica em energia eléctrica e/ou mecânica (Camus, 2007), (Yilmaz & Celik, 2008), (Silva *et al.*, 2009).

A função de densidade de probabilidade de Weibull é definida da seguinte forma:

$$f(V) = \frac{k}{a} \left(\frac{V}{a} \right)^{k-1} e^{-(V/a)^k} \quad \text{Eq. 4.1}$$

em que:

- V - velocidade do vento;
- k - parâmetro adimensional, do qual dependem as diferentes formas da distribuição;
- a - parâmetro de escala.

Por sua vez, a função de densidade de Rayleigh é definida pela seguinte expressão:

$$f(V) = \frac{2}{a} \left(\frac{V}{a} \right)^{2-1} e^{-(V/a)^2} \quad \text{Eq. 4.2}$$

A distribuição de Rayleigh é um caso particular da distribuição de Weibull, em que o parâmetro de forma k assume o valor 2 e tem somente um parâmetro de ajuste, (Silva *et al.*, 2009).

O ajuste do histograma da velocidade do vento à função de densidade de probabilidade foi feito com recurso ao software MATLAB.

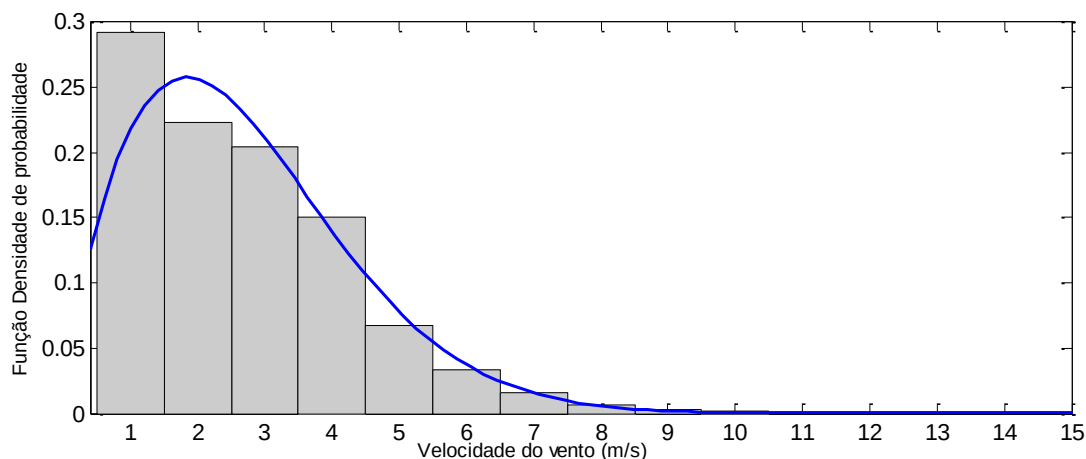


Figura 20: Histograma dos registos da velocidade do vento, ajuste da lei de Weibull.

Os parâmetros da lei de Weibull que resultam deste ajuste são: $k = 1,72$ e $a = 3,05$.

Os valores obtidos para os parâmetros da distribuição permitiram verificar que existe uma constância da velocidade do vento durante o período de estudo, no entanto, carecem de longevidade de registos para que se possa generalizar. Segundo Góis: “a lei de distribuição de Weibull, enquanto modelo probabilístico para a reconstituição das velocidades do vento, conduz, independentemente dos períodos de tempo e/ou época do ano em análise, a bons resultados”. Desta forma, a aplicação da lei de distribuição de Weibull é legítima e as conclusões que se possam retirar posteriormente, acerca desta variável relativamente ao tempo em que foi registada, são válidas e coerentes, (Góis, 2004).

Os anteriores estudos de caso foram escolhidos devido à sua relevância no transporte e deposição das partículas, sendo necessária a sua caracterização para o desenvolvimento coerente do trabalho, as restantes variáveis serão discriminadas aquando da sua relação com a variável direcção do vento. Com o desenvolvimento do trabalho será também possível confirmar que, muitas das variáveis estão intimamente relacionadas com os estudos de caso desenvolvidos anteriormente.

4.5. Direcção do vento - estatística circular

A direcção do vento é uma variável circular que só fica inteiramente definida se estiver associada a um referencial conhecido (Norte $\equiv 0^\circ$).

A estação meteorológica utilizada permitiu efectuar registos da direcção do vento em graus. Consequentemente, os registos da direcção do vento não podem ser devidamente descritos e analisados pela estatística linear, mas sim pela estatística circular.

Segundo Góis a direcção média do vento, sendo uma variável direcciona definida por um ângulo θ em relação a um referencial, pode ser determinada da seguinte forma para um conjunto de dados:

$$\hat{\rho} = \begin{cases} \arctan\left(\frac{\bar{S}}{\bar{C}}\right), & \text{se } \bar{S} \geq 0 \text{ e } \bar{C} > 0 \\ \arctan\left(\frac{\bar{S}}{\bar{C}}\right) + \pi, & \text{se } \bar{C} < 0 \\ \arctan\left(\frac{\bar{S}}{\bar{C}}\right) + 2\pi, & \text{se } \bar{S} < 0 \text{ e } \bar{C} > 0 \end{cases} \quad \text{Eq. 4.3}$$

em que:

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta_i) \quad \text{Eq. 4.4}$$

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\theta_i) \quad \text{Eq. 4.5}$$

Considerando o comprimento do vector resultante $\hat{\rho} = \bar{R}$, e sendo $\bar{R}$ por definição igual a:

$$\bar{R} = \sqrt{\bar{C}^2 + \bar{S}^2} \text{ com } 0 \leq \bar{R} \leq 1 \quad \text{Eq. 4.6}$$

O mesmo autor (Góis, 2004) defende ainda que “...a direcção mediana $\tilde{\theta}$ de um conjunto de variáveis circulares, é um qualquer ângulo φ tal que:

- i. Metade do conjunto de variáveis está compreendida no arco $[\varphi, \varphi + \pi]$;
- ii. A maioria das variáveis está mais próxima de φ do que de $\varphi + \pi$.

A direcção mediana é determinada pela definição da direcção φ que minimiza a função:

$$d(\tilde{\theta}) = \pi - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\pi - |\theta_i - \varphi|| \quad \text{Eq. 4.7}$$

Por sua vez, a variância circular (V) e o desvio padrão circular (s), são definidos respectivamente por:

$$V = 1 - \bar{R}, \text{ ou } V = 2(1 - \bar{R}) \quad \text{Eq. 4.8}$$

$$s = \sqrt{-2 \log(1 - V)} = \sqrt{-2 \log \bar{R}} \quad \text{Eq. 4.9}$$

A dispersão circular é definida por:

$$\hat{\delta} = \frac{1 - \bar{R}^2}{2\bar{R}^2} \quad \text{Eq. 4.10}$$

na qual $\bar{R}^2$ representa a média resultante da consideração dos duplos ângulos $2\theta_1, 2\theta_2, \dots, 2\theta_n$.

O coeficiente k é um coeficiente de concentração que traduz a medida inversa da dispersão da distribuição das variáveis circulares, definido por:

$$\hat{k} = \begin{cases} 2\bar{R} + \bar{R}^3 + 5\frac{\bar{R}^5}{6} & \text{se } \bar{R} < 0,53 \\ -0,4 + 1,39\bar{R} + 0,43(1 - \bar{R}) & \text{se } 0,53 \leq \bar{R} < 0,85 \\ \frac{1}{(\bar{R}^3 - 4\bar{R}^2 + 3\bar{R})} & \text{se } \bar{R} \geq 0,85 \end{cases}$$

Os intervalos de confiança para a direcção média são:

$$\bar{\theta} \pm \text{sen}^{-1} \frac{z_{\alpha/2}}{\sqrt{n\bar{k}\bar{R}}} \quad \text{Eq. 4.11}$$

Onde $z_{\alpha/2}$ indica, para um nível de confiança estipulado α , o valor de $z_{\alpha/2}$ de uma distribuição gaussiana normalizada...” (Góis, 2004).

Com base nos conceitos anteriormente expostos foi possível fazer o estudo estatístico dos registos da variável direcção do vento através do software Oriana 3.0, destinado ao estudo de variáveis circulares permitindo realizar todas as descrições estatísticas circulares possíveis.

Tabela 14: Estudo estatístico exploratório dos registos da direcção do vento.

Vector médio	10,77°
Comprimento do vector médio	0,32
Mediana	16,99°
Concentração	0,67
Variância circular	0,68
Desvio padrão circular	86,75°
Erro médio	0,68°
Intervalo de confiança (-/+) 95% μ	9,44°
	12,1°
Intervalo de confiança (-/+) 99% μ	9,02°
	12,5°

Foi ainda realizada a representação circular, para os registos da direcção do vento, com a respectiva direcção média para a análise global dos dados, e para o respectivo período de tempo em que as placas estiveram expostas às variáveis climatológicas (Figuras 21, 22 e 23).

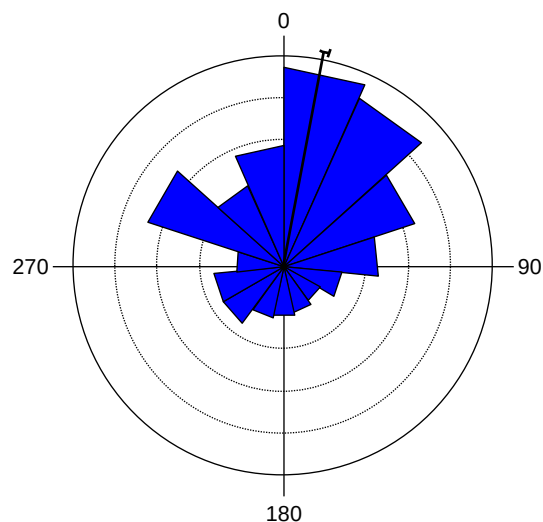


Figura 21: Representação circular dos registos da direcção do vento, perspectiva global de todos os registos.

A partir da figura anterior podemos concluir que a direcção média do vento no período de Setembro de 2010 a Junho de 2011 foi essencialmente de Norte para Sul, com predominância no sentido NE-SW.

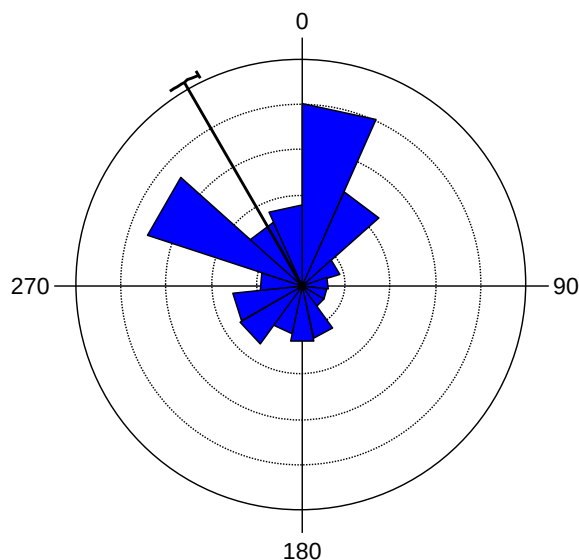


Figura 22: Representação circular dos registos da direcção do vento no período de 15 de Setembro a 17 de Outubro de 2010.

Num estudo mais pormenorizado foi realizada uma análise da direcção do vento nos casos particulares dos períodos de exposição das placas para a recolha das poeiras (Figuras 22 e 23). Desta forma, foi possível verificar que, durante a primeira campanha de amostragem, realizada entre 15 de Setembro e 17 de Outubro de 2010 a direcção média do vento foi diferente da direcção média do vento quando considerados a totalidade dos registos desta variável (Cf. Figura 21 e 22).

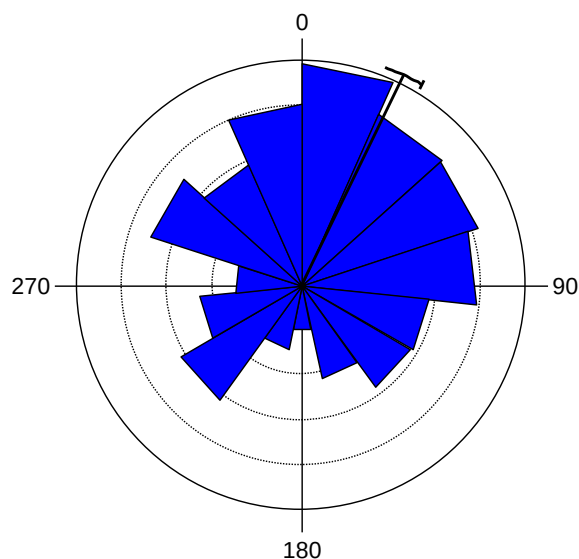


Figura 23: Representação circular dos registos da direcção do vento no período de 1 de Abril a 1 de Maio de 2011.

Para a segunda campanha de amostragem, realizada durante o período de 1 de Abril a 1 de Maio de 2011, apesar de ocorrer uma maior variabilidade da direcção do vento, a direcção média é similar à direcção média para o caso geral (Cf. Figura 21 e 23).

Seguindo a metodologia adoptada para o estudo das variáveis lineares, onde se propôs analisar as distribuições associadas às variáveis registadas, existem alguns modelos de distribuição probabilística passíveis de serem ajustados aos registos da direcção do vento. Neste caso particular será feito o ajuste a lei de distribuição uniforme circular definida pela seguinte expressão (Góis, 2004):

$$\mu(\varphi) = \frac{1}{2\pi} \text{ com } \varphi \in [0, 2\pi] \quad \text{Eq. 4.12}$$

A distribuição uniforme circular considera uma função densidade de probabilidade dada por $\mu(\phi)$ apresentando como características fundamentais o facto de não possuir média circular e de ter o comprimento do vector resultante igual a zero.

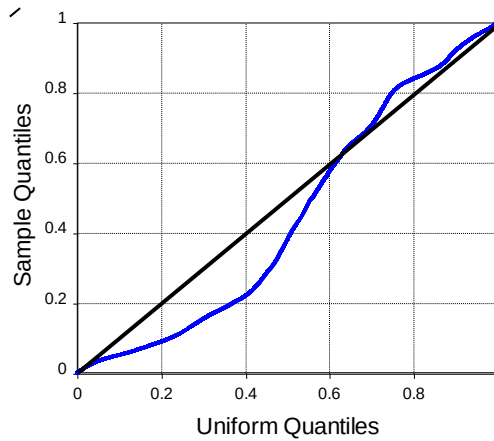


Figura 24: Ajuste da lei uniforme à variável circular em estudo.

Por sua vez, a distribuição de Von-Mises constitui o equivalente da distribuição normal para os dados circulares. A sua função densidade de probabilidade vem expressa como (Góis, 2004):

$$M_{\mu,k}(\theta) = \frac{1}{2\pi I_0(k)} e^{k \cos(\theta - \mu)} \quad \text{Eq. 4.13}$$

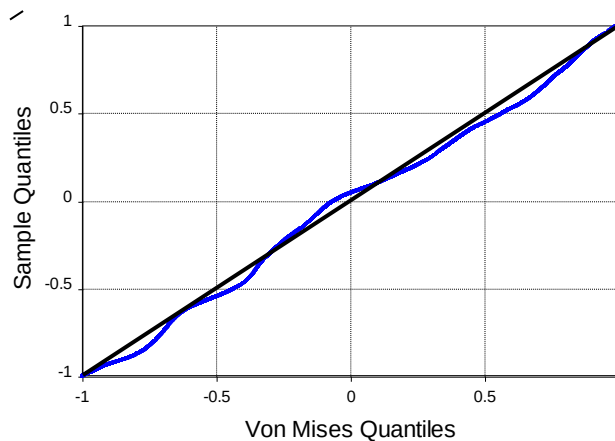


Figura 25: Ajuste da distribuição de von-Mises à variável circular em estudo.

Foi possível verificar que os dados encontram-se mais afastados na distribuição uniforme (Figura 24). Esta constatação tem por base o afastamento visível dos pontos à linha a 45° que divide o gráfico. Por sua vez, relativamente à distribuição de von-Mises, os dados encontram-se mais próximos da linha de 45° que divide o gráfico, esta distribuição é o equivalente circular à distribuição normal para dados lineares. Este ajuste, por definição, indica que os dados são homogéneos e retratam o comportamento real de uma variável climatológica. Assim sendo, mesmo tendo sido efectuadas observações num período inferior a um ano, estes registos mostram-se consistentes o suficiente para que se tirem conclusões plausíveis acerca do período de medição.

Posteriormente, no sentido de se estudar a possível relação entre a variável circular (direcção do vento) e as variáveis lineares, efectuou-se o estudo da correlação linear-circular, visto que as observações foram feitas simultaneamente. Este indicador foi obtido através do coeficiente de correlação linear-circular, $r_{\theta x}$, cujo conceito, é expresso pela seguinte equação (Góis, 2004):

$$r_{x\theta}^2 = \frac{r_{xc}^2 + r_{xs}^2 - 2r_{xc}r_{xs}r_{cs}}{1 - r_{cs}^2} \quad \text{Eq. 4.14}$$

em que:

- $r_{xc} = \text{cor}[x_i, \cos(\theta_i)]$;
- $r_{xs} = \text{cor}[x_i, \text{sen}(\theta_i)]$;
- $r_{cs} = \text{cor}[\cos(\theta_i), \text{sen}(\theta_i)]$,

com r_{xc} , r_{xs} e r_{cs} determinados através da usual correlação de Pearson.

Outros coeficientes de correlação fundamentados em testes não paramétricos, baseados na ordenação dos dados e respectivas pontuações são susceptíveis de estabelecerem igualmente graus de associação entre uma variável linear e uma variável circular, no entanto numa pequena incursão aos coeficientes de correlação de Spearman e Kendall não revelou vantagens significativas (Góis, 2004).

Recorrendo à ferramenta do software Oriana para cálculo dos coeficientes de correlação linear-circular obteve-se uma tabela descritiva das diversas combinações possíveis entre os registos da direcção do vento e os registos das outras variáveis observadas. Observando a tabela seguinte foi possível constatar que não existem coeficientes de correlação muito expressivos, no entanto, tanto a temperatura como a velocidade do vento destacam-se e têm os coeficientes de correlação mais elevados.

Tabela 15: Coeficientes de correlação linear-circular.

Variáveis	Observações	r
Direcção do Vento vs Radiação Solar	33433	0.345
Direcção do Vento vs Precipitação	33433	0.077
Direcção do Vento vs Temperatura	33433	0.442
Direcção do Vento vs Pressão atmosférica	33433	0.283
Direcção do Vento vs Ponto de orvalho	33433	0.385
Direcção do Vento vs Humidade relativa	33433	0.237
Direcção do Vento vs Velocidade do vento	33433	0.426

Recorrendo às funcionalidades do software utilizado, também foi feita a representação circular combinada das variáveis lineares com a direcção do vento. As representações circulares permitiram obter conclusões preliminares acerca da relação entre as variáveis. Esta relação é possível uma vez que nos gráficos circulares a variável linear é representada proporcionalmente à frequência de ocorrência de cada classe.

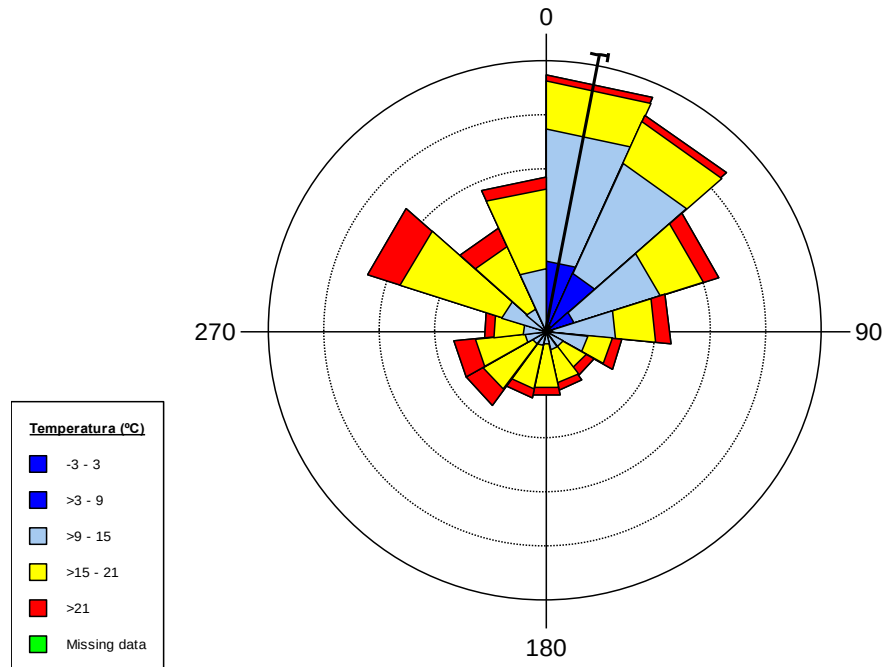


Figura 26: Representação circular da direcção do vento vs temperatura - análise geral.

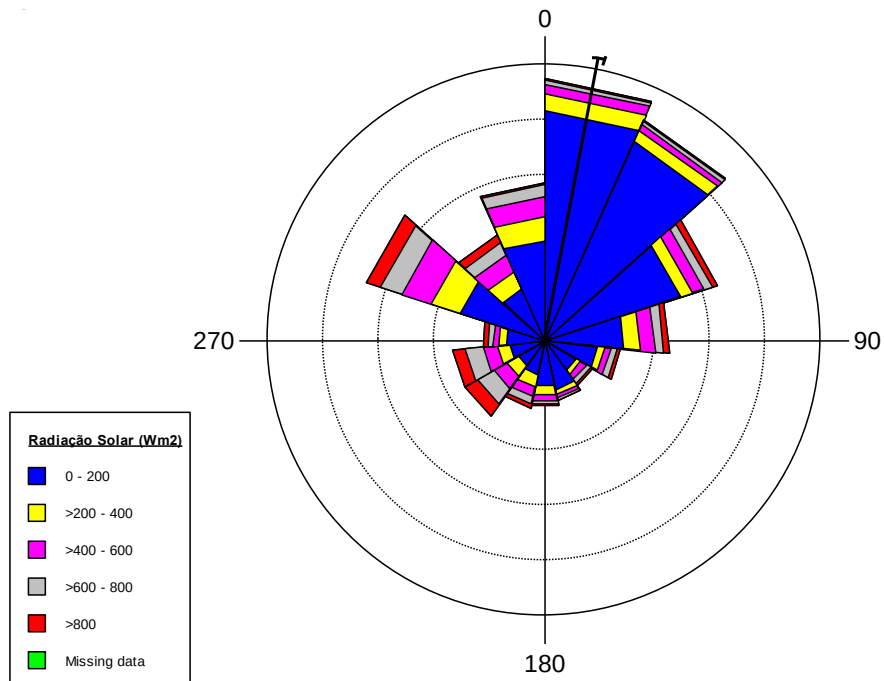


Figura 27: Representação circular da direcção do vento vs radiação solar - análise geral.

Pela observação das figuras anteriores é possível verificar que as variáveis (radiação solar e temperatura) variam em simultâneo, no entanto esta consideração será validada posteriormente pela análise factorial das correspondências binárias. Podemos também verificar que as radiações solares como as temperaturas de menor intensidade estão relacionadas com a direcção média do vento.

As menores radiações são registadas durante a noite e em períodos de céu nublado, ou seja o sentido do vento foi em média de NE-SW. Este sentido é um dos mais favoráveis quando nos referimos à dispersão das emissões libertadas pelas indústrias locais, pois transportam as poeiras em direcção ao Oceano Atlântico. Por sua vez as maiores intensidades de radiação solar e temperatura foram detectadas em praticamente todas as direcções do vento, com excepção da direcção N e NW para os registos de radiação solar.

Estas observações são coerentes visto que Sines se encontra numa zona costeira susceptível a movimentos atmosféricos conhecidos como brisa marítima e brisa terrestre. A brisa marítima é um movimento de ventos proveniente do mar que se deve ao gradiente térmico entre a Terra e do mar. Ao longo do dia e à medida que o solo aquece, os movimentos atmosféricos invertem-se até que durante a noite o vento dirige-se para o mar que arrefece mais lentamente que o solo (brisa terrestre) (IM, 2008).

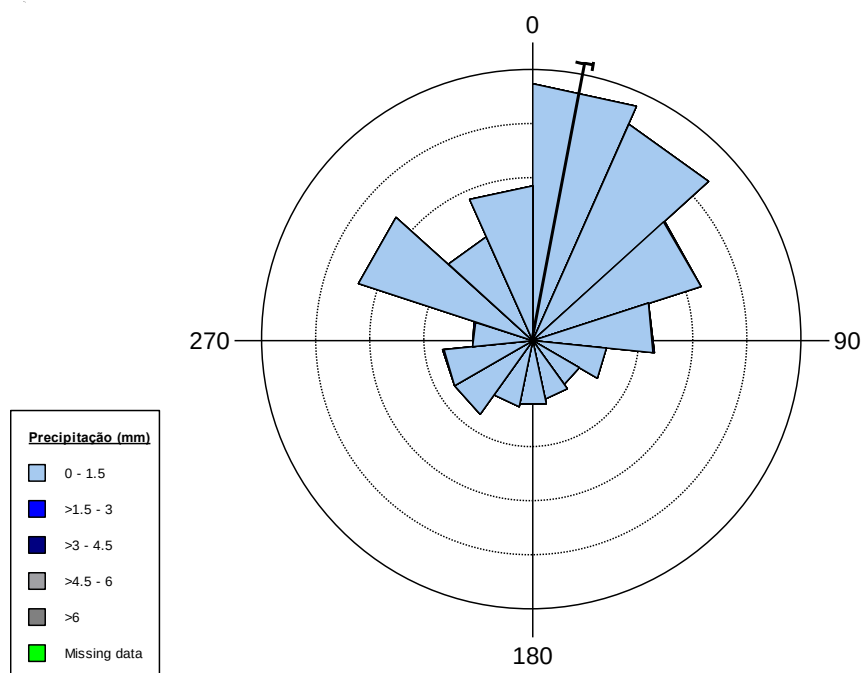


Figura 28: Representação circular da direcção do vento vs precipitação- análise geral.

De acordo com o que já foi referido anteriormente a representação circular da variável precipitação vs direcção do vento (medidas de 10 em 10 minutos) não permite tirar conclusões a seu respeito, devido ao elevado número de registos nulos da variável precipitação (Figura 28).

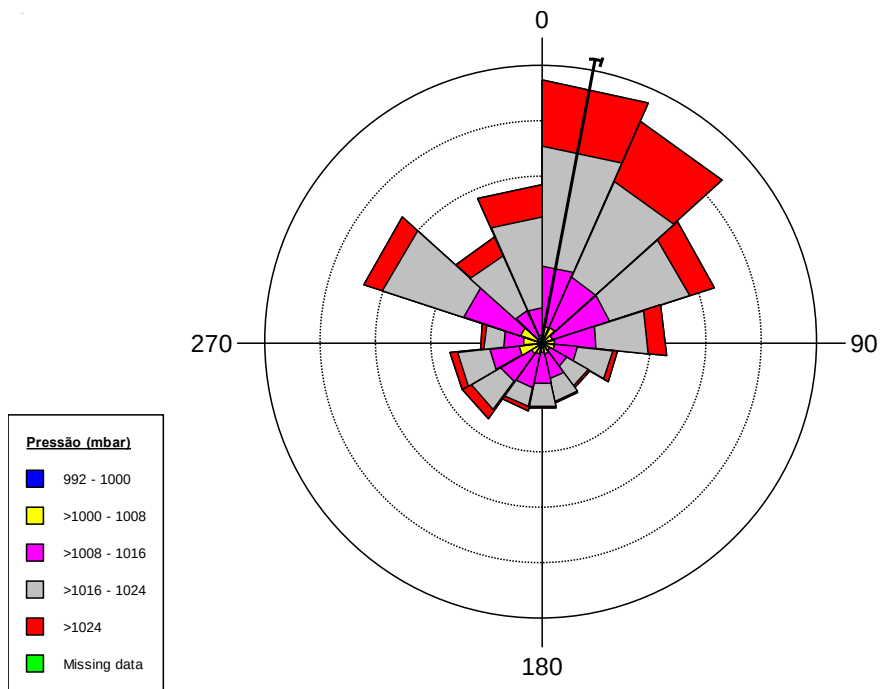


Figura 29: Representação circular da direcção do vento vs pressão - análise geral.

Relativamente aos registos da intensidade da pressão relativa foi possível verificar que tanto as altas pressões como as baixas pressões são independentes da direcção do vento (Figura 29).

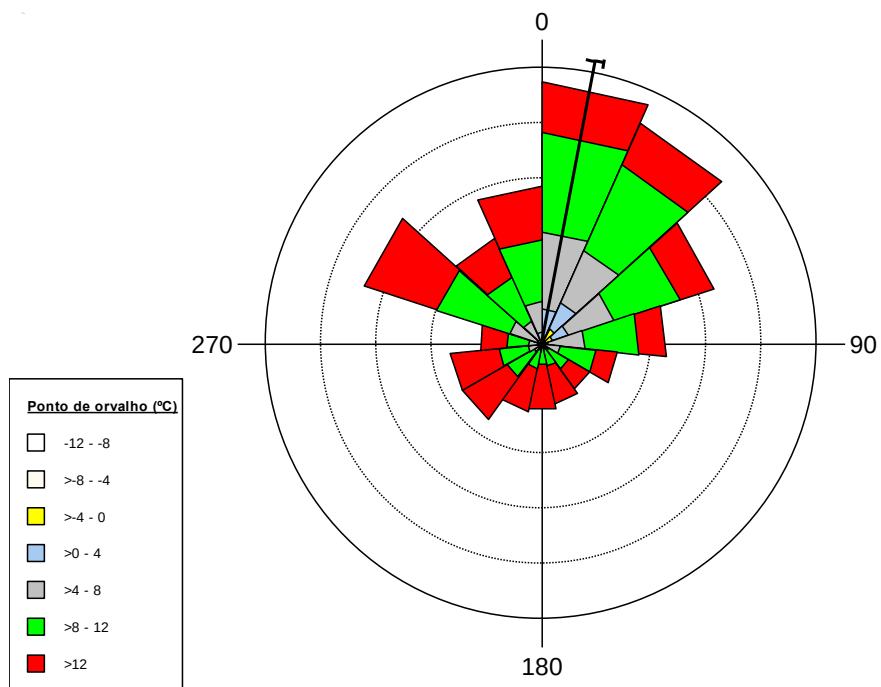


Figura 30: Representação circular da direcção do vento vs ponto de orvalho - análise geral.

A variável ponto de orvalho é designada como sendo a temperatura para qual a humidade presente no ar ambiente passa do estado gasoso ao estado líquido, ou seja o ponto de orvalho não é mais do que o ponto de condensação observado para o período da medição. Este ponto pode muitas

vezes indicar o momento em que as partículas em suspensão, próximas de superfícies, se depositam visto que estas encontram-se muitas vezes adsorvidas pelas moléculas de água. Pela figura anterior é possível observar que os pontos de condensação mais baixos apresentam uma correspondência com a direcção média do vento, o que pode indicar que as partículas em suspensão mais próximas da superfície, podem não ter tempo suficiente para ser transportadas para o oceano sendo depositadas mais rapidamente, ou seja, há uma dispersão espacial menor na direcção média do vento. Por sua vez, os pontos de condensação mais altos têm uma distribuição uniforme não havendo indícios, nesta fase, de que têm uma distribuição segundo uma direcção preferencial do vento.

Em relação aos registos da variável humidade relativa é possível verificar na figura 31 que para além do clima local ser em geral húmido devido à sua proximidade ao mar, as maiores frequências para as percentagens mais baixas verificam-se nos ventos provenientes de W.

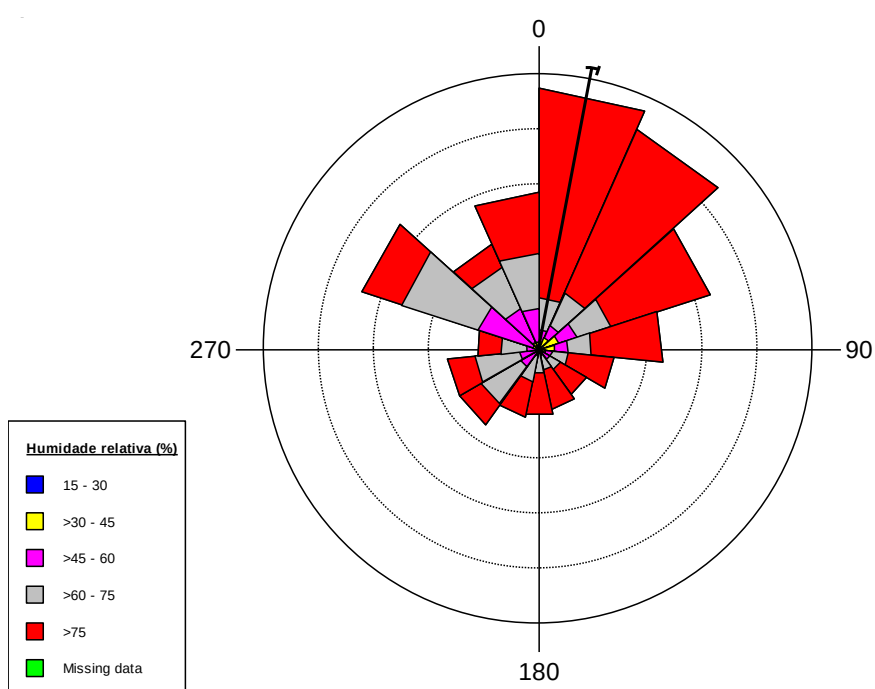


Figura 31: Representação circular da direcção do vento vs humidade relativa - análise geral.

Relativamente à representação circular combinada dos registos da direcção e velocidade do vento (Figura 32) podemos observar que as velocidades mais elevadas ocorrem essencialmente de Sul e Oeste. E que as velocidades mais baixas estão fundamentalmente relacionadas com a direcção média do vento quando calculado para a totalidade dos registos.

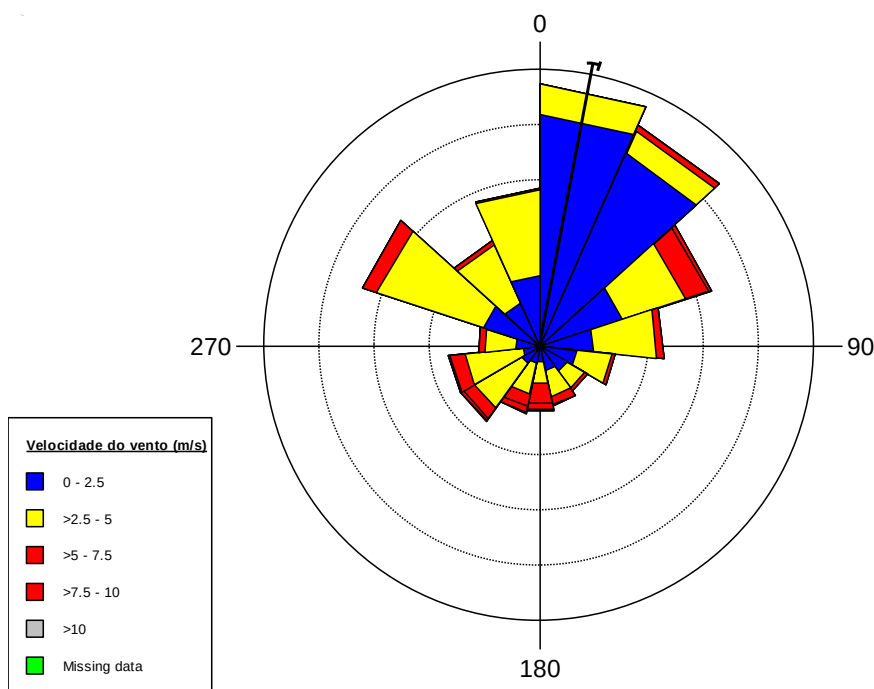


Figura 32: Representação circular da direcção do vento vs velocidade do vento - análise geral.

4.6. Análise factorial das correspondências binárias

Neste capítulo os dados foram apresentados por histogramas, distribuições, representações circulares e coeficientes de correlação. No entanto, estas formas de apresentação não permitem ao leitor comum visualizar de uma forma imediata as relações entre as variáveis climatológicas. Desta forma, foi realizada uma análise factorial de correspondências binárias⁵ de forma a extrair a informação essencial, explicitando o sistema de interdependências entre as variáveis (CVRM, 2002).

Em primeiro lugar foi construída uma tabela constituída por 0 e 1, onde as variáveis foram subdivididas em modalidades. As modalidades de uma variável correspondem a classes de intensidades; se a intensidade da variável pertencer à modalidade em questão substituímos o seu valor por 1, caso contrário substituímos o seu valor por zero.

Cada registo da variável vai corresponder ao dígito 1 dentro da modalidade que se insere. Após este tratamento vai ser possível encontrar as características estruturais básicas que expliquem melhor as relações de proximidade no interior do conjunto das variáveis. No caso dos dados em estudo, a tabela construída apresenta-se como uma matriz de 31 colunas cuja soma em linha é sempre igual a 8 (número de variáveis) e cuja soma em coluna representa a frequência absoluta de cada modalidade das diferentes variáveis.

Para cada variável, a soma das frequências absolutas das suas modalidades é sempre igual ao número de indivíduos amostrados. As diferentes matrizes de informação utilizadas foram sujeitas a tratamento pelo *software* ANDAD⁶.

⁵ Técnica no domínio da Análise Factorial que permite a visualização e redução de um grande número de dados com as variáveis que os caracterizam, possui como objectivo a descrição das estruturas relacionais subjacentes aos dados de partida.

⁶ *Software* desenvolvido por Jorge Sousa e colaboradores, CVRM/IST, Versão 7.1 de 2000.

Tabela 16: Escolha das modalidades e respectivas frequências.

Variável	Modalidade	Intervalo	Frequência
Humidade relativa (%)	HR1	[21 - 60[	6517
	HR2	[60 - 70[	6134
	HR3	[70 - 85[	11441
	HR4	[85 - 95]	9341
Velocidade do vento (m/s)	V1	[0 - 1,5[	9738
	V2	[1,5 - 3[	10929
	V3	[3 - 4,5[	8391
	V4	[4,5 - 14,5]	4375
Precipitação (mm)	U1	[0 - 0,001[	31588
	U2	[0,001 - 8,5]	1845
Radiação solar (Wm2)	W1	[0,004 - 0,25[	10206
	W2	[0,25 - 10[	7230
	W3	[10 - 300[	7001
	W4	[300 - 1200]	8996
Direcção do vento (graus)	D1	[315 - 45[	13320
	D2	[45 - 135[	7934
	D3	[135 - 225[	4421
	D4	[225 - 315]	7758
Temperatura média (°C)	T1	[-1 - 10[	4673
	T2	[10 - 15[	11347
	T3	[15 - 20[	11990
	T4	[20 - 32]	5423
Pressão relativa (mbar)	P1	[996 - 1006[	2565
	P2	[1006 - 1016[	11081
	P3	[1016 - 1026[	16514
	P4	[1026 - 1036]	3273
Ponto de orvalho (°C)	PO1	[-9 - 8[	9249
	PO2	[8 - 10[	6264
	PO3	[10 - 12[	6410
	PO4	[12 - 14[	5655
	PO5	[14 - 19]	5855

Tabela 17: Matriz de dados codificada em disjuntiva completa.

Individuo	Modalidades															
	D1	...	T1	...	P1	...	PO1	...	HR1	...	V1	...	U1	...	W1	...
1	1	...	0	...	0	...	0	...	0	...	0	...	1	...	0	...
2	1	...	0	...	0	...	0	...	0	...	0	...	1	...	0	...
3	1	...	0	...	0	...	0	...	0	...	0	...	1	...	0	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
33431	0	...	0	...	0	...	0	...	1	...	0	...	1	...	0	...
33432	0	...	0	...	0	...	0	...	1	...	0	...	1	...	0	...
33433	0	...	0	...	0	...	0	...	1	...	0	...	1	...	0	...

A codificação anterior assegura que, seja qual for a natureza das variáveis, a soma em linha dos valores que surgem na tabela é constante e igual ao número de variáveis, o que se traduz numa homogeneidade estatística necessária para o processamento subsequente (Góis, 2004).

O Ensaio 1 é efectuado sobre o ficheiro de dados inicial, considerando-se todas as variáveis, as respectivas 31 modalidades e a totalidade dos 33433 registos. Com este primeiro ensaio procura-se ter uma ideia geral das estruturas relacionais mais fortes entre as variáveis em estudo.

Tabela 18: Taxa de Inércia transportada em cada factor.

Factores	Valor Próprio	% Exp	% Acum
1	0.36	12,6	12,6
2	0.25	8,6	21,2
3	0.19	6,57	27,72
4	0.18	6,42	34,13
5	0.15	5,25	39,39
6	0.14	4,89	44,29

A importância de cada um dos eixos é analisada pela coluna %EXP (taxa de inércia transportada). Verifica-se por exemplo que, para o Ensaio 1, os dois primeiros factores explicam no seu conjunto 21,2% da variabilidade contida na matriz inicial de dados. Neste estudo considerou-se que uma modalidade estaria relacionada com o eixo sempre que a sua contribuição absoluta fosse superior a 100/p modalidades.

Tabela 19: Contribuições absolutas.

	Factores (características estruturais)					
	1	2	3	4	5	6
D1	4,97	2,44	4,62	0,16	1,77	0,92
D2	0,28	0,05	3,09	1,15	14,41	7,76
D3	1,25	10,03	0,40	3,90	0,00	0,45
D4	6,81	0,01	0,32	0,87	4,39	4,29
T1	8,82	5,26	5,92	12,86	0,94	0,12
T2	3,22	0,47	0,46	20,17	2,56	0,07
T3	1,90	4,81	3,71	1,42	7,53	0,22
T4	10,90	4,50	0,14	1,95	7,12	0,00
P1	0,11	2,81	9,09	5,41	1,12	6,44
P2	0,42	5,42	0,61	4,42	3,05	0,23
P3	0,09	2,68	4,49	1,02	0,03	0,99
P4	2,53	4,36	0,43	0,21	7,17	0,80
PO1	3,48	8,31	13,51	3,41	1,03	0,04
PO2	0,32	0,07	0,02	16,15	4,26	2,43
PO3	0,08	0,00	3,79	5,32	1,53	0,17
PO4	1,08	1,89	1,62	0,40	0,48	8,56
PO5	2,60	3,99	2,14	13,16	1,24	3,77
HR1	5,61	12,62	0,55	0,03	5,78	0,28
HR2	2,38	0,03	0,04	1,27	10,00	7,13
HR3	0,09	3,95	0,41	0,31	2,64	14,41
HR4	8,39	0,83	2,23	1,92	5,54	6,13
V1	8,23	0,02	6,09	0,58	2,19	5,23
V2	0,00	0,07	0,22	0,23	4,52	18,71
V3	4,75	1,33	0,44	1,52	0,06	5,00
V4	1,58	3,29	12,28	1,77	0,64	0,11
U1	0,00	0,49	0,63	0,01	0,14	0,17
U2	0,03	8,33	10,81	0,10	2,34	2,84
W1	6,76	0,10	1,44	0,02	0,09	0,00
W2	1,51	2,84	8,22	0,04	2,23	0,11
W3	0,29	2,47	2,26	0,21	4,47	1,86
W4	11,52	6,55	0,00	0,01	0,72	0,78

Após se realizar um segundo ensaio no ANDAD verificou-se que a percentagem da taxa de inércia transportada não aumentava significativamente com a redução de modalidades inseridas, desta forma o Ensaio 1 foi considerado representativo.

As figuras seguintes representam os outputs gráficos da aplicação ACFM do ANDAD e permitiram tirar algumas conclusões acerca da interdependência das variáveis.

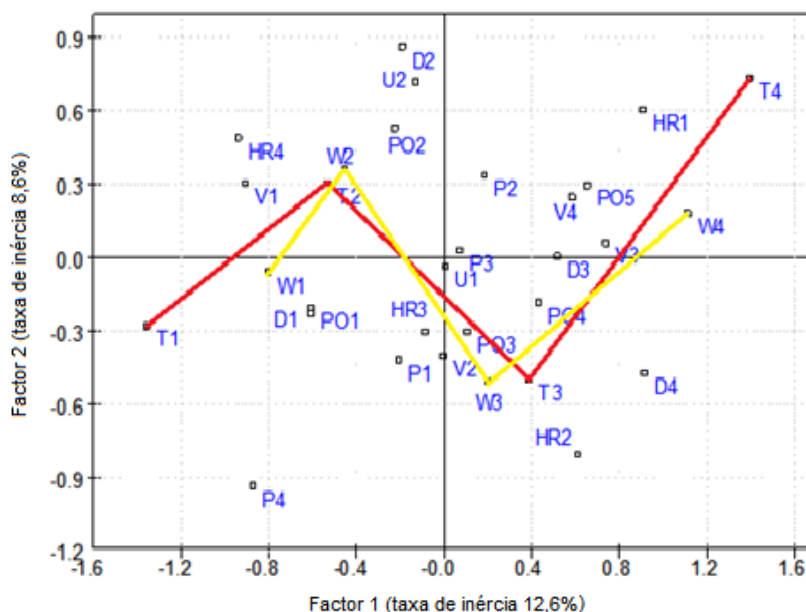


Figura 33: Análise factorial das correspondências binárias.

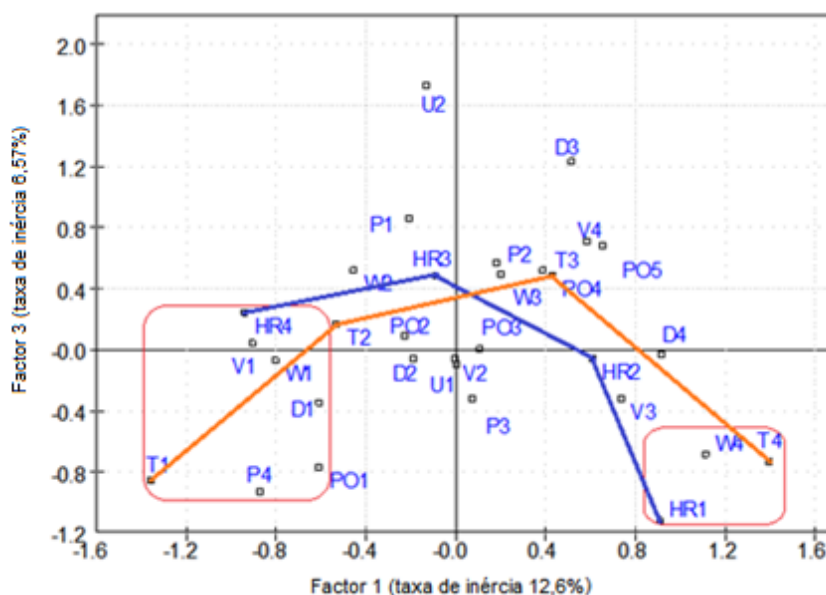


Figura 34: Análise factorial das correspondências binárias (II).

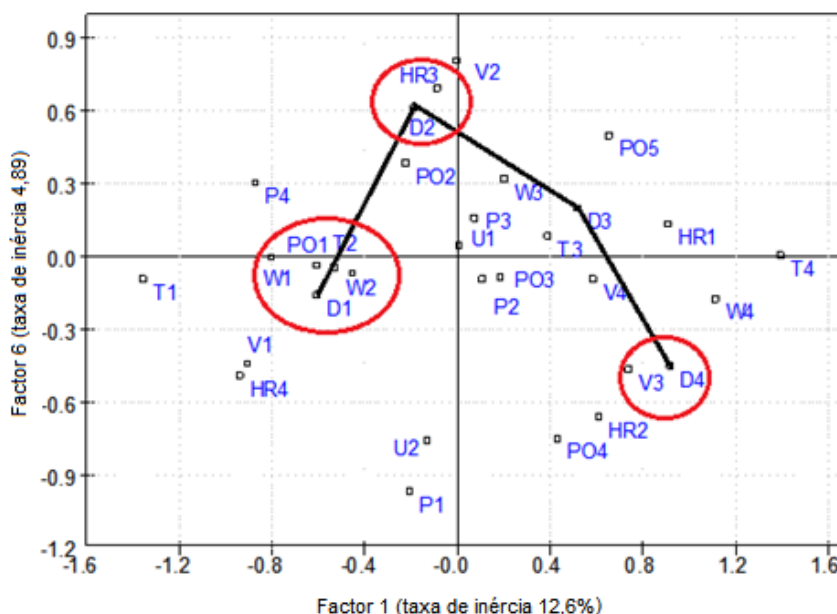


Figura 35: Análise factorial das correspondências binárias (III).

Verifica-se que a temperatura e a radiação solar variam em simultâneo, ou seja os valores de temperatura mais elevados encontram-se relacionados com a radiação solar mais elevada, e que a humidade por sua vez tem o comportamento contrário; quanto maior a intensidade da temperatura menor a % de humidade presente no ar (Figuras 33 e 34), embora e com interesse imediato esta conclusão vem comprovar a justeza da técnica estatística enunciada. Relativamente à forma como estas condições influenciam o fluxo de deposição de partículas pode dizer-se que tanto mais rápida será a deposição quanto maior for a humidade visto que as partículas são adsorvidas pelas moléculas de água e tendem a depositar-se mais rapidamente. O mesmo acontece com a precipitação (U1 e U2) que aparece associada às pressões baixas (P1) e às pressões moderadas (P3) (Figuras 33 e 34).

Podemos também concluir-se que as direcções do vento compreendidas entre NW e NE (D1) estão associadas às temperaturas e radiações de menor intensidade (T1 e W1) assim como com as velocidades de menor intensidade (V1) e humidades elevadas (HR4). Desta forma podemos concluir que as partículas nesta situação sofrem pouco transporte e depositam-se mais rapidamente, ou seja junto da fonte emissora.

As direcções do vento mais favoráveis relativamente ao fluxo de deposição de poeiras proveniente das emissões do pólo industrial de Sines serão as compreendidas entre NE e SE pois transportam as poeiras para o Oceano diluindo qualquer contaminante, que possam conter, na água do mar. Estas direcções (D2) encontram-se associadas a fenómenos de precipitação mais intensos (U2) (figura 33) a pontos de orvalho entre os 8 e os 10°C (PO2) (Figura 33 e 34) a uma elevada percentagem de humidade relativa e a uma velocidade do vento moderada (Figura 35).

As velocidades do vento (V4) mais intensas, que potenciam elevados transportes e uma maior dispersão das partículas na atmosfera, registam-se na direcção do vento proveniente de Sul (D4) provocando uma maior incidência de partículas a Norte do pólo industrial.

CAPÍTULO 5

MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL

“...o mesmo modelo pode ser bom para um caso de estudo e mau noutro; não é condição suficiente um modelo assentar num corpo teórico rico e coerente para que produza bons resultados...”
Amílcar Soares, 2006

5.1. Considerações gerais

A geoestatística é uma fracção da estatística cuja finalidade é caracterizar a dispersão espacial de grandezas que definam tanto a quantidade como a qualidade de amostras provenientes de estruturas naturais, estruturas essas que podem ter uma dimensão espacial e/ou temporal. Esta é usada para inferir um modelo contínuo a partir de observações discretas da realidade, com o mínimo de erro possível (Soares, 2006).

A inferência do desconhecido através de modelos independentes do erro associado surgiu com Legendre em 1805 que enunciou pela primeira vez o método dos mínimos quadrados ainda sem justificação probabilística. No entanto, foi com Gauss em 1809 que o método foi introduzido na modelação de mapas geográficos. Por sua vez, os modelos dependentes do erro apareceram muito mais tarde com Moritz em 1963 que assumia covariâncias e medias estacionárias nos seus cálculos (Mayers, 2008).

Em 1951, Daniel Gerhardus Krige, no artigo com o nome "A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand", relacionava pela primeira vez grandezas com dimensão espacial e tentava fazer inferências globais à custa de amostras pontuais - *“...Suppose you are required to prospect a very large area for gold. You have all the necessary tools for drilling to mine a spot for gold. However, due to costs and technical difficulty you do not have the luxury to mine physically the whole area (with extensive drilling) in order to find out the locations where gold is deposited in high amounts...”* (Krige, 1951).

Os seus estudos foram desenvolvidos e publicados por Georges Matheron em 1963 no artigo Principles of Geostatistics, onde já foi explicitamente introduzida a noção de krigagem “...*It consists [of predicting] the grade of a panel by computing the weighted average of available samples. . . . The suitable weights a_i ... are determined by $\sum a_i = 1$. . . [and the prediction] variance . . . should take the smallest possible value...*” (Cressie, 1990).

Relativamente ao desenvolvimento da krigagem, Noel Cressie, no seu artigo “The Origins of Kriging” refere: “...*The use of the word "kriging" in spatial statistics has come to be synonymous with "optimally predicting" or "optimal prediction" in space, using observations taken at known nearby locations...*” (Cressie, 1990).

Em 1965, Matheron publica também a sua tese de doutoramento: “*Les Variables Regionalisées et leur Estimation*”, onde já são descritas algumas definições sobre as variáveis regionalizadas e os seus métodos de estimação (DABG, 1997).

A geoestatística é aplicada nas mais diversas estruturas definidas no espaço e no tempo, como por exemplo nos estudos da qualidade do ar, contexto geral deste trabalho. Estes estudos começaram com Guttorp, Meiring e Sampson com a publicação em 1994 do artigo: “A Space-Time Analysis of Ground-Level Ozone Data” na revista “*Environmetrics*”. E mais tarde por Krajewski, Molinska, A. e Molinska, K. em 1996 com o artigo: “Elliptical Anisotropy in Practice - A Study of Air Monitoring Data”, na mesma revista científica (DABG, 1997).

No decorrer deste trabalho, a análise geoestatística foi utilizada para quantificar as correlações espaciais dos dados recolhidos, assim como para criar um modelo de dispersão espacial do fluxo de deposição. Foram portanto utilizados modelos de interpolação que têm como base a variabilidade espacial das amostras.

5.2. Breve introdução aos fundamentos geoestatísticos

Para o desenvolvimento e contextualização dos modelos geoestatísticos é necessário definir as variáveis envolvidas de acordo com o fenómeno espacial que se pretende analisar. Estas variáveis têm o nome de variáveis regionalizadas $Z(x)$, e têm duas componentes fundamentais, a componente aleatória devido à sua irregularidade e singularidade de ponto para ponto, e a componente estrutural devido as correlações existentes entre pontos no espaço motivadas pelo fenómeno em estudo.

A representação $x_1, x_2, \dots, x_n$ são as posições geográficas dos locais onde se amostram as variáveis regionalizadas, e $Z(x_1), Z(x_2) \dots Z(x_n)$ são, respectivamente, as realizações de uma função aleatória intrínseca a cada uma das variáveis.

Deste modo, e sendo a função aleatória definida por uma só realização, não é possível fazer deduções no âmbito da estatística clássica nem definir uma lei de probabilidades correspondente.

A variância de uma variável aleatória é uma grandeza estatística que mede o espalhamento da distribuição ao redor da média, indica por isso o quanto os valores se encontram afastados do valor esperado, enquanto a covariância traduz, em média, a correlação entre duas variáveis aleatórias.

Segundo Soares (2006) em “Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente” os primeiros momentos do conjunto das variáveis aleatórias são definidos de acordo com Ventsel (1973) e Doob (1953):

$$E\{Z(x_i)\} = m(x_i) = \int_{-\infty}^{+\infty} z dF_{x_i}(z) = \int_{-\infty}^{+\infty} z f_{x_i}(z) dz \quad \text{Eq. 5.1}$$

$$Var\{Z(x_i)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} [z - m(x_i)]^2 dF_{x_i}(z) \quad \text{Eq. 5.2}$$

em que $f_{x_i}(z)$ e $F_{x_i}(z)$ são as funções de densidade de probabilidade e de distribuição de probabilidade da variável regionalizada, respectivamente.

Por sua vez, a covariância de duas variáveis regionalizadas pode ser definida da seguinte forma Soares (2006):

$$C[Z(x_1), Z(x_2)] = E\{Z(x_1) Z(x_2)\} - m(x_1)m(x_2) \quad \text{Eq. 5.3}$$

$$E\{Z(x_1)Z(x_2)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} xy d^2 F_{x_1 x_2}(x, y) \quad \text{Eq. 5.4}$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} xy d f_{x_1 x_2}(x, y) dx dy \quad \text{Eq. 5.5}$$

sendo $F_{x_1 x_2}(x, y)$ a função de distribuição bivariada:

$$F_{x_1 x_2}(x, y) = \text{prob}\{Z(x_1) \leq x \text{ e } Z(x_2) \leq y\} \quad \text{Eq. 5.6}$$

O coeficiente de correlação e o variograma são, dados por:

$$\rho(Z(x_1), Z(x_2)) = \frac{C[Z(x_1), Z(x_2)]}{\sqrt{\text{var}\{Z(x_1)\}\text{var}\{Z(x_2)\}}} \quad \text{Eq. 5.7}$$

$$\gamma(Z(x_1), Z(x_2)) = E\{[Z(x_1) - Z(x_2)]^2\} \quad \text{Eq. 5.8}$$

Concretamente, podemos definir a correlação entre duas variáveis regionalizadas como estando distanciadas espacialmente de um vector h , definido pela sua direcção e pela sua grandeza (Soares, 2006).

Da definição anterior de variograma (Eq.5.8) resultam as seguintes propriedades: um variograma é uma função definida positiva e condicional de modo a garantir que a variância de qualquer vector h que defina duas variáveis regionalizadas seja positiva.

Na figura seguinte está representado esquematicamente os parâmetros que caracterizam o semivariograma.

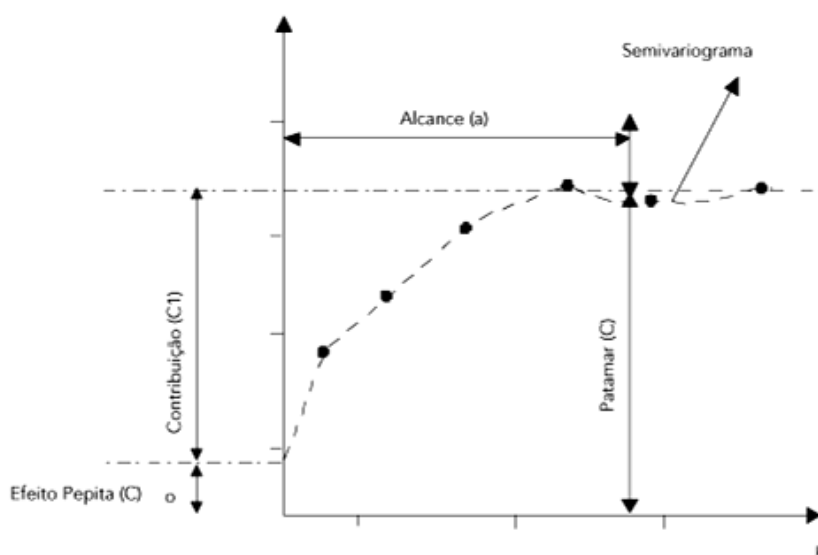


Figura 36: Esquema representativo de um semivariograma (Fonte: Lourenço, 2005).

O alcance (a) representa a distância a partir da qual deixa de existir correlação entre os pares de pontos distanciados pelo vector h , o patamar (C) é o limite superior para qual tendem os valores do semivariograma com o aumento dos valores de h , e que é normalmente coincidente com a variância de $Z(x)$.

O efeito pepita (C_0) verifica-se quando o valor do variograma é elevado para pequenas distâncias entre as amostras, demonstrando que existe uma elevada variabilidade à pequena escala. A contribuição (C_1) só se verifica na existência do efeito pepita sendo a sua amplitude medida desde esse ponto até ao valor do patamar.

Como já foi referido, anteriormente as variáveis regionalizadas são funções aleatórias com realizações únicas no espaço e no tempo. Será portanto necessário assumir que entre as mesmas existem propriedades que são estacionárias para o fenómeno em estudo, de forma a ser possível estimar situações desconhecidas com o mínimo de erro associado. Esses pressupostos têm o nome de hipóteses restritivas.

As hipóteses restritivas validam a estimação e permitem associar às funções aleatórias uma função conjunta de distribuição, havendo portanto uma constância de propriedades, mesmo que as variáveis sejam diferentes de ponto para ponto, apesar desta nunca ser totalmente conhecida devido à insuficiência de dados.

A hipótese de estacionaridade de 1ª ordem prevê que a lei de distribuição da função aleatória seja invariante por translação. A hipótese de estacionaridade de 2ª ordem verifica-se se a média e a covariância forem invariantes por translação espacial, logo ao assumirmos uma estacionaridade deste tipo estamos a assumir que a estacionaridade de 1ª ordem também se verifica. Estes propósitos implicam a estacionaridade da variância – homocedasticidade (Carvalho, 2002):

$$E[Z(x)] = m \quad \text{Eq. 5.9}$$

$$C(x + h) = E[Z(x + h)Z(x)] - m^2 = C(h) \quad \text{Eq. 5.10}$$

A covariância de duas variáveis regionalizadas só depende do vector h que separa os dois pontos amostrados. Nesse caso para $h=0$, obtemos:

$$C(0) = E[Z(x - m) \cdot (Z(x) - m)] = Var(x) \quad \text{Eq. 5.11}$$

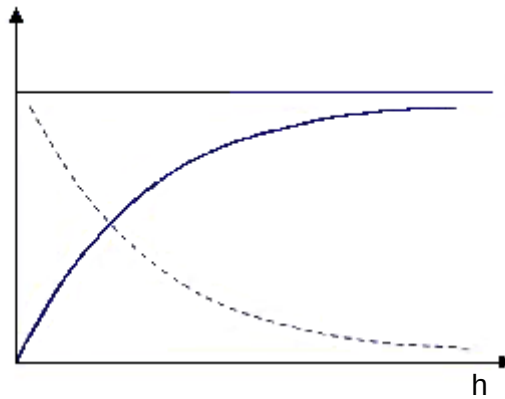


Figura 37: Relação entre a covariância e a variância para $h=0$ (Fonte: SERRPIOP, s.d.).

Podemos concluir, observando a figura anterior, que para uma variância finita a covariância está bem definida uma vez que corresponde ao patamar da variância, logo se o variograma for infinito, não atinge nenhum patamar. Por sua vez, verifica-se que o variograma é uma medida de dissemelhança, pois o seu valor será tanto maior quanto maior a distância entre os pares de pontos.

A hipótese intrínseca impõe duas condições para a sua validação, média invariante por translação e a variância do incremento correspondente a duas localizações diferentes só depender do vector h que os separa.

Demonstra-se portanto que a hipótese de estacionaridade de 2ª ordem implica a hipótese intrínseca mas o inverso já não se verifica.

O estudo da estacionaridade é uma propriedade atribuída pelo utilizador, sendo mais ou menos adequada de acordo com o fenómeno em estudo, não é uma característica exacta desse mesmo fenómeno, mas sim uma assumpção necessária para que se desenvolva todos os estudos posteriores.

A análise variográfica para além de ser fundamental para a aplicação dos posteriores métodos de estimação geoestatísticos define também a qualidade dos mesmos, pois estes dependem de um modelo adequado da estrutura dos fenómenos regionalizados em estudo. Os variogramas experimentais traduzem a relação entre os pontos conhecidos, e correspondem ao cálculo da média aritmética do quadrado das diferenças de todos os pares de pontos separados de um vector h , segundo uma determinada direcção, a sua expressão matemática já foi referida anteriormente na Eq. 5.8.

A partir da observação directa das diferentes direcções do variograma experimental podem-se tirar conclusões acerca da sua continuidade espacial, sendo possível identificar se existem direcções preferências de continuidade espacial (fenómenos anisotrópicos) ou se por outro lado estas não existem (fenómenos isotrópicos). Para os fenómenos estudados foi possível verificar que existem direcções privilegiadas para cada uma das situações estudadas.

O desenvolvimento dos modelos geoestatísticos assume um papel muito importante pois são estes que permitem passar de uma observação discreta a uma aproximação contínua através de funções interpoladoras conhecidas que permitem inferir aproximadamente a realidade encontrada no terreno. A este respeito Carvalho (2002) afirma que a “...finalidade última do modelo não se esgota normalmente no seu carácter descritor/dedutivo, estendendo-se a funções previsionais/indutivas, com a inevitável introdução de incerteza. Esta transição qualitativa obriga, frequentemente, à atribuição ao modelo de propriedades que não podem ser deduzidas directamente das amostragens disponíveis da realidade...”. Desta forma após serem calculados os variogramas experimentais tentou encontrar-se o modelo do variograma teórico que melhor se ajustava. Optou-se pelo modelo gaussiano no caso do variograma experimental obtido através das coordenadas militares que se escolheram para criar a superfície do terreno, e pelo modelo esférico para o variograma experimental obtido através das amostras das partículas. O Modelo Gaussiano é apropriado para fenómenos que apresentem um comportamento aproximadamente regular e contínuo, visto que o crescimento variográfico é, junto à origem, mais lento com comportamento parabólico e pode ser descrito por:

$$\gamma(h) = C \left(1 - \exp \left(\frac{-3h^2}{a^2} \right) \right) \quad \text{Eq. 5.12}$$

Por sua vez, o modelo esférico, sendo um dos mais utilizados, prevê um comportamento linear junto à origem e pode ser descrito pela expressão:

$$\begin{cases} \gamma(h) = C \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \frac{h^3}{a^3} \right] & h < a \\ \gamma(h) = c & h \geq a \end{cases} \quad \text{Eq. 5.13}$$

O ajuste de cada um destes modelos vai depender da sua continuidade. Deste modo, será possível verificar se existem geometrias preferenciais, a este propósito Joaquim Góis refere que: “...As singularidades do modelo, estão intimamente ligadas ao aparecimento de variáveis fortemente marcadas pela geometria do domínio em estudo (...) Sempre que em geoestatística qualquer estudo de análise estrutural evidencie a existência de um fenómeno anisotrópico, isto é, que apresente direcções privilegiadas de continuidade, é necessário estabelecer a elipse de anisotropia que constitui um instrumento fundamental em tratamentos ulteriores de dados...” (Góis, 1993).

5.3. Estudo estatístico exploratório das variáveis

A estatística clássica não tem aplicabilidade no decorrer do estudo da dispersão das partículas porque as amostras obtidas não pertencem ao conjunto dos processos aleatórios ergódicos e estacionários, pelas razões já explicadas anteriormente. No entanto foi realizado um estudo estatístico preliminar aos dados obtidos no laboratório para que pudéssemos tirar as primeiras ilações acerca das partículas captadas. Na Tabela 19 encontram-se representados os fluxos de deposição obtidos em cada uma das campanhas de amostragem com os respectivos estatísticos exploratórios.

Tabela 20 - Estatísticos exploratórios para o fluxo de deposição.

	1º Campanha de amostragem		2ª Campanha de amostragem	
	Pesagem (g)	Fluxo de deposição (g/m²/mês)	Pesagem (g)	Fluxo de deposição (g/m²/mês)
	0,026	4,77	0,0060	1,27
	0,009	1,56	0,0127	2,69
	0,007	1,29	0,0040	0,83
	0,017	3,04	0,0057	1,19
	0,005	0,91	0,0025	0,53
	0,007	1,24	0,0063	1,34
	0,005	0,87	0,0012	0,25
	0,012	2,28	0,0010	0,21
	0,009	1,63	0,0030	0,63
	0,009	1,57	0,0024	0,50
	0,030	5,48	0,0057	1,20
	0,003	0,56	0,0063	1,32
	0,004	0,76	0,0130	2,73
	0,004	0,63	0,0090	1,91
	0,005	0,92	0,0053	1,10
	0,002	0,37	0,0025	0,52
	0,002	0,35	0,0027	0,58
	0,017	3,16	0,0028	0,57
	0,002	0,39	0,0037	0,76
	0,003	0,48	0,0016	0,34
	0,009	1,66	0,0055	1,15
	0,007	1,36	0,0052	1,09
	0,017	3,17	0,0017	0,36
	0,015	2,70	0,0015	0,31
	0,012	2,29	0,0020	0,42
	0,013	2,41	0,0026	0,55
	0,009	1,78	0,0012	0,25
	0,006	1,09	0,0009	0,19
	0,007	1,29	0,0011	0,24
	0,005	0,90	0,0142	3,10
	0,009	1,84	0,0026	0,57
	0,013	2,48	0,0015	0,33
	0,012	2,39	0,0019	0,41
	0,015	2,96	0,0025	0,50
	0,006	1,10	0,0010	0,20
	0,005	0,99	0,0000	0,00
	0,008	1,66	0,0011	0,22
	0,010	1,99	0,0010	0,20
	0,028	5,53	0,0046	0,93
	0,021	4,09	0,0003	0,07
Média	0,0101	1,8981	0,0037	0,7892
Mediana	0,0085	1,6018	0,0026	0,5376
Desvio Padrão	0,007	1,3239	0,0034	0,7306
Variância	0,000049	1,7527	0,000011	0,5338
Soma	0,4025	75,9223	0,1498	31,5663
Máximo	0,0296	5,5316	0,0142	3,1022
Mínimo	0,0019	0,3491	0	0
Desvio médio	0,0054	1,0142	0,0026	0,5400

A partir da observação da tabela anterior é possível verificar que foram recolhidas menos poeiras em g/cm²/mês na segunda campanha de amostragem. Esta diferença pode dever-se às condições climáticas já referidas anteriormente que evidenciavam períodos de chuva mais intensos durante o período de tempo referente à 2ª campanha de amostragem. Para além do facto apontado, poder-se-á invocar que durante o primeiro período de amostragem, os meses mais quentes e secos

que antecederam a primeira campanha de amostragem propiciam uma maior quantidade de partículas em suspensão. No entanto em Abril o meio ambiente passou por um período de chuvas e humidade mais intenso o que pode ter contribuído para a deposição em massa, assim como para solos mais compactados que dificultam a re-suspensão de partículas a partir do solo.

5.3.1. Estudo da deriva

O estudo da deriva foi feito através da ferramenta *Polytool* do MATLAB, que permite representar uma variável regionalizada segundo os eixos cartesianos, efectuando uma regressão linear. Esta representação permite verificar de imediato se os dados obtidos variam, em média, com um comportamento bem definido segundo uma determinada direcção. No caso particular da regressão linear apresentar uma inclinação acentuada, assume-se que a variável regionalizada em estudo apresenta fenómenos de deriva que contrariam as hipóteses de estacionaridade e impedem a realização de uma estimação válida e coerente. Sendo por isso necessário filtrar a variável através de uma medida correctiva. Se não for detectada deriva em relação aos eixos x e y podemos assumir que dificilmente este fenómeno se evidenciará noutras direcções.

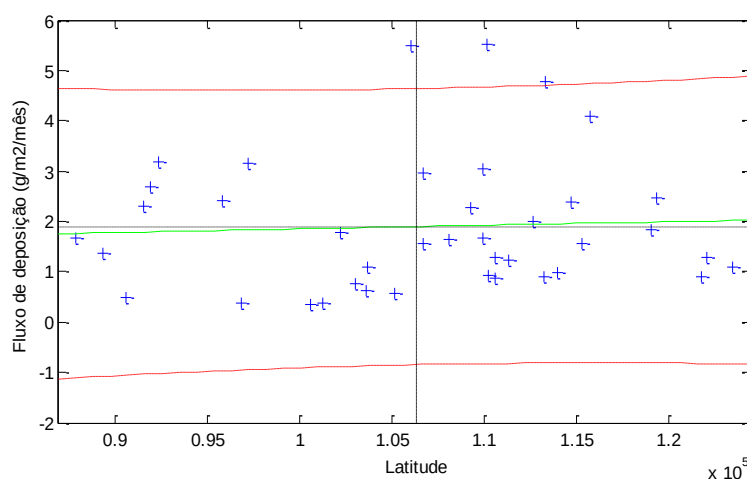


Figura 38: Avaliação da deriva do fluxo de deposição em relação à latitude (1ª campanha de amostragem).

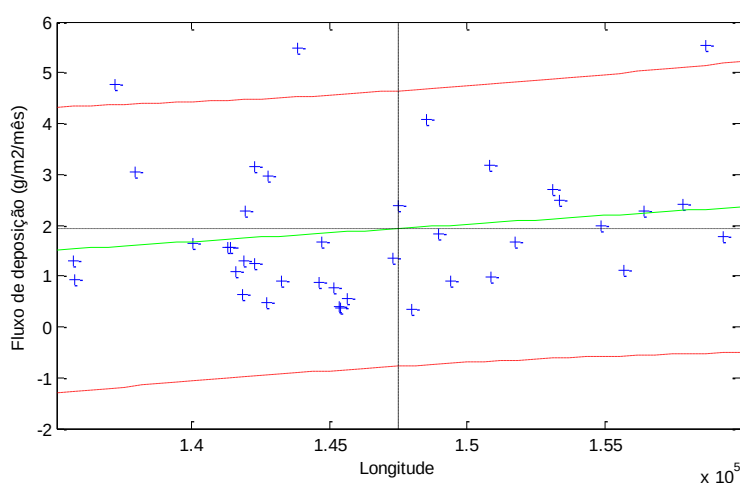


Figura 39: Avaliação da deriva do fluxo de deposição em relação à longitude (1ª campanha de amostragem).

Relativamente ao fluxo de deposição da primeira campanha de amostragem não existe deriva nas direcções x e y, as rectas de regressão estão praticamente na horizontal, desta forma é pouco provável que exista situações de deriva espacial em outras direcções.

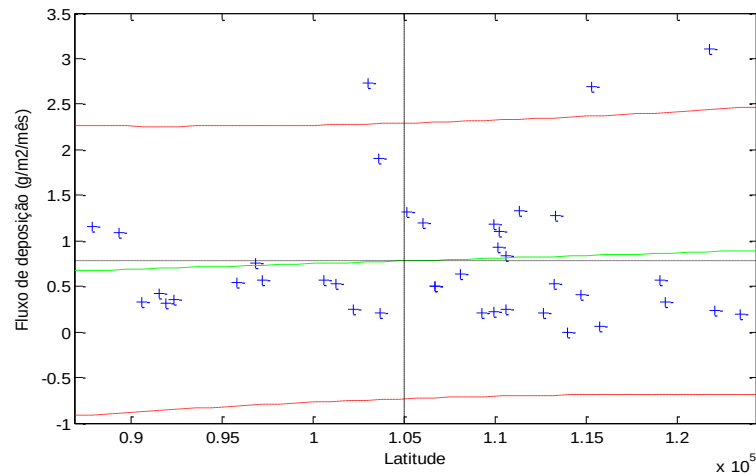


Figura 40: Avaliação da deriva do fluxo de deposição em relação à longitude (2ª campanha de amostragem).

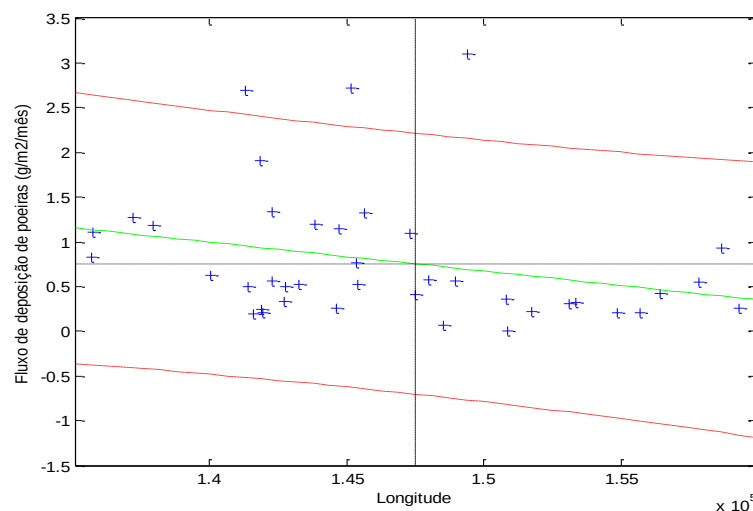


Figura 41: Avaliação da deriva do fluxo de deposição em relação à longitude (2ª campanha de amostragem).

Relativamente à segunda campanha de amostragem, apesar de se verificar que as rectas de regressão têm declives contrários aos da primeira campanha de amostragem, as rectas continuam a não ter declives consideráveis para que se assuma a presença da deriva.

5.4. Variografia

5.4.1. Variogramas experimentais – malha de amostragem

Neste subcapítulo procedeu-se à análise variográfica relativamente à variável altitude afim de posteriormente se poder representar a superfície do terreno em estudo.

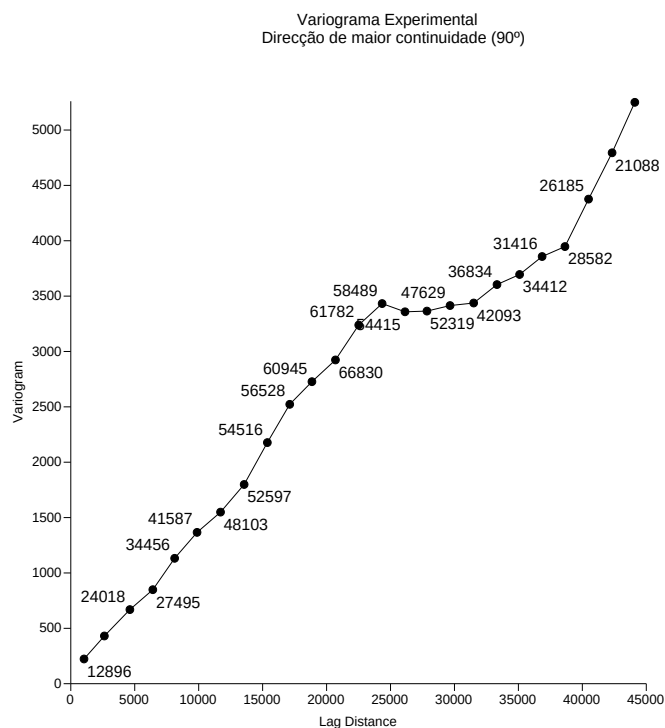


Figura 42: Variograma experimental da malha de amostragem (direcção de maior continuidade).

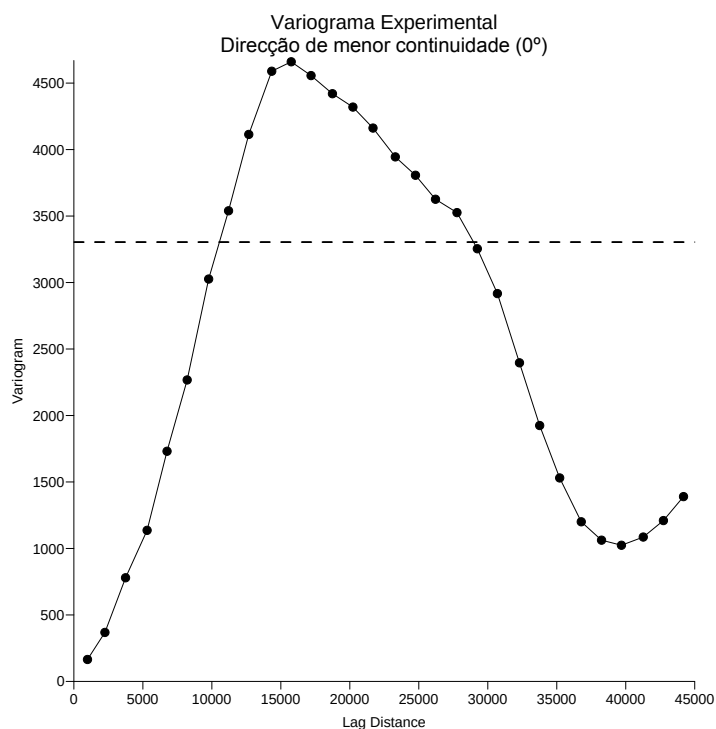


Figura 43: Variograma experimental da malha de amostragem (direcção de menor continuidade).

O variograma da figura 42 corresponde à análise estrutural segundo a direcção de maior continuidade espacial e foi posteriormente ajustado por um modelo teórico de variograma do tipo Gaussiano.

O variograma experimental representado na figura 43 apresenta um andamento ajustável por um modelo do tipo Gaussiano para a direcção de menor continuidade.

Apesar dos variogramas experimentais obtidos não evidenciarem um patamar bem definido, sabemos de antemão que estamos a representar uma superfície terrestre, desta forma os dados estão obrigatoriamente relacionados, visto que não é possível ter uma diferença de altitude sem que seja acompanhada por um aumento gradual do relevo do terreno. Desta forma os variogramas apresentam o mesmo patamar e diferentes alcances, o que indica que o fenómeno em estudo é caracterizado pela presença de anisotropia geométrica.

5.4.2. Modelo teórico de ajuste aos variogramas experimentais – malha de amostragem

Nesta fase tentou-se encontrar o modelo teórico que melhor se ajustasse ao variograma experimental.

Deve ter-se em consideração que o modelo geoestatístico de estimação será tanto melhor quanto melhor for o ajuste variográfico.

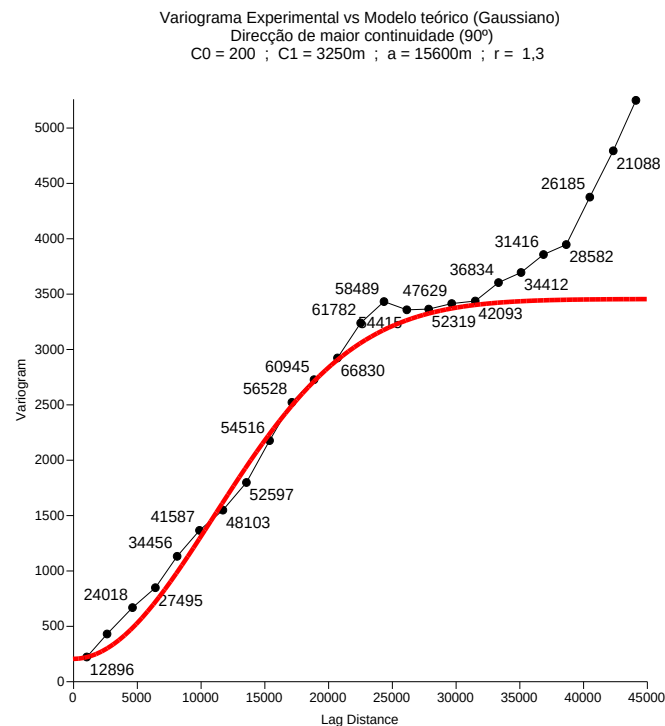


Figura 44: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico para a malha de amostragem (direcção de maior continuidade).

A análise das figuras 44 e 45 permite-nos confirmar a existência de uma anisotropia geométrica, já referida anteriormente, bem como verificar a qualidade do ajuste obtido pelo modelo Gaussiano.

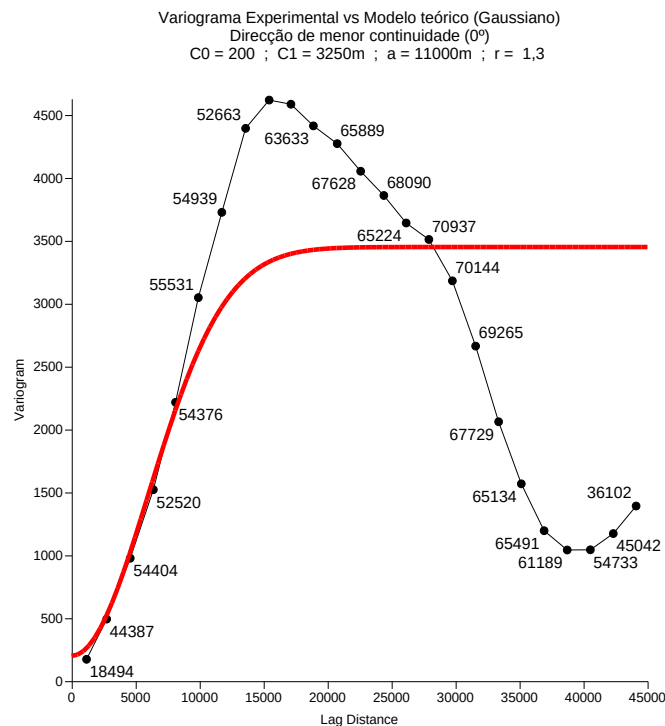


Figura 45: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico para a malha de amostragem (direcção de menor continuidade).

A partir da figura anterior é possível verificar a existência do fenómeno chamado de “cabeça de cavalo”. Este fenómeno é caracterizado pelo aumento exponencial dos valores do variograma ultrapassando o patamar, atingindo um máximo, seguido de uma diminuição dos valores do variograma para distâncias de h superiores. Este tipo particular de variograma é típico de pontos amostrados em superfícies que têm elevações seguidas de depressões em ambos os lados da elevação.

5.4.3. Variogramas experimentais - fluxo de deposição

5.4.3.1. Primeira campanha de amostragem

As figuras seguintes representam os variogramas experimentais obtidos para o fluxo de deposição das partículas segundo a direcção de menor e de maior continuidade.

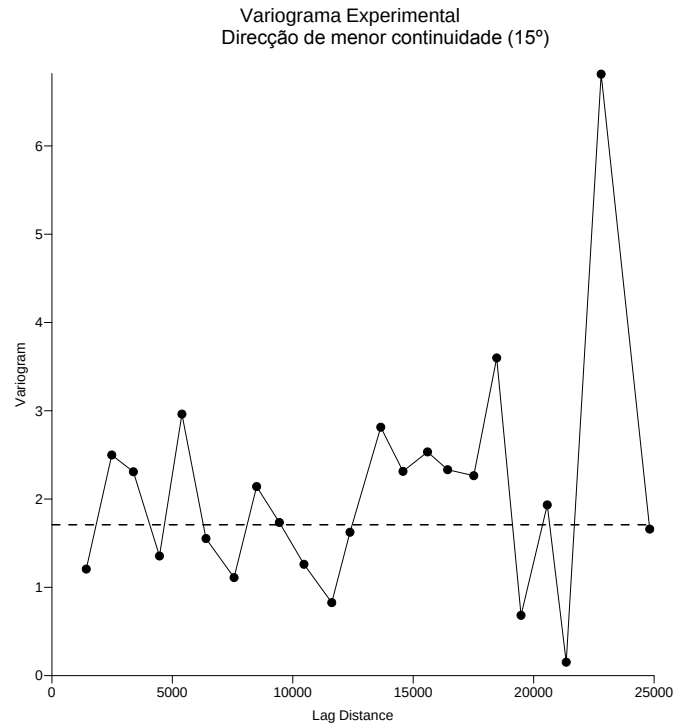


Figura 46: Variograma experimental do fluxo de deposição referente à primeira campanha de amostragem (direcção de menor continuidade).

Os variogramas experimentais obtidos para a variável fluxo de deposição (ver Figura 46 e 47), quer segundo a direcção de menor continuidade quer segundo direcção de maior continuidade, apresentam igualmente anisotropia geométrica. A maior continuidade ocorre na direcção 105° (figura 47) apresentando também um ligeiro efeito pepita. Este efeito pepita não foi considerado no ajuste ao modelo teórico pelo facto de ser pouco representativo.

A direcção 15° (figura 46) é marcada pela existência de um fenómeno conhecido na geoestatística como ruído branco. Esta situação caracteriza um tipo de fenómeno sem correlação espacial, ou seja podemos assumir que a deposição de partículas não tem correlação longitudinalmente, ou que existem fenómenos de micro-regionalização relativamente à escala de amostragem que induzem um efeito de pepita puro. Para se ter a certeza do factor que explica este fenómeno seria necessário realizar uma amostragem com maior número de pontos, isto é, uma malha mais apertada, de forma a diminuir os efeitos de micro-regionalização. A manter-se o ruído branco, poderíamos afirmar conclusivamente que não existe correlação espacial da variável em estudo no sentido longitudinal (Carvalho, 2002).

No entanto após, a reanálise dos modelos climatológicos podemos afirmar que, efectivamente poderá não haver correlação espacial longitudinal entre os valores do fluxo de deposição uma vez que os registos do vento no sentido E-W, durante a primeira campanha de amostragem foram pouco, expressivos.

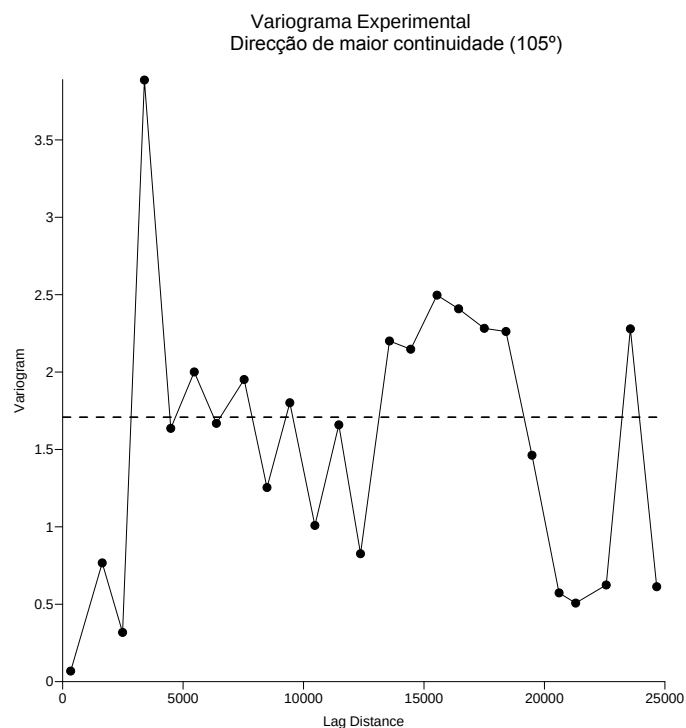


Figura 47: Variograma experimental do fluxo de deposição referente à primeira campanha de amostragem (direcção de maior continuidade).

5.4.3.2. Segunda campanha de amostragem

Nas figuras seguintes encontram-se representados os variogramas experimentais obtidos referentes à segunda campanha de amostragem.

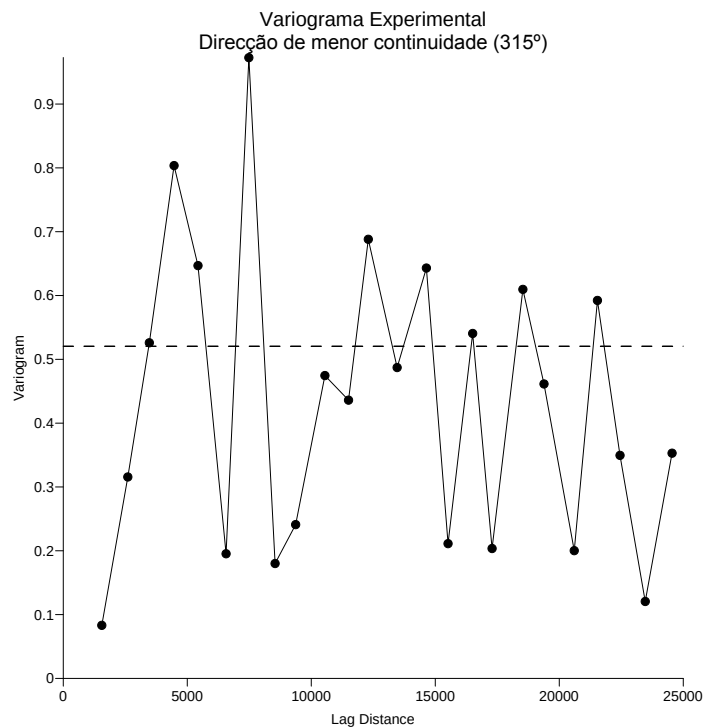


Figura 48: Variograma experimental do fluxo de deposição referente à segunda campanha de amostragem (direcção de menor continuidade).

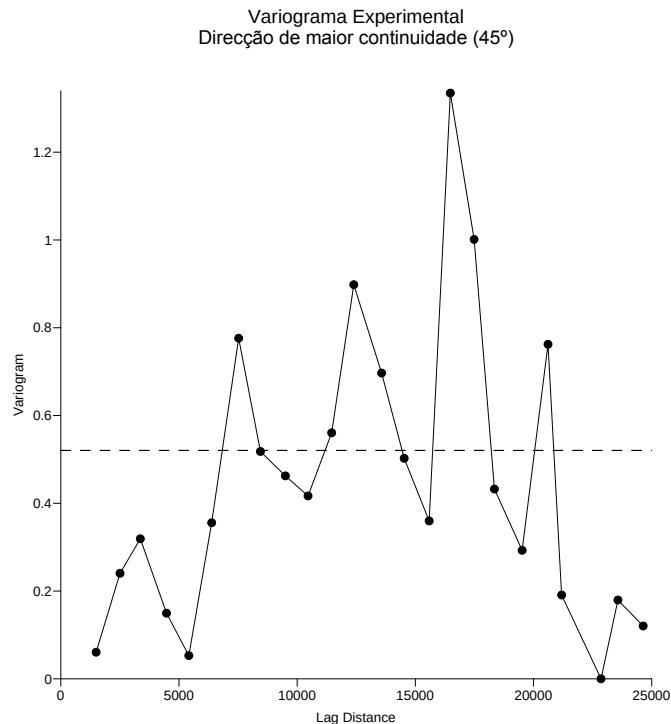


Figura 49: Variograma experimental do fluxo de deposição referente à segunda campanha de amostragem (direcção de maior continuidade).

Neste caso, apesar de os variogramas referentes à segunda campanha de amostragem não apresentarem fenómenos do tipo ruído branco, apresentam um ligeiro efeito pepita; o valor do variograma é relativamente elevado para pequenas distâncias entre as amostras, demonstrando que existe uma certa variabilidade mas à pequena escala.

Verifica-se, então, que na segunda campanha de amostragem, o fluxo de deposição foi muito pequeno, havendo mesmo pontos de amostragem em que não ocorreu deposição, pelo menos que permanecesse na placa de amostragem até à sua recolha.

Continua a verificar-se a existência de anisotropia geométrica, na qual a direcção de maior continuidade ocorre segundo a direcção 45°; situação que corrobora a direcção média do vento verificada para a segunda campanha de amostragem.

5.4.4. Modelo teórico de ajuste aos variogramas experimentais - fluxo de deposição

5.4.4.1. Primeira campanha de amostragem

O variograma experimental representado na figura seguinte, foi ajustado ao modelo esférico, e apesar da qualidade do ajuste parecer ser bastante incipiente, este será validado na secção seguinte através do método de validação cruzada. A partir deste variograma serão obtidos os modelos de dispersão do fluxo de deposição para a primeira campanha de amostragem.

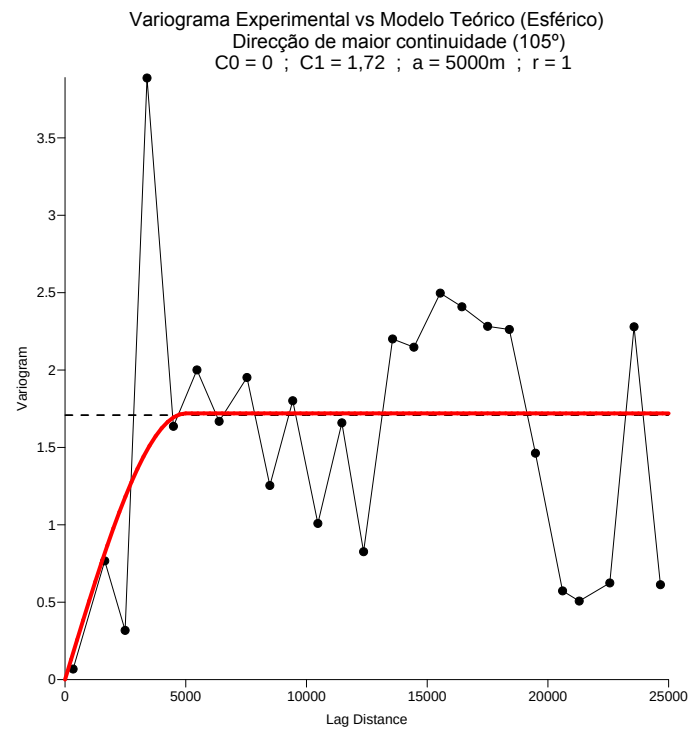


Figura 50: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico para a primeira campanha de amostragem.

5.4.4.2. Segunda campanha de amostragem

O variograma experimental referente aos dados da segunda campanha de amostragem foi também ajustado recorrendo ao modelo esférico.

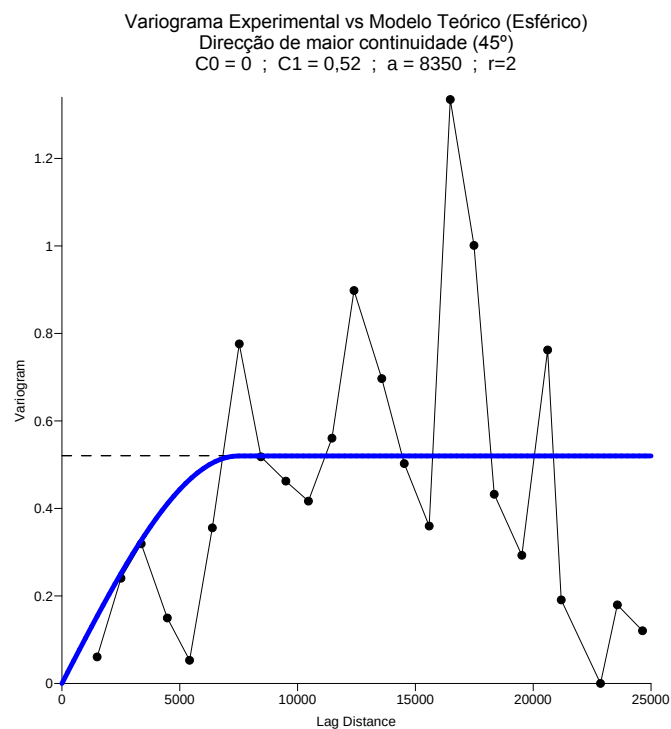


Figura 51: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico para a segunda campanha de amostragem.

A validação cruzada será também aplicada a este ajuste, apesar de apresentar efeito pepita, este fenómeno não foi considerado uma vez que o ajuste resultante é de pior qualidade.

5.5. Validação cruzada

A validação cruzada é uma ferramenta estatística que permite verificar a qualidade do ajuste do modelo teórico ao variograma experimental, comparando os valores estimados com os valores amostrados. Este método utiliza o modelo escolhido para o ajuste, de forma a estimar os pontos reais utilizados. Os resíduos são representados pela diferença do ponto estimado e do valor real. Na tabela 20 estão representados os resultados obtidos pela aplicação da validação cruzada.

Tabela 21: Resultados da aplicação do método validação cruzada.

Amostra	1ª Campanha de amostragem				2ª Campanha de amostragem			
	Fluxo	Estimado	Residual	Erro quadrático médio	Fluxo	Estimado	Residual	Erro quadrático médio
1	4,77	1,89	-2,89	8,352	1,27	1,28	0,01	0,000
2	1,56	1,75	0,18	0,032	2,69	0,76	-1,93	3,725
3	1,29	1,21	-0,08	0,006	0,83	1,05	0,22	0,048
4	3,04	1,84	-1,2	1,440	1,19	1,15	-0,04	0,002
5	0,91	1,3	0,39	0,152	0,53	1,39	0,86	0,740
6	1,24	1,6	0,36	0,130	1,34	0,43	-0,9	0,810
7	0,87	1,73	0,86	0,740	0,25	0,57	0,32	0,102
8	2,28	1,54	-0,73	0,533	0,21	0,66	0,44	0,194
9	1,63	1,84	0,21	0,044	0,63	0,48	-0,15	0,023
10	1,57	2,1	0,53	0,281	0,5	0,48	-0,03	0,001
11	5,48	2,06	-3,42	11,696	1,2	0,85	-0,34	0,116
12	0,56	3,26	2,71	7,344	1,32	1,93	0,6	0,360
13	0,76	0,65	-0,11	0,012	2,73	1,01	-1,72	2,958
14	0,63	2,33	1,7	2,890	1,91	1,36	-0,55	0,303
15	0,92	1,34	0,43	0,185	1,1	0,85	-0,25	0,063
16	0,37	0,97	0,61	0,372	0,52	1,52	0,99	0,980
17	0,35	1,57	1,22	1,488	0,58	0,43	-0,15	0,023
18	3,16	1,54	-1,62	2,624	0,57	0,65	0,09	0,008
19	0,39	2,13	1,75	3,063	0,76	0,76	0	0,000
20	0,48	1,89	1,42	2,016	0,34	0,81	0,47	0,221
21	1,66	1,56	-0,1	0,010	1,15	0,95	-0,2	0,040
22	1,36	1,88	0,52	0,270	1,09	0,87	-0,22	0,048
23	3,17	2,13	-1,04	1,082	0,36	0,66	0,3	0,090
24	2,7	2,4	-0,3	0,090	0,31	0,5	0,18	0,032
25	2,29	1,93	-0,36	0,130	0,42	0,69	0,27	0,073
26	2,41	1,86	-0,55	0,303	0,55	0,75	0,2	0,040
27	1,78	1,82	0,04	0,002	0,25	0,75	0,5	0,250
28	1,09	1,17	0,08	0,006	0,19	0,13	-0,06	0,004
29	1,29	1,43	0,14	0,020	0,24	0,48	0,24	0,058
30	0,9	1,76	0,86	0,740	3,1	0,69	-2,41	5,808
31	1,84	2,11	0,28	0,078	0,57	1,18	0,62	0,384
32	2,48	1,83	-0,65	0,423	0,33	0,6	0,27	0,073
33	2,39	3,13	0,74	0,548	0,41	0,19	-0,22	0,048
34	2,96	3,77	0,82	0,672	0,5	0,72	0,21	0,044
35	1,1	1,89	0,79	0,624	0,2	0,76	0,55	0,303
36	0,99	2,38	1,4	1,960	0	0,72	0,72	0,518
37	1,66	1,82	0,16	0,026	0,22	0,63	0,4	0,160
38	1,99	1,86	-0,14	0,020	0,2	0,59	0,39	0,152
39	5,53	1,73	-3,8	14,440	0,93	0,77	-0,16	0,026
40	4,09	2,05	-2,04	4,162	0,07	0,39	0,32	0,102
			Média	1,725			Média	0,473

A razão para aplicar o método da validação cruzada aos variogramas obtidos, referentes ao fluxo de deposição de partículas amostradas, deve-se à configuração dos mesmos.

Pela observação da tabela anterior é possível verificar que os ajustes são bastante coerentes, os erros quadráticos médios obtidos foram de 1,73 para a primeira campanha de amostragem e de 0,47 para a segunda campanha de amostragem. O valor médio obtido para a primeira campanha de amostragem era previsível visto que os variogramas experimentais para as direcções de menor continuidade apresentam ruído branco.

5.6. Krigagem Ordinária

A estimativa de valores desconhecidos, pela aplicação de métodos de interpolação, é uma prática recorrente, sendo muitas vezes um processo exclusivo de resolução de fenómenos relacionados com as ciências da Terra.

A interpolação espacial é o procedimento utilizado para estimar valores de uma ou mais variáveis em locais onde a informação não existe nem é conhecida a partir de pontos de medições localizados na mesma área ou região. Por sua vez, quando a estimação de variáveis é feita em locais fora da área abrangida pela área de amostragem, o processo é chamado de extrapolação (Sotter et al. 2003). A krigagem é um método geoestatístico que consiste num conjunto de técnicas de interpolação e previsão de superfícies com base em modelos estruturais de correlação espacial das variáveis regionalizadas.

Na krigagem é feita a modelação da variabilidade local e global através do uso de semivariogramas. Como qualquer outro estimador, a krigagem procura minimizar os erros inferenciais. Inevitavelmente para cada estimativa há sempre um erro associado (*Erro = valor estimado – valor real*). No entanto, este erro associado será igualmente uma estimativa, visto que não pode ser calculado mesmo no final do processo, já que muitas vezes não temos acesso ao valor real.

A estimação pelo método de krigagem é obtida através das distâncias ponderadas e por parâmetros estruturais. Estes parâmetros são definidos através do peso atribuído a cada um dos pontos à volta do ponto a estimar e são obtidos a partir do modelo variográfico escolhido para ajustar o variograma experimental.

No caso prático desta dissertação foi usada a krigagem ordinária, cuja condição de não enviezamento exige que a média dos erros obtidos seja aproximadamente zero e a sua variância seja mínima, ou seja, pretende-se obter um erro com a menor dispersão possível. De notar que as estimações são sequenciais, ou seja não se estimam vários pontos ao mesmo tempo, o processo recomeça novamente para cada um dos pontos.

A equação geral para o estimador da krigagem ordinária é a seguinte:

$$\hat{v}(x_o) = \sum_{j=1}^n w_j v(x_j) \quad \text{Eq. 5.14}$$

em que:

- x_o - estimativa para um determinado ponto desconhecido;
- $\hat{v}(x_o)$ - valor estimado;
- j - ponto estimante;

- w - peso determinado pelo ajuste do variograma experimental.

Desta forma a distribuição do erro será:

$$R(x_o) = \hat{v}(x_o) - v(x_o) = \sum_{j=1}^N w_j v(x_j) - v(x_o) \quad \text{Eq. 5.15}$$

Subsequentemente a expressão de erro médio é dada por:

$$A = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N R(x_j) \quad \text{Eq. 5.16}$$

na qual A representa a esperança matemática que pretendemos que seja zero.

$$E\{A\} = E\left\{\frac{1}{N} \sum R(x_j)\right\} = \frac{1}{N} \sum E\{R(x_j)\} = 0 \Rightarrow E\{R(x_j)\} = \quad \text{Eq. 5.17}$$

$$\Rightarrow Ew_j \cdot E\{v(x_j)\} - E\{v(x_o)\} = 0 \quad \text{Eq. 5.18}$$

Obtemos assim a expressão da esperança matemática para o erro médio:

$$E\{R(x_o)\} = Ew_j \cdot E\{v\} - E\{v\} \quad \text{Eq. 5.19}$$

Estas condições implicam que o somatório dos pesos correspondentes seja igual a 1, condição primeira da krigagem ordinária.

Por sua vez a sua representação matricial compacta é expressa na seguinte forma:

$$[A] \cdot [w] = [B] \quad \text{Eq. 5.20}$$

$$[A]^{-1} \cdot [A] \cdot [w] = [A]^{-1} \cdot [B] \Leftrightarrow [w] = [A]^{-1} \cdot [B] \quad \text{Eq. 5.21}$$

tal que:

- A – distância entre os pontos (conhecida como matriz do variograma)
- B – distância entre o ponto de amostragem e o ponto a estimar
- W – peso da krigagem

5.6.1. Modelo de superfície

O modelo de tridimensional da superfície foi obtido através das cartas militares, como já foi referido anteriormente. A figura seguinte representa as cartas militares utilizadas e a superfície bidimensional que deu origem ao modelo tridimensional apresentado na figura 53.

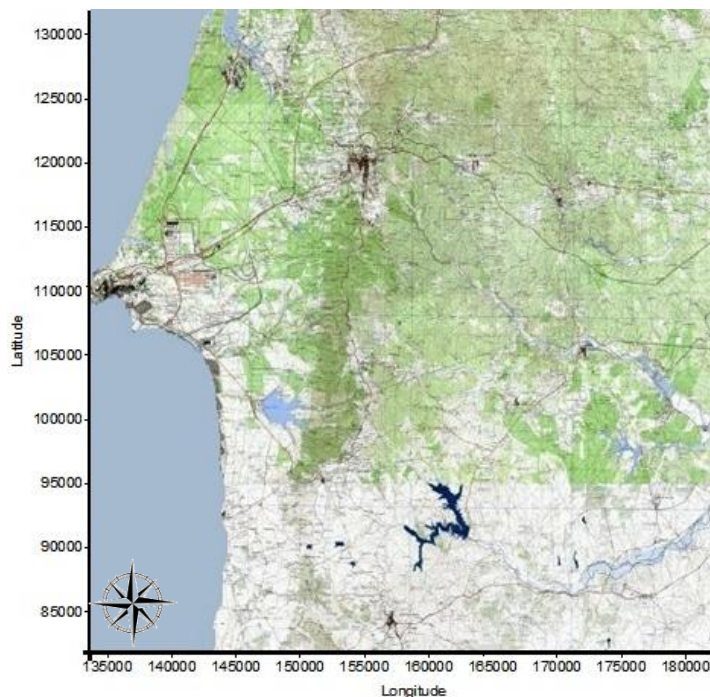


Figura 52: Mapa bidimensional da superfície utilizado como base para a modelação tridimensional.

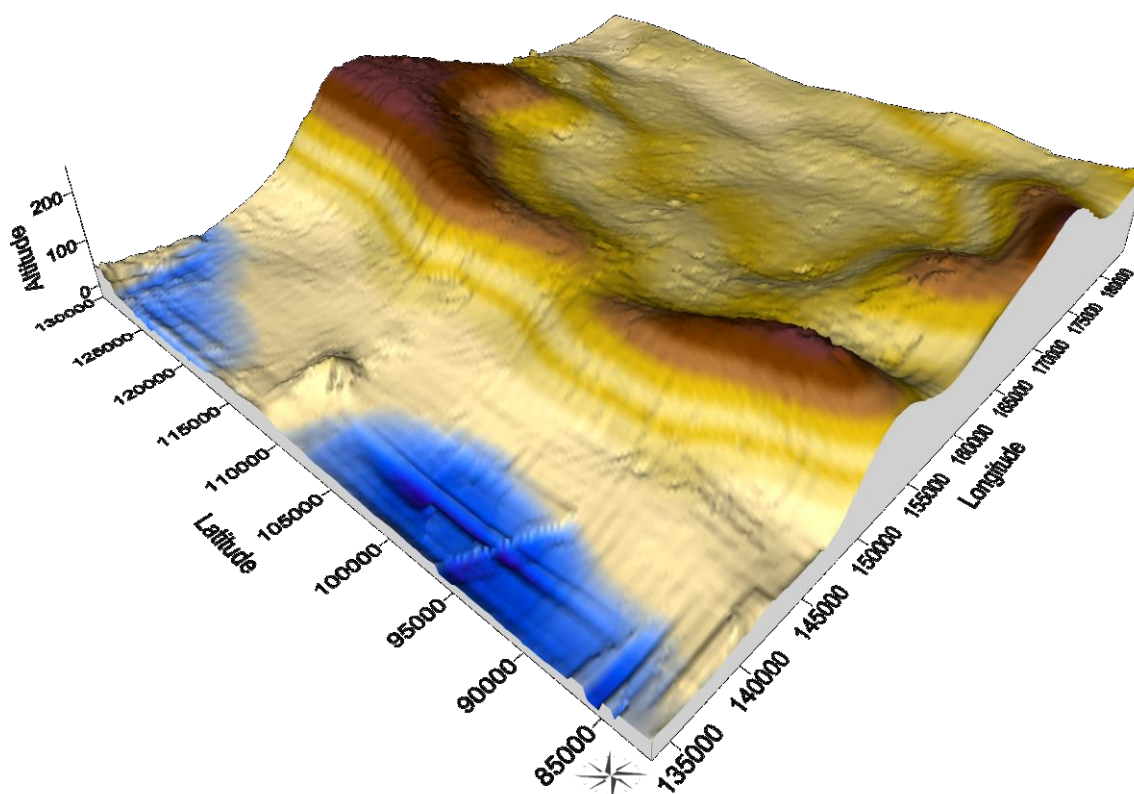


Figura 53: Modelo tridimensional da superfície local e envolvente do pólo industrial.

Com o modelo anterior foi possível representar a estrutura da superfície terrestre de forma a visualizar o relevo do terreno. Relevo esse que mais tarde será correlacionado com o fluxo de deposição de partículas para tentar fazer a ponte entre o fenômeno de deposição e a morfologia do local.

5.6.2. Modelos de dispersão espacial de partículas

Os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição foram calculados segundo os ajustes realizados para os variogramas e são representados por mapas de isolinhas. Estes mapas foram construídos através de krigagem ordinária obtendo assim uma superfície contínua com curvas representando os valores da massa de partículas depositadas”.

Para a representação gráfica foi escolhida a cor vermelha para representar as quantidades mais expressivas de partículas.

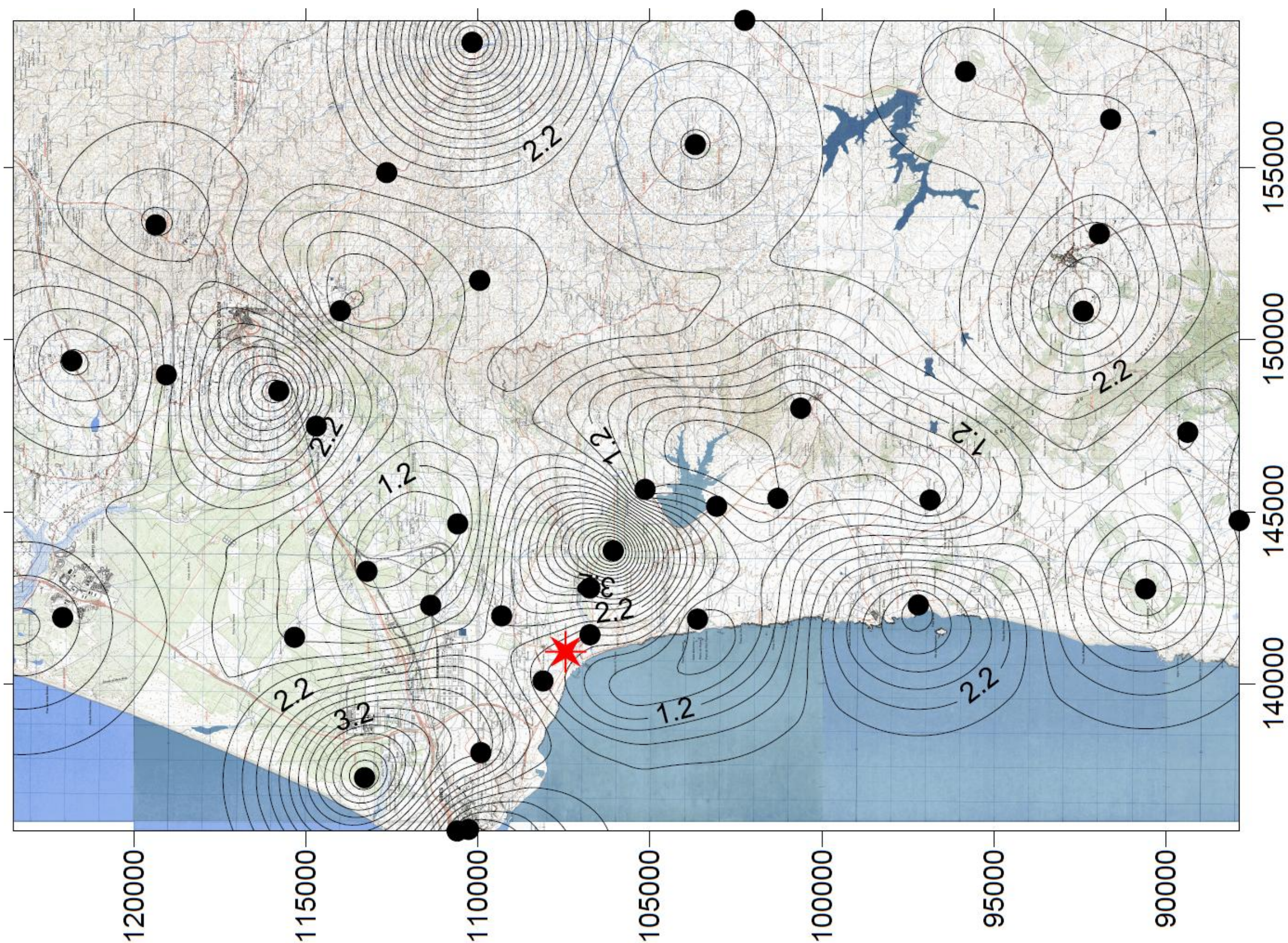


Figura 54: Mapa Geral do caso em estudo - Localização geográfica dos Pontos de amostragem, CTS e Fluxo de posição da 1ª Campanha de amostragem sobre as Cartas Militares Portuguesas.

5.6.2.1. Fluxo de deposição - 1ª Campanha de amostragem

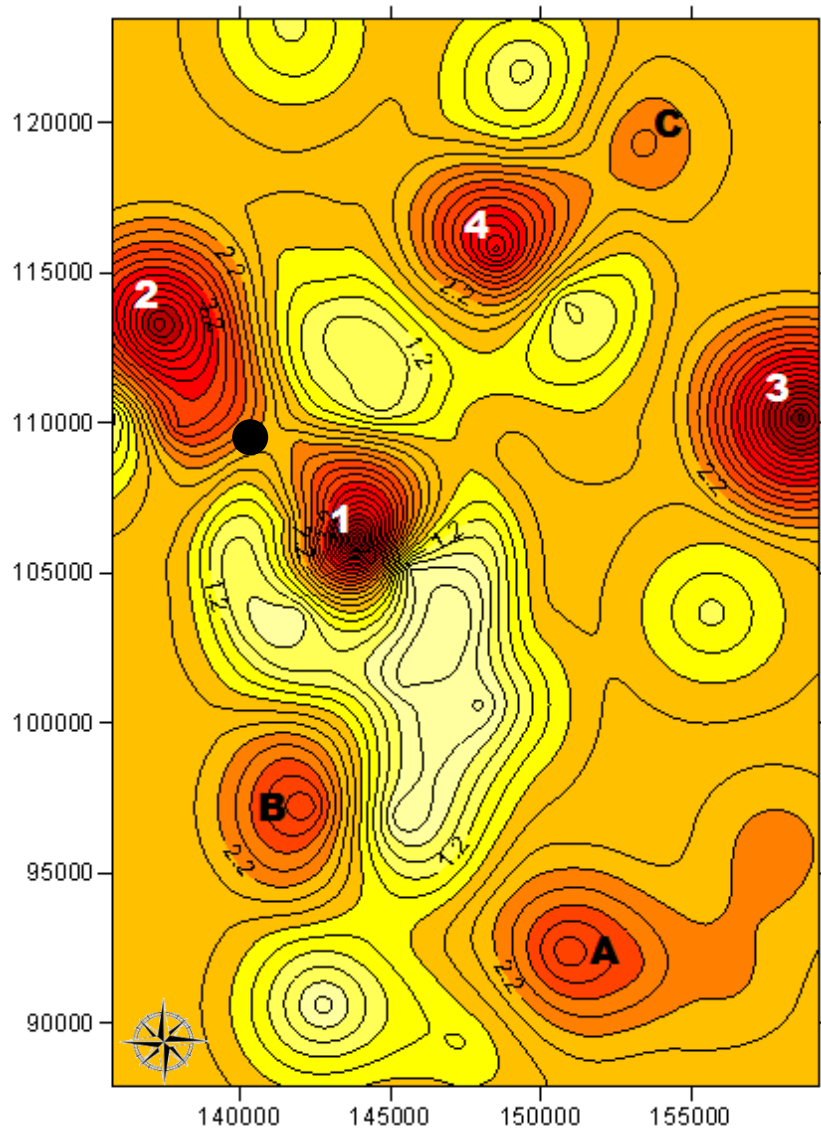


Figura 55: Fluxo de deposição referente à primeira campanha de amostragem.

Pela observação da figura anterior é possível verificar que existem três locais onde a deposição de partículas é mais elevada. No entanto, após ter sido realizada a krigagem foi identificado mais um ponto preferencial de deposição. Este ponto não tinha sido detectado com a análise gráfica da representação quantitativa e georreferenciada pontual dos dados.

Assim sendo, a partir da análise da figura anterior representativa do fluxo de deposição de partículas obtido através do método de krigagem é possível tirar as seguintes conclusões relativas aos pontos e letras assinaladas na figura:

- O **ponto 1** corresponde ao ponto de amostragem número 11 situado a aproximadamente a 3400 km a SE da Central Termoeléctrica de Sines. Analisando comparativamente o fluxo de deposição das partículas obtidas, com as condições climatológicas observadas durante a exposição, podemos concluir, que caso estas partículas sejam provenientes da Central sofreram um transporte ligeiro seguido de condições propícias à sua sedimentação. A

deposição ocorreu segundo a direcção média do vento registada para esse período. Este ponto pode dever-se também à presença de pilhas de carvão armazenadas a céu aberto.

- O **ponto 2** encontra-se igualmente localizado próximo da central e o seu fluxo de deposição de partículas pode ter origem nas instalações do complexo industrial situadas mais a norte e/ou dever-se à poluição urbana, nomeadamente como consequência da densidade populacional e/ou do tráfego rodoviário.
- O fluxo de deposição do **ponto 3** situado a Este da central termoelétrica, de acordo com a direcção de menor continuidade (identificada como sendo uma direcção sem correlação espacial), poderá dever-se a outras fontes de partículas que não sejam necessariamente provenientes do complexo industrial, visto que se encontra num dos pontos mais afastados da central termoelétrica.
- O **ponto 4** situado a NE da central (como foi observado no decorrer do estudo climatológico, as velocidades mais elevadas ocorre segundo esta direcção) que, pode corresponder à deposição de partículas provenientes do complexo industrial. Estas terão sofrido transporte em dias com velocidades do vento mais intensas, seguidas de fenómenos de precipitação que levaram à sua deposição neste local.

Existem também 3 focos mais ligeiros, ainda assim identificáveis:

- O **foco A** é menos intenso que o ponto 1 mas segue também a direcção média do vento registada para esse período. Podemos assumir que as partículas a serem provenientes da central sofreram um transporte mais longo favorecido por temperaturas mais elevadas e humidades relativas menos acentuadas.
- O **foco B** apresenta uma quantidade de partículas menor que o foco A e está também a Sul da central. No entanto, mais próximo desta. O ponto B pode ser explicado através de fenómenos médios da direcção do vento desviados devido à brisa terrestre que se faz sentir durante a noite em Sines, ou seja as partículas seriam transportadas em suspensão segundo a direcção média do vento durante o dia, e seriam depositadas à noite na direcção NE-SW em direcção ao oceano.
- O **foco C** está no seguimento do ponto 4, no entanto é mais distanciado da zona industrial e urbana.

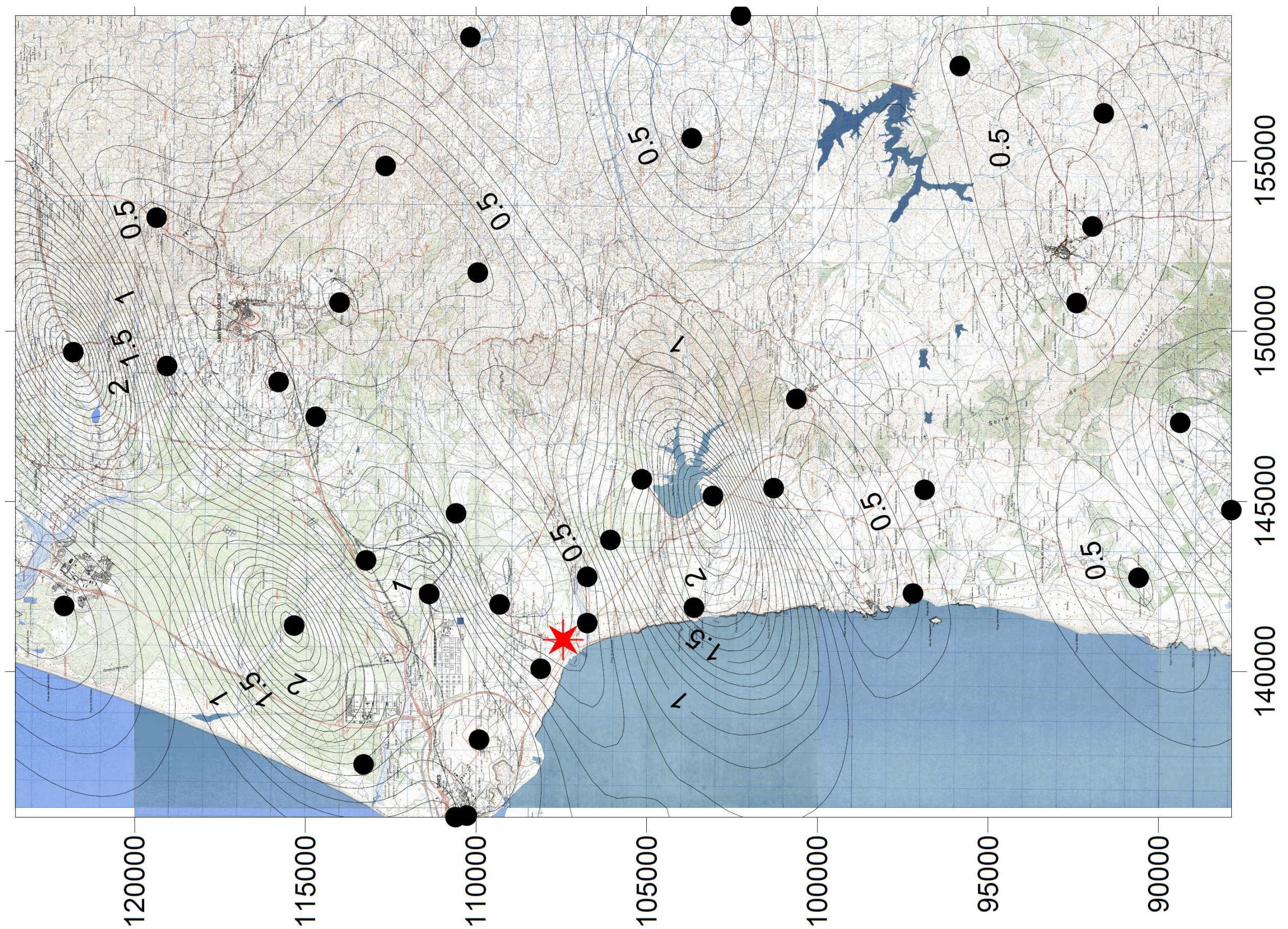


Figura 56: Mapa Geral do caso em estudo - Localização geográfica dos Pontos de amostragem, CTS e Fluxo de posição da 2ª Campanha de amostragem sobre as Cartas Militares Portuguesas.

5.6.2.2. Fluxo de deposição - 2ª campanha de amostragem

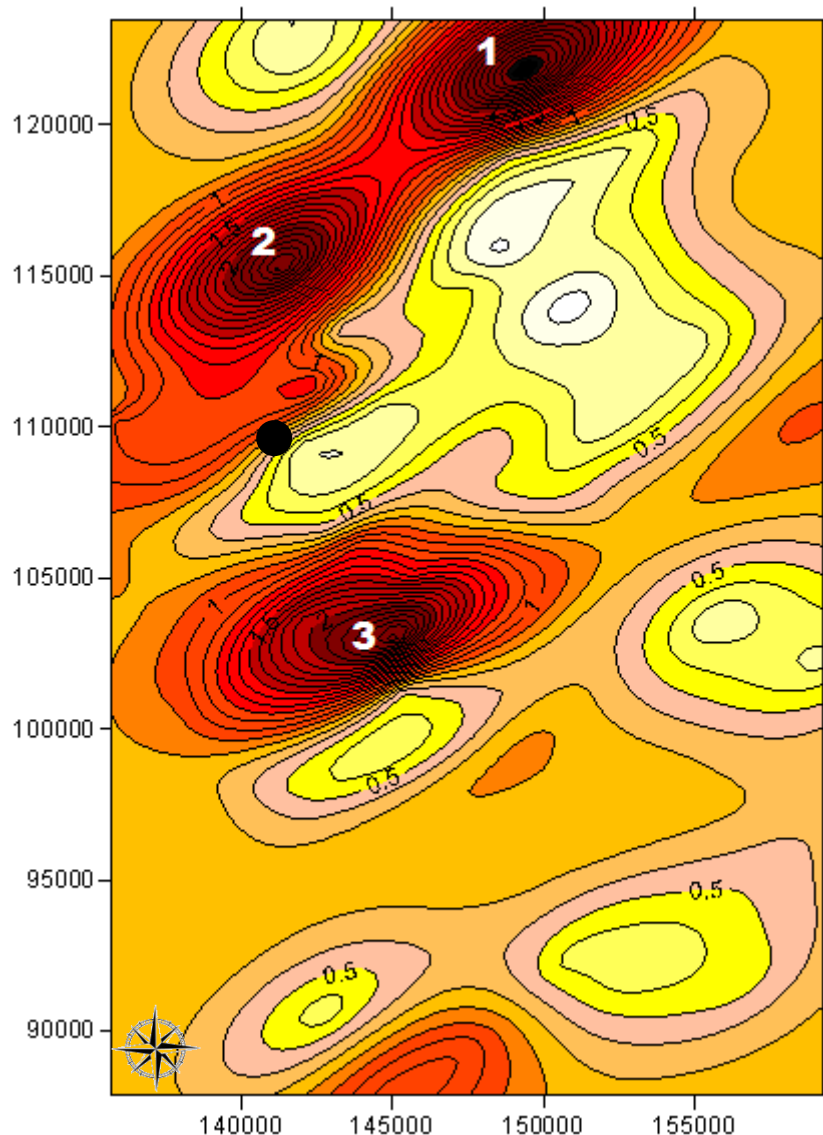


Figura 57: Fluxo de deposição referente à segunda campanha de amostragem.

Pela observação da figura anterior é possível verificar mais uma vez, que existem três locais em que o fluxo de deposição das partículas é mais expressivo. No entanto, após se realizar a krigagem foi possível observar que a dispersão espacial durante a segunda campanha de amostragem tem uma distribuição diferente da primeira campanha. Este fenómeno já era previsível visto que as variáveis climatológicas apresentam também uma distribuição diferente. Podemos concluir que a deposição de partículas é mais evidente junto ao complexo industrial, fenómeno fundamentado pelas condições climáticas visto que se verificaram mais dias com registos de precipitação, o que favorece a deposição mais próxima à CTS.

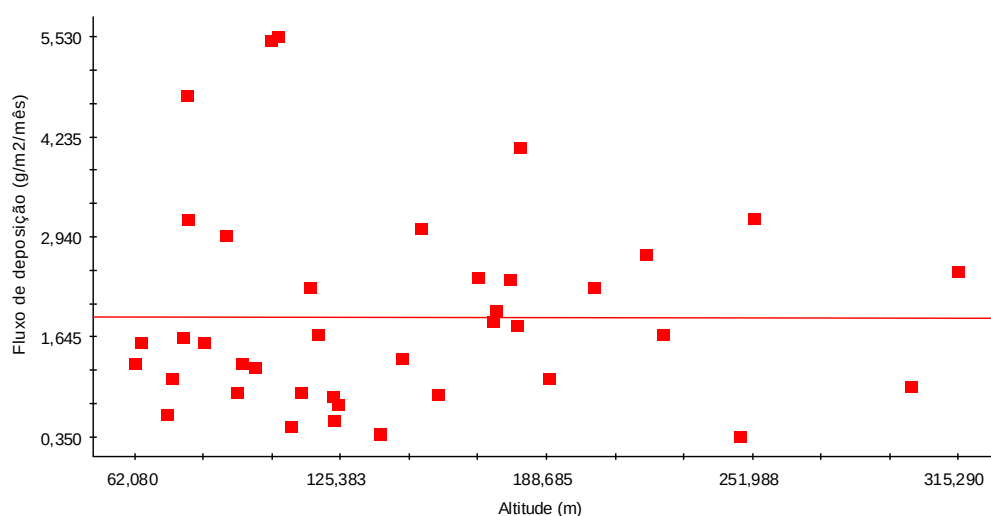
Fazendo a ponte entre a análise factorial das correspondências binárias e o fluxo de deposição, a variável velocidade encontrava-se relacionada com os sentidos do vento compreendidos

entre SE e NW, o que juntamente com fenómenos intensos de precipitação pode justificar o fluxo de deposição no ponto 1 e 2 da figura 57.

Relativamente ao **ponto 3**, podemos concluir que o fluxo de deposição verificado neste ponto, deveu-se aos registos mais intensos de precipitação o que terá levado à deposição junto da fonte emissora. Tal como foi justificado para o ponto 1 do fluxo de deposição para a primeira campanha de amostragem, existe uma pilha de carvão armazenada a céu aberto que pode influenciar o fluxo de deposição de partículas tanto no ponto 1 da figura 55, como o ponto 3 da figura 57.

5.7. Estudo da relação altitude vs fluxo de deposição

Durante o desenvolvimento deste trabalho surgiu a hipótese da altitude do terreno estar relacionada com a quantidade de partículas recolhida. Para verificar ou não esta hipótese, foi feito um estudo a partir de regressões lineares em que se considerou a altitude como co-variável. A partir deste estudo pretendia-se concluir, se a diferença de altitude do terreno provoca alguma alteração no fluxo de deposição de partículas, ou seja, estando as partículas em suspensão e verificando-se uma continuidade espacial de variáveis, tais como a direcção e velocidade do vento, o terreno poderia actuar como uma barreira estrutural obrigando à deposição das partículas que estavam em níveis mais baixos de altitude.

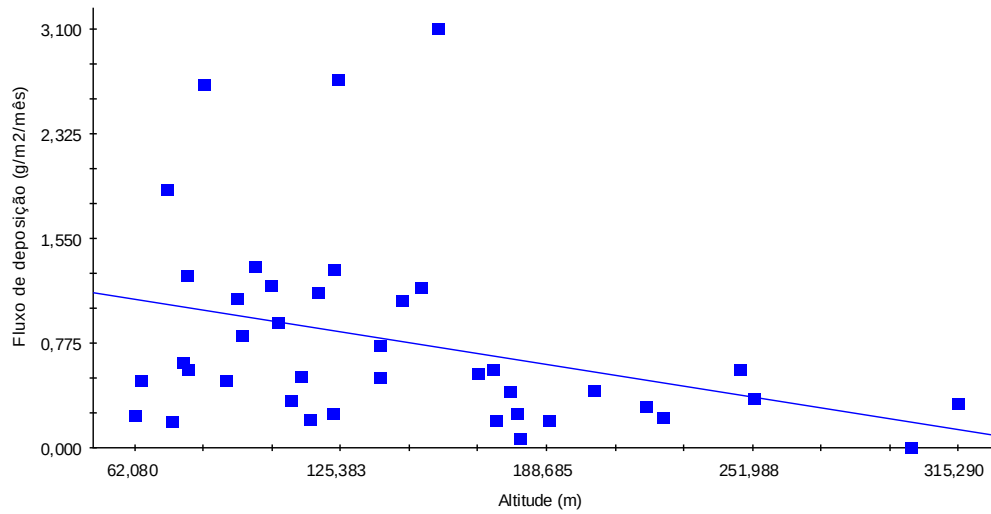


Regression coefficient = 0,0 (SE = 0,0, $r^2=0,000$, y intercept = 1,9104, n = 40)

Figura 58: Regressão linear do fluxo de deposição vs altitude e respectivos coeficientes de correlação (1ª campanha de amostragem).

A partir da observação da regressão efectuada é possível verificar que o fluxo de deposição da primeira campanha não se encontra relacionado com a altitude: obtivemos um coeficiente de correlação próximo de 0. Podemos assim, concluir que as partículas foram depositadas normalmente sem barreiras naturais e/ou urbanísticas que afectassem o seu fluxo natural. Assim sendo, não faria sentido realizar uma cokrigagem (procedimento geoestatístico segundo o qual diversas variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto, com base na correlação espacial entre si que não

é mais do que a extensão multivariada do método da krigagem quando para cada local amostrado obtém-se um vector de valores em lugar de um único valor” (LANDIM *et al.*, 2011).



Regression coefficient = 0,0 (SE = 0,0, $r^2=0,112$, y intercept = 1,3385, n = 40)

Figura 59: Regressão linear do fluxo de deposição vs altitude e respectivos coeficientes de correlação (2ª campanha de amostragem).

Observando a figura anterior é possível verificar que as duas variáveis não são relacionáveis, apesar do declive negativo da recta o coeficiente de correlação continua a ser próxima de 0.

Desta forma e com base nos dados disponíveis a cokrigagem não se afigurou como uma alternativa metodológica ao tratamento dos dados e consequentes estimativas.

CAPITULO 6

CONCLUSÕES

*“...Se podes olhar, vê.
Se podes ver, repara...”
José Saramago, 1995*

Para além das conclusões intermédias realizadas ao longo do texto, procura-se neste capítulo fazer uma reflexão a respeito do estudo efectuado de forma a obtermos as conclusões finais.

Relativamente às variáveis climáticas que poderão ter influência no transporte e dispersão das partículas na atmosfera podemos referir o seguinte: pelo estudo climatológico realizado neste trabalho podemos concluir que Sines é uma localidade com uma grande amplitude de temperaturas, o que favorece o transporte convectivo, e que a sua média anual é aproximadamente 15°C.

O clima em Sines apresenta também valores percentuais de humidade relativamente elevados devido à sua proximidade ao mar. O regime pluviométrico é em média de baixa frequência e baixa intensidade, que promove a suspensão de partículas na atmosfera.

As direcções do vento, em média, são favoráveis á dispersão de partículas na direcção do Oceano Atlântico, no entanto, para velocidades de vento mais elevadas a direcção do vento tem direcção contrária à direcção média, deste modo a dispersão ocorre no sentido genérico S-N, com predominância SW-NE. Ainda relativamente à direcção do vento podemos assumir que esta é passível de ser ajustada a uma distribuição de von-Mises, verificando-se em relação aos coeficientes de correlação linear-circular valores mais elevados relativamente aos registos da velocidade do vento e da temperatura.

Relativamente à temperatura, a direcção média está relacionada com as temperaturas mais baixas, períodos nocturnos e estações frias. A direcção média acompanha também os pontos de orvalho mais baixos, o que poderá ser indicador de uma deposição mais acelerada das partículas devido a efeitos de adsorção.

Podemos então concluir que para a direcção média, a dispersão de partículas na atmosfera é reduzida e que existe uma deposição mais rápida e em direcção ao Oceano Atlântico. No entanto, para direcções que transportem os poluentes em direcção aos terrenos na envolvente à CTS, existe uma maior dispersão verificando-se velocidades e temperaturas e pontos de orvalho mais elevados, assim como menor percentagem de humidade relativa.

Apesar dos valores obtidos para o fluxo de deposição não poderem ser comparados com o decreto-lei em vigor devido à carência de dados qualitativos, a média mensal de partículas atmosféricas por m^2 é aproximadamente 1,9 g para as estações secas o que perfaz um total de 22,8 g/ m^2 /ano. Por sua vez, a média mensal de partículas atmosféricas por m^2 é aproximadamente 0,8 g para as estações húmidas o que perfaz um total de 9,6 g/ m^2 /ano.

Relativamente aos fluxos de deposição, podemos concluir que através dos estudos realizados para a direcção horizontal ou seja direcção W-E os dados são marcados por fenómenos de menor continuidade (2ª campanha de amostragem) e ausência de correlação espacial (1ª campanha de amostragem).

Pela análise dos fluxos de deposição pode afirmar-se, que existem duas zonas preferenciais para a deposição de partículas comuns nas duas campanhas de amostragem, a SE da CTS onde existe uma maior presença de partículas em suspensão. As partículas recolhidas nestes pontos de amostragem a serem provenientes da CTS sofreram um transporte ligeiro, e seguiram a direcção média para a primeira campanha de amostragem. Para a segunda campanha de amostragem, apesar da deposição não ter acompanhado a direcção média do vento, acompanhou uma das direcções de maior frequência.

O fluxo de deposição registado a NW da CTS pode ser explicado através da correlação entre as velocidades do vento mais elevadas e a direcção do vento correspondente de S-N. As partículas sofreram uma maior dispersão espacial de acordo com fenómenos de maior velocidade do vento que normalmente ocorrem em dias mais quentes com humidades relativas mais baixas.

Foram também detectadas zonas fora do raio de influência de 6 km que carecem de um estudo qualitativo de forma a ser identificada a sua origem e caracterizadas as fontes emissoras. As partículas recolhidas nestes pontos de amostragem tanto podem pertencer a indústrias do Complexo Industrial que sofreram transporte, como também podem ser focos de contaminação devido a outros factores.

Foi também possível concluir que não existe relação entre a deposição de partículas e as diferenças de altitude apresentadas pelo terreno.

6.1. Perspectivas para trabalhos futuros

Esta dissertação deixa em aberto muitas possibilidades para o seu desenvolvimento. Durante este trabalho já foi referida uma possível análise qualitativa. Esta análise vai permitir tirar conclusões a respeito do calibre e da constituição química das partículas, e poder-se-á assim tirar conclusões relativamente à quantidade de partículas PM_{10} e $PM_{2,5}$ (verificação do cumprimento dos limites previstos na legislação Portuguesa) como da quantidade de metais pesados e de elementos

radioactivos por exemplo. Será assim possível efectuar estudos epidemiológicos, estudos de risco, e estudos de monitorização e tratamento das áreas afectadas.

A análise qualitativa vai também permitir identificar as fontes industriais emissoras das partículas, podendo-se assim calcular a percentagem contributiva de cada uma das indústrias para a quantidade e qualidade de partículas em suspensão.

Poder-se-á também futuramente expandir a malha de amostragem para fora do raio considerado sem influência de forma a perceber se as partículas sofrem transportes mais longos e contínuos, assim como criar mais pontos de análise na direcção longitudinal, direcção considerada sem correlação espacial para clarificar as conclusões obtidas durante esta dissertação.

Ao nível do estudo climatológico, seria interessante continuar os registos contínuos das variáveis climáticas para se efectuar uma caracterização passível de generalização, de forma a serem criados fluxos de deposição genéricos acerca da distribuição das partículas na envolvente ao complexo industrial.

BIBLIOGRAFIA

AEMET (2011), Agência Estatal de Meteorologia: *Atlas Climático Ibérico - Temperatura do ar e precipitação (1971-2000)*. Instituto de Meteorologia de Portugal.

Adrovic, F., Prokic, M., Ninkovic, M. M., & Glisic, R. (2004): Measurements of environmental background radiation at location of coal-fired power plants. (O. U. Press, Ed.) *Radiation Protection Dosimetry*, pp. 439-442.

aicep Global Parques (2010), *Zils Global Parques*: <http://www.globalparques.pt/pt/parques-empresariais/zils>. Consulta em 13 de Junho de 2011.

APA (2011), Agência Portuguesa do Ambiente, *Partículas em Suspensão*: <http://www.apambiente.pt/INSTRUMENTOS/PLANOACCAO/PARTSUPENS/Paginas/default.aspx>. Consulta em Maio de 2011.

Artaxo, P., Gatti, L. V., Leal, A. M., Longo, K. M., & Freitas, S. R. (2005): *Aerosol particles, clouds, precipitation, atmospheric chemistry, trace gases, ozone*. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. pp. 185-196.

Barbosa, A. M. (2007): *Caracterização Elemental Sazonal do PM10 e a Influência das Condições Meteorológicas em Cuiabá MT*. Mato Grosso: Instituto de Ciências Exatas e da Terra - Universidade Federal de Mato Grosso.

Bayer, Arno, Hélio Bittencourt, Josy Rocha, & Simone Echeveste (2004): *A Estatística e a sua história*. Rio Grande do Sul: Faculdade de Matemática – Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul.

Bell, K. (1974): *Aerosol deposition in models of a human lung bifurcation*. California Institute of Technology. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química.

CMS (2001), Câmara Municipal de Sines. *Município de Sines*: <http://www.sines.pt/pt/Paginas/default.aspx>. Consulta em 21 de Junho de 2011.

Camus, C. I. (2007): *Energia Eólica - Resumo de apoio a energias renováveis*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa –Departamento de Engenharia Electrotécnica e Automação.

Carvalho, J. M. (2002): *Modelação e Tratamentos Geoestatísticos de Dados SPT e Sísmicos*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Centro de Produção Sines (2006): *Relatório de Conformidade Ambiental do Projecto de Execução - Sumário Executivo*. Gestão da Produção de Energia, S.A.

CCDR – Alentejo (2004), Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo: *Projecto Sinesbioar - Relatório Técnico Intercalar*.

Cressie, N. (1990): *The Origins of Kriging*. Mathematical Geology, Vol 22, n.º 3, pp 239-252.

CVRM (1989-2002), Centro de Geosistemas do IST: *Análise das Correspondências Múltiplas - Manual do Módulo AFCM*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.

CVRM (1989-2002b), Centro de Geosistemas do IST: *Programa ANDAD - Manual do Utilizador*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.

David, M. (1977): *Geostatistical Ore Reserve Estimation*. Amsterdam Oxford New York: Elsevier Scientific Publishing Company.

David, M. (1988): *Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation*. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo: Elsevier.

DABG (1997), Department of Animal Breeding and Genetics: *Introduction to Geostatistics and Some Preliminaries*. Danish Institute of Agriculture Sciences: [http://genetics.agrsci.dk/statistics/courses/JBS-Geostatistics 2003/Day1/Lecture1/day1lecture1.pdf](http://genetics.agrsci.dk/statistics/courses/JBS-Geostatistics%2003/Day1/Lecture1/day1lecture1.pdf). Consulta em 17 de Maio de 2011.

Dinis, M. L. (1999): *Modelo Integrado para a Avaliação de Exposição Ambiental a Resíduos Mineiros Radioactivos*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Domingos, J. J. (1995): *Textos de Apoio á disciplina Energia e Ambiente (1972-1995)*. Instituto Superior Técnico.

EDP (2009), Gestão da Produção de Energia, S.A.: *Licença Ambiental n.º15/2005 - Central Termoeléctrica de Sines*.

EDP, Museu da Energia (2010): *Central de Sines* http://wikienergia.com/~edp/index.php?title=Central_de_Sines. Consulta em 13 de Junho de 2011.

EEA (1995-2010), European Environment Agency: *The European Pollutant Release and Transfer Register*: <http://prtr.ec.europa.eu/IndustrialActivity.aspx>. Consulta em 30 de Junho de 2011.

Ferraz, M. C. (2009): *Partículas Suspensas no Ar Exterior e Interior - Caracterização para suporte de estudos epidemiológicos*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa; Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ferreira, P. (2005): *Central a carvão de Sines entre as mais poluentes*. Diário de Notícias: http://www.dn.pt/inicio/interior.aspx?content_id=624771. Consulta em 3 de Março de 2011.

Fonte, C. M. (2007/2008): *Textos de apoio á topografia*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Góis, J. E. (1993): *Técnicas Geomáticas Aplicadas ao Tratamento de Dados da Prospeção Sísmica de Petróleos*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Minas. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.

Góis, J. E. (2004): *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Minas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Guttorp, P., Meiring, W., & Sampson, P. D. (1994): *A space-time analysis of ground-level ozone data*. Environmetrics, Volume 5, Issue 3, pp 241–254, .

- Hald, A. (1998): *A History of Mathematical Statistics - From 1750 to 1930*. John Wiley & Sons, Inc.
- Hermann, J., Bernardi, J., Bastos, W., & Lacerda, L. (2009): Dispersão Especial X Amostragem Pontual: A Geoestatística como ferramenta de análise do mercúrio em solos de Rondônia, Amazônia Ocidental. *Geochimica Brasiliensis*, pp. 131-138.
- Hussein, T., Karppinen, A., Kukkonen, J., Härkönen, J., Aalto, P. P., Hämeri, K., Kerminen, V., Kulmala, M., (2006): *Meteorological dependence of size-fractionated number concentrations of urban aerosol particles*. *Atmospheric Environment*, pp. 1427-1440.
- IGeoE (s.d.), Instituto Geográfico do Exército: <http://www.igeoe.pt/utilitarios/coordenadas/trans.aspx>. Consulta em 27 de Abril de 2004.
- INE (s.d.), Instituto Nacional de Estatística: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE. Consulta em Junho de 2011.
- INETI (2003), Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial: *Guia Técnico - Sector da Produção de Energia*. Lisboa.
- INMG. (s.d.), Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, *Publicações*: <http://www.meteo.pt/pt/publicacoes/>. Consulta em Junho de 2011.
- IPCC (2011), Intergovernmental Panel on Climate Change: *IPCC Third Assessment Report*: <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-en.pdf>. Consulta em Junho de 2011
- Nave, J.G. (2004): Projecto Sinesbioar: *Relatório final do inquérito*
- Krige, G. (1951): *A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand*. *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, pp. 119–13.
- Landim, P. M. (2002): *Introdução aos Métodos de Estimação Espacial para a Confecção de Mapas*. Rio Claro: UNESP - Departamento de Geologia Aplicada, Laboratório de Geomatemática.
- Landim, P. M., Monteiro, R. C., & Corsi, A. C. (2002): *Introdução à Confecção de Mapas pelo Software Surfer*. Rio Claro: UNESP - Departamento de Geologia Aplicada, Laboratório de Geomatemática.
- Landim, P. M., Sturaro, J. R., & Monteiro, R. C. (2002): *Exemplos de Aplicação da Cokrigagem*. Rio Claro: UNESP - Departamento de Geologia Aplicada, Laboratório de Geomatemática.
- Lourenço, R. W., Landim, P.M. (2005): *Mapeamento de áreas de risco à saúde pública por meio de métodos geoestatísticos*. *Cadernos de Saúde Pública*. Rio de Janeiro. Vol.21, no.1.
- MAOT (s.d.), Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Agência Portuguesa do Ambiente: <http://www.apambiente.pt/>. Consulta em Maio de 2011.
- MAOT (2010), Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território: *Decreto-Lei n.º 102/2010*. Diário da República.
- MAOT (2002), Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território: *Decreto-Lei n.º 111/2002*. Diário da República.
- MAOTDR – ADRP (2006), Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território, e do Desenvolvimento Regional e da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas: *Decreto-Lei n.º 181/2006*. Diário da República.

MAOTDR (2006), Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional; Instituto do Ambiente: *Estratégia Temática Sobre a Poluição Atmosférica*.

MCOTA (2004), Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente: *Decreto-Lei n.º 78/2004*. Diário da República.

Mayers, D. (2008), *History of Geostatistics - Past, Present and Future*. University of Arizona.

MEI (2006), Ministério da Economia e da Inovação: *Energia e Alterações Climáticas - Mais Investimento, Melhor Ambiente*. Portugal.

MIT (2009), *Clouds in the Perturbed Climate System*. Cambridge, Massachusetts, London, England: The MIT Press.

Moreira, D., & Tirabassi, T. (2004): *Modelo Matemático de Dispersão de Poluentes na Atmosfera: Um Instrumento Técnico para a Gestão Ambiental*. Ambiente & Sociedade, Vol. VII.

nP.S. (2005): *Centrais térmicas absorvem dois terços das licenças concedidas*. Diário de Notícias: http://www.dn.pt/inicio/interior.aspx?content_id=624597. Consulta em 3 de Março de 2011

Nunes, L. M. (2011): *Legislação Nacional em Poluição do ar - Lista não exaustiva*. Universidade do Algarve – Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente.

Oliveira, A. R. (2009): *Sistema de Alerta na Avaliação do Risco de Exposição à Poluição Causada por PM10, na Cidade de Lisboa*. Lisboa: Instituto Superior Técnico .

Papastefanou, C., Manolopoulou, M., & Charalambous, S. (1988): *Radioecological Measurements in the Coal Power Plant Environment*. Radiation Protection Dosimetry , Vol. 24, n.º1/4, pp. 439-443.

Pardal, M. (2011): *Sistemas de medição de aerossóis juntam especialistas em Évora*: http://evunix.uevora.pt/~lidar/DiarioDoSul_2011_02_10.pdf. Consulta em 27 de Junho de 2011.

Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia (2008): *Directiva 2008/50/CE*. Jornal Oficial da União Europeia.

Paz, S. R., Alves, R. C., Teixeira, E. C., & Dallarosa, J. B. (2007): *Utilização de Modelagem Numérica para o Estudo da Dispersão de Poluentes Emitidos pela Usina Termoelétrica Presidente Médici*. Química Nova , Vol. 30, n.º 7, pp 1609-1615.

Peavy, H. S., Rowe, D. R., & Tchobanoglous, G. (1985): *Environmental Engineering*. New York ; McGraw Hill.

Pollution Atmosphérique Mesure des "Retombées" par la Méthode des "Plaquettes de Dépôt" NF X43-007. (26 de Junho de 1967). França: l'Association Française De Normalization (AFNOR).

Programa COMETT/AFAIRS (s.d.): *Métodos Geoestatísticos para a Avaliação e Gestão de Recursos Minerais*. Departamento de Minas - Instituto Superior Técnico.

Projecto GISA (2008-2011), *Gestão Integrada de Saúde e Ambiente*. Projecto GISA: <http://www.gisaproject.org/>. Consulta em 3 de Março de 2011.

Sambado, C. (2008): *Encerramento da central térmica de Sines é mero cenário*. Rádio Televisão Portuguesa: <http://tv1.rtp.pt/noticias/?article=63408&visual=3&layout=10>. Consulta em 3 de Março de 2011.

SANSIGOLO, C. A. (2005): *Distribuições de Probabilidade de Velocidade E Potência do Vento*. Revista Brasileira de Meteorologia , pp. 207-214.

SERRPIOP (s.d.), Soluciones en Evaluación de Recursos, Reservas, Proyectos de Inversión y Operaciones Minera. *Función Aleatoria*. Geoestadística.com: http://geoestadistica.com/funcion_aleatoria.htm. Consultado em Março de 2011.

Silva, G. K., Colle, S., Passos, J. C., Reguse, W., & Beyer, H. G. (2009): *Metodologia de Avaliação do Potencial de Geração Eólica para o Estado de Santa Catarina*. Universidade Federal de Santa Catarina: LEPTEN - Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia.

SinesBioar - CMRP / IST. (2004): *Sinesbioar*: <http://www.ccdr-a.gov.pt/sinesbioar/>. Consulta em 15 de Março de 2011.

Soares, A. (2006): *Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Soares, R. (2003): *Regressão Weibull e Testes Acelerados: Uma Aplicação no Mercado Financeiro*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Sotter, A. P., Ipia, A. H., Pulido, J. W., & Vaca, W. L. (2003): *Applied Geostatistics to Studies of Environmental Contamination - Alternative analysis viewpoints for air pollutants in Bogotá D.C.*

Sun, D., Chen, F., Bloemendal, J., & Su, a. R. (2003): *Seasonal variability of modern dust over the Loess Plateau of China*. Journal of Geophysical Research ,Vol. 108.

Thompson, S. K. (2006): *Adaptive Web Sampling*. Biometrics , Vol 62, pp 1224–1234.

Vaisala (2008), *Vaisala User's Guide - WXT510/20*: http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guide%20WXT510_User_Guide_in_English.pdf. Consulta em Junho de 2011.

WWF. (2007), World Wide Fund for Nature: http://wwf.panda.org/about_our_earth/aboutcc/cause/coal/dirty_30/. Consulta em maio de 2011.

Yilmaz, V., & Celik, H. E. (2008): *A statistical approach to estimate the wind speed distribution: the case of Gelibolu Region*. Dogus Universitesi Dergisi , pp. 122-132.

Anexo

Anexo 1 – Programação em MATLAB, Teste de Kolmogorov-Smirnov

```
%normalização dos dados
x=sort(x);
n=length(x);
for i=1:length(x)
    z(i)=(x(i)-mean(x))/std(x)';
end
x=z;
% cálculo da frequência cumulativa obtida
c=(1:length(x))';
fco=c/length(x)'
% cálculo da frequência cumulativa teórica
fct=normcdf(x)'

% cálculo do desvio máximo
% d = desvio
% dm = desvio máximo
d=abs(fco-fct);
dm=max(d)
% desvio crítico - N>35
a=0.01
dc=1.36/sqrt(n);
dc
% Teste de hipótese
if dm < dc
    display('Os dados ajustam-se a uma população normal - não rejeito h0')
else
    display('Os dados não se ajustam a uma população normal - rejeito h0')
end
% Representação gráfica
plot(z,fco,'-*',z,fct,'-o');
title('Teste de Kolmogorov-Smirnov');
xlabel('Valor Normalizado');
ylabel('Fracção Cumulativa');
legend('Frequência Cumulativa Observada','Frequência Cumulativa Teórica');
```

