

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



FEUP

Diagnóstico Ambiental e Análise de Risco Probabilística de uma Pedreira Abandonada

Maria Leonor Vasconcelos Ferreira Martins

VERSÃO FINAL

Relatório de Projecto realizado no Âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Orientador: Professor Doutor António Manuel Antunes Fiúza

Julho de 2009

Diagnóstico Ambiental e Análise de Risco Probabilística de uma Pedreira Abandonada

Maria Leonor Vasconcelos Ferreira Martins

Relatório de Projecto realizado no Âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Professor Doutor Manuel Afonso Magalhães da Fonseca Almeida

Arguente: Prof. Maria Olívia Baptista Pereira

27 de Julho de 2009

Resumo

Este relatório incide sobre o diagnóstico do estado ambiental de uma pedreira abandonada que, após ter sido desactivada, serviu para a deposição descontrolada de resíduos, estando actualmente a ser aterrada, com vista à sua desactivação e reabilitação. No estudo faz-se um enquadramento legislativo, faz-se uma caracterização geográfica do local e referem-se as metodologias utilizadas na obtenção da informação quantitativa básica para caracterizar cada compartimento ambiental seleccionado. Foram obtidas amostras directas do local para o solo e para a água da laguna que se criou devido à actividade exploratória da pedreira. Fizeram-se testes de lixiviação em laboratório utilizando amostras dos resíduos “inertes” existentes no interior do aterro e determinaram-se os parâmetros não-biológicos mais relevantes da qualidade da água. De seguida, foram aplicados alguns métodos estatísticos multi-variados, nomeadamente a Análise em Componentes Principais e Análise de Factores, para determinar eventuais padrões de contaminação. Para elementos seleccionados e utilizando coordenadas geo-referenciadas fez-se a análise da distribuição espacial das concentrações utilizando a krigagem – método geo-estatístico que constitui o melhor estimador da variabilidade espacial.

Por fim, efectuou-se uma Análise de Risco Probabilística para alguns elementos, tendo-se utilizado para isso o Método de Monte Carlo. Seleccionaram-se elementos tóxicos e cancerígenos e para cada uma destas classes seleccionaram-se vias de exposição por inalação, ingestão e contacto dérmico. Foram determinadas as distribuições de probabilidade empíricas do índice de toxicidade e do risco cancerígeno.

Nas conclusões, é referido que a melhor solução passaria pela introdução de uma membrana de PoliEtileno de Alta Densidade por cima do actual local de aterro de forma a impedir a formação de lixiviados e a colocação de difusores de ar na laguna, uma vez que se verificou que o principal défice na qualidade da água era a concentração de oxigénio.

Abstract

This paper focuses on the issue of an abandoned quarry's rehabilitation which was used for waste deposition after its shutdown and being nowadays under a process of landfilling. In order to study this case, it is made a legal framework as well as a geographic characterization of the quarry and some techniques used to describe each selected environmental compartment. Samples were measured directly from the soil and water lake, which was created due to the extraction process of the quarry. Leaching tests were made in the laboratory using "inert" waste from the landfill and the most relevant non-biological water parameters were determined. Following, there were applied several multivariate statistical methods, such as Principal Component Analysis and Factorial Analysis in order to discover eventual contamination patterns. For the selected elements and using geo-referenced coordinates, a spatial concentration distribution analysis was made using krigging – a geo-statistical method which is the best spatial variability estimator.

Finally, there was made a Probabilistic Risk Analysis for some elements, using Monte Carlo Method. To do so, some toxic and carcinogenic elements were selected and to each of this class, there were chosen inhalation, ingestion and dermal contact as exposition ways. Then, empirical probabilistic distributions of Toxic Index and Carcinogenic Risk were determined.

In the conclusions it is referred that the best solution is the introduction of an HDPE on the top of the landfill in order to prevent the leaching and several air diffusers in the lake to increase the levels of dissolved oxygen.

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas que directa ou indirectamente contribuíram para o sucesso da realização deste trabalho, nomeadamente ao meu orientador da FEUP, Professor Doutor Fíúza que sempre mostrou muita disponibilidade e paciência para todas as minhas dúvidas, à D. Marta Castro e à Eng. Mercês Ferreira da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia por todo o apoio, compreensão e simpatia durante este semestre. Agradeço também especialmente aos Professor Doutor Joaquim Góis pelas dicas extras e muita paciência demonstrada relativamente aos métodos estatísticos aplicados e ao Professor Doutor José Soeiro pelo GPS disponibilizado, bem como os esclarecimentos sobre os Sistemas de Informação Geográficos.

Agradeço aos meus amigos e colegas de curso por toda a ajuda prestada sem os quais não teria chegado onde cheguei.

Agradeço igualmente ao meu namorado Fábio pela paciência que teve em me ouvir falar durante um semestre sobre reabilitação de pedreiras abandonadas e de métodos estatísticos.

Por fim, agradeço também aos meus pais, à minha mãe pela paciência e força que me deu nestes 5 anos e ao meu pai, que apesar de infelizmente já não se encontrar presente, foi Engenheiro de Minas de profissão, tendo sido a inspiração para ingressar num curso de Engenharia.

Obrigado.

Maria Leonor Vasconcelos Ferreira Martins

Índice

Introdução	1
1.1 Âmbito	2
1.2 Objectivos	2
1.3 Enquadramento Organizacional da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia	3
Revisão Bibliográfica	5
2.1 Enquadramento da extracção pedreira em Portugal	5
2.2 Processo Extractivo em Vila Nova de Gaia.....	6
2.3 Características da Contaminação de Solos	7
2.3.1 Tipos de Degradação do solo	8
2.3.2 Mecanismos de Transporte dos Contaminantes.....	9
2.4 Enquadramento da Qualidade do Solo em Portugal	10
2.5 Enquadramento Legislativo relativamente à Qualidade do Solo	11
2.5.1 Enquadramento Europeu.....	11
2.5.2 Enquadramento Nacional	12
2.6 Medidas e Tecnologias mais Utilizadas na Recuperação de Solos	14
2.6.1 Tecnologias de Descontaminação de Solos	14
2.6.2 Medidas de Reconversão/Reabilitação.....	17
Recolha e Análise Preliminar dos Dados	21
3.1 Caracterização da Zona de Estudo	21
3.1.1 Histórico do Local.....	21
3.1.2 Temperatura, Precipitação e Clima	24
3.1.3 Altimetria, Ordenamento e Condicionantes	27
3.1.4 Escorrências	27
3.2 Selecção dos Parâmetros a Analisar	30
3.2.1 Solo	30
3.2.2 Água	31
3.2.3 Lixiviados.....	31
3.3 Metodologias de Recolha e de Análise	33
3.3.1 Solo	33
3.3.2 Água	33

3.3.3	Lixiviados.....	35
3.4	Resultados	35
3.4.1	Solo	35
3.4.2	Água	40
3.4.3	Lixiviados.....	41
	Análise Estatística aos Elementos do Solo	45
4.1	Análise Geoestatística.....	45
4.1.1	Fundamentos Teóricos.....	45
4.1.2	Aplicação aos Dados Obtidos	47
4.2	Análise Estatística Multivariada: Análise em Componentes Principais	55
4.2.1	Fundamentos Teóricos.....	55
4.2.2	Considerações para a Interpretação dos Resultados	56
3.6.1	Aplicação aos Dados Obtidos	58
	Análise Probabilística de Risco Ambiental.....	63
5.1	Conceitos Teóricos	63
5.1.1	Análise de Risco	63
5.1.2	Doses de Risco de Referência: A Base de Dados IRIS	64
5.2	Metodologia.....	65
5.2.1	Avaliação da Exposição	65
5.2.2	Identificação dos cenários de exposição e dos processos de contacto.....	68
5.3	Simulação da Análise de Risco através do Método de Monte Carlo	73
5.4	Resultados	76
5.4.1	Arsénio	78
5.4.2	Bário.....	80
5.4.3	Manganês	81
5.4.4	Zinco.....	82
	Conclusões	83
	Referências Bibliográficas	85
	Anexos	89

Lista de Figuras

Ilustração 1: Esquema dos Impactes mais comuns derivados do Processo Extractivo. Fonte: [3]	2
Ilustração 2: Esquema dos Impactes mais comuns derivados da consequente deposição de resíduos. Fonte: [3].....	2
Ilustração 3: Pormenor do Organograma da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia. Fonte: [4]	4
Ilustração 4: Esquema das várias categorias onde se podem inserir os granitos.....	5
Ilustração 5: Gráfico da evolução da produção de granito e do total das rochas ornamentais em Portugal. Fonte: [8]	6
Ilustração 6: Gráfico da Evolução da Produção de Pedreiras em Vila Nova de Gaia em Mil Euros. Fonte: [8].....	7
Ilustração 7: Gráfico da Evolução da Produção de Pedreiras em Vila Nova de Gaia em toneladas. Fonte: [8].....	7
Ilustração 8: Esquema Ilustrativo da Composição do Solo. Fonte: [17].	7
Ilustração 9: Esquema ilustrativo dos Tipos de Degradação do solo. Fonte: [17].	8
Ilustração 10: Enquadramento Legislativo actual da União Europeia no que toca às acções proteccionistas do solo.	11
Ilustração 11: Enquadramento Legislativo nacional que proteja de alguma forma o solo.....	13
Ilustração 12: Designações que podem ser atribuídas a pedreiras abandonadas. Fonte: [11]	18
Ilustração 13: Vários tipos de enchimento que podem ser aplicados à corta. Fonte: [25].	18
Ilustração 14: Imagem de 7 de Setembro de 2003. Fonte: Google earth®.	22
Ilustração 15: Imagem de 30 de Outubro de 2006. Fonte: Google earth®.	22
Ilustração 16: Imagem de 16 de Maio de 2004. Fonte: Google earth®.	22
Ilustração 17: Imagem de 26 de Junho de 2007. Fonte: Google earth®.	22

Ilustração 18: Imagem Satélite a Este da zona de estudo . Fonte: Microsoft Live Maps®.....	23
Ilustração 19: Imagem Satélite a Norte da Zona de Estudo. Fonte: Microsoft Live Maps®.	23
Ilustração 20: Imagem Satélite a Oeste da Zona de Estudo. Fonte: Microsoft Live Maps®.	24
Ilustração 21: Imagem Satélite a Sul da Zona de Estudo. Fonte: Microsoft Live Maps®.....	24
Ilustração 22: Gráfico da Evolução da Temperatura média do ar em Vila Nova de Gaia. Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto	25
Ilustração 23: Gráfico da Evolução da Precipitação Total Anual em Vila Nova de Gaia. Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar e Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto	25
Ilustração 24: Gáfico da evolução da pluviosidade com a caracterização hidrológica.	26
Ilustração 25: Área da Bacia Hidrográfica.....	27
Ilustração 26: Esquema representativo do balanço hídrico na Laguna.	28
Ilustração 27: Esquema representativo do balanço hídrico na Bacia Hidrográfica.....	28
Ilustração 28: Local de recolha de amostras de solo.	31
Ilustração 29: Aparelho de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X da Innov X Systems.	33
Ilustração 30: Recipiente usado para a recolha da amostra de água, com a corda.	34
Ilustração 31: Pormenor do recipiente.....	34
Ilustração 32: Vista de cima, com a pequena abertura.	34
Ilustração 33: Aparelho de medição do pH, salinidade, SDT e condutividade Hanna Instruments: HI 255 Combined Meter.	34
Ilustração 34: Aparelho de medição da concentração de oxigénio na água, em mg/l, percentagem de saturação e pressão parcial <i>Hanna Instruments: HI 2400</i>	34
Ilustração 35: Aparelho de medição do Potencial REDOX <i>Hanna Instruments HI 4212</i>	34
Ilustração 36: Representação das Concentrações relativas e percentagem de ultrapassagem dos valores-limite holandeses dos vários elementos nos pontos de amostragem de 1 a 15, em ppm.	37
Ilustração 37: Representação das Concentrações relativas e percentagem de ultrapassagem dos valores-limite holandeses dos vários elementos nos pontos de amostragem de 15 a 30, em ppm.	37

Ilustração 38: Gráfico comparativo da variação do pH nos vários lixiviados e em água destilada.	42
Ilustração 39: Gráfico comparativo da variação da Condutividade nos vários lixiviados e em água destilada.	42
Ilustração 40: Gráfico comparativo da variação dos Sólidos Dissolvidos Totais nos vários lixiviados e em água destilada.	42
Ilustração 41: Gráfico comparativo da variação do Potencial REDOX nos vários lixiviados e em água destilada.	42
Ilustração 42: Gráfico comparativo da variação Da Salinidade nos vários lixiviados e em água destilada.	42
Ilustração 43: Gráfico comparativo da variação do Oxigénio Dissolvido nos vários lixiviados e em água destilada.	42
Ilustração 44: Forma característica de um variograma. Fonte: [32].	46
Ilustração 45: Printscreen do Surfer® 8 na janela das propriedades do Variograma.	48
Ilustração 46: Printscreen do Surfer® 8 na janela das propriedades do modelo de ajuste do Variograma.	49
Ilustração 47: Variograma Experimental do Cobre.	50
Ilustração 48: Variograma Experimental do Zinco.	51
Ilustração 49: Variograma Experimental do Arsénio.	51
Ilustração 50: Variograma Experimental do Chumbo.	52
Ilustração 51: Printscreen do Surfer® 8 na janela de criação de mapas de contorno.	53
Ilustração 52: Printscreen do Surfer® 8 na janela de inserção das propriedades do modelo usado na krigagem.	53
Ilustração 53: Distribuição espacial do Cobre obtida pelo Método da Krigagem.	54
Ilustração 54: Distribuição espacial do Zinco obtida pelo Método da Krigagem.	54
Ilustração 55: Distribuição espacial do Arsénio obtida pelo Método da Krigagem.	55
Ilustração 56: Distribuição espacial do Chumbo obtida pelo Método da Krigagem.	55
Ilustração 57: Esquema representativo de não relação entre as variáveis.	57
Ilustração 58: Esquema representativo de relação entre as variáveis.	57
Ilustração 59: Esquema representativo de relação entre as variáveis.	57

Ilustração 60: Esquema representativo de relação inversa entre as variáveis.	57
Ilustração 61: Gráfico ilustrativo da evolução dos valores próprios e da respectiva explicação da variância acumulada destas variáveis.....	58
Ilustração 62: Gráfico da projecção das variáveis em Componentes Principais.	59
Ilustração 63: Projecção das observações relativamente às componentes principais.....	60
Ilustração 64: Gráfico conjunto das variáveis e observações relativamente aos componentes principais.	61
Ilustração 65: Locais com maior irregularidade na composição de metais pesados.	62
Ilustração 66: Pormenor da IRIS em formato Microsoft Excel®.....	65
Ilustração 67: Pormenor da IRIS em formato Microsoft Excel®.....	65
Ilustração 68: População potencialmente exposta. Fonte: Google earth®.....	66
Ilustração 69: Vias de Exposição estudadas e respectivos efeitos potenciais.	66
Ilustração 70: Esquema genérico do algoritmo usado para o Método de Monte Carlo.....	75
Ilustração 71: Esquema das Simulações Efectuadas para cada Elemento em Matlab.....	76
Ilustração 72: Exemplo dos histogramas intermédios para os vários parâmetros obtidos pelo Matlab através da simulação pelo Método de Monte Carlo.	77
Ilustração 73: Exemplo dos histogramas intermédios para a dose obtidos pelo Matlab através da simulação pelo Método de Monte Carlo.	77
Ilustração 74: Histograma do Índice de Toxicidade do Arsénio por Ingestão.	78
Ilustração 75: Histograma do Índice de Toxicidade do Arsénio por Contacto Dérmico.	78
Ilustração 76: Histograma do Risco Carcinogénico do Arsénio por Inalação.....	78
Ilustração 77: Histograma do Risco Carcinogénico do Arsénio por Ingestão.....	78
Ilustração 78: Histograma do Risco Carcinogénico do Arsénio por Contacto Dérmico.....	79
Ilustração 79: Pormenor do Histograma de Risco Carcinogénico do Arsénio por Contacto Dérmico.....	79
Ilustração 80: Histograma do Índice de Toxicidade do Bário por Inalação.	80
Ilustração 81: Histograma do Índice de Toxicidade do Bário por Ingestão.	80
Ilustração 82: Histograma do Índice de Toxicidade do Bário por Contacto Dérmico.	80
Ilustração 83: Histograma do Índice de Toxicidade do Manganês por Inalação.....	81

Ilustração 84: Histograma do Índice de Toxicidade do Manganês por Ingestão.....	81
Ilustração 85: Histograma do Índice de Toxicidade do Manganês por Contacto Dérmico.....	81
Ilustração 86: Histograma do Índice de Toxicidade do Zinco por Ingestão.....	82
Ilustração 87: Histograma do Índice de Toxicidade do Zinco por Contacto Dérmico.....	82

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classificação dos Anos Hidrológicos. Fonte: [38]	26
Tabela 2: Valores Finais Médios do Balanço Hídrico em S1 em m ³ /dia.	29
Tabela 3: Valores Finais Médios do Balanço Hídrico em S2-S1, em m ³ /dia.....	29
Tabela 4: Descrição dos parâmetros analisados na água e nos lixiviados.....	32
Tabela 5: Valores-Limite presentes na Legislação Holandesa. Fonte: [33]	36
Tabela 6: Estatísticos básicos dos valores da concentração de metais pesados no solo.....	38
Tabela 7: Número de vezes que os poluentes ultrapassam a média dos valores de fundo, a Legislação Holandesa e correspondente justificação para a exclusão de alguns poluentes para uma análise estatística mais profunda.	39
Tabela 8: Comparação relativa dos valores medidos com o Decreto-Lei 236/98 [36] consoante o Destino de Produção da Água.	40
Tabela 9: Valores-Limite Austríacos e Portugueses. Fonte: [44] e [30] respectivamente.	43
Tabela 10: Valores das Doses de Referência Crónica e de Factores de Potência Cancerígenos para cada Via de Exposição. Fonte: IRIS.....	67
Tabela 11: Tipos de Distribuições, seus parâmetros característicos e referências para o modelo da Inalação num cenário residencial. Fonte: [50].....	70
Tabela 12: Tipos de Distribuições, seus parâmetros característicos e referências para o modelo da Ingestão num cenário residencial. Fonte: [50].....	71
Tabela 13: de Distribuições, seus parâmetros característicos e referências para o modelo do Contacto Dérmico num cenário residencial. Fonte: [50]	72
Tabela 14: Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov obtidos pelo XLSTAT.....	73

Glossário

Águas Conquícolas: águas que suportam a vida dos seres bivalves. [35]

Aguas para fins aquícolas: Pressupõe as águas para fins piscícolas e conquícolas, ou seja, as águas que suportem a vida na água. [35]

Águas Piscícolas: águas que suportam a vida dos peixes. [35]

Ano Hidrológico: Período contínuo de doze meses durante o qual ocorre um ciclo anual climático completo e que é escolhido por permitir uma comparação mais significativa dos dados meteorológicos.

Best Available Techniques (BAT) ou Melhores Tecnologias Disponíveis (MTD): Métodos de produção e tratamento mais eficientes e desenvolvidos que sejam tecnologicamente e economicamente acessíveis, de tal forma que quando aplicados conseguem prevenir ou reduzir as actividades poluentes. [2]

Comunidade clímax: o estágio final da sucessão de uma comunidade vegetal, em certa área, atingida sob determinadas condições ambientais, especialmente as climáticas e pedológicas, na qual a composição das espécies e a estrutura das comunidades bióticas são consideradas estáveis. [28]

Contaminação do Solo: existência de compostos químicos que modificam as características naturais do solo, limitando o seu uso, degradando a qualidade das águas e podendo constituir, por isso, um risco potencial para a saúde pública. [7].

Contaminante: substância com potencial de poluição do meio ambiente.

Corta: volume da pedreira que foi utilizada na extracção da pedra.

Dose: Quantidade de Contaminante a que os indivíduos estão expostos e que pode penetrar no organismo. [45]

Lixiviação: processo de extracção de uma substância de um sólido através da sua dissolução num líquido. [24]

Metais Pesados: Metal ou metalóide estável na Natureza e com uma densidade maior que 4,5 g/cm³. Exemplos de metais pesados são o Chumbo, Cobre, Níquel, Cádmiu, Platina, Zinco, Mercúrio ou Arsénio. [2]

Plano Ambiental de Recuperação Paisagística (PARP): Documento técnico constituído pelas medidas ambientais e pela proposta de solução para o encerramento e recuperação paisagística das áreas exploradas. [26]

Poluente: substância que esteja a contaminar efectivamente o meio ambiente.

Processo de Encerramento: processo através do qual se desenvolvem estratégias de forma a minimizar os impactes associados ao processo produtivo de extracção já concluído.

Reabilitação: Metodologia pela qual se pressupõe uma recuperação das funções dos compartimentos ambientais e dos respectivos processos naturais. [25]

Reconversão: Metodologia pela qual se visa uma utilização do espaço afectado para outros usos distintos dos originais. [25]

Recuperação: inclui os processos de estabilização do terreno, garantia de segurança pública, a melhoria estética e a devolução do espaço para um propósito útil. Para isso utilizam-se os modelos de recuperação, tais como a restauração, reabilitação e a reconversão. [25]

Resíduos de Construção e Demolição: Resíduos resultantes de obras ou demolições de edifícios ou derrocadas, normalmente com percentagens elevadas de materiais, inertes, reutilizáveis e recicláveis. [27]

Resíduos Sólidos Urbanos ou RSU: Resíduos domésticos ou outros resíduos semelhantes, em razão da sua natureza ou composição, nomeadamente os provenientes do sector de serviços ou de estabelecimentos comerciais ou industriais e de unidades prestadoras de cuidados de saúde, desde que, em qualquer dos casos, a produção diária não exceda 1100 l por produtor. [37]

Restauração: Metodologia pela qual se devolve o estado original removendo a causa de degradação, ou seja, a restituição mais pura possível relativamente ao estado pré-existente. [25]

Solo: Recurso não renovável à escala de milhares de anos formado por produtos de decomposição química, física e biológica da crosta, distinto dos sedimentos e cuja componente biológica pode servir de suporte à vida vegetal. Para além disso, serve também de interface entre a litosfera, a atmosfera e a biosfera. [7]

Capítulo 1

Introdução

A qualidade dos solos tem sido uma temática pouco abordada na área do ambiente. Na União Europeia, não existem normas específicas neste sentido, contribuindo este factor para um maior desleixe e degradação dos solos sem perspectivas de avaliação do respectivo risco ambiental e respectivos planos de recuperação. Prova disto é o comentário escrito na Quarta Avaliação do Ambiente na Europa a propósito da qualidade dos solos:

“Desde a Conferência de Kiev, registaram-se alguns progressos tanto a nível da formulação de políticas como da disponibilidade de informação. Porém, ainda é demasiado cedo para assinalar qualquer melhoria acentuada na situação dos recursos do solo.

Dada a complexidade dos riscos actuais, especialmente das alterações climáticas, é necessário reformular os mecanismos destinados a melhorar a base de conhecimentos para apoiar as intervenções sobre os solos.

O intercâmbio de melhores práticas entre países e regiões com condições pedológicas semelhantes poderia contribuir para reduzir os custos das medidas de descontaminação adoptadas para eliminar diversas ameaças para o solo, fornecendo também uma importante base de cooperação.” [1]

Agência Europeia do Ambiente

Mas o que torna o solo um recurso cuja qualidade valha a pena proteger? A resposta prende-se com o facto de este ser a base de 90% de todos os alimentos para humanos e animais, fibras e combustível. Para além disso, suporta as aglomerações humanas, fornece matérias-primas e determina a qualidade das águas subterrâneas. Mas, devido à actividade antropogénica, há problemas emergentes relacionados com a perda da camada superior dos solos devido à erosão

ou actividades de construção, a contaminação e a acidificação, comprometendo desta forma a competitividade futura da Europa. [2] [5]

1.1 Âmbito

Este relatório insere-se no Projecto de Investigação do fim do curso do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O tema prende-se com a análise ambiental de uma pedreira que, na sequência do abandono da corta resultante da extracção de massa rochosa sem qualquer tratamento e recuperação, foi entretanto adoptada ao negócio da deposição descontrolada de resíduos de Construção & Demolição. Esta situação conduziu à contaminação de solos e de lençóis freáticos, prendendo-se o âmbito deste Projecto nestes dois compartimentos ambientais, dando-se especial atenção à problemática dos solos, uma vez que a fonte de poluição está aí contida. Assim, serão abordados de uma forma mais significativa os pontos focados nas **Ilustrações 1 e 2**.

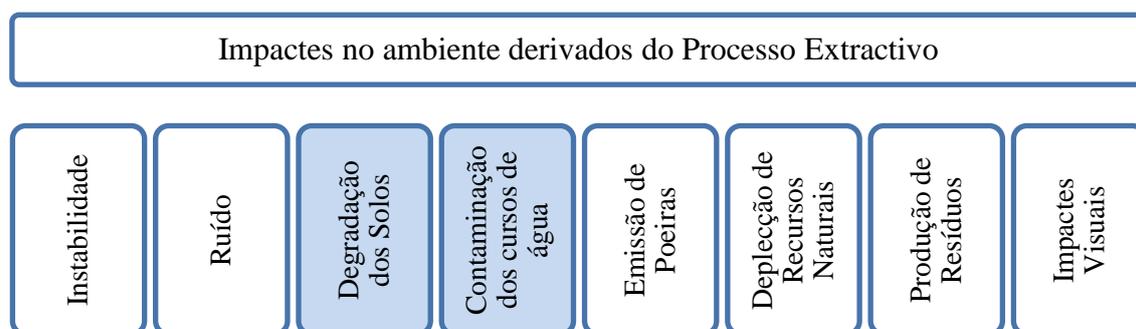


Ilustração 1: Esquema dos Impactes mais comuns derivados do Processo Extractivo.

Fonte: [3]

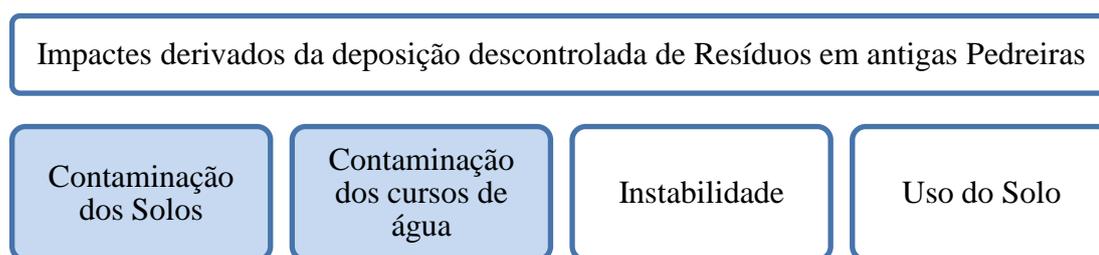


Ilustração 2: Esquema dos Impactes mais comuns derivados da consequente deposição de resíduos. Fonte: [3]

1.2 Objectivos

Os objectivos foram definidos inicialmente pelo orientador da FEUP, tendo sido ajustados posteriormente devido à alteração da situação da antiga pedreira. Assim, os objectivos deste Projecto passaram por:

- Caracterização ambiental de uma pedreira abandonada na Serra de Negrelos, em Vila Nova de Gaia, relativamente às suas escorrências, concentrações de poluentes na água, lixiviados e solo, dando-se especial importância a este último meio;
- Análise Estatística dos dados, dando-se mais uma vez especial importância aos dados do solo obtidos;
- Realização de uma Análise de Risco Probabilística; de notar que esta análise se focou somente nos aspectos físico-químicos, sendo que o risco associado à alteração visual e à perda de biodiversidade saem do âmbito deste Projecto.

1.3 Enquadramento Organizacional da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia

O Departamento onde o Projecto se enquadra nesta Entidade Pública é a Direcção Municipal de Qualidade de Vida tem a seu cargo as Divisões Municipais de Resíduos Sólidos e Higiene Pública e a Municipal de Ambiente, [4]

Dispondo de diversas competências a seu cargo, de acordo com o Regulamento N° 224/2008, só algumas vão de encontro aos objectivos do presente Projecto, sendo elas:

- Realização e promoção de acções de sensibilização da população para a necessidade de protecção do ambiente e zonas verdes;
- Procedimento de levantamentos de fontes poluidoras do Concelho e planificação, coordenação e controlo da execução das acções necessárias à extinção dessas fontes.

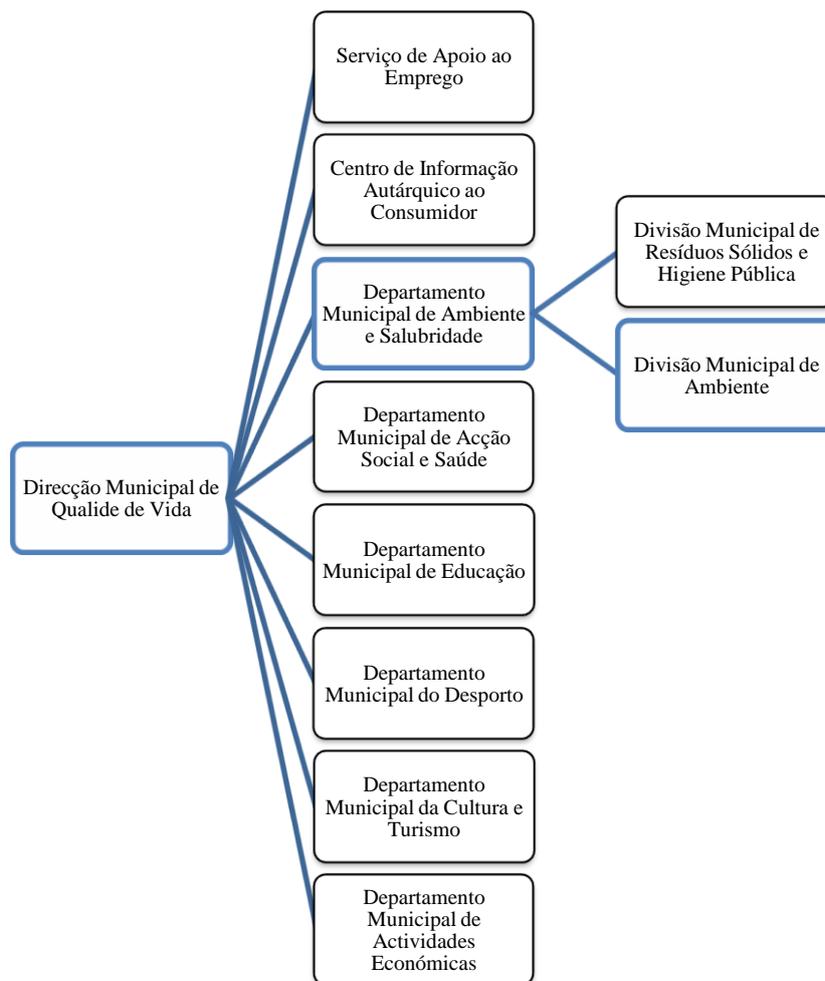


Ilustração 3: Pormenor do Organograma da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia.

Fonte: [4]

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Neste capítulo foram abordadas as bases que ajudaram a caracterizar e sustentaram posteriormente a interpretação dos resultados e das conclusões.

2.1 Enquadramento da extracção pedreira em Portugal

Os granitos podem-se inserir em duas categorias (ver **Ilustração 4**), consoante a sua dureza: os que possuem valores mais elevados desta grandeza situam-se nas Rochas Ornamentais, usados na produção de calçadas, revestimentos, esculturas, etc.

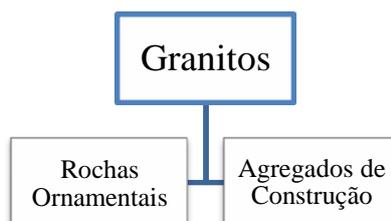


Ilustração 4: Esquema das várias categorias onde se podem inserir os granitos.

A extracção pedreira em Portugal teve sempre um papel bastante importante a nível nacional, promovida pela forte tradição portuguesa em utilizar a pedra para as mais variadas finalidades, tendo começado a decair por diversas razões (falta de mão-de-obra e matéria-prima) a partir dos anos 90. No entanto, como é possível verificar pela **Ilustração 5**, a produção de Rochas Ornamentais, com maior dureza e onde se inserem os granitos da antiga pedreira em estudo ainda se manteve relativamente constante ao longo da presente década.

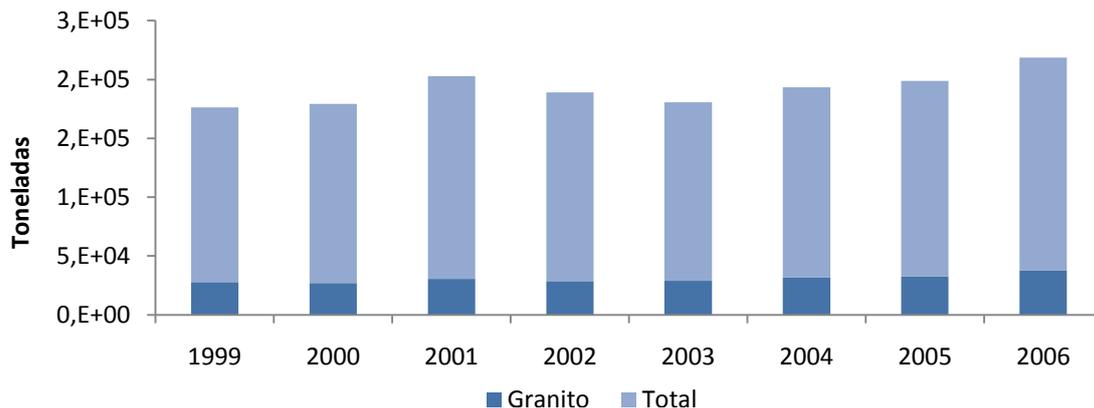


Ilustração 5: Gráfico da evolução da produção de granito e do total das rochas ornamentais em Portugal. Fonte: [8]

As Leis que regulam esta actividade são:

- Decreto-Lei 340/2007 ou D.L. da Indústria Extractiva;
- Decreto-Lei 270/2001 ou D.L. da Pesquisa e Exploração de Massas minerais-pedreiras.

Relativamente à sua utilização posterior refere-se:

- Decreto-Lei 46/2008 ou D.L. DA Gestão de Resíduos de Construção e Demolição.

No entanto não são aqui exploradas por saírem do âmbito deste relatório, tendo-se este focado mais na Legislação vigente relativamente à qualidade dos solos, explorada mais à frente.

2.2 Processo Extractivo em Vila Nova de Gaia

Uma pedreira é um local onde alguns tipos de massas mineiras, tais como rochas industriais destinadas às indústrias da construção civil e obras públicas são extraídas. Caracterizadas por serem, em geral, menos profundas que as minas, são no entanto exploradas a céu aberto, podendo por isso causar grandes impactes, como se já referiu. Isto porque o processo extractivo consiste em remover grandes blocos de rocha do local com ajuda a explosivos, sendo que posteriormente, consoante a dureza da pedra, se parte em blocos mais pequenos de forma a promover um melhor manuseamento e transporte.

No concelho de Vila Nova de Gaia, onde se insere o local de estudo, a evolução da exploração pedreira tem evoluído segundo as **Ilustrações 6 e 7**, tendo-se verificado uma queda acentuada de 2004 para 2005 relativamente à produção de rocha. Relativamente à freguesia de Canelas, os enceramentos iniciaram-se em meados da década de 90, acompanhando a tendência nacional.

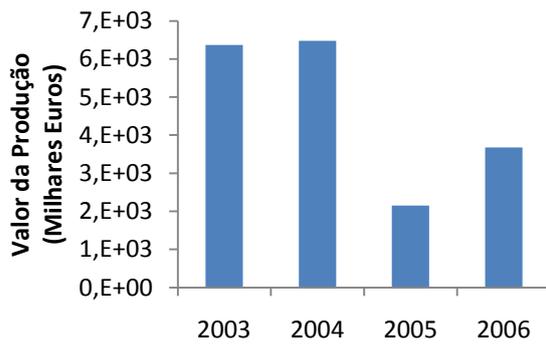


Ilustração 6: Gráfico da Evolução da Produção de Pedreiras em Vila Nova de Gaia em Mil Euros. Fonte: [8]

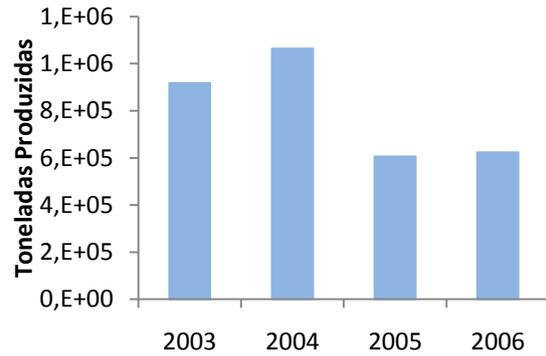


Ilustração 7: Gráfico da Evolução da Produção de Pedreiras em Vila Nova de Gaia em toneladas. Fonte: [8]

2.3 Características da Contaminação de Solos

A contaminação do solo pode ser definida como a perda da qualidade do mesmo devido a uma má utilização. Esta perda de qualidade tem como consequência a diminuição das funções normais do solo, como a reserva de nutrientes, o suporte de muitas formas de vida, ou mesmo a degradação de matéria orgânica. A contaminação poderá afectar algumas ou mesmo todas as fases do solo, fases essas expressas no esquema da **Ilustração 8**.

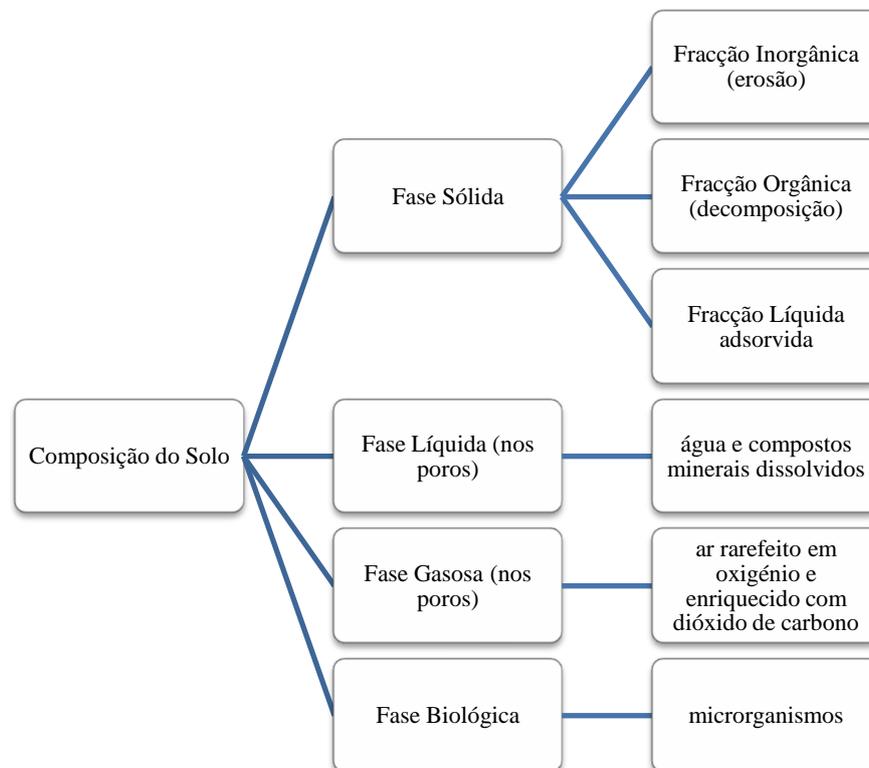


Ilustração 8: Esquema Ilustrativo da Composição do Solo. Fonte: [17].

2.3.1 Tipos de Degradação do solo

Os tipos de contaminação a que estas fases estão sujeitos apresentam-se no esquema da **Ilustração 9**, estando o tipo de degradação presente neste caso de estudo sobressaído no mesmo.

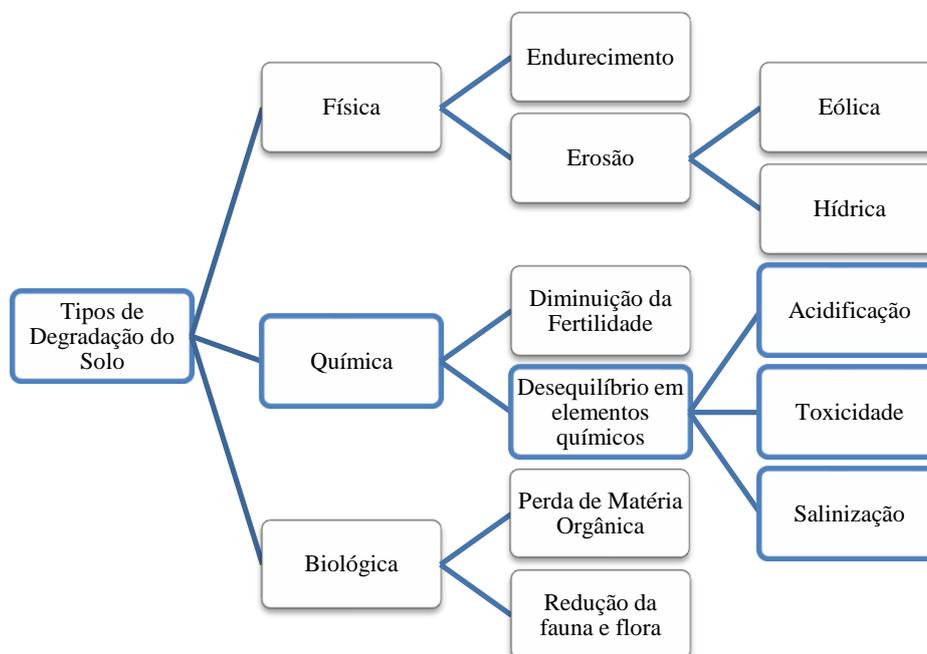


Ilustração 9: Esquema ilustrativo dos Tipos de Degradação do solo. Fonte: [17].

Como se pode observar pela **Ilustração 9**, a degradação química, em particular o desequilíbrio de elementos químicos, poderá desencadear fenómenos de acidificação, em particular se os solos contiverem quantidades significativas de sulfuretos (que desencadeiam reacções de oxidação com consequente libertação de H^+ [3]), toxicidade, no caso dos contaminantes se acumularem no solo em concentrações anormais, comparativamente aos valores típicos do local¹ [17] e salinização, caracterizada pela concentração progressiva de sais, provocada pela evapotranspiração intensa e que pode prejudicar o desenvolvimento de algumas plantas mais sensíveis, ou mesmo impedir o desenvolvimento de praticamente todas as espécies.

Assim, dada a natureza polifuncional e polielementar do solo, incluindo a de filtração de muitos elementos, é normal que este seja mais sensível à contaminação antropogénica, sendo neste momento o meio ambiental mais desprotegido na União Europeia, como se verá no ponto 2.5.

¹ Em muitas circunstâncias, pode acontecer que os valores das concentrações típicas de um local excedam a legislação. Nesses casos, não se considera que tenha havido contaminação: esta terá sempre que ser relativa.

2.3.2 Mecanismos de Transporte dos Contaminantes

Os contaminantes que se dissolvem na água (incluindo os metais pesados) são transportados pelo movimento desta, denominando-se este fenómeno por **advecção**. A um nível macroscópico, é o meio poroso que determina as direcções do escoamento, mudando o percurso inúmeras vezes de forma a contornar as partículas sólidas, levando a que no final os contaminantes se alastrem noutras direcções que não a principal do escoamento (**dispersão hidrodiâmica**). Ocorre, para além deste dois fenómenos, a difusão devido à existência de gradientes de concentração. Mas para além deste fenómeno e focando só os processos que afectam o transporte dos metais, há outros que influenciam de igual modo o destino destes no solo [18]:

- **Retardação:** processo através do qual se impede temporariamente o transporte dos contaminantes devido à sua remoção ou imobilização a partir de um estado livre (solução aquosa ou vapor), através de reacções de equilíbrio. Assim, os tipos de retardação que poderão acontecer são:
 - Sorção: é um fenómeno que se manifesta bastante em compostos orgânicos no solo, através da aderência deste às partículas constituintes do solo. A afinidade da ligação é de natureza física, electrostática e química, sendo por isso um pouco complexa. O tempo de sorção é variável e também poderá ser reversível, dependendo da concentração dos compostos em cada fase e de algumas propriedades como o tamanho da molécula, a sua carga, a sua estrutura e a hidrofobicidade;
 - Permuta iónica: um tipo de sorção que envolve a transferência iónica, especialmente de metais, cuja capacidade do solo para o reter a catiões metálicos é chamada capacidade de permuta catiónica. No entanto, a fracção argilosa tem mais importância neste processo, uma vez que as suas partículas possuem uma elevada área superficial com locais carregados negativamente, criando uma maior atracção aos catiões. Aqui, os catiões divalentes têm mais facilidade de adsorção do que os monovalentes, da mesma forma que os catiões com um raio iónico maior, são mais atraídos. Considerando que a capacidade de permuta catiónica é bastante dependente do pH, uma vez que é este que regula a libertação de H^+ do solo e conseqüentemente a disponibilidade deste a adsorver mais catiões, é importante a análise deste parâmetro se se quiser estimar a existência de fenómenos de retardação;
 - Precipitação: acontece quando a concentração deste metal em água excede a sua solubilidade e é uma característica, de uma forma geral, de todos os metais

pesados. Tal como a permuta iónica, este processo também depende do pH, sendo que a maioria destes precipita com valores elevados;

- Filtração: trata-se de um tipo de retardação física e resulta da obstrução do contaminante nos poros do meio. Pode também ocorrer devido à precipitação e à acumulação da matéria dissolvida.
- **Atenuação:** Contrariamente aos fenómenos de retardação, neste processo a massa do contaminante é reduzida. Tipos de atenuação existentes podem ser:
 - Reacções de Oxidação Inorgânica – Redução: este processo envolve a perda e ganho de electrões entre duas espécies, sendo que a espécie resultante poderá ter o seu comportamento alterado no que toca à solubilidade ou toxicidade. Exemplos de espécies com este comportamento são o Ferro, o Crómio e o Selénio;
 - Reacções de Oxidação Orgânica ou Biodegradação: degradação da matéria orgânica através do consumo desta por parte de microrganismos;
 - Hidrólise: trata-se de uma reacção de um composto com a água. Sendo mais típica em compostos inorgânicos do que orgânicos, esta reacção depende do pH do meio e da sua temperatura;
 - Volatilização: poderá ocorrer a partir de três fontes do subsolo: produto livre, água da zona de infiltração e água subterrânea. Não é muito significativa para metais pesados.
- **Incremento da mobilidade:** processo através do qual a mobilidade dos contaminantes aumenta no sub-solo. Podem ser caracterizados em:
 - Dissolução: Este processo pode ser observado pelos fenómenos de lixiviação: processo de extração de uma substância de um sólido através da sua dissolução num líquido;
 - Complexação: formação de uma ligação coordenada entre um catião metálico e um ligando. Esta ligação aumenta a mobilidade potencial do metal, uma vez que este produto é mais solúvel.

2.4 Enquadramento da Qualidade do Solo em Portugal

A prática da reabilitação ou da requalificação de áreas degradadas é uma actividade recente em Portugal, sendo que o primeiro grande trabalho de referência a nível nacional no que toca à descontaminação de um solo, deu-se no actual Parque das Nações. Tendo em vista na altura o alojamento do recinto da Expo 98, foram removidos cerca de 400 000 m³ de solos e sedimentos contaminados resultantes da actividade industrial até então e depositados posteriormente em “células confinadas” separadas pelo tipo de contaminação.

Actualmente, Portugal, assim como a Espanha, Grécia e Irlanda, são dos países a nível europeu com um dos maiores passivos no que toca à contaminação dos solos, sendo que se estima que o nosso país contenha cerca de 22 000 locais potencialmente contaminados [7]. Entre estes, uma boa parte estará contaminada devido a locais de extracção de inertes, onde se insere este caso de estudo.

2.5 Enquadramento Legislativo relativamente à Qualidade do Solo

2.5.1 Enquadramento Europeu

Como já foi referido, não existem directivas europeias a legislar o solo especificamente, nomeadamente no que toca à fixação de valores-limite. No entanto, tem havido alguns esforços nesse sentido, como por exemplo a proposta para a Lei-Quadro dos solos, derivada de esforços anteriores (esquema da **Ilustração 10**) que apesar de não se focarem especificamente neste tema, acabam por proteger indirectamente algumas componentes deste. [2]

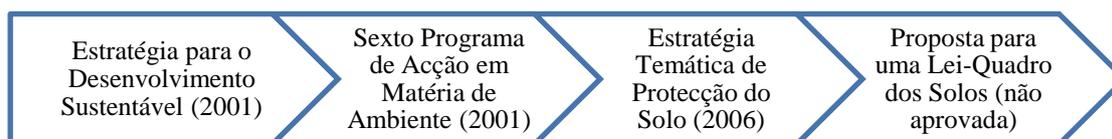


Ilustração 10: Enquadramento Legislativo actual da União Europeia no que toca às acções proteccionistas do solo.

Resumidamente, define-se cada um dos documentos:

- **Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável:** elaborada em 2001 pela Comissão Europeia, tem como objectivos a Promoção do Desenvolvimento Sustentável em toda a União Europeia enquanto referencia global das diversas políticas sectoriais ou mais conjunturais, não só porque devem ter uma visão de longo prazo, mas também porque devem corporizar visões globais de desenvolvimento, nas suas vertentes económica, social e ambiental e numa dimensão internacional. [9]
- **Sexto Programa de Acção em Matéria de Ambiente:** Elaborado em 2001, cobre o período decorrente entre 2002 e 2012 e tenta ultrapassar a abordagem ao ambiente estritamente legislativa e enveredar por uma abordagem estratégica, no qual se devem utilizar diversos instrumentos e medidas para influenciar a tomada de decisões nos círculos empresariais, políticos, dos consumidores e dos cidadãos, havendo uma tentativa clara para concretizar a Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável. Este Programa propõe então cinco eixos prioritários de acção estratégica: melhorar a aplicação da legislação em vigor, integrar o ambiente nas demais políticas, colaborar

com o mercado, implicar os cidadãos e modificar o seu comportamento e ter em conta o ambiente nas decisões relativas ao ordenamento e à gestão do território. Para cada um destes eixos, são propostas acções específicas, sendo que a protecção do solo está contemplada nas medidas referentes ao ordenamento do território e à protecção da biodiversidade. [2]

- **Estratégia Temática de Protecção do Solo:** Elaborada em 2006 e com renovação em 2010, resultou da concretização e especificação da estratégia elaborada no Sexto Programa de Acção em Matéria de Ambiente, impondo aos Estados-Membros algumas obrigações como:
 - Inventário dos Locais Contaminados no prazo de 5 anos;
 - Calendário Faseado para a Avaliação de Risco em cada um desses locais;
 - Elaboração de um Relatório do Estado do Solo sempre que haja transacção de terrenos potencialmente contaminados;
 - Remediação dos terrenos com base numa Estratégia Nacional.

Infelizmente, esta Estratégia ainda não foi transposta para a Legislação Nacional. [2]

- Proposta para uma Lei-Quadro dos Solos: Tendo surgido da necessidade de uma Directiva completamente pensada na protecção do solo, através do estabelecimento de princípios comuns para a protecção deste sistema ambiental em toda a União Europeia. Tendo sido apresentada uma proposta em 2006, não foi infelizmente aprovada. [2]

Apesar deste panorama europeu, alguns países da União adiantaram-se ao criarem a sua própria legislação, como é o caso, entre outros, da Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, França, Holanda, Reino Unido e Suécia. [7]

2.5.2 Enquadramento Nacional

Até à data, o solo não tem sido alvo de uma política de protecção específica a nível nacional. Existem somente algumas disposições dispersas sobre alguns aspectos da protecção do solo (ver esquema da **Ilustração 11**), pelo que diferentes políticas comunitárias podem contribuir para a preservação deste. Contudo, devido aos seus diferentes objectivos e âmbitos e ao facto de frequentemente terem como objectivo a salvaguarda de outros meios ambientais, as disposições em vigor, mesmo que plenamente aplicadas, resultam numa protecção fragmentada e incompleta dos solos, visto não abrangerem todas as tipologias e ameaças. [6]

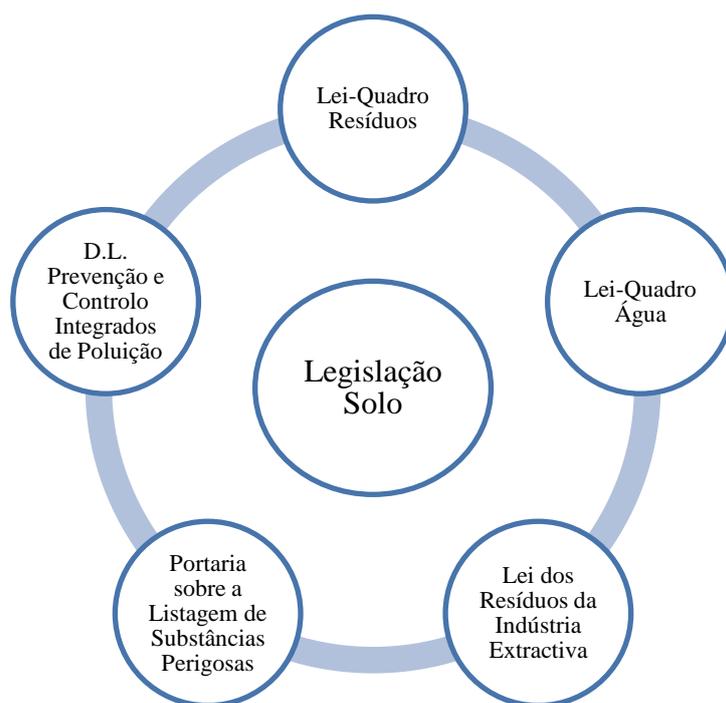


Ilustração 11: Enquadramento Legislativo nacional que proteja de alguma forma o solo.

Resumidamente, define-se cada um dos documentos:

- **Lei-Quadro dos Resíduos:** criada em 2006, contribui para a preservação dos recursos naturais, quer ao nível da Prevenção, quer através da Reciclagem e Valorização e aplica-se a operações de gestão de resíduos, compreendendo toda e qualquer operação de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, bem como às operações de descontaminação de solos e a monitorização dos locais de deposição após o encerramento das respectivas instalações;[19]
- **Lei-Quadro da Água:** Criada com o objectivo de proteger nomeadamente as águas subterrâneas, obriga à tomada de Medidas destinadas à prevenção e controlo integrados da poluição proveniente de certas actividades, incluindo o estabelecimento de medidas destinadas a evitar ou reduzir as emissões dessas actividades para o ar, a água ou o solo; [20]
- **Lei dos Resíduos da Indústria Extractiva:** Sendo bastante recente, é considerada a Lei mais indicada actualmente para a boa gestão do solo que suportam (ou suportaram) indústrias extractivas. Nela se prevê que sejam proibidas acções como: a) Destruição do solo vivo, do coberto vegetal e o derrube de árvores vivas sãs; b) A impermeabilização total do solo, devendo ser efectuadas acções que tirem partido da vegetação existente e do relevo e que maximizem a sua importância, nomeadamente em termos de vegetação; c) Execução de construções, com excepção de equipamentos de apoio a actividades desportivas ao ar livre, parques infantis, equipamentos de recreio,

lazer e pequena restauração ou café, a implantar nos espaços de lazer; d) Deposição de resíduos, nomeadamente entulhos; [21]

- **Portaria sobre a Listagem de Substâncias Perigosas:** Estabelece uma lista de substâncias perigosas cuja deposição em qualquer um dos meios ambientais é proibida sem os devidos cuidados; [23]
- **D.L. Prevenção e Controlo Integrados de Poluição:** criado em 2000, defende que não deverá haver nenhum meio ambiental (ar água, solo) a ser sacrificado com os contaminantes proveniente de certas actividades. Assim, este Decreto-Lei estabelece medidas destinadas a evitar ou, quando tal não for possível, a reduzir as emissões dessas actividades para o ar, a água ou o solo; [22]

Para além desta Legislação, existe ainda o Plano Operacional de Valorização do Território (PROT), inserido no âmbito do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), também transposto de um Regulamento Europeu mas cujo fim principal não é a protecção da qualidade do solo, apesar de conter no seu Eixo III o domínio de intervenção a “Recuperação do Passivo Ambiental”, cujos objectivos passam pela reabilitação de locais contaminados. [7]

2.6 Medidas e Tecnologias mais Utilizadas na Recuperação de Solos

O termo recuperação engloba todos os processos de estabilização do terreno, garantia de segurança pública, a melhoria estética e a devolução do espaço para um propósito útil. Para isso utilizam-se os modelos de recuperação, tais como a restauração, reabilitação e a reconversão (ver glossário). No entanto, antes de serem aplicadas estas medidas, existem algumas tecnologias de descontaminação de solos que poderão facilitar a sua recuperação posterior.

2.6.1 Tecnologias de Descontaminação de Solos

Algumas das medidas aqui mencionadas foram retiradas de documentos técnicos de estratégias de recuperação de solos, tendo sido extrapoladas para a situação estudada neste relatório. As medidas em questão foram baseadas nas MTD ou BAT em inglês, definidos segundo O *Environmental Protection Act* como “os métodos de produção e tratamento mais eficientes e desenvolvidos que sejam tecnologicamente e economicamente acessíveis, de tal forma que quando aplicados conseguem prevenir ou reduzir as actividades poluentes.” No entanto, é de se referir que não existem soluções práticas universais, daí a necessidade de haver uma abordagem para a selecção das medidas que tenha em conta as tipicidades do local. [3] [7]

Concretizando, existem actualmente poucas tecnologias capazes de tratar solos contaminados com metais pesados. No entanto é de se realçar as seguintes:

- **Electrocinética:** Consiste na colocação de eléctrodos no solo que irão gerar uma corrente eléctrica de baixa densidade, de tal forma que os contaminantes serão mobilizados numa forma iónica. Assim, os cations mover-se-ão para o ânodo, enquanto que os aniões irão ser deslocados para o cátodo através dos espaços vazios com maior condutividade. A sua eficiência poderá ser aumentada pela injeção de água de forma a aumentar a mobilidade dos contaminantes, uma vez que estes poderão continuar adsorvidos no solo. Como inconvenientes é de referir que, devido a este processo, ocorre uma acidificação temporária do local, não sendo possível determinar o tempo até se restabelecer um novo equilíbrio. Para além disso, esta tecnologia só pode ser aplicável quando os solos possuem baixa permeabilidade e condutividade homogénea;
- **Fito-Reabilitação:** conjunto de tecnologias que utilizam plantas para remover, conter ou transformar contaminantes. Estas podem ser utilizadas para promover a mineralização e a imobilização dos compostos tóxicos na zona das raízes, possuidoras de uma área superficial enorme, podendo estes vir a acumular-se posteriormente no caule e nas folhas. O princípio em que se fundamenta é simples e baseia-se no transporte activo da água e seus solutos para o interior das raízes, capazes de criar um gradiente de pressões até 15 bar. É considerada a melhor tecnologia para concentrações que estejam dispersas e em pequenas quantidades, mas os terrenos onde são aplicadas terão que suportar as culturas. Como desvantagens é de referir que é a tecnologia mais morosa devido ao crescimento das plantas e que só poderá ser aplicado em locais onde a contaminação seja superficial devido ao baixo alcance que as raízes conseguem ter e à recomendação de que estas terão de ser sempre mais profundas que a camada de solo contaminado para efeitos de eficiência do processo. Dentro desta tecnologia podem ser distinguidas três variantes, sendo elas:
 - Fito- Extracção: processo através do qual há a transferência de contaminantes do solo para os seus tecidos vegetais, que posteriormente são colhidos e tratados, através da queima. Para tal, são utilizadas plantas hiper-acumuladoras, ou seja, plantas, normalmente endémicas, capazes de acumular concentrações relativamente elevadas dos contaminantes absorvidos;
 - Fito-Estabilização: nesta tecnologia, o objectivo é limitar a mobilidade e disponibilidade biológica dos metais no solo, através de fenómenos de imobilização, sorção, precipitação, complexação ou redução, não sendo por isso considerada tanto uma tecnologia de reabilitação, mas sim de contenção. Tal como na fito-extracção, as plantas terão que ser igualmente capazes de tolerar elevadas concentrações de metais;

- Rizofiltração: consiste na utilização de plantas para absorver, concentrar e precipitar metais de efluentes, não sendo muito interessante para o caso em estudo.
- **Lavagem de Solos:** Tecnologia aplicável a solos escavados que utiliza separações físicas e químicas para remover os contaminantes. É utilizada normalmente como pré-tratamento para reduzir o volume do solo a tratar posteriormente ao mesmo tempo que permite a sua separação da fracção líquida, que é enviada para uma ETAR. Sendo normalmente as fracções de calibre inferior mais contaminadas, estas são então separadas das restantes fracções e tratadas posteriormente por incineração ou por estabilização/solidificação no caso dos metais;
- **Lavagem de Solos In-Situ:** Tecnologia que acelera a mobilização dos contaminantes, através dos mecanismos de transporte já referidos, do seu local de ocorrência para um local de recolha e posterior tratamento. Para isso, utiliza-se água ou uma solução aquosa (para ajudar a dissolver alguns contaminantes como o chumbo ou crómio) e o lixiviado resultante é recolhido com a ajuda de bombas colocadas a jusante. As desvantagens prendem-se com o facto de ser necessário que o solo tenha uma permeabilidade elevada para facilitar a lixiviação e o risco do aumento da contaminação do local se o projecto não for bem dimensionado. Para além disso, os investimentos nesta tecnologia podem ser elevados.

Os métodos mais comuns para a descontaminação de águas subterrâneas são:

- Bombagem até à superfície e transporte para uma ETAR, sendo posteriormente devolvida ao local ou então a outro meio hídrico próximo;
- Construção de barreiras permeáveis onde os contaminantes são aprisionados, adsorvidos ou induzidos a sofrerem reacções químicas cujos produtos sejam menos poluentes.

Qualquer que seja a metodologia adoptada, a técnica de remoção de metais pesados de uma água contaminada é a **adsorção**. Esta consiste na passagem de substâncias solúveis (neste caso metais pesados) numa interface química. Pode ser de natureza física, química ou de permuta iónica, mas a única aplicada para o tratamento de metais pesados é a de permuta iónica. Esta consiste indução da passagem de iões por um permutador iónico (normalmente uma resina orgânica sintética) que efectua uma troca iões que possuem a mesma carga que o seu radical. [46]

No caso em estudo, não foram tomadas muitas medidas ambientais durante a actividade extractiva, daí as tomadas futuramente serem principalmente importantes após o encerramento, de forma a minimizar os impactes que decorreram do processo extractivo e a rapidamente proporcionar uma nova utilização sustentável ao território, uma vez que este tende a ser

abandonado em nome de utilizações menos nobres. No entanto, para garantir o sucesso da implementação de qualquer uma destas medidas, é crucial que haja uma monitorização a longo prazo, de tal forma que se possa obter uma ideia da evolução da situação e eventualmente mudar a estratégia se os resultados não forem os esperados.

2.6.2 Medidas de Reversão/Reabilitação

Como já foi referido, dentro das medidas de recuperação existem três variantes [25]:

- **Restauração:** Metodologia pela qual se devolve o estado original, removendo a causa de degradação até se atingir a restituição mais pura possível relativamente ao estado pré-existente. Apesar de ser o objectivo primordial de uma intervenção de recuperação, pode por vezes ser inviável e inadequada. De facto, a reposição exacta da situação existente antes da implantação de uma unidade extractiva só se justifica se existirem meios de restabelecer a morfologia, a qualidade dos solos, bem como a qualidade do meio ambiente original, que muitas vezes se desconhece a maior parte das vezes não se justifica;
- **Reversão:** Metodologia pela qual se visa uma utilização do espaço afectado para outros usos distintos dos originais, não sendo obrigatória a revegetação autóctone do local. Normalmente, esta metodologia é limitada pela inexistência dos usos futuros para os espaços, muitas vezes devido à inexistência de expectativas concretas por parte dos promotores.
- **Reabilitação:** Metodologia pela qual se pressupõe uma recuperação das funções e processos naturais dentro do contexto da perturbação., ou seja, defende a criação de um ecossistema alternativo compatível com a envolvente, sendo que essa criação tem normalmente como objectivo a obtenção da comunidade clímax.

Dadas as limitações descritas das duas primeiras abordagens, a reabilitação é a metodologia esmagadoramente mais aplicada na recuperação de áreas. Para além disso, e economicamente mais viável e a que reúne mais consenso por parte das entidades licenciadoras.

A reabilitação é feita após a descontaminação do local e é importante na medida em que consegue fornecer novos usos do território (ver **Ilustração 12**) numa altura em que estes sofrem um incremento da sua valorização devido ao crescimento da população e às exigências resultantes do aumento da qualidade de vida. No entanto, é necessário que estas soluções não entrem em conflito com as Plantas de Condicionantes ou de Ordenamento do Território. Assim, as medidas consideradas aplicadas aos espaços afectados tem uma diversidade limitada apenas pela imaginação ou a tecnologia. [12] [25]

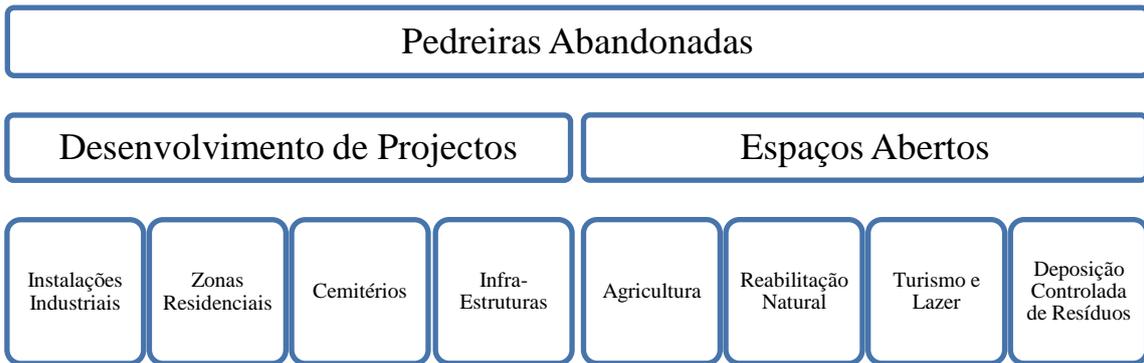


Ilustração 12: Designações que podem ser atribuídas a pedreiras abandonadas. Fonte: [11]

No entanto, a reabilitação tem que considerar obrigatoriamente as tipologias da zona: a remoção da fauna e da flora natural ou a criação de um uso cujo solo não consiga suportar pode levar ao aumento da erosão deste, à degradação dos ecossistemas adjacentes e a uma recaída da contaminação do solo e da água. Assim, o uso óptimo do local terá que ser definido em grande parte pelo enquadramento do local e pelas suas características mais específicas. [12]

Algumas técnicas utilizadas normalmente neste tipo de reabilitação são apresentadas abaixo.

Enchimento

O enchimento da corta é normalmente efectuado para possibilitar a reutilização do local para os fins mencionados, para além de garantir a estabilidade do terreno e evitar colapsos. Este enchimento pode ser efectuado com os resíduos da exploração pedreira (com menos impactes ambientais porque não é necessário haver transporte) e outros resíduos rochosos cujos testes de lixiviação sejam característicos de resíduos inertes segundo o Anexo III do Decreto-Lei 152/2002. [3]

Existem vários tipos de enchimento que podem ser considerados, referidos na **Ilustração 13**.

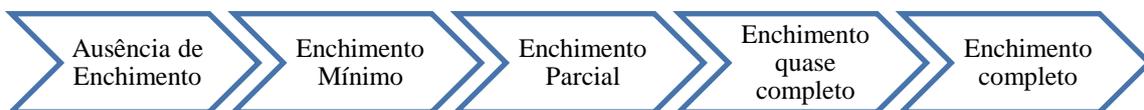


Ilustração 13: Vários tipos de enchimento que podem ser aplicados à corta. Fonte: [25].

Desenvolvimento de Projectos

Para a implementação de projectos, nomeadamente os referidos na **Ilustração 12**, basta haver a certeza de que a planta de condicionantes não o invalida, bem como a garantia que o enchimento foi bem efectuado, não havendo o perigo de instabilidade do terreno.

Espaços Abertos

No que toca à criação de espaços abertos, existem igualmente várias opções, como a reabilitação natural, que tem como vantagens o aumento da resistência à erosão do solo e o acréscimo do valor ecológico à zona, principalmente se esta for efectuada com espécies autóctones. Por outro lado, a conversão de antigas pedreiras em aterros bem planeados e controlados, poderá também ser uma solução promissora, não só porque não é necessária a deslocação de terras para depois se proceder ao enchimento, podendo-se utilizar a corta, mas também devido aos aterros já possuírem alguns impactes associados. Assim, ao se utilizar uma zona já com alguns impactes, pelo menos não irão ser afectados outros terrenos, talvez mais saudáveis, se o aterro fosse construído nesses locais. No entanto, esta solução poderá trazer alguns problemas morais no que toca à legitimidade da instalação de um aterro num local que necessita já por si de reabilitação e que posteriormente poderia trazer alguma mais-valia à população envolvente. Para além disso, a natureza do solo de antigas pedreiras pode não ser o mais indicado para a futura deposição de resíduos uma vez que normalmente apresenta algumas fracturas profundas, naturais da actividade extractiva, que podem ser complicadas de corrigir. Esta situação poderá ser particularmente gravosa se durante a extracção não houver medidas que garantam a protecção do ambiente e a segurança. [3] [11]

De qualquer das formas, o uso futuro final terá que resultar de um consenso entre os proprietários do terreno, partes interessadas e da população, de tal forma que se possa tornar num uso com benefícios sócio-económicos e ambientais, ajudando no desenvolvimento da região.

De notar que, apesar de se promoverem os aspectos ambientais, as medidas em questão também terão que considerar igualmente as perspectivas que o dono da pedreira terá para o seu terreno de forma a conseguir usufruir da posse do terreno, de uma forma sustentável.

Capítulo 3

Recolha e Análise Preliminar dos Dados

Nesta secção, procedeu-se à metodologia para a análise de risco e descontaminação da zona de estudo, sendo que para isso foi necessário inicialmente recolher informação relativa ao local de forma a que a selecção dos parâmetros fosse a mais adequada, bem como as respectivas metodologias. Seguidamente procede-se à análise dos resultados obtidos, havendo mais uma vez uma preferência pelos resultados das análises ao solo.

3.1 Caracterização da Zona de Estudo

3.1.1 Histórico do Local

A Serra de Negrelos já foi bastante conhecida pelas suas pedreiras: de facto, esta Serra já alojou cerca de 26 pedreiras, tendo o local de estudo entrado em laboração há cerca de 60 anos atrás numa área de extracção de 12 000 m². Actualmente, muito poucas ou nenhuma se encontram em actividade, não sendo o sítio excepção e tendo encerrado em 2001 por falta de mão-de-obra. Posto isto, foi comum durante algum tempo a Serra cair em esquecimento e em consequente degradação devido à deposição descontrolada de resíduos de Construção e Demolição por parte dos proprietários e de resíduos diversos, nomeadamente RSU, por parte de anónimos.

Uma ideia da rápida evolução deste local pode ser obtida através da observação das **Ilustrações 14 a 17**.



Ilustração 14: Imagem de 7 de Setembro de 2003. Fonte: Google earth®.



Ilustração 16: Imagem de 16 de Maio de 2004. Fonte: Google earth®.



Ilustração 15: Imagem de 30 de Outubro de 2006. Fonte: Google earth®.



Ilustração 17: Imagem de 26 de Junho de 2007. Fonte: Google earth®.

Na antiga pedreira em questão, foi referido que a rocha resultante tinha como característica uma elevada dureza, levando a enormes esforços manuais na altura para partir os blocos grandes em porções mais trabalháveis, para depois serem comercializados. Assim, relativamente à temática da contaminação do local, não existem impactes muito significativos no que toca ao processo extractivo em si, exceptuando alguns resíduos deixados depois das explosões e do ruído e

poeiras provocados, sendo que estes dois últimos desaparecem aquando a cessação do processo extractivo. Excluindo alguns raros casos em que a qualidade das águas superficiais e subterrâneas foi afectada, normalmente este parâmetro só fica comprometido devido a factores exteriores ao processo, o que é o caso. Ou seja, os eventuais poluentes encontrados nesta área de estudo terão muito mais probabilidade de terem sido provocados pela deposição descontrolada de resíduos do que pela actividade extractiva. De notar, mais uma vez, que esta análise se foca mais particularmente no grau de contaminação local, importante para a análise de risco do local, e não tanto nos impactes visuais e os relacionados com a biodiversidade do local.

Actualmente, a Serra está a ser alvo de uma reabilitação nos locais das antigas pedreiras, de acordo com o Plano Ambiental de Recuperação Paisagística (PARP), facto que vai de encontro ao estatuto de “Pulmão do Concelho” por ser ainda uma das mais extensas zonas verdes de Vila Nova de Gaia. O aspecto actual da zona de estudo pode ser observado nas **Ilustrações 18 a 21**.



Ilustração 18: Imagem Satélite a Este da zona de estudo . Fonte: Microsoft Live Maps®.



Ilustração 19: Imagem Satélite a Norte da Zona de Estudo. Fonte: Microsoft Live Maps®.



Ilustração 20: Imagem Satélite a Oeste da Zona de Estudo. Fonte: Microsoft Live Maps®.



Ilustração 21: Imagem Satélite a Sul da Zona de Estudo. Fonte: Microsoft Live Maps®.

Pela observação presencial do local, é facilmente perceptível que a maior parte do solo superficial depositado aí apresenta características **arenosas**, salvo algumas excepções em cotas mais baixas com características mais **argilosas** devido a fenómenos de arrastamento.

3.1.2 Temperatura, Precipitação e Clima

Tendo em consideração que as análises terão que ser efectuadas sob as mesmas condições atmosféricas que assaltam o local, dado que essas alterações poderão potenciar a lixiviação dos contaminantes no meio ambiente [3], foi necessária a recolha de dados relativamente às médias da temperatura e de precipitação ao longo dos anos. Assim, com base nos dados da temperatura desde o ano de 1970 até 2007 e da pluviosidade desde o ano de 1990 até 2006, cedidos gentilmente pelo Observatório Meteorológico da Serra do Pilar e Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Os resultados encontram-se expostos nos gráficos das **Ilustrações 22 e 23**. Os dados base para a Temperatura, Pluviosidade e Evaporação Potencial encontram-se nas tabelas do **Anexo C**.

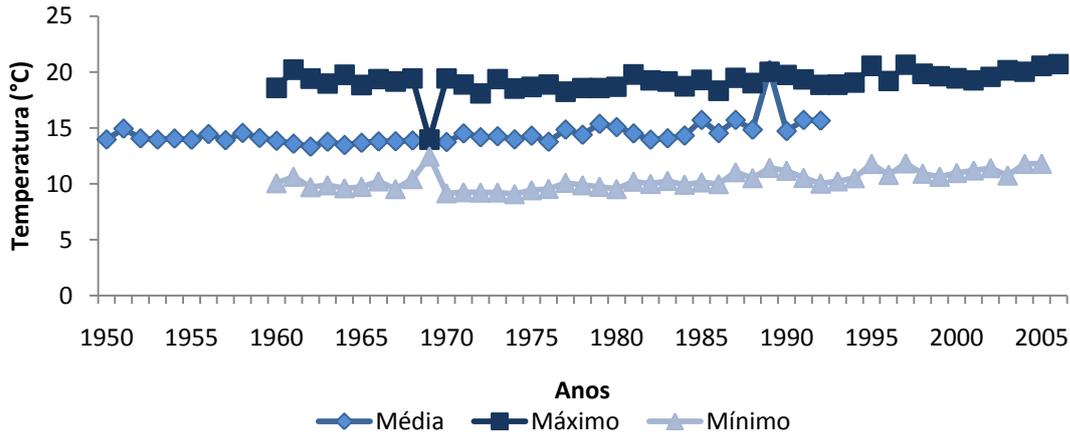


Ilustração 22: Gráfico da Evolução da Temperatura média do ar em Vila Nova de Gaia.
Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

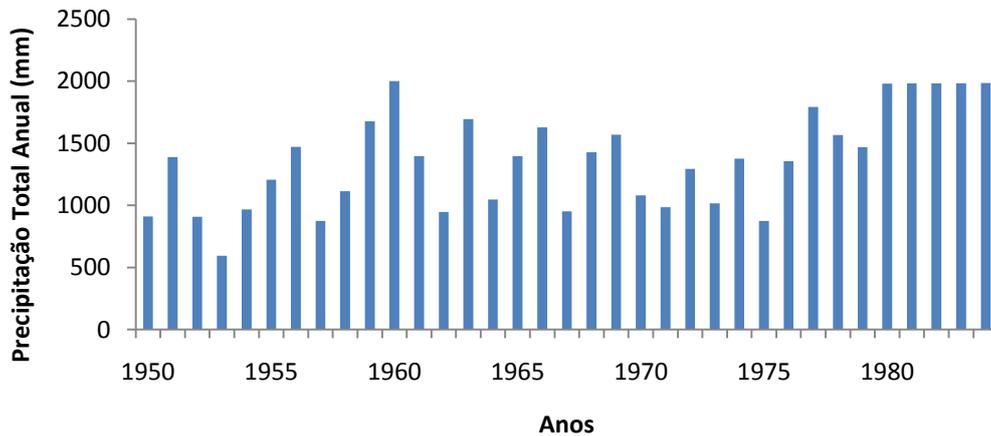


Ilustração 23: Gráfico da Evolução da Precipitação Total Anual em Vila Nova de Gaia.
Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar e Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Relativamente à classificação hidrológica do local, foram encontrados valores de percentis que se associam a uma classificação hidrológica com base na pluviosidade, encontrando-se esses valores na **Tabela 1**.

Tabela 1: Classificação dos Anos Hidrológicos. Fonte: [38]

Classificação	Percentil
Muito Seco	5%
Seco	20%
Médio	50%
Húmido	80%
Muito Húmido	95%

Através do cálculo dos percentis dos valores da pluviosidade, foi assim possível classificar hidrológicamente cada ano com informação disponível, estando presente o resultado no gráfico da **Ilustração 24**.

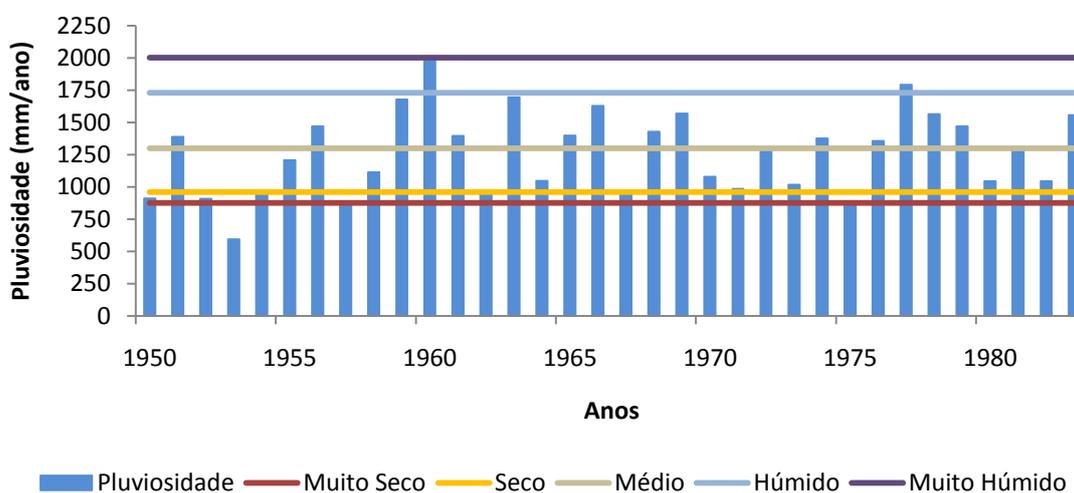


Ilustração 24: Gráfico da evolução da pluviosidade com a caracterização hidrológica.

Como se pode observar, na maioria dos anos a classificação foi de **médio** ou de **húmido**, não tendo havido muita tendência para valores extremos.

Relativamente ao clima, foi possível obter uma classificação a partir do Mapa da Classificação Climática de Köppen [15], pertencendo então a zona de estudo à categoria **Csb**:

- **C**: Clima temperado ou Clima temperado quente: Climas mesotérmicos, com a temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C e a temperatura média do mês mais quente $> 10^{\circ}\text{C}$; com estações e Inverno bem definidas;
- **s**: Com chuvas de Inverno;
- **b**: esta letra utiliza-se para distinguir climas com diferentes variações de temperatura do ar: neste caso caracteriza os climas com a temperatura média do ar no mês mais quente $< 22^{\circ}\text{C}$ e as temperaturas médias do ar nos 4 meses mais quentes $> 10^{\circ}\text{C}$.

3.1.3 Altimetria, Ordenamento e Condicionantes

As plantas da altimetria, bem como os planos de Ordenamento do Território e a Planta de Condicionantes podem ser observados nas Ilustrações do **Anexo A**.

Relativamente à planta da altimetria, apesar de ser recente, apresenta já algumas discrepâncias relativamente à situação actual e mesmo à ortofoto que a sobrepõe, uma vez que as cotas mais baixas na ortofoto (a zona da laguna) não corresponde às cotas mais baixa do mapa da altimetria, possivelmente devido às constantes alterações que o local tem sofrido em curtos intervalos de tempo.

3.1.4 Escorrências

As escorrências são um parâmetro importante a calcular na medida em que permitem concluir o volume de água contaminada que chega à laguna.

Para o seu cálculo, efectuou-se um balanço hídrico à zona de estudo. Para tal, foi necessário numa primeira fase, a delimitação da bacia hidrográfica da zona de estudo, utilizando-se para isso as curvas da altimetria fornecidas pela Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia. O resultado pode ser observado na **Ilustração 25** e em maior pormenor no **Anexo B**.

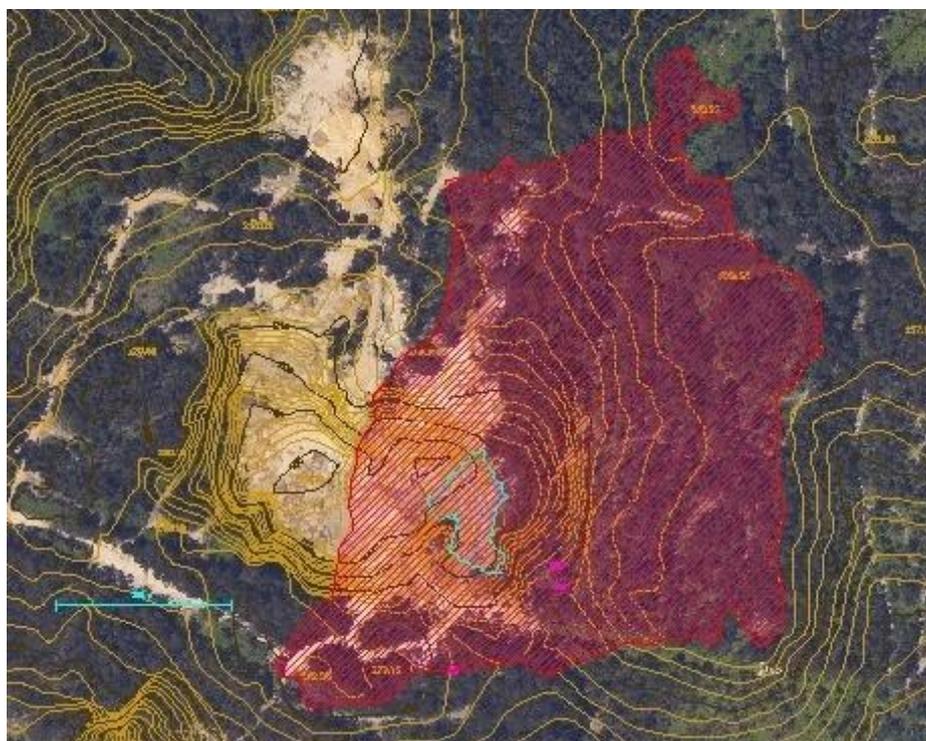


Ilustração 25: Área da Bacia Hidrográfica.

De notar que, como a planta da altimetria se encontrava desactualizada relativamente à ortofoto, foi necessário traçar um esboço da real bacia hidrográfica, tendo sido os novos limites

desenhados a partir de observações no local. A zona afectada por esta modificação encontra-se representada a tracejado azul na mesma ilustração.

Tendo recorrido simultaneamente aos valores da precipitação e evaporação fornecidos pelo Observatório Meteorológico da Serra do Pilar e Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, o balanço traduziu-se nos esquemas da **Ilustração 26 e 27** e nas **Equações 1, 2 e 3**.

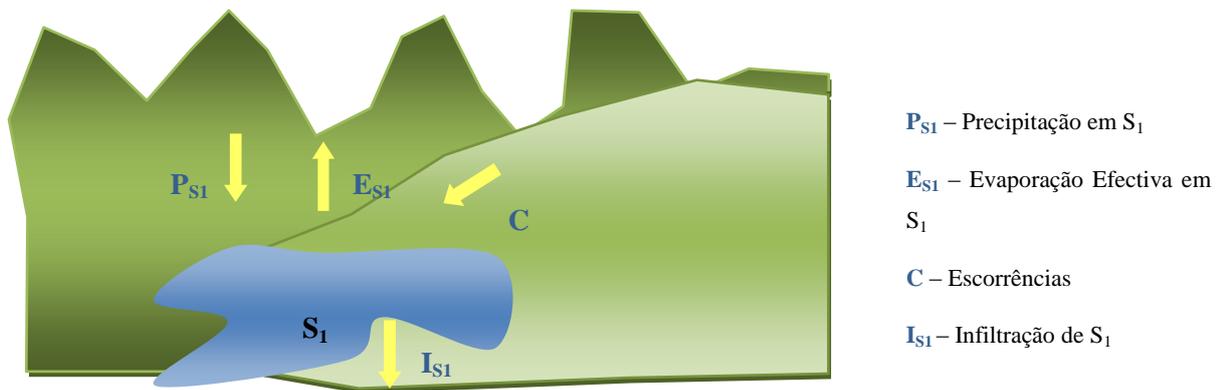


Ilustração 26: Esquema representativo do balanço hídrico na Laguna.

$$\Delta V_{S1} = P_{S1} - E_{S1} + C - I_{S1} \quad (1)$$

Sendo que a infiltração na laguna é considerada desprezável, uma vez que há acumulação de sedimentos constituídos por partículas de fina granulometria no fundo da laguna, levando à criação de uma camada impermeável.

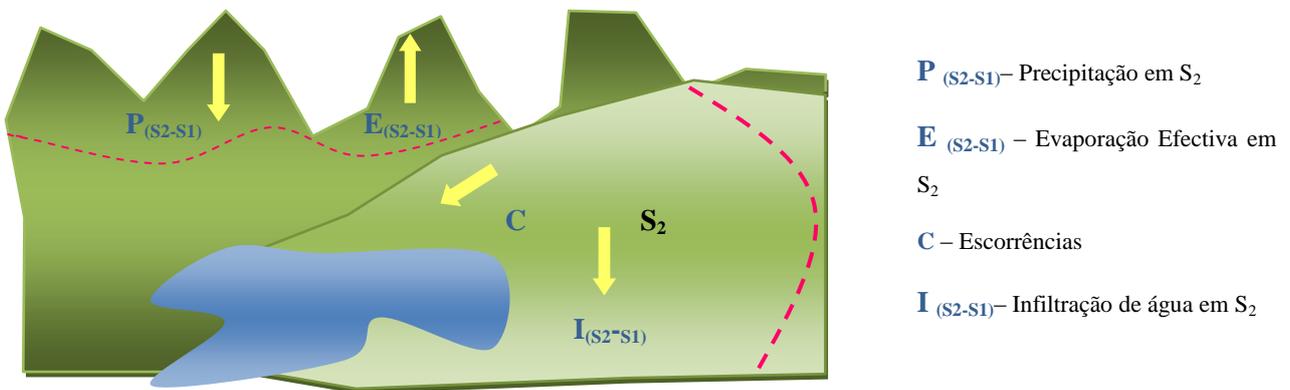


Ilustração 27: Esquema representativo do balanço hídrico na Bacia Hidrográfica.

$$\Delta V_{(S2-S1)} = P_{(S2-S1)} - E_{(S2-S1)} + C - I_{(S2-S1)} \quad (2)$$

Obtendo-se com este balanço duas incógnitas: ΔV , e C . Com isto, é possível definir duas hipóteses de forma a calcular estas duas incógnitas:

- $\Delta V = 0$: Será possível considerar se se partir do princípio que o ano hidrológico foi médio, logo, que a laguna apresenta um estado estacionário: através da observação da

Ilustração 23 é possível verificar que este pressuposto não será muito descabido, uma vez que a maioria dos anos ou foram médios ou foram húmidos.

- $C = 0$: Não será uma hipótese muito realista de se fazer, uma vez que é bastante provável que os contaminantes da laguna tenham sido lixiviados, não tendo sido a sua proveniência somente por contaminação directa.

Assim, optou-se por calcular as escorrências recorrendo à primeira estratégia. Desta consideração resulta que:

$$\Delta V_{s1} = 0 \text{ e } \Delta V_{(s2-s1)} = 0 \rightarrow C = P_{(s2-s1)} - E_{(s2-s1)} - I_{(s2-s1)} \quad (3)$$

Sendo desta forma possível calcular as escorrências.

De notar que no cálculo das escorrências foram só seleccionados os valores da precipitação correspondentes aos anos médios e húmidos de forma a minimizar o erro da estimativa. Os anos húmidos foram também incluídos porque não havia dados suficientes de anos médios (que garantem que $\Delta V = 0$) de forma a transmitir mais segurança ao resultado.

Para a infiltração, usou-se um valor encontrado na Literatura [18] para solos arenosos (predominantes na zona de estudo), sendo este valor médio de **0,3** mm/dia. O valor ajustado à área de estudo encontra-se na **Tabela 3**.

O método achado para calcular os parâmetros da evaporação efectiva foi o de **Thornthwaite e Mather**, com uma porosidade do solo de **0,35**, encontrando-se a sua explicação no **Anexo D**, sendo que as tabelas de apoio para a obtenção dos valores finais se encontram no Anexo seguinte, **Anexo E**.

Os resultados finais encontram-se expostos nas **Tabelas 2 e 3**.

Tabela 2: Valores Finais Médios do Balanço Hídrico em S1 em m³/dia.

P_{s1}	5,93
E_{s1}	0,61
C	177,44

Tabela 3: Valores Finais Médios do Balanço Hídrico em S2-S1, em m³/dia.

P_{s2-s1}	223,25
E_{s2-s1}	22,81
I_{s2-s1}	19,37

3.2 Selecção dos Parâmetros a Analisar

3.2.1 Solo

De acordo com a caracterização da zona de estudo, está patente que a contaminação que o solo sofreu foi essencialmente com substâncias inorgânicas, daí que os parâmetros seleccionados para a análise deste tenham sido restringidos somente aos metais pesados.

Relativamente aos resíduos de Construção & Demolição aí depositados, foram efectuados alguns testes de lixiviação segundo [29] de forma a avaliar o grau de inertização destes, através da comparação com os parâmetros presentes em [30]. De referir que esta avaliação é muito importante na medida que permite concluir se a deposição deste tipo de resíduos poderá ser feita sem medidas de contenção ou se por outro lado terão que seguir alguns critérios presentes no mesmo Decreto-Lei.

Devido ao curto tempo disponível para a realização do Projecto, as análises foram feitas tendo em conta a comparação espacial à superfície, sendo que uma comparação temporal seria bastante morosa. Tendo tentado recolher o máximo de informação possível e com vista de uma análise representativa, foi realizado um esforço para amostrar o solo em parâmetros que variassem em: [10]

- Tipo de solo;
- Crescimento de plantas;
- Erosão;
- Declive;
- Humidade.

Assim, privilegiaram-se os locais com um tipo de solo mais fino, do tipo argiloso, e com sinais de escorrências (que estão associados a cotas mais baixas), uma vez que é neste tipo de solos que tende a haver uma maior mistura e acumulação dos poluentes, devido à sua elevada área superficial com locais carregados negativamente, como já foi explicado no ponto 2.3. [17] [18]. Desta forma, a malha foi decidida no local de maneira a que fosse possível facilitar a selecção dos pontos do terreno com as características acima referidas, tendo-se criado então uma malha irregular.

Dado que a maior parte do local de estudo já se encontrava aterrado, tendo sido esse processo feito durante o ano de 2008, as análises concentraram-se numa zona contígua a esta zona, a uma cota mais baixa, que só tinha sido aterrado com uma camada entre 2005 e 2006 e onde se encontravam a maioria das escorrências e poucos resíduos típicos do local. Sendo esta zona um corredor entre dois locais a cotas mais elevadas, confinado uma área relativamente pequena, achou-se suficiente a realização de uma média de **30** amostras, tendo-se centrado essencialmente na zona onde se sabe que houve deposição de RSU. Os locais das amostras encontram-se expostos na **Ilustração 28**.



Ilustração 28: Local de recolha de amostras de solo.

3.2.2 Água

No que toca aos parâmetros da água da laguna, foram seleccionados alguns parâmetros de medição rápida mas indicativos da contaminação desta. A sua descrição pode ser consultada na **Tabela 5**.

Estas análises são cruciais na medida em que serão os dados base para posteriormente se concluir quais os usos mais adequados para a zona de estudo. [3]

3.2.3 Lixiviados

Os lixiviados são o líquido produzido resultante da percolação da água por um qualquer sólido permeável. Este líquido pode transportar tanto matéria em suspensão como diluída, produto do contacto com os elementos solúveis presentes no sólido.

Os lixiviados produzidos, bem como a sua concentração em contaminantes são um parâmetro muito importante na caracterização dos resíduos, uma vez que é através deles que os contaminantes presentes nestes ganham mobilidade e contaminam as áreas vizinhas. [34]

Assim, foram analisados alguns parâmetros dos eluatos, tendo sido seleccionados os principais que indicassem algum tipo de poluição. De notar que este tipo de ensaios foi considerado algo importante dado que foi o único indicador (embora bastante incompleto uma vez que só indica os contaminantes

solúveis em água) do estado ambiental do subsolo. Estes encontram-se descritos igualmente na **Tabela 4**.

Tabela 4: Descrição dos parâmetros analisados na água e nos lixiviados.

Parâmetro	Descrição	Analisado na Água	Analisado nos Lixiviados
Oxigénio Dissolvido (ppm)	é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais. Como tal, é uma medida bastante importante, uma vez que deste metabolismo dependem outras formas de vida aquática.	x	x
Condutividade (μ S)	é uma medida da capacidade da solução para conduzir a corrente eléctrica, sendo tão mais elevada quanto mais alta for a concentração de iões presente. Só detecta os inorgânicos dissolvidos, uma vez que os colóides não possuem muita condutividade.	x	x
Sólidos Dissolvidos Totais (ppm)	é a soma dos aniões, catiões e sílica dissolvidos na água. Não passam através de um filtro de 0,45 μ m, mas que ficam depositadas como resíduo quando a água se evapora.	x	x
pH	define o logaritmo da concentração de iões H ⁺ em solução, responsáveis pelo grau de acidez desta.	x	x
Potencial de Oxidação	tendência de uma espécie química para adquirir electrões (electronegatividade) e, desse modo, ser reduzido. É medido em Volts e comparado com a electronegatividade do hidrogénio, que por convenção se estabeleceu que era zero.	x	x
CBO ₅	quantidade de oxigénio dissolvido, OD, habitualmente expresso com as unidades em mg/L, que é consumido durante a oxidação biológica aeróbia da matéria orgânica e/ou inorgânica, contida na amostra, ao fim de 5 dias. Importante na medida que traduz indirectamente a quantidade de matéria orgânica presente na água.	x	
Salinidade (%)	é a medida da quantidade de sais existentes na água, expressa em percentagem, podendo esta salinidade ser provocada por diversos compostos químicos.		x

3.3 Metodologias de Recolha e de Análise

Consoante o meio a analisar, foram utilizadas metodologias distintas, explicadas abaixo.

3.3.1 Solo

Para se analisar a concentração de metais pesados foi utilizado um aparelho de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X da **Innov X Systems** portátil (ver **Ilustração 29**), cuja função é a identificação elementos numa substância, ao mesmo tempo que analisa a sua concentração. O princípio de funcionamento deste aparelho está relacionado com o comprimento de onda único característico que cada elemento possui quando é sujeito a uma certa quantidade de energia ionizante libertada pela fonte de raios-X presente neste aparelho. Este fenómeno é chamado de fluorescência (devido à libertação de energia por parte do electrão quando volta para a orbital original), detectada pelo espectrómetro e registada por um processador integrado no aparelho. Para obter a concentração, o aparelho conta o número de comprimentos de onda iguais, que é proporcional à concentração do elemento correspondente. Estes dados são guardados no PDA incorporado no aparelho de Espectrometria, que podem depois serem facilmente descarregados para um computador.



Ilustração 29: Aparelho de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X da Innov X Systems.

De notar que os pontos de amostragem foram georeferenciados com o GPS **Garmin eTrex Vista®** (ver **Anexo F** para o princípio do método de funcionamento destes aparelhos) e registados com fotografias do local, encontrando-se as mesmas presentes no **Anexo G**.

3.3.2 Água

A recolha das amostras de água foi feita com recurso a meios pouco comuns devido à inacessibilidade da laguna (encontra-se cerca de 20 m abaixo dos locais aterrados, sendo a inclinação do talude bastante significativa) e à própria instabilidade destes taludes, traduzido por fendas no solo bastante pronunciadas que tornavam a aproximação à laguna um tanto ou quanto perigosa.

Assim, recorreu-se ao instrumento observado nas **Ilustrações 30, 31 e 32**, suficientemente pesado para se afundar, preso a uma corda comprida para poder ser puxado e com uma abertura de saída de água pequena de tal forma que conseguisse reter a água durante o percurso sinuoso da subida. O volume de água recolhido foi cerca de **30 cl**.



Ilustração 30: Recipiente usado para a recolha da amostra de água, com a corda.



Ilustração 31: Pormenor do recipiente.



Ilustração 32: Vista de cima, com a pequena abertura.

Relativamente à metodologia de análise da água, recorreram-se aos aparelhos de medição disponibilizados pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, expostos nas **Ilustrações 33, 34 e 35**, a maioria baseado no princípio da electrometria para a análise destes parâmetros.



Ilustração 33: Aparelho de medição do pH, salinidade, SDT e condutividade Hanna Instruments: HI 255 Combined Meter.



Ilustração 34: Aparelho de medição da concentração de oxigénio na água, em mg/l, percentagem de saturação e pressão parcial Hanna Instruments: HI 2400.

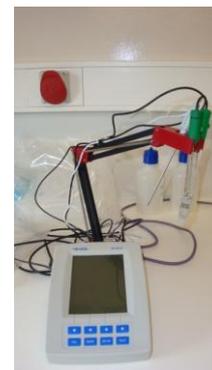


Ilustração 35: Aparelho de medição do Potencial REDOX Hanna Instruments HI 4212.

3.3.3 Lixiviados

Os testes de lixiviação são um poderoso instrumento de caracterização de materiais, constituindo numa simulação de situações reais que ocorrem na natureza, como por exemplo a precipitação, de forma a que se consiga caracterizar o comportamento de alguns agentes químicos que se dissolvem na água. De referir que o tempo durante o qual o resíduo está sujeito à acção lixivante nos parâmetros finais medidos, pois maior será o tempo de reacção química entre o lixiviado e o resíduo. [34]

Assim, procedeu-se igualmente à recolha de **5** amostras de solo a cotas baixas e com sinais de escorrências na proximidade de forma a se realizarem posteriormente ensaios de lixiviação e de potencial de geração líquida de ácido, tendo-se utilizado também para a medições dos parâmetros os aparelhos expostos nas **Ilustrações 33, 34 e 35**. De notar que o primeiro protocolo foi seguido segundo a sugestão do D. L. 152/2002 para a análise de eluatos resultantes da deposição de resíduos. Os protocolos destes ensaios podem ser consultados no **Anexo H**.

3.4 Resultados

Os resultados das análises realizadas encontram-se expostos e comentados nos subcapítulos seguintes.

3.4.1 Solo

Os resultados detectados pelo instrumento encontram-se expostos no **Anexo I**, sendo que os gráficos relativos à sua representação se encontram nas **Ilustrações 36 e 37**. De notar que para representar estes gráficos, optou-se por calcular a percentagem de concentração presente relativamente ao valor-limite imposto na Legislação Holandesa, reconhecida como sendo bastante ponderada e de referência devido à escassez de Legislação Comunitária nesta matéria. Os valores igualmente presentes nas medições e nesta Legislação podem ser observados na **Tabela 5**.

De qualquer das formas, uma interpretação estatística mais profunda será feita no capítulo seguinte, devido aos fundamentos teóricos extensos em que se baseia e da importância da informação que poderá estar contida neles.

Tabela 5: Valores-Limite presentes na Legislação Holandesa. Fonte: [33]

	Valor de Intervenção Ambiental Obrigatória em solo seco ² (ppm)	Valor Indicativo de Contaminação Grave (ppm)
Ca	-	-
K	-	-
S	-	-
Ti	-	-
Ba	625	-
Cr	380	-
Mn	-	-
Fe	-	-
Co	240	-
Cu	190	-
Zn	720	-
As	55	--
Pb	530	-
Rb	-	-
Sr	-	-
Zr	-	-
Mo	200	-
Sn	-	900
Sb	15	-

² Segundo esta Legislação, basta haver um valor que ultrapasse o Valor de Intervenção Ambiental Obrigatória para que seja imperativa uma requalificação ambiental. No entanto, no âmbito deste relatório, estes valores-limite só são usados para efeitos comparativos com os valores medidos, deixando ao critério das Entidades Competentes a sua aplicação em Portugal ou não.

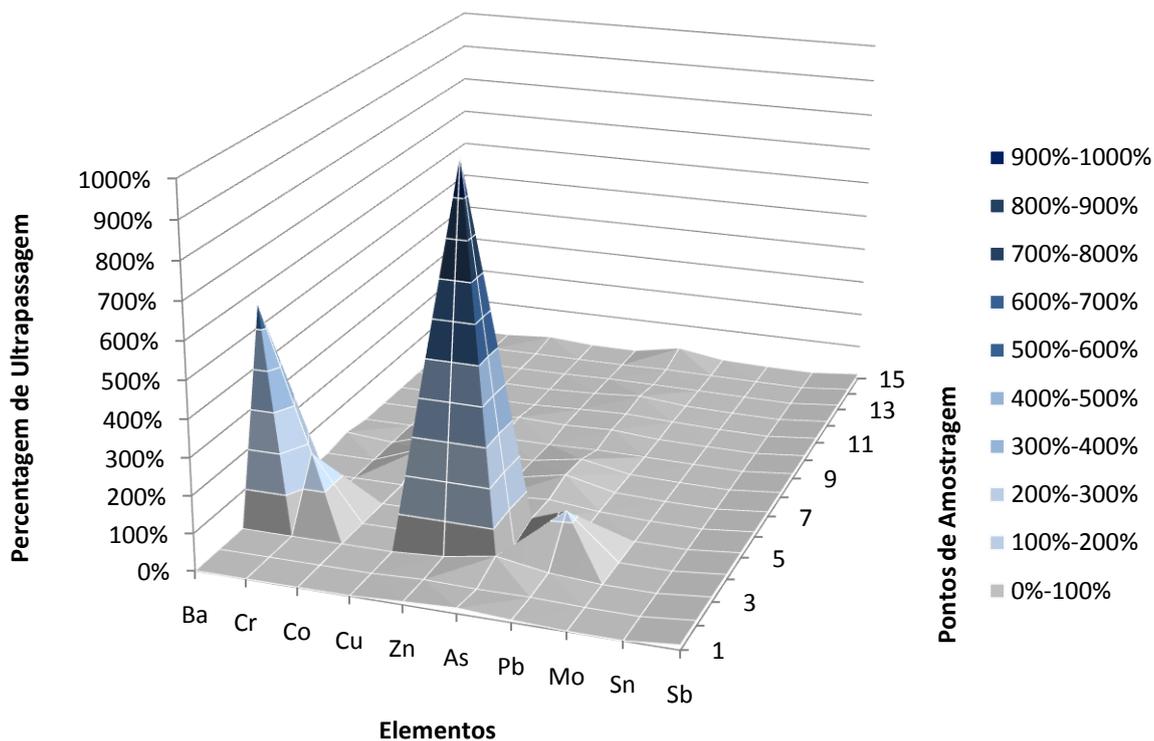


Ilustração 36: Representação das Concentrações relativas e percentagem de ultrapassagem dos valores-limite holandeses dos vários elementos nos pontos de amostragem de 1 a 15, em ppm.

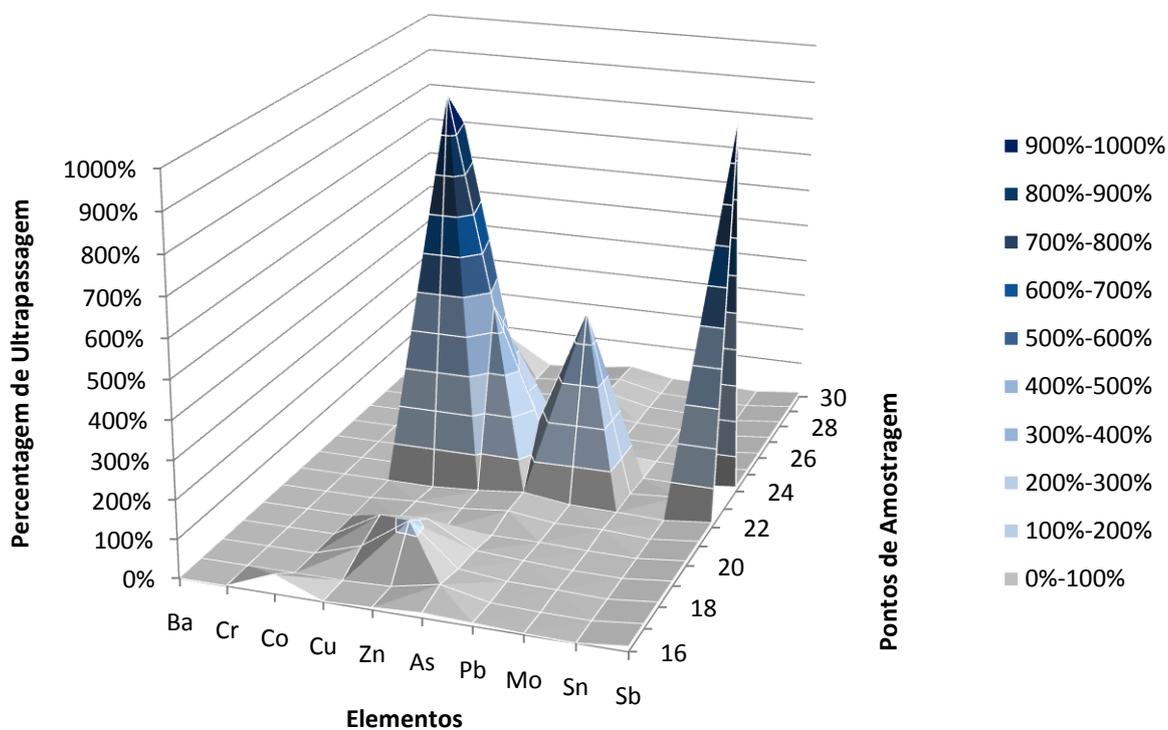


Ilustração 37: Representação das Concentrações relativas e percentagem de ultrapassagem dos valores-limite holandeses dos vários elementos nos pontos de amostragem de 15 a 30, em ppm.

Para além disto, foram analisados **4** pontos fora da área de estudo de forma a se ter um termo de comparação relativamente aos valores típicos do local, encontrando-se estes presentes igualmente no **Anexo I**.

Como se pode verificar, os elementos que mais se destacam são o Bário, o Cobre, o Zinco, o Arsénio e o Chumbo, estando os valores de Cobre particularmente evidenciados. Relativamente a este elemento, os valores não serão muito preocupantes uma vez foi confirmado através das quatro amostras fora do local de estudo que este elemento se encontra em quantidades vestigiais, levando-se a crer que poderá ser fruto da deposição de resíduos. O mesmo se aplica ao Crómio, embora em proporções menores.

Também os estatísticos básicos dos valores da concentração dos contaminantes no solo foram calculados, através da ferramenta *Data Analysis* do Microsoft® Office Excel 2007. Os resultados estão presentes na **Tabela 6**.

Tabela 6: Estatísticos básicos dos valores da concentração de metais pesados no solo.

	Média	Erro Padrão	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Valor Mínimo	Valor Máximo	Número de amostras
Ti	2755,97	413,05	2441,50	2262,35	5,12E+06	684	13727	30
Ba	122,17	117,71	2,00	644,72	4,16E+05	2	3535	30
Cr	24,27	22,27	2,00	121,96	1,49E+04	2	670	30
Mn	142,17	43,02	89,50	235,63	5,55E+04	2	1279	30
Fe	16565,03	3373,83	13888,00	18479,21	3,41E+08	2676	110000	30
Co	20,70	8,25	2,00	45,20	2,04E+03	2	175	30
Cu	1736,60	1666,95	2,00	9130,24	8,34E+07	2	50050	30
Zn	934,70	655,96	57,50	3592,83	1,29E+07	2	19537	30
As	12,70	3,02	10,50	16,54	2,74E+02	2	95	30
Pb	140,57	85,09	27,50	466,07	2,17E+05	11	2522	30
Rb	89,77	8,35	87,00	45,71	2,09E+03	18	249	30
Sr	68,03	6,98	59,50	38,21	1,46E+03	11	144	30
Zr	152,67	15,08	119,00	82,60	6,82E+03	32	352	30
Mo	3,57	0,56	2,00	3,09	9,56E+00	2	13	30
Sn	6,23	4,23	2,00	23,19	5,38E+02	2	129	30
Sb	37,40	35,40	2,00	193,89	3,76E+04	2	1064	30

Observando os dados, verifica-se que há elementos a apresentar uma variabilidade considerável, como é o caso do Ferro, do Cobre e do Zinco. Este facto é confirmado pelo Erro Padrão, Desvio- Padrão e Variância, levando a suspeitar de situações anómalas na qualidade do solo.

De seguida, foram comparados os valores das concentrações no solo com os valores-limite e os valores de fundo típicos apresentados. A comparação encontra-se exposta na **Tabela 7**. De notar que os elementos assinalados com um *x* foram os considerados mais importantes para a realização de uma análise estatística mais profunda, quer pelo número de vezes que tenha ultrapassado os valores guia em questão, quer pela toxicidade potencial que possuem.

Tabela 7: Número de vezes que os poluentes ultrapassam a média dos valores de fundo, a Legislação Holandesa e correspondente justificação para a exclusão de alguns poluentes para uma análise estatística mais profunda.

Contaminantes	Número de vezes a ultrapassar a média dos valores de fundo	Número de vezes que ultrapassa a Legislação	Justificação para a exclusão da análise dos poluentes
Ca	0		não possui valor-limite na legislação
K	0		não possui valor-limite na legislação
S	0		não possui valor-limite na legislação
Ti	0		não ultrapassa os valores de fundo
Ba	0	1	não ultrapassa os valores de fundo
Cr	1	1	ultrapassa poucas vezes a legislação e os valores de fundo
Mn	21		não possui valor-limite na legislação
Fe	30		não possui valor-limite na legislação
Co	0	0	não ultrapassa legislação
Cu	8	2	x
Zn	28	4	x
As	1	1	x (ultrapassa poucas vezes a legislação e os valores de fundo mas a toxicidade é elevada)
Pb	30	2	x
Rb	27		não possui valor-limite na legislação
Sr	9		não possui valor-limite na legislação
Zr	29		não possui valor-limite na legislação

Mo	0	0	não ultrapassa legislação
Sn	1	1	ultrapassa poucas vezes a legislação e os valores de fundo
Sb	1	1	ultrapassa poucas vezes a legislação e os valores de fundo

3.4.2 Água

Os resultados das análises efectuadas na laguna, bem como a sua comparação relativa com a Legislação Nacional actualmente em vigor de acordo com o Decreto-Lei 236/98 encontram-se expostos na **Tabela 8**. Já os valores obtidos pelas medições bem como os valores consultados na Legislação encontram-se presentes no **Anexo J**. De referir que as palavras a verde se referem aos valores conformes e as a vermelho aos que desobedecem a Legislação.

Tabela 8: Comparação relativa dos valores medidos com o Decreto-Lei 236/98 [36] consoante o Destino de Produção da Água.

Valores Medidos		Legislação Nacional consoante o Destino de Produção		
		Consumo Humano	Fins aquícolas - piscícolas	Fins aquícolas - conquícolas
Temperatura (°C)	21	- ³	-	-
OD (mg/l)	1,12	-	muito abaixo	-
% saturação em O ₂	7,6	abaixo	-	abaixo
p(O ₂) (mbar)	9,2	-	-	-
Condutividade (µS)	451	abaixo	-	-
SDT (mg/l)	453	-	-	-
pH	7,3	dentro do limite	dentro do limite	dentro do limite
Potencial REDOX	44,1	-	-	-
CBO ₅ (mgO ₂ /l)	30	muito acima	muito acima	-

Como se pode verificar, o Oxigénio Dissolvido (comparado algumas vezes com a sua concentração e outras vezes com a sua percentagem de saturação na água) e a CBO₅ são os parâmetros que mais se afastaram dos valores-limite impostos. Este resultado quase que chega a ser discordante, uma vez que um valor elevado da CBO₅ é indicativo de uma grande actividade biológica na degradação da matéria orgânica, facto que contradiz a baixa concentração de oxigénio dissolvido na água por este ser

³ Este D.L. só tem os valores-limite de Temperatura para os efluentes que são depositados no meio hídrico. Neste caso não se aplica, uma vez que a temperatura foi directamente medida no meio hídrico.

essencial na degradação desta matéria orgânica. Uma explicação para esta suposta contradição poderá ser o facto da actividade biológica ser realmente elevada, principalmente à superfície, onde existe mais oxigénio devido à proximidade do meio ar, que possui uma maior percentagem de oxigénio na sua composição e que por isso facilita a troca deste com o meio aquoso. À medida que a profundidade aumenta, a concentração de oxigénio irá diminuir, aumentando por isso a concentração de matéria orgânica. Posto isto, e considerando que a amostra de água foi retirada a pouca profundidade, os valores medidos poderão ter encontrado uma explicação.

Relativamente aos parâmetros não comparados (SDT e Potencial REDOX), estes foram medidos devido ao facto de serem facilmente analisáveis e de conterem informação genérica sobre a qualidade da água. Assim, relativamente ao primeiro parâmetro, é possível concluir que a água não conterá muitos sólidos dissolvidos, nomeadamente catiões e aniões, uma vez que este parâmetro é de uma forma geral baixo. Quanto ao Potencial REDOX, o seu valor é extremamente baixo, levando à confirmação de um meio muito redutor, ou seja, sem a presença de oxigénio.

De notar que as análises efectuadas foram pontuais, metodologia que não é muito aconselhada para efeitos mais rigorosos, uma vez que poderá haver bastante variabilidade. Daí muitos parâmetros consultados na Legislação referirem-se a valores-limite a serem comparados com a média de uma frequência mínima de amostras. No entanto, só era objectivo neste relatório ter uma ideia da qualidade da água na laguna, sendo suficiente uma única amostragem.

3.4.3 Lixiviados

Os resultados do ensaio de lixiviação explicado no **Anexo H** encontram-se esquematizados nos gráficos das **Ilustrações 38, 39, 40, 41, 42 e 43**, por tipo de parâmetro analisado. De notar que os valores de pH, Condutividade, Potencial REDOX e Salinidade provém de medições directas, enquanto que os valores de Sólidos Dissolvidos Totais e Oxigénio Dissolvido tiveram que ser convertidos para ppm (mg/kg de solo seco), uma vez que as medições foram efectuadas em solo húmido. Os valores utilizados neste processo, bem como os resultados que deram origem aos gráficos encontram-se presentes no **Anexo K**. Lembra-se que as as fotografias dos solos para este ensaio se encontram no Anexo 7, bem como uma breve descrição destes.

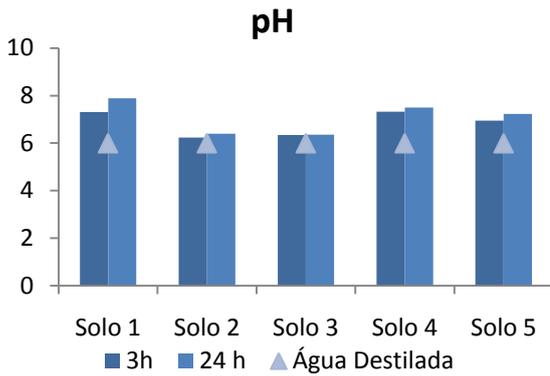


Ilustração 38: Gráfico comparativo da variação do pH nos vários lixiviados e em água destilada.

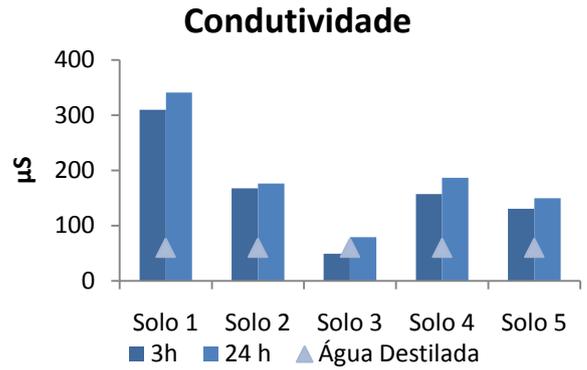


Ilustração 39: Gráfico comparativo da variação da Condutividade nos vários lixiviados e em água destilada.

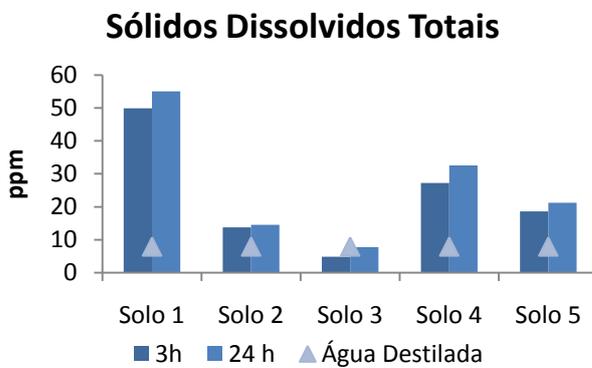


Ilustração 40: Gráfico comparativo da variação dos Sólidos Dissolvidos Totais nos vários lixiviados e em água destilada.

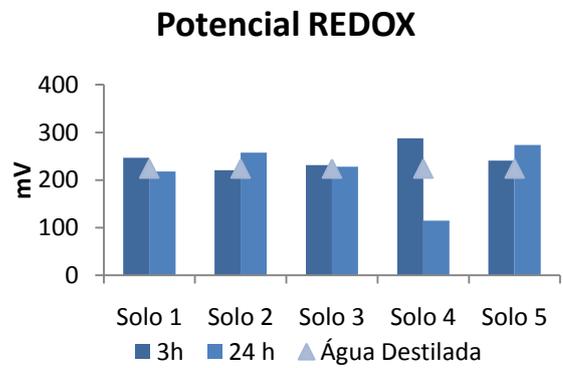


Ilustração 41: Gráfico comparativo da variação do Potencial REDOX nos vários lixiviados e em água destilada.

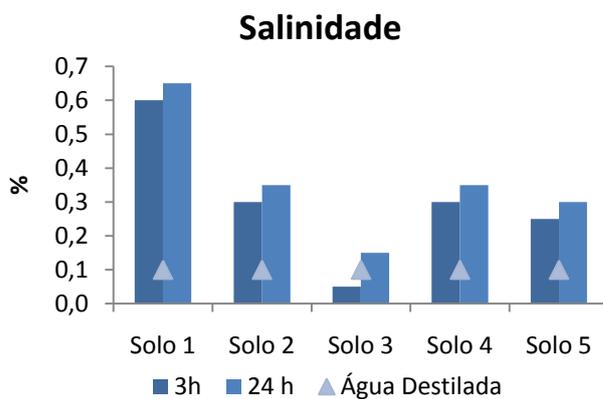


Ilustração 42: Gráfico comparativo da variação da Salinidade nos vários lixiviados e em água destilada.

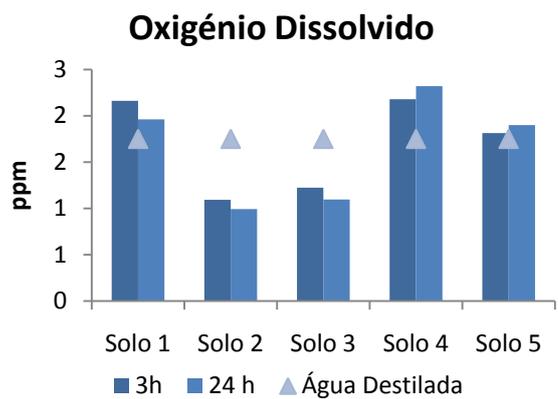


Ilustração 43: Gráfico comparativo da variação do Oxigênio Dissolvido nos vários lixiviados e em água destilada.

De forma a se obterem valores comparativos, consultou-se a Legislação Portuguesa relativamente à classificação de resíduos a partir dos resultados dos ensaios de lixiviação (D. L. 152/2002). No entanto, tendo havido alguma suspeição relativamente ao valor-limite da Condutividade por ser tão elevado, consultou-se a Legislação Austríaca, conhecida por possuir valores-limite mais restritivos, de forma a se ter mais um parâmetro de comparação, encontrando-se estes valores presentes na **Tabela 9**.

Tabela 9: Valores-Limite Austríacos e Portugueses. Fonte: [44] e [30] respectivamente.

	Áustria	Portugal
pH	6 -12	inerte
Condutividade (µS)	1000000	Não perigoso

Segundo a norma que orientou este ensaio, haveria uma tendência para o agravamento dos resultados à medida que se aumentasse o tempo de lixiviação. De uma forma geral, este factor foi cumprido. No entanto, efectua-se de seguida um comentário mais focado relativamente aos gráficos expostos, para cada parâmetro:

- **pH:** os valores apresentaram-se estáveis e dentro dos parâmetros para a classificação do resíduo como **inerte** para todos os lixiviados, sendo o valor mais elevado de 7,5. Verifica-se uma subida muito ligeira dos valores de pH ao longo do tempo de lixiviação que não se considera significativo;
- **Condutividade:** só o ensaio 1 apresenta valores mais elevados de condutividade comparativamente com os medidos para a água destilada, levando a suspeitar de mais iões presentes neste lixiviado. No entanto, o valor fica muito aquém dos valores-limite impostos pela Legislação, não sendo motivo de preocupação. Também neste caso a evolução da condutividade ao longo do tempo se considera desprezável;
- **Sólidos Dissolvidos Totais:** Mais uma vez, é o ensaio 1 que apresenta um valor mais elevado relativamente a este parâmetro, comparando com a água destilada. No entanto, não é considerado muito preocupante, uma vez que em termos globais a concentração não é muito elevada. O mesmo se aplica à evolução deste parâmetro ao longo do tempo, levando a crer que este lixiviado terá um comportamento estável;
- **Potencial REDOX:** Relativamente a este parâmetro, só o lixiviado do solo 4 apresenta um comportamento mais redutor, levando a suspeitar de alguma deposição de resíduos com estas características nesse local. Foi também este lixiviado que apresentou uma queda acentuada na evolução temporal, revelando um comportamento mais instável;
- **Salinidade:** Novamente é o lixiviado do solo 1 que apresenta uma percentagem de salinidade maior, mas no entanto este valor não apresenta preocupação de maior uma vez que não chega

a 1%. Mais uma vez se confirmou a tendência de agravamento do comportamento lixiviante, ainda que de uma forma não significativa;

- **Oxigénio Dissolvido:** Relativamente ao Oxigénio Dissolvido, são os lixiviados dos solos 2 e 3 que apresentam uma concentração de oxigénio dissolvido bastante baixa, relativamente às medições da água destilada. Observando os valores medidos presentes no **Anexo K**, verifica-se que as concentrações não são assim tão baixas, o factor que causa este abaixamento é a elevada percentagem de humidade neste tipo de solos conduzindo a massas de solo secas muito baixas. Neste caso, somente os lixiviados dos solos 1, 2 e 3 apresentaram um agravamento do seu comportamento apesar de ter sido de uma forma irrelevante. Esta variação poderá também ser explicada pela variabilidade das massas de solo seco calculadas. Outro facto que também poderá influenciar a diferença

Para além deste ensaio, decidiu-se igualmente testar a geração líquida de ácido dos solos, não se tendo obtido no entanto nenhum indício da capacidade destes para tal fenómeno.

Como conclusão deste capítulo, pode-se referir que as análises mais importantes se centram no solo, uma vez que são as que mais se afastam dos valores-limite aconselhados. Este facto era de certa forma esperado por ser este compartimento ambiental que foi originalmente contaminado devido à deposição indevida de resíduos.

Capítulo 4

Análise Estatística aos Elementos do Solo

4.1 Análise Geoestatística

Neste subcapítulo, proceder-se-à a um estudo estatístico aos elementos do solo devido à sua importância na caracterização ambiental de uma pedreira abandonada utilizada posteriormente como aterro.

4.1.1 Fundamentos Teóricos

A geoestatística é um ramo da Estatística que tem como objectivo a estimativa do valor de uma propriedade presente numa malha espacial bi ou tridimensional.

Ao contrário da Estatística Clássica, este ramo trabalha com variáveis aleatórias que indexam uma dependência espacial, possuindo por isso simultaneamente propriedades das variáveis aleatórias e das completamente definidas. A este tipo de variável dá-se o nome de **variável regionalizada**. No entanto, devido à natureza desta variável, torna-se complicado *à priori* definir um modelo que se adapte à sua distribuição espacial, pois apesar desta apresentar uma continuidade, as variações dessa continuidade são demasiadamente complexas.

Assim, para o processo de discretização, são retiradas amostras em vários locais numa malha regular ou irregular de tal forma que consigam constituir o suporte para o estudo da variável regionalizada, através do cálculo da sua forma e orientação espacial. Este procedimento é feito desenhando um **variograma**.

Um variograma é uma ferramenta básica que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenómeno regionalizado, ou seja, indica uma medida do comportamento espacial de uma variável regionalizada. A fórmula para o cálculo de um variograma é:

$$\gamma_h = \frac{\sum_i^{n-h} (X_i - X_{i+h})^2}{2n} \quad (4)$$

Em que

X_i é o valor da amostra conhecida;

X_{i+h} é outro valor da amostra conhecida à distância h ;

n é o número de pontos utilizados;

γ_h ou semivariância, é a soma do quadrado das diferenças dos pares de pontos encontrados numa certa direcção.

Da aplicação deste conceito resulta uma função γ_h que traduz quer o comportamento determinístico para curtas distâncias, quer o comportamento aleatório para distâncias maiores relativamente à origem.

De notar que da fórmula só irá resultar um valor que é calculado com todos os pontos encontrados na direcção considerada. Para construir um gráfico do variograma, será necessário calcular diferentes valores de γ_h (nas ordenadas) dependentes de diferentes valores de h , nas abcissas. Em princípio, o que irá resultar será um gráfico do género do da **Ilustração 44**, que representa um comportamento ideal.

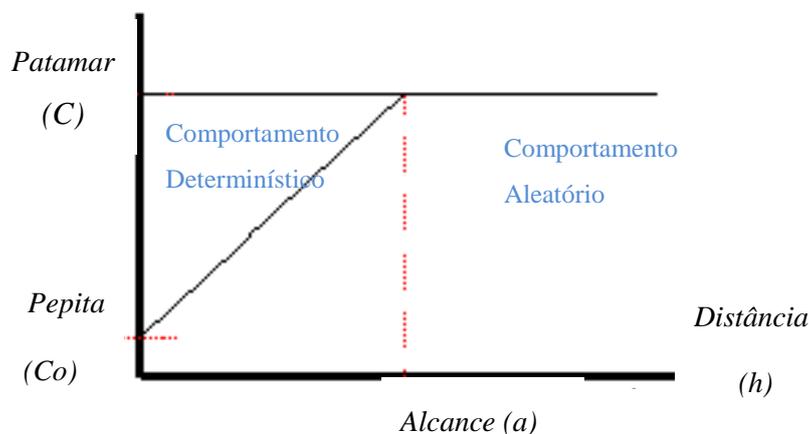


Ilustração 44: Forma característica de um variograma. Fonte: [32].

Comparando os pontos, quando a distância entre eles for pequena (distância h), a componente determinística vai ser significativa e a variabilidade entre esses dois pontos será também menor, uma vez que são próximos. O mesmo já não se verifica quando os pontos comparados se encontram a uma distância maior: aqui será a componente aleatória a predominar. Este fenómeno pode ser observado no gráfico acima demonstrado quando a evolução linear determinística acaba e consequentemente a componente aleatória estabiliza, igualando a de uma simples variável aleatória. A este ponto é dado o nome de **alcance** (a) no eixo dos xx e indica a distância máxima a partir da qual não é possível estabelecer mais correlações entre os pontos analisados. Isto acontece devido à distância entre eles já não ser suficiente para tal. No eixos dos yy , o ponto em questão tem o nome de patamar (C) .

Por fim, o gráfico da **Ilustração 44** também mostra um parâmetro chamado de “**Efeito Pepita**” ou “**Nugget Effect**”, representado por **Co** e que traduz algumas situações relativamente frequentes: havendo um valor positivo de **Co** significa que para valores de **h** muito próximos de zero, inferiores à distância mínima de **h** considerada, a semivariância pode variar significativamente de uma forma aleatória.

Tendo em conta todos estes parâmetros, observa-se o comportamento do modelo em várias direcções e amplitudes de ângulos que abrangem diferentes pontos. Se houver uma direcção preferencial, ou seja, uma direcção em que o modelo se ajusta melhor relativamente às outras, considera-se que existe uma **Direcção Principal**. O grau de preferência de uma direcção sobre outra é dado pelo **factor de anisotropia**. [32] [43]

4.1.2 Aplicação aos Dados Obtidos

Decidiu-se aplicar estas ferramentas somente a quatro dos elementos determinados (Cobre, Zinco, Arsénio e Chumbo) que foram seleccionados devido ao seu nível de toxicidade potencial e número de medições com valores relativamente elevados. A justificação para a não inclusão dos restantes contaminantes encontra-se na **Tabela 7**, já comentada.

O programa utilizado para este fim foi o **Surfer® 8**, um software de construção de mapas de contorno e superfícies a 3 dimensões suportado pelo Microsoft® Windows™. Alguns *printscreens* do programa estão presentes nas **Ilustrações 45 e 46**.

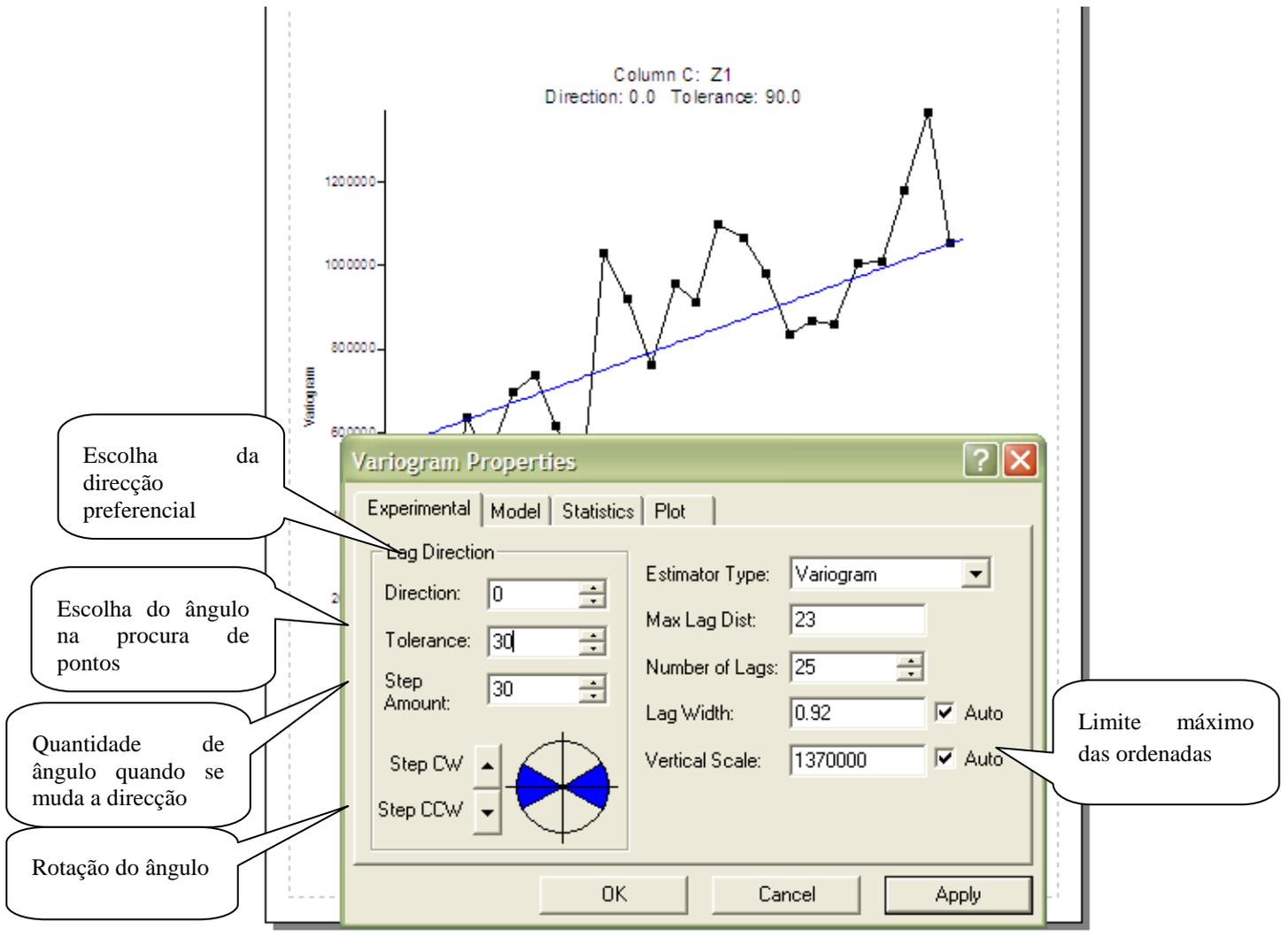


Ilustração 45: Printscreen do Surfer® 8 na janela das propriedades do Variograma.

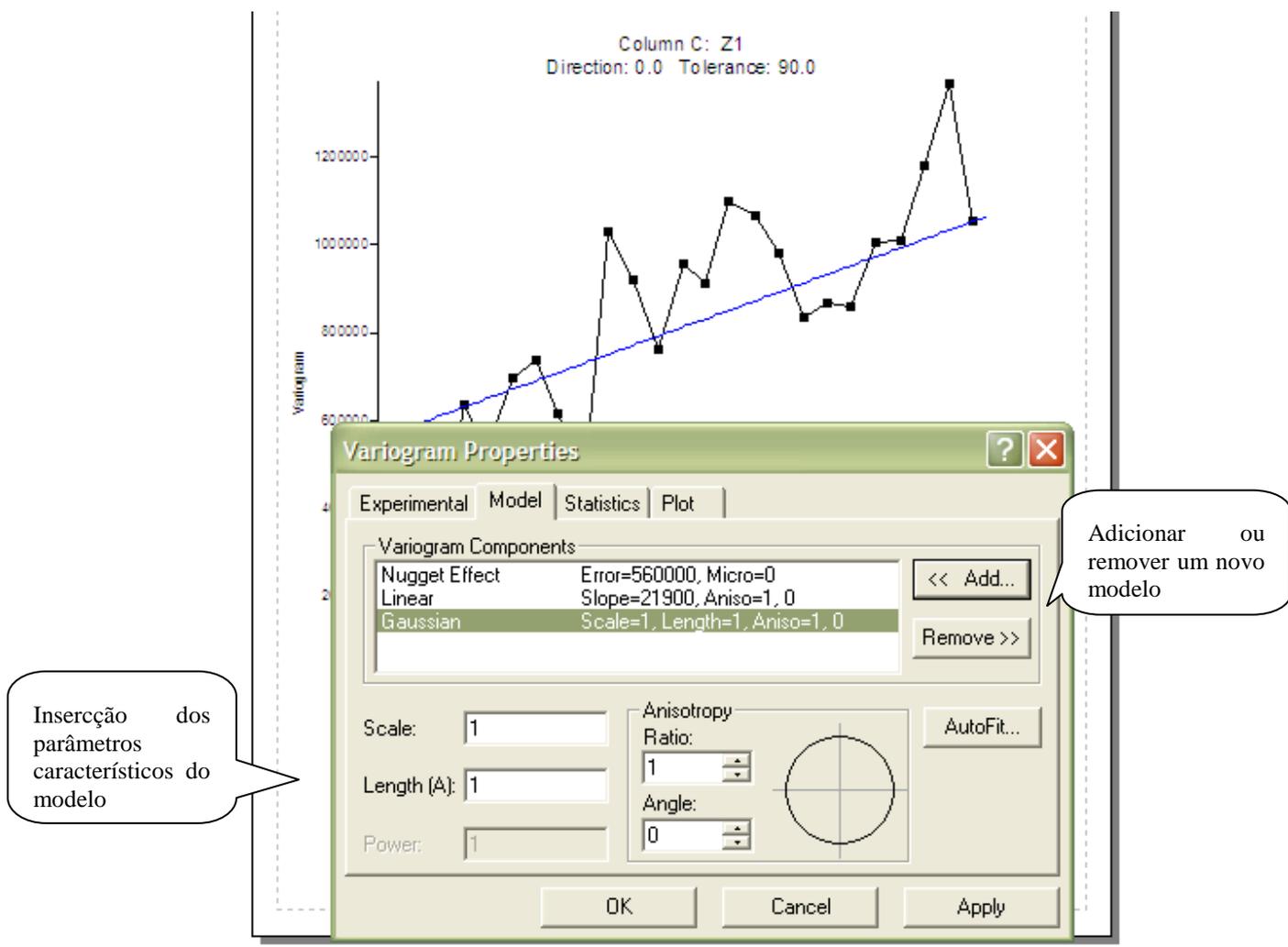


Ilustração 46: Printscreen do Surfer® 8 na janela das propriedades do modelo de ajuste do Variograma.

Os pontos calculados foram ajustados por vários modelos predefinidos e descritos no **Anexo L**. Estes modelos entraram em conta também com os parâmetros referidos acima, que tiveram que ser ajustados manualmente e validados somente através da observação gráfica resultante, uma vez que com esta ferramenta não se deve utilizar nenhuma correlação matemática do melhor ajuste. Assim, a metodologia passou por verificar inicialmente o ajuste automático do software, só possível com o modelo linear e ir se seguida observando o comportamento dos pontos nas várias direcções de forma a que fosse possível sugerir outro tipo de ajuste, dado que o modelo linear raramente é muito realista. Quando tal acontecesse, inseria-se o modelo em questão e mais uma vez o ajuste dos parâmetros, desta vez já característicos do modelo escolhido. Durante este processo, foi sempre imperativo observar os pares de pontos usados em cada ajuste, de tal forma que teriam que ser verificados mais pares de pontos para alcances baixos (normalmente associados a um erro menor) do que para alcances altos. Esta condição levou em algumas situações a que os pontos mais afastados da origem fossem discriminados nas considerações dos parâmetros dos modelos a ajustar.

Devido a tudo isto, este processo foi um pouco moroso e requeriu algum estudo prévio, pois foi necessária alguma experiência e treino para escolher entre os vários ajustes que se iam observando.

Os resultados dos variogramas achados para os quatro elementos encontram-se expostos nos gráficos das **Ilustrações 47, 48, 49 e 50**, bem como os respectivos parâmetros, no título do gráfico.

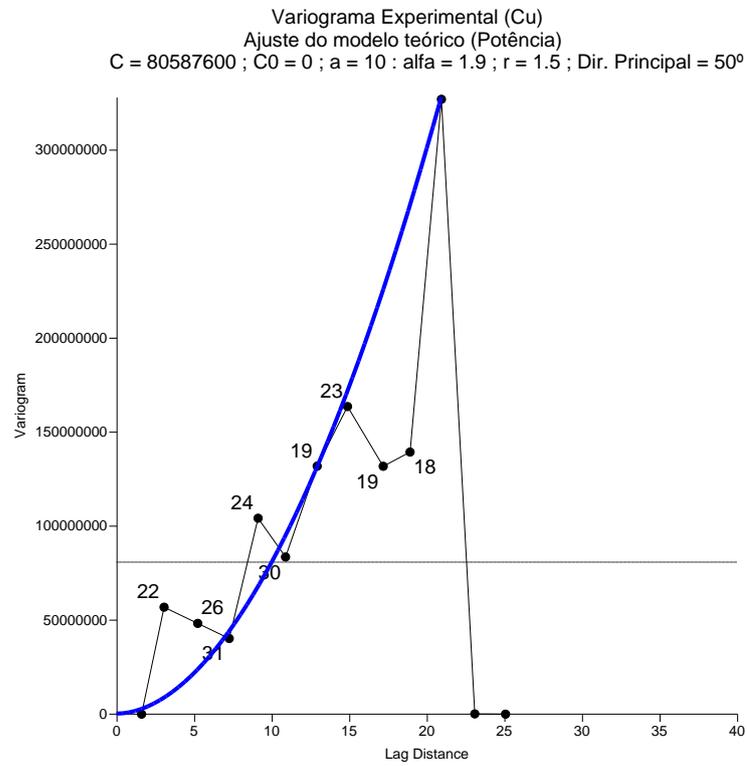


Ilustração 47: Variograma Experimental do Cobre.

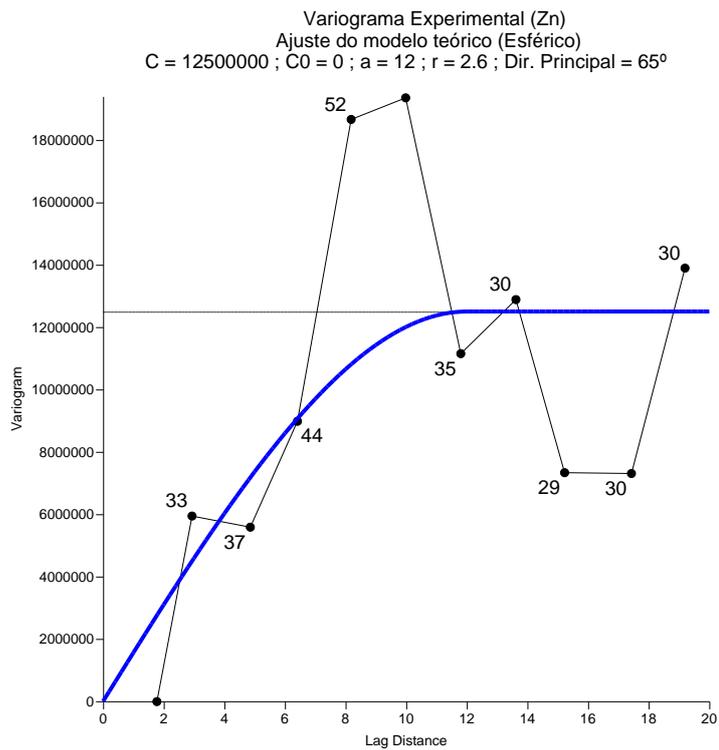


Ilustração 48: Variograma Experimental do Zinco.

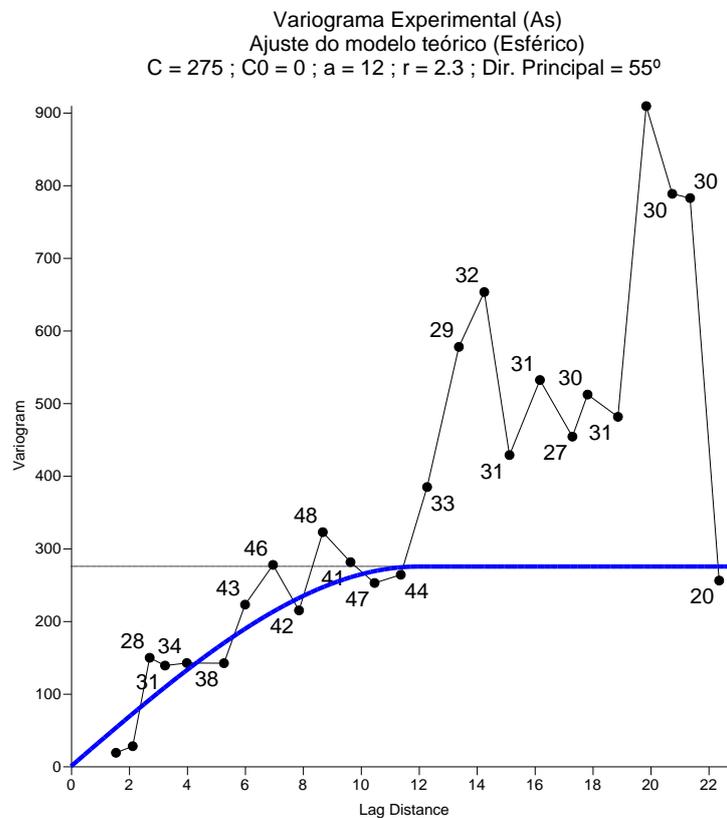


Ilustração 49: Variograma Experimental do Arsênio.

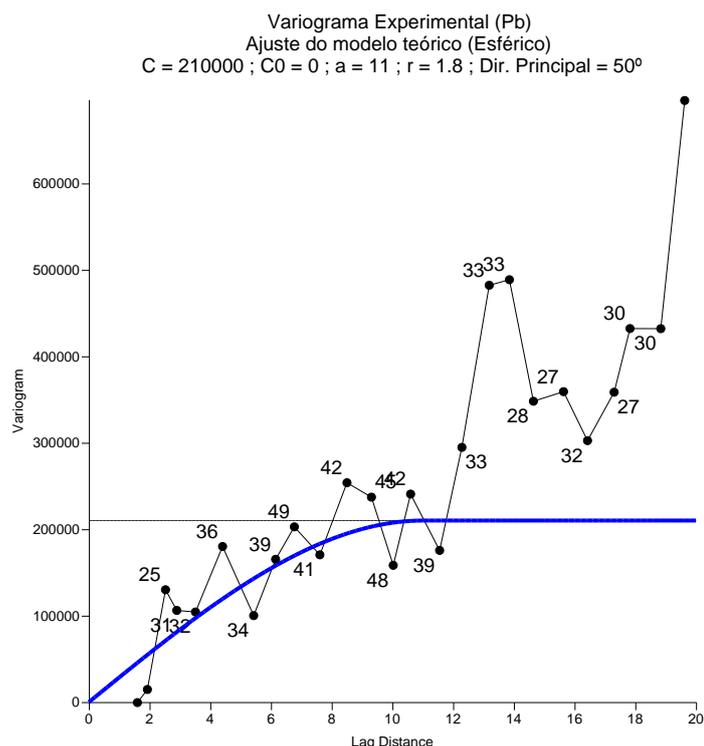


Ilustração 50: Variograma Experimental do Chumbo.

De referir que, principalmente para o Cobre, foi algo complicado ajustar um modelo satisfatório dada a pouca informação útil presente, daí que o melhor modelo encontrado tenha sido o de Potência, pouco realista, como se pode perceber no **Anexo L**. No entanto, o ajuste para os outros elementos, principalmente para os dois últimos, tornou-se mais fácil devido à elevada informação de pontos segundo a direcção preferencial. Ainda relativamente aos dois últimos variogramas, estes parecem revelar a existência de dois patamares, estando o segundo situado ligeiramente acima do patamar escolhido. Contudo, por um lado, o facto de se ter dado preferência às pequenas distâncias de h e por outro pela escassez de amostras, não se utilizou um possível modelo de ajuste que contemplasse as estruturas imbricadas⁴. Decidiu-se então dar preferência ao patamar abaixo por apresentar um valor mais próximo da variância da variável aleatória, presente para cada elemento na **Tabela 6**, que como já se viu, iguala o valor do Patamar quando a componente determinística desaparece.

Tendo sido achado o melhor ajuste, de seguida o modelo foi o utilizado na estimativa da concentração dos poluentes em qualquer local não analisado. A este processo chama-se **krigagem**.

O processo de krigagem utiliza os dados recolhidos e o modelo obtido pelo variograma da direcção preferencial para obter um parâmetro da variabilidade espacial, onde são calculadas várias interpolações pesadas entre as análises obtidas tendo em consideração as distâncias relativas entre elas, criando isolinhas da concentração dos contaminantes. As amostras para além do alcance do

⁴ Modelo que contempla a existência de um duplo patamar.

variograma irão receber pesos nulos. Este processo é feito automaticamente pelo programa, tendo bastado para isso a introdução dos parâmetros do modelo nas janelas representadas pelos *printscreens* das **Ilustrações 51 e 52**.

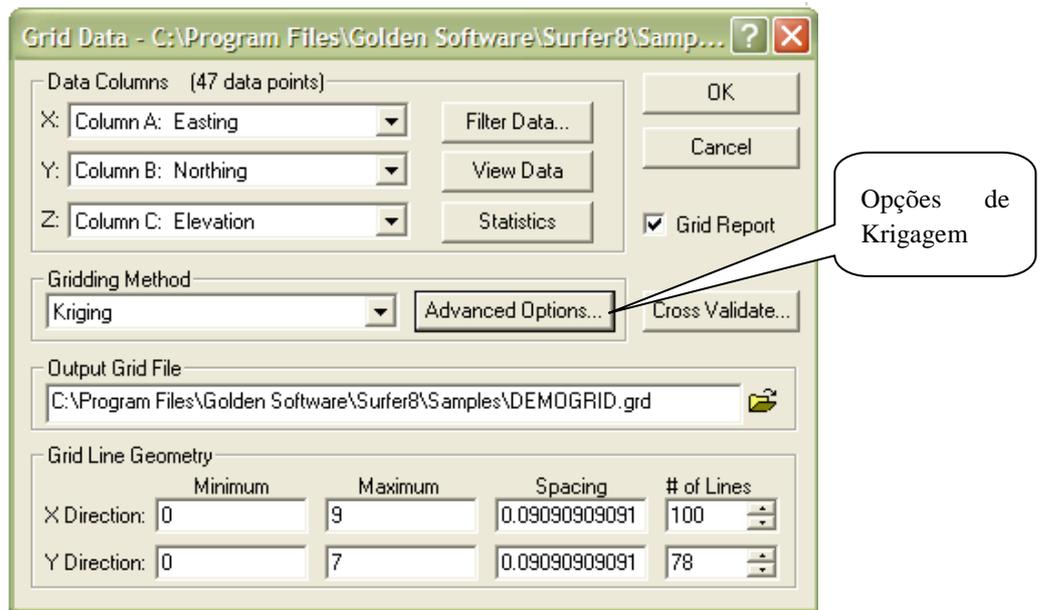


Ilustração 51: Printscreen do Surfer® 8 na janela de criação de mapas de contorno.

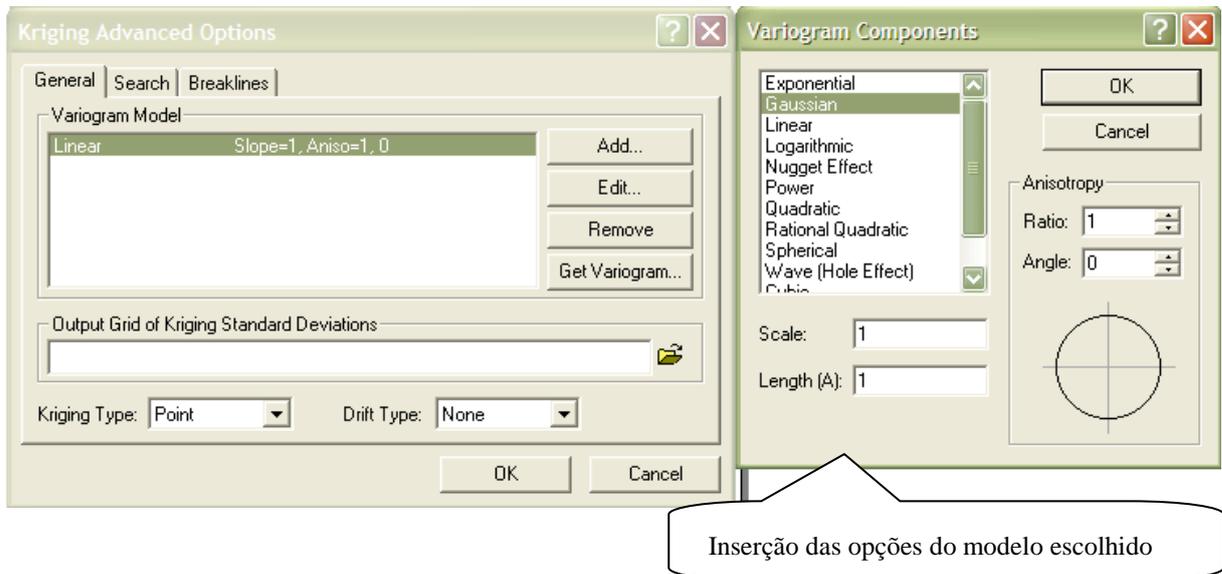


Ilustração 52: Printscreen do Surfer® 8 na janela de inserção das propriedades do modelo usado na krigagem.

Os resultados da krigagem podem ser vistos nas **Ilustrações 53, 54, 55 e 56**. Para consultar o relatório deste processo ir ao **Anexo M**.

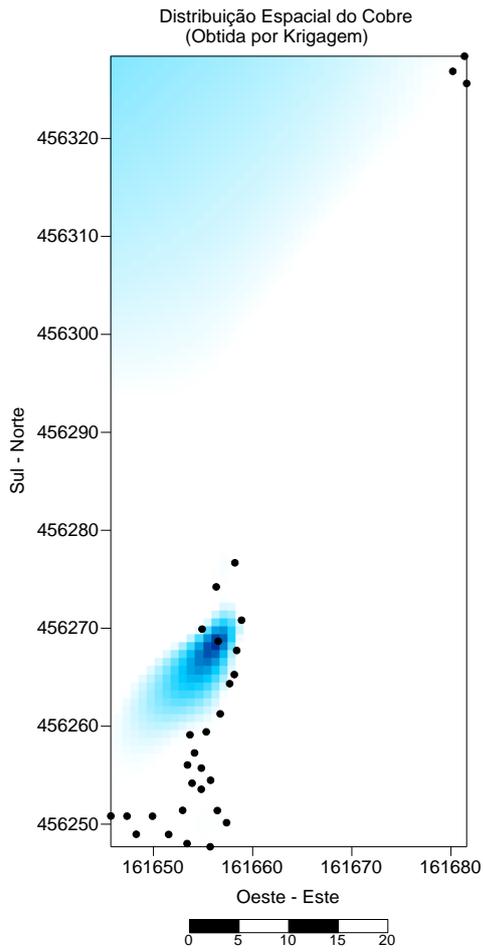


Ilustração 53: Distribuição espacial do Cobre obtida pelo Método da Krigagem.

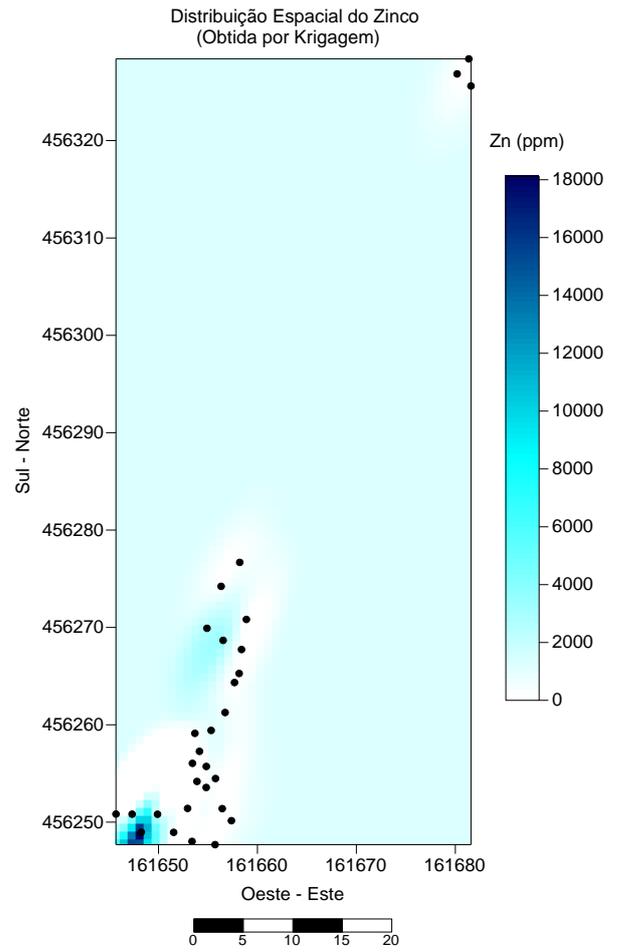


Ilustração 54: Distribuição espacial do Zinco obtida pelo Método da Krigagem.

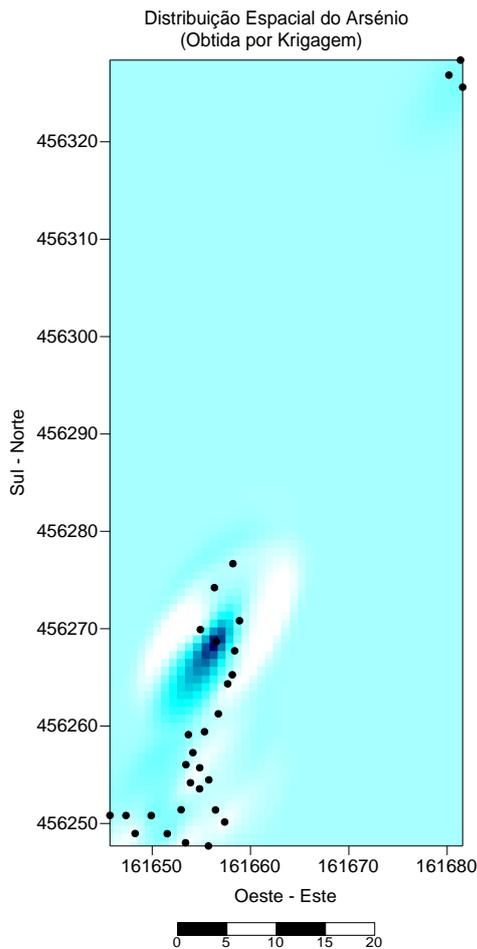


Ilustração 55: Distribuição espacial do Arsénio obtida pelo Método da Krigagem.

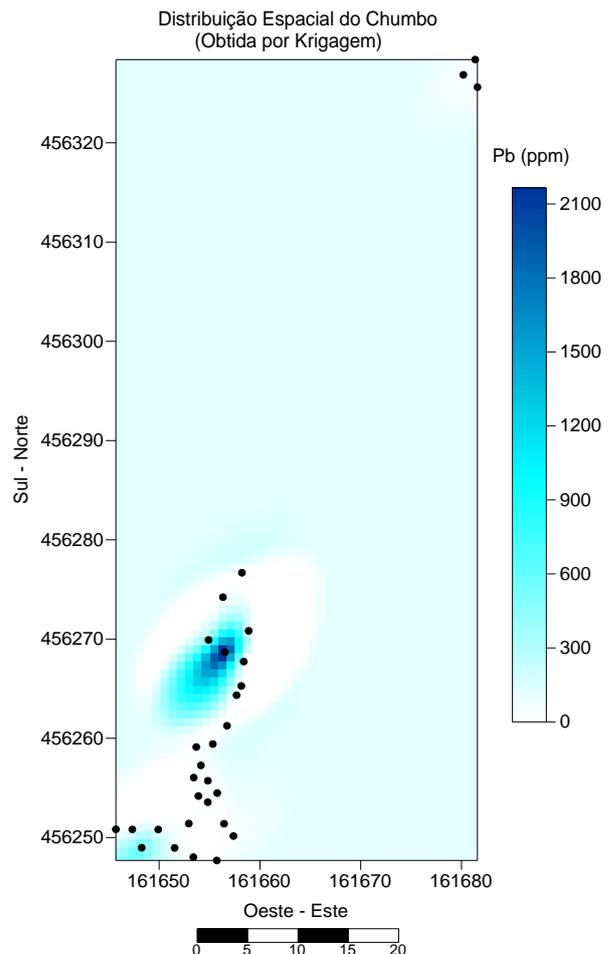


Ilustração 56: Distribuição espacial do Chumbo obtida pelo Método da Krigagem.

Como é possível observar por estes últimos mapas de contorno das **Ilustrações 53, 54, 55 e 56**, a distribuição espacial do Arsénio e do Chumbo é algo semelhante. O mesmo não acontece, no entanto, com os outros elementos que apresentam distribuições muito próprias. Especificamente, o mapa de contorno do Cobre poderá ter algum erro maior associado, uma vez que só apresenta um único foco de concentração significativamente mais elevado do que os restantes.

4.2 Análise Estatística Multivariada: Análise em Componentes Principais

4.2.1 Fundamentos Teóricos

A análise estatística multivariada refere-se a todos os métodos estatísticos que simultaneamente analisam múltiplos dados de cada variável ou objecto. Assim, pode-se considerar que qualquer análise que contenha mais do que uma variável poderá ser considerada uma análise multivariada. Esta pressupõe vários tipos de técnicas consoante a informação que se quer evidenciar. No presente caso,

como o objectivo passa por resumir a informação a partir de um grande conjunto de dados, o método mais escolhido foi a **Análise Factorial**.

A análise factorial é uma abordagem estatística multivariada que é usada para avaliar as correlações entre um conjunto vasto de dados relativamente às suas dimensões comuns, de tal forma que todas as variáveis possam ser representadas por um número mínimo de variáveis “escondidas” com a mínima perda de informação e a máxima significância. Havendo vários métodos disponíveis para se chegar a este resultado, têm todos em comum o facto de pesquisarem os eixos factoriais que fazem ressaltar determinadas características de dados. [39] [40] O método escolhido para analisar os presentes dados foi a **Análise em Componentes Principais**.

Introduzida inicialmente por Pearson, trata-se de um método de análise multivariada aplicado a variáveis do tipo quantitativo⁵ que consiste em transformar um conjunto de variáveis correlacionadas entre si num conjunto menor de variáveis não correlacionadas. Estas variáveis são combinações lineares de variáveis do conjunto principal, calculadas por ordem decrescente de importância, sendo a primeira componente principal a que consegue agregar mais informação do quadro original dos dados, seguida da segunda componente principal e assim sucessivamente até não haver informação que possa ser representada. Assim se obtém um novo quadro de dados mais reduzido em que a abcissa corresponde à coordenada da variável com maior significância, a ordenada à coordenada da segunda variável com maior significância, etc. [41]

Normalmente, como se pretende uma representação gráfica do resultado, desprezam-se as coordenadas correspondentes a partir da terceira ou quarta variável, consoante o nível de significância conseguido.

Para mais informações acerca dos algoritmos deste método, consultar [40] e [41]. Relativamente aos princípios matemáticos, aconselha-se a referência [42].

4.2.2 Considerações para a Interpretação dos Resultados

As coordenadas costumam ser normalizadas e convertidas à escala nominal de forma a se perceber quais as variáveis que mais se correlacionam e as que não possuem correlação nenhuma. Assim, as variáveis que se aproximarem mais da origem não terão uma correlação forte uma vez que estas conduzem a coordenadas de valor baixo (ver **Ilustração 57**); as variáveis que se encontrarem horizontalmente afastadas da origem terão uma forte associação directamente proporcional entre elas uma vez que as suas abcissas possuem valores elevados (as coordenadas das abcissas representam as variáveis com maior representatividade), como se pode verificar pela **Ilustração 58**; por último as variáveis que se encontrarem verticalmente afastadas da origem terão uma associação menos forte que

⁵ Variáveis que são mensuráveis.

as horizontais, mas mesmo assim significativa, uma vez que este eixo representa as variáveis com a segunda maior significância (ver **Ilustração 59**).

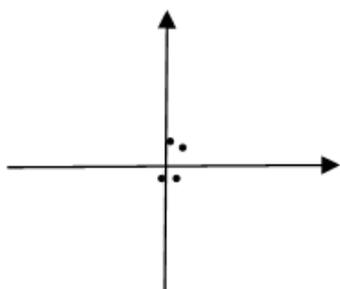


Ilustração 57: Esquema representativo de não relação entre as variáveis.

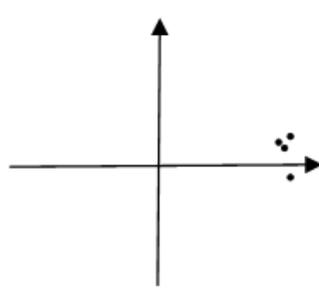


Ilustração 58: Esquema representativo de relação entre as variáveis.

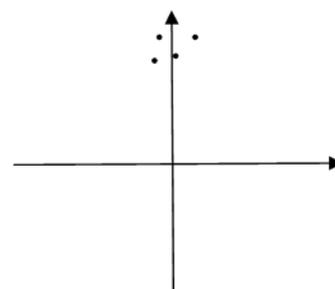


Ilustração 59: Esquema representativo de relação entre as variáveis.

De notar que as variáveis não terão necessariamente de se apresentar junto aos eixos do gráfico, podendo também haver correlação se os grupos se apresentarem obliquamente. Nesse caso, haverá contribuição dos dois eixos para a relação entre as variáveis.

Para além destes casos, poderá haver a situação em que um grupo de variáveis directamente proporcionais, resultado da combinação linear, se opõe a outro grupo de variáveis directamente proporcionais entre si. Neste caso, estes dois grupos irão ser inversamente proporcionais entre si (ver **Ilustração 60**).

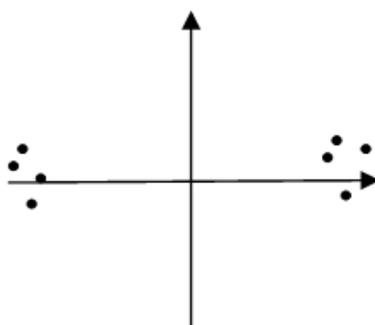


Ilustração 60: Esquema representativo de relação inversa entre as variáveis.

É de se referir que os esquemas representativos são apenas a duas dimensões para facilitar a compreensão das considerações aqui referidas. Este caso poderá ser aplicado quando as duas variáveis mais características do conjunto de dados apresentam conjuntamente uma explicação acima de **60%**. Se não, será necessário recorrer à terceira variável mais característica, dando os resultado origem a um gráfico a três dimensões.

3.6.1 Aplicação aos Dados Obtidos

Para a aplicação deste método, foi utilizado o *software* **XLSTAT**, com possibilidade de incorporar com o Microsoft® Office Excel. Este programa aumenta as capacidades do Excel relativamente à análise estatística de quadros de dados, projectando os resultados e respectivos gráficos na própria folha.

Assim, tendo-se usado a função PCA (Principal Component Analysis), foram devolvidos os resultados presentes no **Anexo N**, bem como os gráficos presentes nas **Ilustrações 61, 62 e 63**.

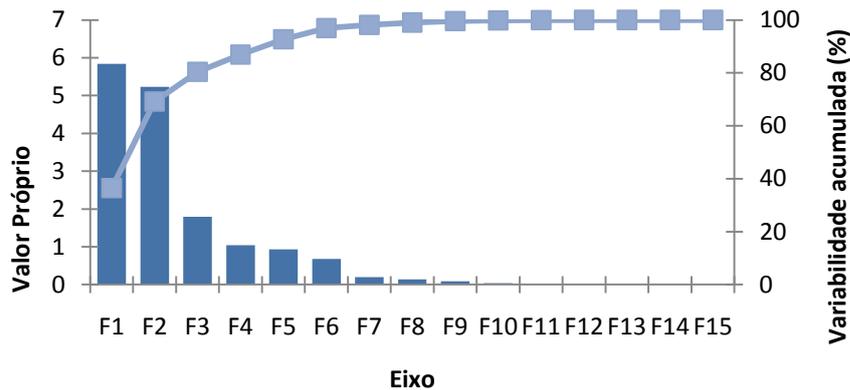


Ilustração 61: Gráfico ilustrativo da evolução dos valores próprios e da respectiva explicação da variância acumulada destas variáveis.

Como se pode observar, são as duas primeiras variáveis, **F1** e **F2** que conseguem a maior explicação da variância do quadro de dados inicial, obtendo-se uma soma de quase **70%**. Através do cálculo das cargas (percentagem que cada variável possui relativamente a cada factor), foi possível obter o gráfico da **Ilustração 62**, juntamente com uma circunferência de raio 1 para facilitar a sua interpretação.

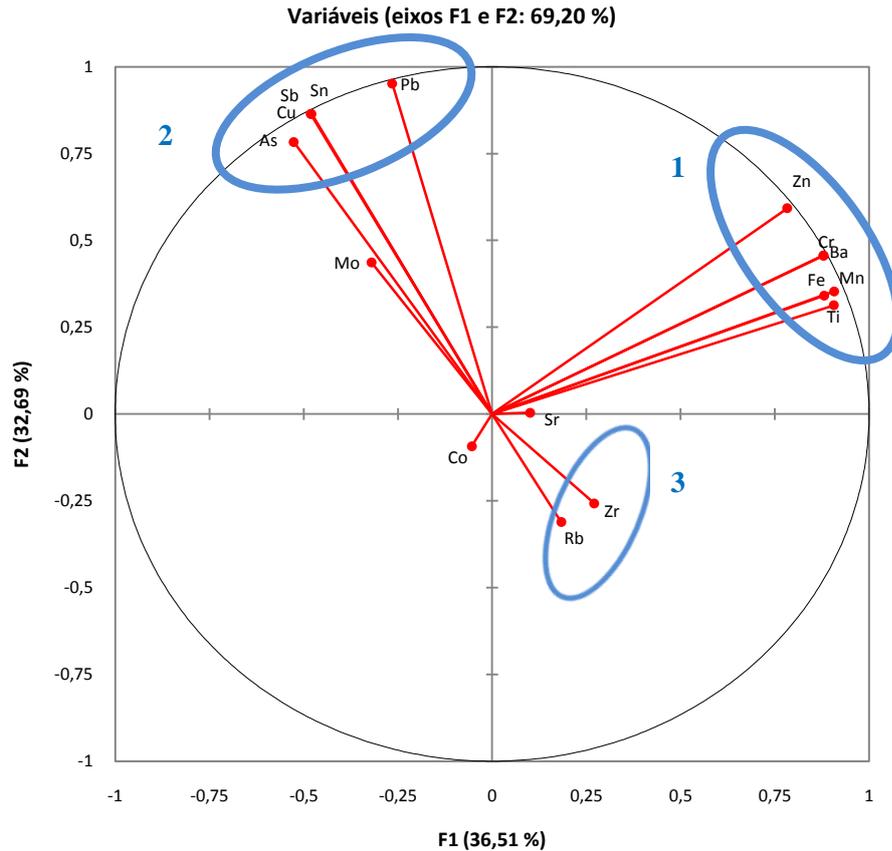


Ilustração 62: Gráfico da projeção das variáveis em Componentes Principais.

Observando o gráfico e tendo em consideração as notas referidas anteriormente, é possível distinguir três tipos de conjuntos de elementos: um constituído pelos elementos Zinco, Crómio, Bário, Manganês, Ferro e Titânio, outro pelos elementos Chumbo, Cobre, Arsénio, Estanho e Antimónio e outro conjunto mais pequeno representado pelo Zircónio e Rubídio. Desta forma, e juntando a informação conseguida através da geoestatística, poder-se-à concluir que haverá fortes probabilidades de se encontrar Crómio, Bário, Manganês, Ferro e Titânio com o mesmo tipo de dispersão espacial obtida para o Zinco, aplicando-se o mesmo princípio ao Arsénio, Estanho e Antimónio relativamente à dispersão espacial do Chumbo e do Cobre. Poder-se-à ainda concluir que o Cobalto e o Estrôncio não apresentam nenhuma correlação significativa, levando a crer que a sua dispersão será bastante aleatória.

De seguida, projectaram-se as 30 observações num mesmo sistema de eixos de forma a avaliar as suas correlações. O resultado encontra-se presente na **Ilustração 63**.

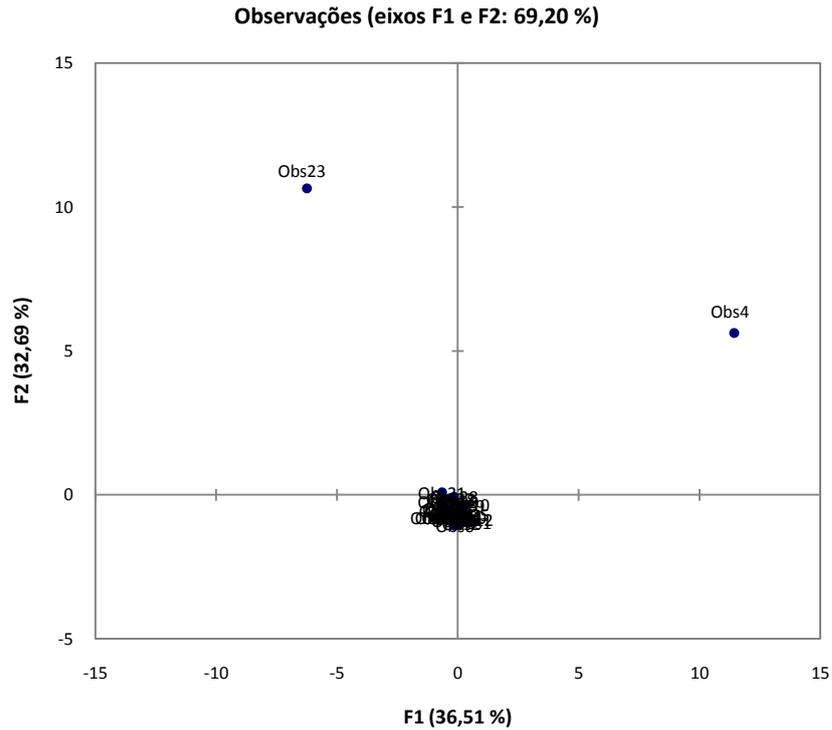


Ilustração 63: Projecção das observações relativamente às componentes principais.

Como se pode observar, somente as Observações 4 e 23 possuem uma maior explicação da variância, bastante diferente das restantes, levando a concluir que nestes locais a concentração de metais pesados será diferente também. Sendo as restantes observações bastante parecidas entre si, deduz-se que nestes locais a concentração será igualmente semelhante.

Finalmente, o *XLSTAT* criou um gráfico conjunto projectando ao mesmo tempo as variáveis e as observações, de forma a que se pudesse ter uma ideia de quais são as variáveis que mais se correlacionam com cada local amostrado. O resultado pode ser consultado pela **Ilustração 64**.

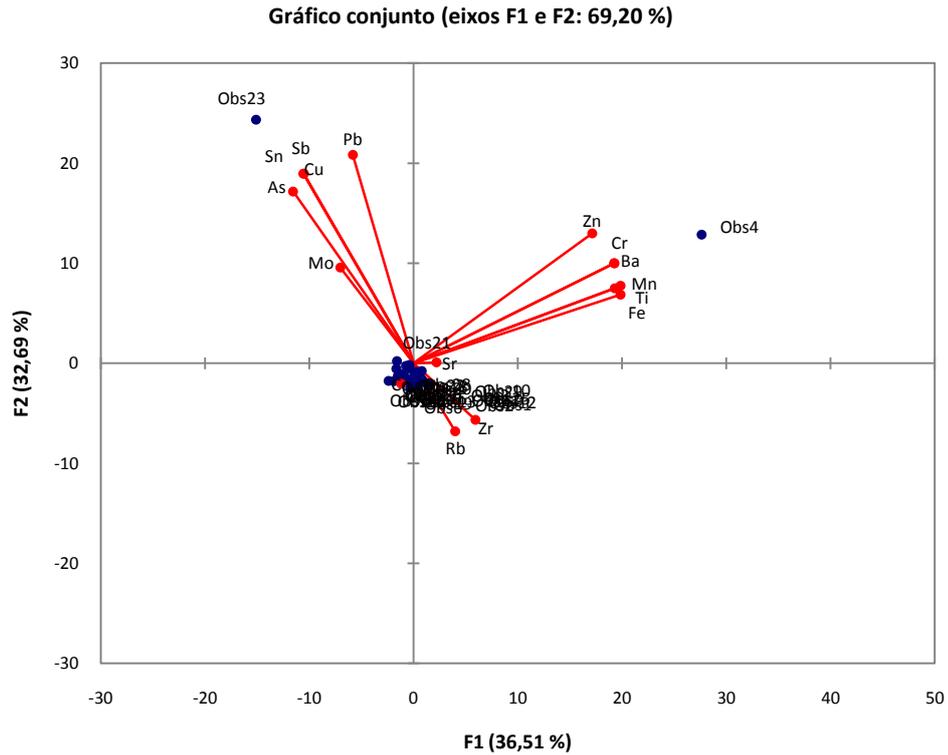


Ilustração 64: Gráfico conjunto das variáveis e observações relativamente aos componentes principais.

Analisando o gráfico, pode-se verificar que o grupo 1 foi fortemente influenciado pela Observação 4, enquanto que o grupo 2 foi criado devido à Observação 23.

Visualizando mais uma vez no mapa através do Google earth®, assinalara-se os dois locais que esta análise estatística sobressaiu. Este novo esquema, bem como os elementos que ajudaram a sobressair estes dois locais encontra-se exposto na **Ilustração 65**.



Ilustração 65: Locais com maior irregularidade na composição de metais pesados.

Capítulo 5

Análise Probabilística de Risco Ambiental

Neste capítulo ir-se-à proceder a uma pequena Análise de Risco das populações circundantes relativamente à zona de estudo. Esta análise será importante na medida em que será com base neste resultado que irá ser discutida a necessidade de reabilitação do local: o resultado em si mesmo não consegue responder à questão da reabilitação do local, uma vez que este processo poderá por vezes trazer mais implicações ao local, tanto ecológicas, sociais e económicas, sendo que muitas vezes é preferível deixar o ecossistema em autoreabilitação, isto se houver possibilidade . [16]

5.1 Conceitos Teóricos

5.1.1 Análise de Risco

Para perceber o que é uma Análise de Risco é importante definir o conceito de Risco em primeiro lugar.

Um risco é uma incerteza relativamente a um acontecimento de natureza probabilística [35], inerentemente ligado à actividade humana. Numa perspectiva ambiental, utiliza-se o cálculo do risco para quantificar a probabilidade de certo aspecto ambiental afectar a vida humana ou qualquer outro ser vivo que seja alvo de estudo e com isso estabelecer prioridades relativamente aos aspectos e locais mais importantes a reabilitar. Inserido no conceito de risco, existem duas variantes: o risco através do contacto de substâncias tóxicas e o risco associado à contracção de uma doença cancerígena. O primeiro será calculado a partir de um Índice de Toxicidade baseado nos valores da dose presentes no compartimento ambiental em estudo e em doses de referência convencionalmente aceites que traduzem as concentrações a partir das quais existirá perigo de toxicidade. Já o segundo, terá como base de cálculo o incremento probabilístico que certo contaminante terá para o desenvolvimento de uma doença cancerígena. Independentemente do tipo de risco calculado, a metodologia que normalmente se segue para o quantificar é a seguinte:

- Modelação da Dispersão Ambiental, onde se estima a concentração do contaminante em compartimentos ambientais relevantes, utilizando-se para isso modelos de dispersão, transporte e destino dos mesmos;
- Avaliação da Exposição, onde se identificam as populações e os indivíduos potencialmente expostos e se especificam os seus padrões de actividades, nomeadamente o emparelhamento da distribuição do contaminante com a distribuição de actividades da população;
- Identificação dos cenários de exposição e dos processos de contacto;
- Estimativa da dose potencial e da dose interna através de modelos de transporte biológico.

Neste relatório só serão abordados os pontos da Avaliação da Exposição e Identificação das vias de exposição e dos processos de contacto, uma vez que no o primeiro ponto já foram obtidos alguns valores do compartimento ambiental que irá ser usado e no quarto ponto a metodologia não estar incluído no âmbito deste relatório. Para tal, irão ser considerados valores da literatura, de bases de dados de concentrações de referência de contaminantes e de algumas concentrações obtidas neste relatório.

5.1.2 Doses de Risco de Referência: A Base de Dados IRIS

As concentrações de risco de contaminantes foram consultadas no **Sistema de Informação Integrado de Risco** ou IRIS. Esta base de dados, inicialmente criada pela USEPA.⁶, tem como objectivo o de fornecer informação cientificamente consensual dos efeitos da exposição de inúmeras substâncias presentes no ambiente em humanos, ao mesmo tempo que sugere valores de referência a partir dos quais existirá um potencial risco de toxicidade ou de efeito cancerígeno. [47] Esta base de dados pode ser consultada gratuitamente e de uma forma bastante fácil, podendo ser consultada directamente o site da IRIS ou então fazendo o seu download em formato Microsoft Excel®. Um pormenor desta última versão poderá ser observado na **Ilustração 66**.

⁶ United States Environmental Protection Agency.

Nome da Substância

Doses de Referência para Efeitos Crônicos e Sub-Crônicos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
			Oral Chronic RfD	Dermal Chronic RfD	Oral Subchronic RfD	Dermal Subchronic RfD	Inhalation Chronic RfC	Inhalation Chronic RfD	Inhalation Subchronic RfC	Inhalation Subchronic RfD	Oral Slope Factor	Oral Unit Risk	Inhalation Slope Factor	Inhalation Unit Risk	
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
11			Oral Chronic RfD (mg/kg-day)	Dermal Chronic RfD (mg/kg-day)	Oral Subchronic RfD (mg/kg-day)	Dermal Subchronic RfD (mg/kg-day)	Inhalation Chronic RfC (mg/m ³)	Inhalation Chronic RfD (mg/kg-day)	Inhalation Subchronic RfC (mg/m ³)	Inhalation Subchronic RfD (mg/kg-day)	Oral Slope Factor (mg/kg-day) ⁻¹	Oral Unit Risk (mg/L) ⁻¹	Inhalation Slope Factor (mg/kg-day) ⁻¹	Inhalation Unit Risk (mg/m ³) ⁻¹	Dermal Slope Factor (mg/kg-day) ⁻¹
11	1	Chemical	CASRN												
11	115	Butyl Benzyl Phthlate	000085-68-7	2.00E-01 ^a	1.22E-01	2.00E+00 ^b	1.22E+00								
11	116	Butylate	002008-41-5	5.00E-02 ^a	2.50E-02	5.00E-02 ^b	2.50E-02								
12	117	Butylchloride, t-	000507-20-0												
12	118	Butylphthalyl Butylglycolate	000085-70-1	1.00E+00 ^a	5.00E-01										
12	119	Carodylic Acid	000075-60-5	3.00E-03 ^b	1.50E-03	3.00E-02 ^b	1.50E-02								
12	120	Cadmium (Diet)	007440-43-9	1.00E-03 ^b	1.00E-05				9.00E-04 ^v	2.60E-04			6.10E+00 ^w	1.80E+00 ^a	
12	121	Cadmium (Water)	007440-43-9	5.00E-04 ^b	5.00E-06				9.00E-04 ^v	2.60E-04			6.10E+00 ^w	1.80E+00 ^a	
12	122	Calcium Cyanide	000592-01-8	4.00E-02 ^a	8.00E-03	4.00E-02 ^b	8.00E-03								
12	123	Caprolactam	000105-60-2	5.00E-01 ^a	2.50E-01	5.00E-01 ^b	2.50E-01								
12	124	Captafol	002425-06-1	2.00E-03 ^b	1.00E-03	2.00E-03 ^b	1.00E-03				8.60E-03 ^b	2.40E-04 ^b			1.72E-02
12	125	Captan	000133-06-2	1.30E-01 ^a	6.50E-02	1.30E-01 ^b	6.50E-02				3.50E-03 ^b	1.00E-04 ^b			7.00E-03
12	126	Carbaryl	000063-25-2	1.00E-01 ^a	5.00E-02	1.00E-01 ^b	5.00E-02								
12	127	Carbazole	000086-74-8								2.00E-02 ^b	5.70E-04 ^b			2.86E-02
12	128	Carbofuran	001563-66-2	5.00E-03 ^a	2.50E-03	5.00E-03 ^b	2.50E-03								
13	129	Carbon Disulfide	000075-15-0	1.00E-01 ^a	6.30E-02	1.00E-01 ^b	6.30E-02	7.00E-01 ^a	2.00E-01	7.00E-01 ^b	2.00E-01				
13	130	Carbon Tetrachloride	000056-23-5	7.00E-04 ^a	4.55E-04	7.00E-03 ^b	4.55E-03			2.00E-02 ^v	5.70E-03	1.30E-01 ^a	3.70E-03 ^a	5.30E-02 ^b	1.50E-02 ^a
13	131	Carbosulfan	055285-14-8	1.00E-02 ^a	5.00E-03										
13	132	Carboxin	005234-68-4	1.00E-01 ^a	5.00E-02										
13	133	Chloral Hydrate	000075-87-6	1.00E-01 ^a	5.00E-02	2.00E-02 ^b	1.00E-02								
13	134	Chloramben	000133-90-4	1.50E-02 ^a	7.50E-03										
13	135	Chloranil	000118-75-2								4.03E-01 ^b	1.20E-02 ^b			8.06E-01
13	136	Chlordane	000057-74-9	5.00E-04 ^a	2.50E-04	6.00E-05 ^b	3.00E-05	7.00E-04 ^a	2.00E-04	*	3.50E-01 ^a	1.00E-02 ^a	1.30E+00 ^b	1.00E-01 ^a	7.00E-01
13	137	Chloride	016887-00-6												
14	138	Chlorimuron, Ethyl-	090982-32-4	2.00E-02 ^a	1.00E-02										
139	139	Chlorine	007782-50-5	1.00E-01 ^a	2.00E-02			2.00E-04 ^v	5.71E-05						
140	140	Chlorine Dioxide	010049-04-4	3.00E-02 ^a	1.50E-02			2.00E-04 ^v	5.71E-05						

5.2 Metodologia

Seguidamente explica-se mais pormenorizadamente as duas etapas da metodologia da Análise de Risco apresentada.

5.2.1 Avaliação da Exposição

Nesta etapa são tomados os seguintes passos:

Identificação da população potencialmente exposta

Nesta etapa, teria sido mais adequado a elaboração de um estudo do tipo e da quantidade de pessoas que visitam com mais frequência o local de estudo. No entanto, tal não foi possível, pelo que se considera a população mais próxima como a portadora de maior risco.

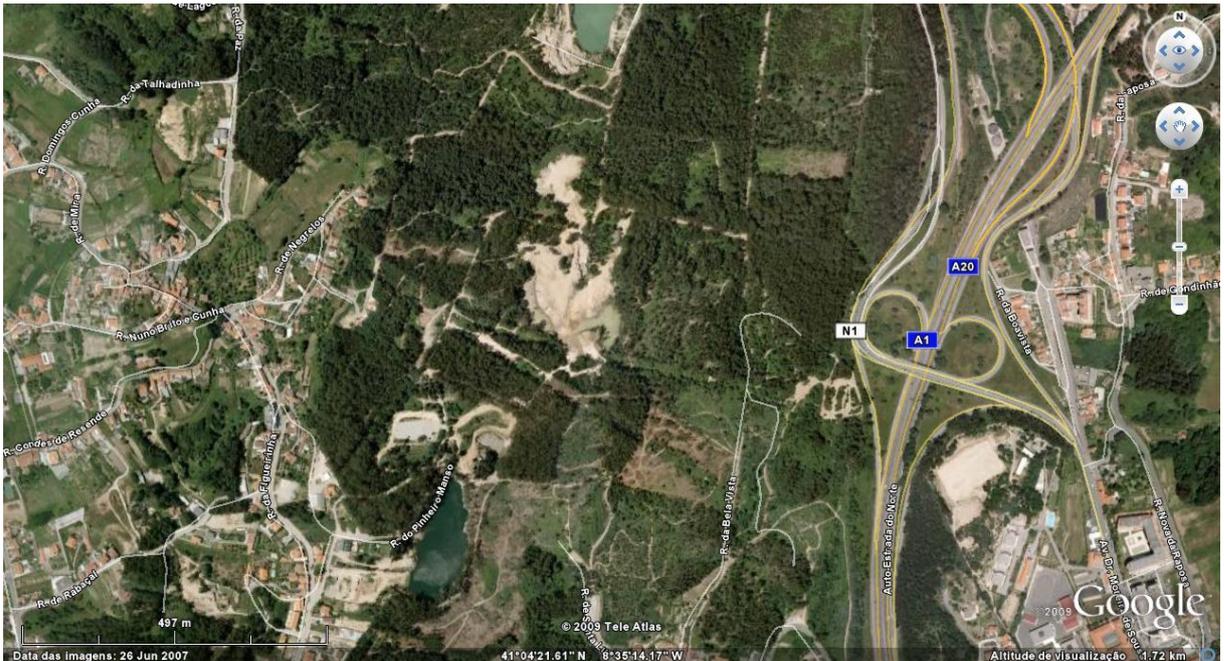


Ilustração 68: População potencialmente exposta. Fonte: Google earth®.

Como se pode verificar, não existem muitas habitações nas proximidades, situando-se as mais próximas a cerca de 500 m e com uma fraca densidade populacional.

Identificação das Vias e Condições de exposição

Considerou-se para esta Análise de Risco o solo como único compartimento ambiental por ser aquele com mais informação recolhida. Relativamente às vias de exposição, bem como os riscos potenciais associados, podem ser observados na **Ilustração 67**.



Ilustração 69: Vias de Exposição estudadas e respectivos efeitos potenciais.

De referir que, como esta Análise de Risco se encontra longe de ser pormenorizada, prendendo-se a ideia original com a levantação de suspeita ou não da existência de um risco ambiental, não foram considerados os efeitos sub-crónicos ou efeitos de exposição de meia-vida fornecidos igualmente pela base de dados IRIS.

Identificação das doses potenciais de cada contaminante

Os perigos considerados serão o perigo toxicológico e o de risco cancerígeno, identificados pelo cálculo do **Índice de Toxicidade (I.T.)** e do **Risco** (de contrair cancro devido à exposição específica considerada relativamente ao risco cancerígeno geral de fundo) respectivamente.

Estes são expressos pelas equações seguintes:

$$I.T. = \frac{Dose}{Dose\ de\ Referência\ (RfD)} \quad (5)$$

$$Risco = Dose * Factor\ de\ Potência\ Cancerígena \quad (6)$$

A Dose de Referência e o Factor de Potência Cancerígena são valores retirados da IRIS. No caso de aplicação só foram seleccionados os elementos presentes na **Tabela 10**.

Tabela 10: Valores das Doses de Referência Crónica e de Factores de Potência Cancerígenos para cada Via de Exposição. Fonte: IRIS.

	Tóxico			Cancerígeno		
	Dose de Referência Crónica para Ingestão (mg/kg-dia)	Dose de Referência Crónica para Contacto Dérmico (mg/kg-dia)	Dose de Referência Crónica para Inalação (mg/kg-dia)	Factor de Potência Cancerígena para Ingestão (mg/kg-dia) ⁻¹	Factor de Potência Cancerígena para Inalação (mg/kg-dia) ⁻¹	Factor de Potência Cancerígena para Contacto Dérmico (mg/kg-dia) ⁻¹
As	3.00E-04	1.23E-04		1.50E+00	5.00E+01	3.66E+00
Ba	7.00E-02	4.90E-03	1.43E-04			
Mn	1.40E-01	5.60E-03	1.43E-05			
Zn	3.00E-01	6.00E-02				

Foram seleccionados estes elementos devido a serem os que se encontravam em maior concentração no solo e que apresentavam algum perigo humano, de acordo com esta base de dados. Assim, será efectuada uma Análise de Risco de cada elemento só para os efeitos que possuem valores de referência⁷.

Já para o cálculo da dose irá ser necessário a introdução de novos conceitos e de pressupostos, encontrando-se a explicação seguidamente.

Uma dose é a quantidade temporal de um contaminante a que os indivíduos se encontram expostos e que pode penetrar no organismo. Assim, esta dependerá da concentração do poluente, da via de exposição (ingestão, inalação ou contacto dérmico) e da frequência de admissão no organismo. Desta forma, é possível já deduzir a seguinte equação:

⁷ Por razões científicas e simultaneamente políticas, a USEPA não fixou valores para o Chumbo.

$$Dose\ Potencial\ \left(\frac{mg}{dia}\right) = Concentração\ do\ Contaminante * Taxa\ de\ contacto \quad (7)$$

em que as concentrações do contaminante e a taxa de contacto foram consideradas aleatórias, como se irá explicar mais à frente. Esta dependerá por sua vez da via de exposição, sendo muitas vezes descrita como um produto de vários parâmetros.

Como as doses potenciais também irão depender significativamente do peso da pessoa em questão e do tempo de exposição, esta costuma ser normalizada, através da equação:

$$Dose\ Potencial\ Diária\ \left(\frac{mg}{kg*dia}\right) = \frac{D.P.\left(\frac{mg}{dia}\right)*T*f}{W*t} \quad (8)$$

Sendo

- *D.P.* a Dose Potencial;
- *T* a duração da exposição em dias por ano;
- *f* o período de exposição em anos;
- *W* o peso do corpo em kg;
- *t* o tempo de ponderação em dias, para converter em dose diária.

Para além destes parâmetros, podem ser também considerados factores de absorção no organismo, multiplicando-se estes pela Dose Potencial Diária.

5.2.2 Identificação dos cenários de exposição e dos processos de contacto

Cenários de Exposição

Para os cenários de exposição, considerou-se somente o contacto com o solo, como já foi dito, por ser o compartimento ambiental com maior informação obtida. Igualmente se excluíram os cenários de exposição envolvendo crianças pela zona de estudo ser bastante abandonada e de difícil acesso. Os factores de exposição (a frequência de visitas ao local, sua duração e a intensidade do contacto) foram integralmente retirados da Literatura, nomeadamente *do Environmental Restoration Risk Assessment Program*, um programa americano realizado com o âmbito de se caracterizarem ambientalmente os locais mais contaminados através da elaboração de análises de risco com o objectivo de se estabelecerem prioridades de reabilitação. Para tal, foram estudados alguns parâmetros, nomeadamente as suas distribuições estatísticas, sendo estes caracterizados ou por valores médios ou por valores máximos razoáveis. Foram estes resultados que foram utilizados neste relatório.

Vias de Exposição

As vias de exposição, já identificados pela **Ilustração 67**, são a Inalação, Ingestão ou Contacto Dérmico de contaminantes presentes no solo. Para cada processo foi calculada uma estimativa baseada nos princípios das equações 5, 6, 7 e 8, sendo que posteriormente se elaborou um modelo para a

estimação da dose de cada tipo de processo de contacto, obtendo-se os modelos descritos nas **Equações 9, 10 e 11**.

Como não existe informação real acerca dos parâmetros que entram no modelo, procurou-se na literatura valores médios ou máximos aceitáveis, sendo estes acompanhados por uma distribuição estatística que os definissem. Estes resultados encontrados apresentam-se nas **Tabelas 11, 12 e 13**.

A. Inalação de Substâncias presentes no Solo

$$Dose \left(\frac{mg}{kg*dia} \right) = \frac{TR*FD*CA*CS*EF*ED*RR*ABS}{P*t*T} \quad (9)$$

Sendo

- *TR* a Taxa de Inalação ou seja, o volume diário de ar inspirado em m³ de ar/dia. Finley *et al* (1994) sugeriram uma distribuição uniforme com valores mínimos e máximos de exposição, retirados da EPA (ver **Tabela 11**);
- *FD* a Fracção Temporal de Exposição, igual ao número de horas de permanência diárias, sendo por isso adimensional. Para este parâmetro, foi igualmente sugerida uma distribuição triangular, encontrando-se os seus parâmetros expostos na **Tabela 11**;
- *CA* a Concentração de Poeiras inaláveis na atmosfera, em kg/solo/m³ ar, considerada constante neste caso e de valor 300 µg/m³ ou 3,10⁻⁷ kg/m³;
- *CS* a Concentração no Solo, em mg/kg solo. Neste relatório, serão as concentrações obtidas pelas medições ao solo;
- *EF* a Frequência de Exposição em dias/ano;
- *ED* a Duração de Exposição em anos;
- *RR* a Fracção de Retenção no corpo;
- *ABS* o Factor de Absorção pelo sangue, em percentagem;
- *BIO* a Biodisponibilidade Relativa, sendo igual a *RR * ABS*. Considerou-se este parâmetro igual à unidade, bem como os seus dois factores que o compõe, uma vez que, como já foi referido acima, implicaria o estudo dos fenómenos biológicos, que saem do âmbito deste relatório;
- *P* o Peso da pessoa, em kg. Para exposições pontuais, a EPA recomenda o valor de 70 kg para adultos (ver **Tabela 11**). Com o tipo de simulação em que estes valores serão utilizados, a distribuição mais aconselhada é a log-normal;
- *t* o Período de Ponderação, em anos. Neste caso específico, foi considerado de 70 anos para efeitos cancerígenos e igual à duração da exposição para efeitos toxicológicos (EPA, 1996);
- *T* um factor de conversão, em 365 dias/ano.

Tabela 11: Tipos de Distribuições, seus parâmetros característicos e referências para o modelo da Inalação num cenário residencial. Fonte: [50]

	Estimativa Pontual	Tipo de Distribuição	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Valor Mais Provável	Referência
Peso do Corpo em Adultos (kg)	70	Log-normal	77,1	13,5	-	-	-	Smith, 1994
Frequência da Exposição	345	Triangular	-	-	12	180	52	Adoptado
Duração da Exposição (anos)	30	Log-Normal	11,36	13,72	-	-	-	Israeli, 1992
Taxa de Inalação	20	Uniforme	-	-	5,05	17,76	-	Finley, 1994
Fracção temporal de exposição	-	Triangular	-	-	0,0625	0,25	0,1	Adoptado

B. Ingestão de Solo

$$Dose\left(\frac{mg}{kg*dia}\right) = \frac{IS*FC*CS*CF*EF*ED*RR*ABS}{P*t*T} \quad (10)$$

Sendo

- *IS* a Ingestão do Solo por dia de exposição, em mg de solo/dia. Apesar da U.S.E.P.A. sugerir um valor superior ao indicado na **Tabela 12**, alguns estudos apontam que um valor médio de 50 mg/dia é elevado, tendo-se por isso optado pelo valor médio sugerido por Lagoy (1987);
- *FC* a Fracção de Solo ingerido e contaminado;
- *CS* a Concentração no Solo, em mg/kg solo;
- *EF* a Frequência de Exposição, em acontecimentos por ano. A U.S.E.P.A. e outros autores (Smith, 1994) sugerem valores mais elevados para este parâmetro, mas como no cenário em questão não existe muita construção edificada como se pode observar pela **Ilustração 67**, decidiu-se manter o tipo de distribuição sugerida, mas com valores de caracterização da mesma inferiores ao considerado normal (ver **Tabela 12**);
- *ED* a Duração de Exposição, em anos. Apesar da U.S.E.P.A. considerar um valor constante, decidiu-se no entanto adoptar uma distribuição estatística sugerida por Israeli (1992);
- *RR* a Fracção de Retenção;
- *ABS* o Factor de Absorção pelo sangue;
- *BIO* a Biodisponibilidade Relativa, sendo igual a $RR * ABS$. Considerou-se este parâmetro igual à unidade, bem como os seus dois factores que o compõe, uma vez que, como já foi referido acima, implicaria o estudo dos fenómenos biológicos, que saem do âmbito deste relatório;

- P o Peso do Corpo, em kg. Para exposições pontuais, a EPA recomenda o valor de 70 kg para adultos (ver **Tabela 12**). Com o tipo de simulação em que estes valores serão utilizados, a distribuição mais aconselhada é a log-normal;
- t o Período de Ponderação, em anos. Neste caso específico, foi considerado de 70 anos para efeitos cancerígenos e igual à duração da exposição para efeitos toxicológicos (EPA, 1996);
- T um factor de conversão, em 365 dias/ano.

Tabela 12: Tipos de Distribuições, seus parâmetros característicos e referências para o modelo da Ingestão num cenário residencial. Fonte: [50]

	Estimativa Pontual	Tipo de Distribuição	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Valor Mais Provável	Referência
Ingestão solo (mg/dia)	25	Triangular			0,1	50	25	Lagoy, 1987
Peso do Corpo (kg)	70	Log-normal	77,1	13,5				Smith, 1994
Frequência da Exposição (dias)	345	Triangular			180	365	345	Smith, 1995
Duração exposição (anos)	30	Log-normal	11.36	13,72				Israeli, 1992

C. Contacto Dérmico com o Solo

$$Dose \left(\frac{mg}{kg*dia} \right) = \frac{CS*CF*SA*BF*DF*ABS*EF*ED}{P*t*T} \quad (11)$$

Sendo

- CS a Concentração no Solo, em mg/kg solo;
- CF o Factor de Conversão, no valor de 10^{-6} mg/kg;
- SA a Área media superficial do corpo, em percentagem. Este parâmetro foi calculado através de uma relação entre a área do corpo e a idade do indivíduo, uma vez que estes dois factores se encontram correlacionados. Os parâmetros da distribuição na **Tabela 13** são referentes a um adulto;
- BF a Fracção da area da pele exposta, em percentagem / vez de exposição;
- DF a Aderência do Pó, em mg/cm^2 ;
- ABS o Factor de Absorção pela pele, em percentagem. Considerou-se este parâmetro igual à unidade, uma vez que, como já foi referido acima, implicaria o estudo dos fenómenos biológicos, que saem do âmbito deste relatório;
- EF a Frequência de Exposição, em acontecimentos por ano;
- ED a Duração da Exposição, em anos;
- P o Peso do corpo, em kg. Para exposições pontuais, a EPA recomenda o valor de 70 kg para adultos (ver **Tabela 13**). Com o tipo de simulação em que estes valores serão utilizados, a distribuição mais aconselhada é a log-normal;

- t Período de Ponderação, em anos. Neste caso específico, foi considerado de 70 anos para efeitos cancerígenos e igual à duração da exposição para efeitos toxicológicos (EPA, 1996);
- T um factor de conversão, em 365 dias/ano.

Tabela 13: de Distribuições, seus parâmetros característicos e referências para o modelo do Contacto Dérmico num cenário residencial. Fonte: [50]

	Estimativa Pontual	Tipo de Distribuição	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Valor Mais Provável	Referência
Área superficial da pele por unidade de peso (cm ² /kg)	248	Log-normal	248	28				Finley, 1994
Factor Aderência (mg/cm ²)	0,52	Log-normal	0,52	0,9				Finley, 1994
Fracção da área da pele exposta	345	Log-normal	-2,15 (log)	0,5 (log)				
Frequência da Exposição (dias)	52	Triangular			12	180	52	Adoptado
Duração exposição (anos)	30	Log-normal	11,36	13,72				Israeli, 1992
Peso do Corpo (kg)	70	Log-normal	77,1	13,5				Smith, 1994

Para conhecer as características de cada uma das distribuições aqui referidas, consultar o **Anexo O**.

Desta forma, já quase todos os parâmetros se encontram definidos. O único que falta caracterizar é a concentração de contaminantes no solo, cujos dados já foram expostos anteriormente. Para tal, realizaram-se testes de ajuste às distribuições normal e log-normal, que são as mais prováveis de obterem erros menores. Isto acontece devido às concentrações de poluentes no ambiente seguirem tipicamente uma distribuição log-normal, que como se pode ver pelo **Anexo O**, apresenta um pico ligeiramente à esquerda. Este fenómeno indica que não existem muitos casos a ultrapassar a média normalizada dos valores, sendo normal que haja bastantes medições concordantes com os valores de fundo. No entanto, não quer isto dizer que por um elemento apresentar uma distribuição log-normal, o local em questão não esteja contaminado, pois os poucos valores presentes à direita da média normalizada poderão apresentar um risco ambiental elevado.

Decidiu-se igualmente testar a distribuição normal devido à existência de poucos valores, que poderão levar a que o ajuste real seja diferente do esperado.

Para isso, utilizou-se mais uma vez o *software* **XLSTAT** para a realização destes testes, tendo-se para isso utilizado a função “Ajuste de uma Distribuição” no menú “Modelação de Dados”. O método estatístico utilizado foi o **Teste de Kolmogorov-Smirnov** com um intervalo de confiança de **95%**, ou

seja, com um nível de significância α de 5% e cuja Hipótese testada, H_0 , foi a qualidade do ajuste a uma distribuição. O princípio deste Método poderá ser consultado no **Anexo P**. Os resultados podem ser consultados na **Tabela 14**.

Tabela 14: Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov obtidos pelo XLSTAT.

	Ajuste à Normal			Ajuste à Log-Normal		
	valor p	α	Resultado da Hipótese	valor p	α	Resultado da Hipótese
As	0.005	0,05	não segue	0.325	0,05	segue
Zn	< 0,0001	0,05	não segue	0.004	0,05	não segue
Mn	0.016	0,05	não segue	0.017	0,05	não segue
Ba	< 0,0001	0,05	não segue	< 0,0001	0,05	não segue

Como se pode verificar, o valor p, ou seja, a probabilidade das diferenças entre a distribuição dos dados e a distribuição teórica é na maioria dos casos muito pequena. Este facto significa que as diferenças entre as duas ditribuições são muito grandes, uma vez que, se fossem parecidas, a probabilidade de encontrar uma diferença considerável seria pequena. Assim, verifica-se que só o Arsénio apresenta um resultado positivo relativamente à distribuição Log-Normal.

Contudo, não era esperado que os ajustes fossem bons, dado que as amostras não foram retiradas de uma forma aleatória propositadamente, tendo havido uma preferência espacial relativamente à zona onde se pensava haver maior contaminação. No entanto, acredita-se que se fossem retiradas mais amostras, eventualmente os dados seguiriam uma distribuição normal, pelo que foi essa que se adoptou na simulação que se segue.

5.3 Simulação da Análise de Risco através do Método de Monte Carlo

Como o título deste capítulo sugere, a Análise de Risco efectuada neste relatório será probabilística, significando isso que os parâmetros de entrada são baseados em valores teóricos consultados na literatura. A metodologia para o uso dessa informação no cálculo do risco ou do índice de toxicidade é a do Método de Monte Carlo.

O Método de Monte Carlo é um método numérico⁸ para resolver problemas de matemática através de uma amostra aleatória. Concretizando, este método gera valores aleatórios que serão introduzidos na função que se quer testar, produzindo no final uma família de resultados. Normalmente, os resultados finais, bem como os próprios valores aleatórios gerados iniciais são normalizados a um tipo de distribuição que seja mais adequado, uma vez que este método encontra inúmeras aplicações estatísticas.[48]

⁸ Métodos matemáticos, baseados em algoritmos cujo objective é, por tentativas (iterações), aproximar o resultado o mais possível da solução analítica. São normalmente utilizados em equações complexas sem solução analítica.

No presente caso, este método numérico foi utilizado através do software **Matlab®**, onde se desenvolveu uma rotina adaptada ao problema em estudo. O Matlab® é uma ferramenta que permite o desenvolvimento de programas no âmbito da matemática através de uma forma acessível, oferecida por uma linguagem de alto nível e de um ambiente interativo. Entre outras vantagens, o Matlab facilita a visualização dos dados e a sua análise, bem como a respectiva computação numérica. Através da linguagem do MATLAB®, é possível operar vectores e matrizes mais facilmente, uma vez esta está especificamente orientada para este tipo de cálculos, permitindo a rápida resolução de problemas de engenharia. [49]

Uma representação esquemática do algoritmo do Método de Monte Carlo utilizado encontra-se no esquema da **Ilustração 69**. Para a consulta do algoritmo propriamente dito, ver o **Anexo Q**.

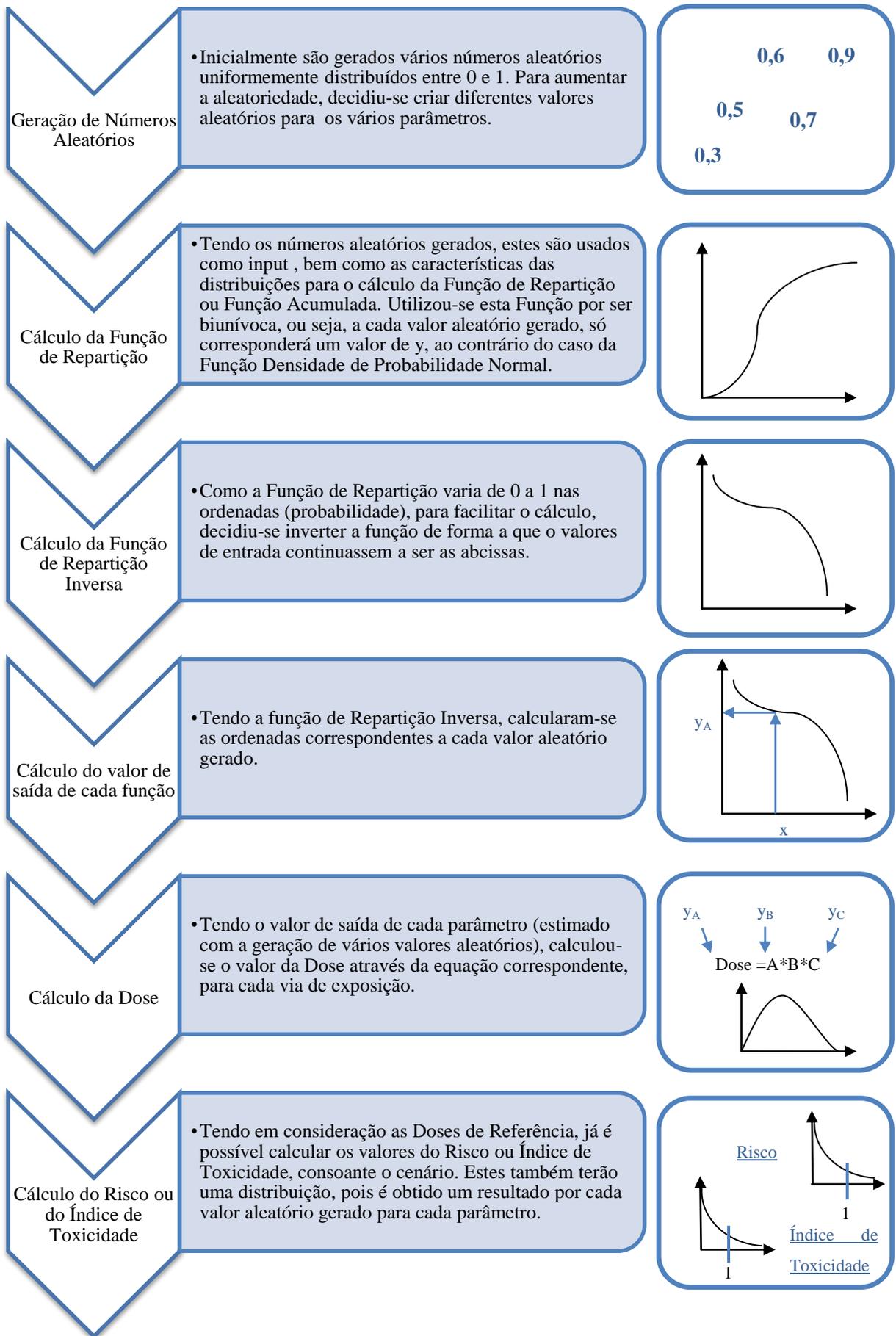


Ilustração 70: Esquema genérico do algoritmo usado para o Método de Monte Carlo.

Considerando as doses de referência disponíveis e os elementos seleccionados, o algoritmo foi desenvolvido para os cenários expostos na **Ilustração 70**.

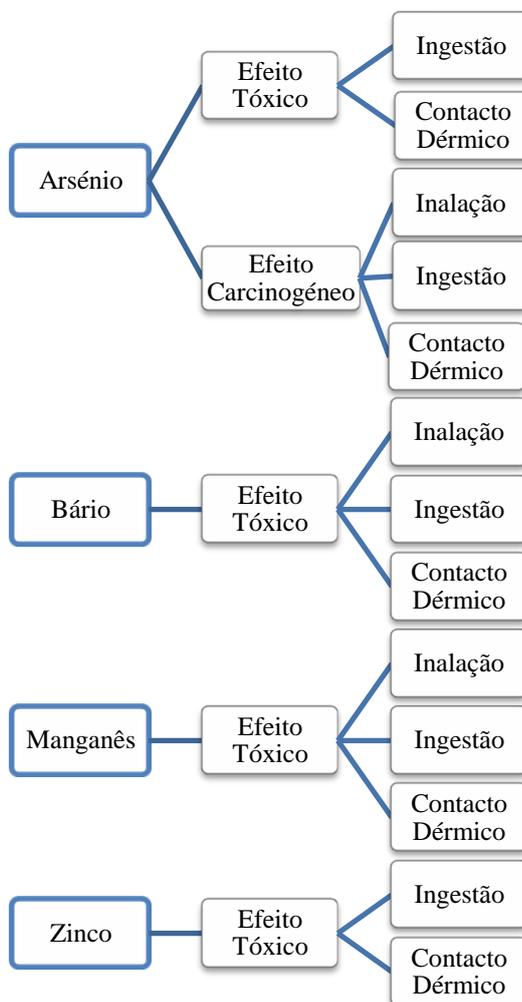


Ilustração 71: Esquema das Simulações Efectuadas para cada Elemento em Matlab.

5.4 Resultados

Os gráficos finais retirados das rotinas em Matlab encontram-se de seguida. Optou-se por apresentar um exemplo dos histogramas intermédios obtidos pela rotina nas **Ilustrações 72 e 73**, neste caso para o elemento Arsénio por via de contacto dérmico para o efeito tóxico sendo que os restantes histogramas referentes às distribuições dos parâmetros e das doses se encontram no **Anexo R**.

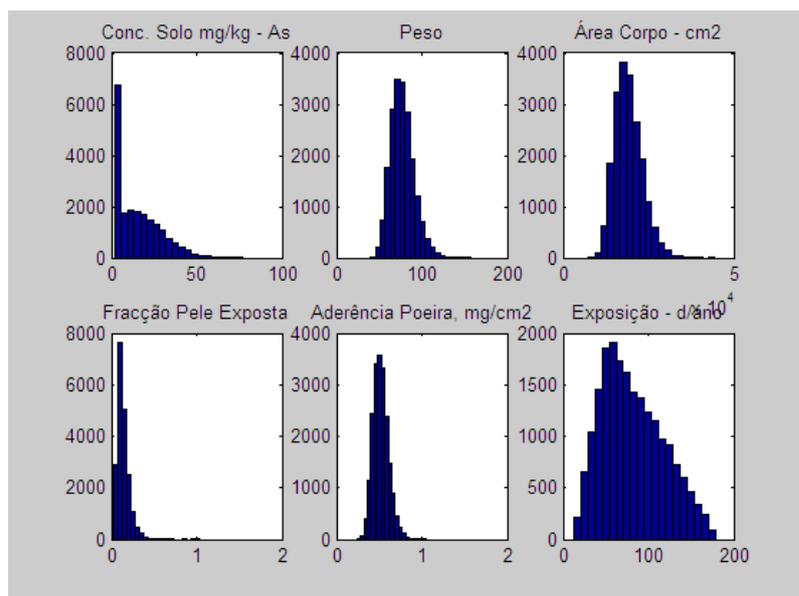


Ilustração 72: Exemplo dos histogramas intermédios para os vários parâmetros obtidos pelo Matlab através da simulação pelo Método de Monte Carlo.

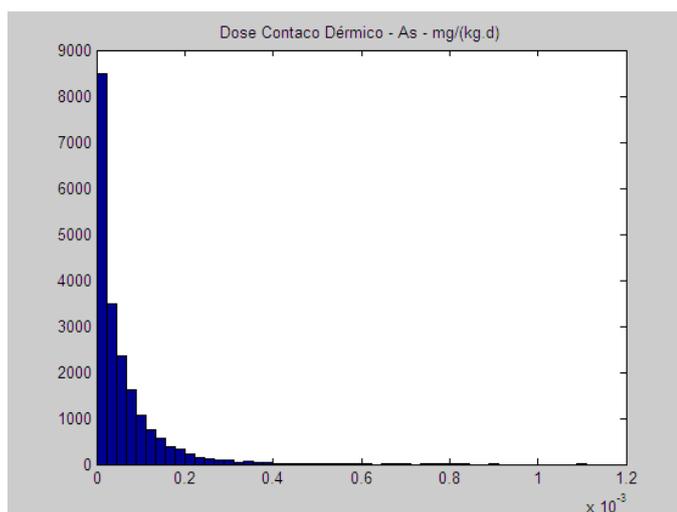


Ilustração 73: Exemplo dos histogramas intermédios para a dose obtidos pelo Matlab através da simulação pelo Método de Monte Carlo.

De notar que se considerou que haveria risco potencial para o Índice de Toxicidade se as abcissas ultrapassassem o valor unitário, significando assim que a dose calculada seria maior que a dose de referência, como se pode verificar pela **Equação 5**. Relativamente ao Risco Carcinogénico, calculado pela **Equação 6**, o critério passou pela comparação dos valores obtidos com o normalmente aceite para limite de existência de risco, de 10^{-6} . Nas ordenadas estão representadas as frequências absolutas do número de indivíduos associado a cada grau de risco.

De se referir que em cada caso o programa foi corrido **20 000** vezes, significando que para cada parâmetro (inclusivamente o número de indivíduos), o programa gerou 20 000 números aleatórios.

5.4.1 Arsénio

Os histogramas referentes aos Índices de Toxicidade encontram-se nas **Ilustrações 74 e 75**, para este elemento. Já os referentes ao Risco Carcinogénico encontram-se nas **Ilustrações 76, 77 e 78**.

Efeito Tóxico

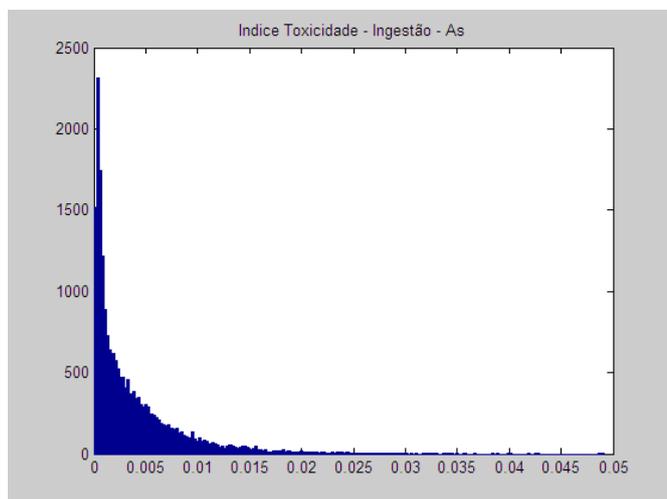


Ilustração 74: Histograma do Índice de Toxicidade do Arsénio por Ingestão.

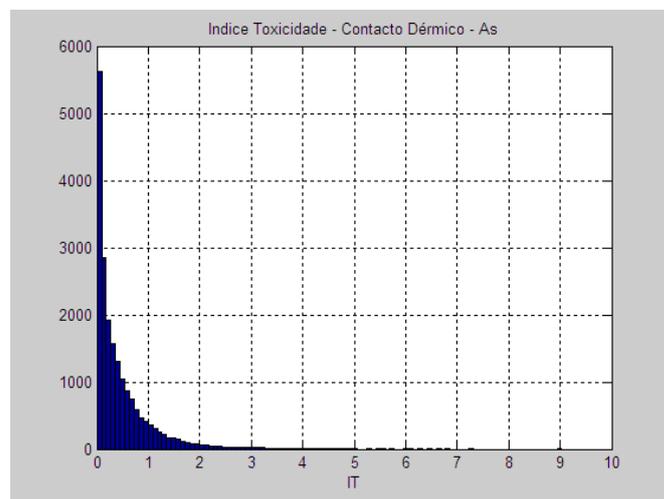


Ilustração 75: Histograma do Índice de Toxicidade do Arsénio por Contacto Dérmico.

Como se pode verificar, apenas o Índice de Toxicidade por Contacto Dérmico ultrapassa o valor unitário, chegando aos 8, significando isso que haverá um risco significativo de toxicidade do Arsénio por contacto dérmico. Neste caso, o risco irá afectar uma população de cerca de 500 pessoas (ordenada correspondente à unidade no eixo das abcissas) em 20 000 análises, ou seja, cerca de 2,5% dos casos.

Efeito Carcinogénico

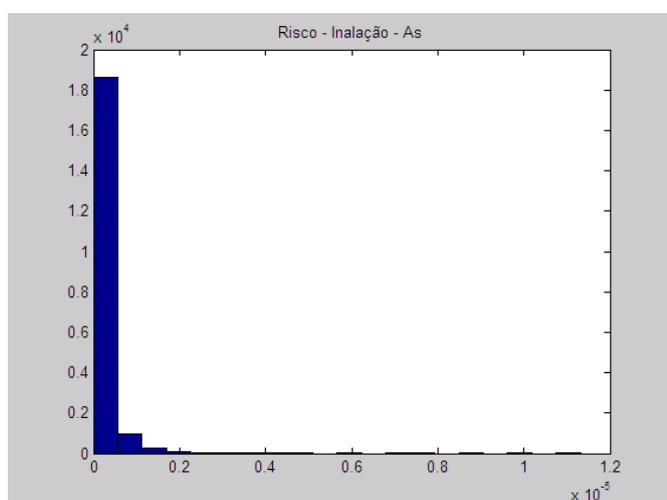


Ilustração 76: Histograma do Risco Carcinogénico do Arsénio por Inalação.

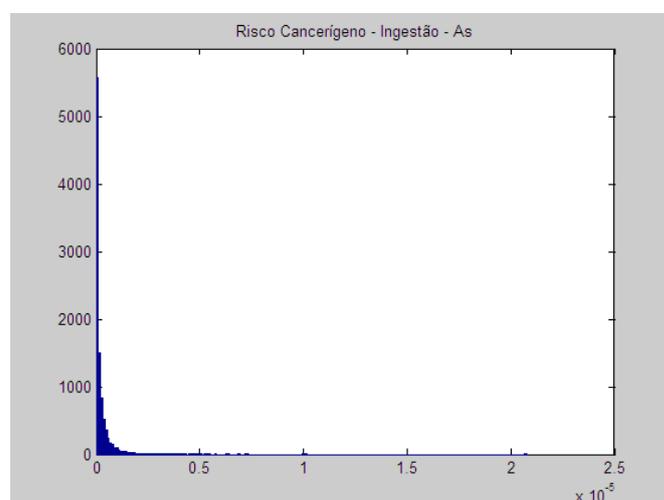


Ilustração 77: Histograma do Risco Carcinogénico do Arsénio por Ingestão.

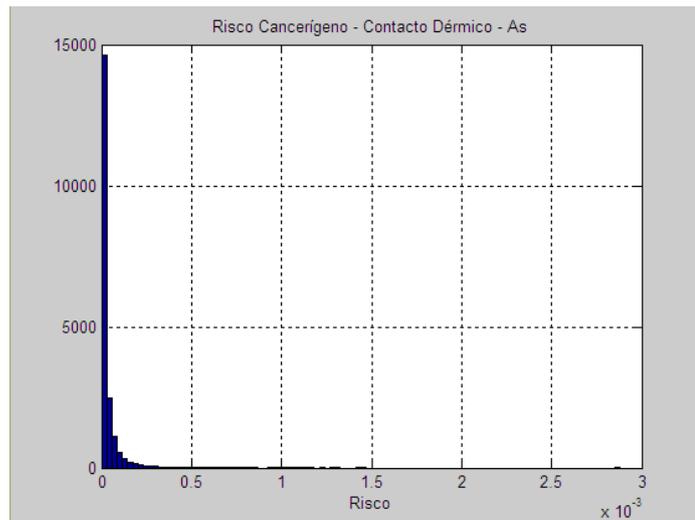


Ilustração 78: Histograma do Risco Carcinogénico do Arsénio por Contacto Dérmico.

Já para o efeito carcinogénico, os efeitos mais perigosos estão presentes através do contacto dérmico deste elemento, uma vez que o risco correspondente se encontra na ordem dos 10^{-3} , muito maior que o limite de 10^{-6} normalmente aceite. Para se averiguar com maior precisão a dose correspondente a este valor, decidiu-se ampliar o histograma como se pode verificar pela **Ilustração 79**.

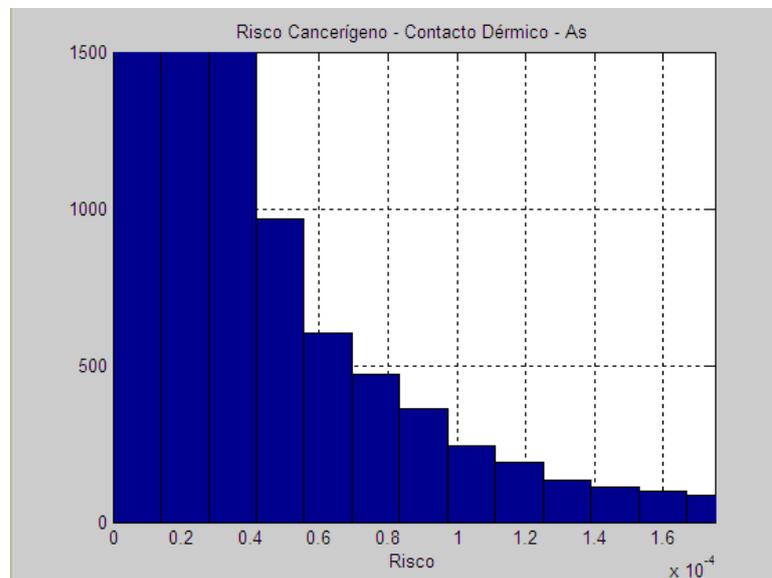


Ilustração 79: Pormenor do Histograma de Risco Carcinogénico do Arsénio por Contacto Dérmico.

Olhando agora com maior pormenor, verifica-se que mesmo assim, o risco associado ainda é muito elevado, pois mesmo para valores de 10^{-5} (uma grandeza acima do valor aconselhado), a população afectada é cerca de 1500 indivíduos, ou seja, 7,5% da população, o que já se considera um valor mais preocupante.

5.4.2 Bário

Relativamente a este elemento, os histogramas referentes ao efeito tóxico (não existe dose de referência para o efeito carcinogénico) encontram-se nas **Ilustrações 80, 81 e 82**.

Efeito Tóxico

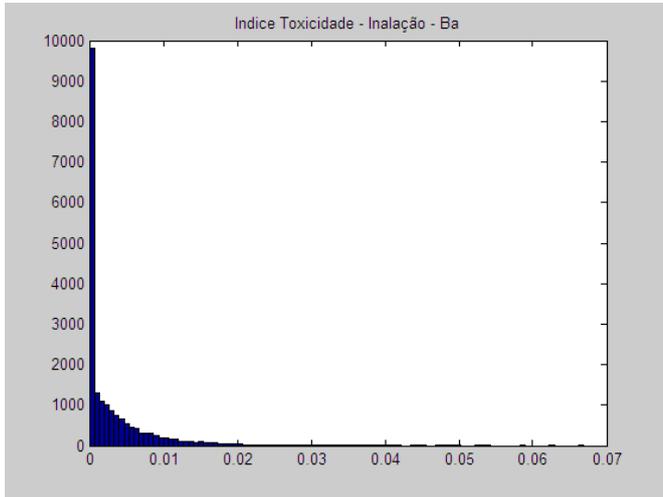


Ilustração 80: Histograma do Índice de Toxicidade do Bário por Inalação.

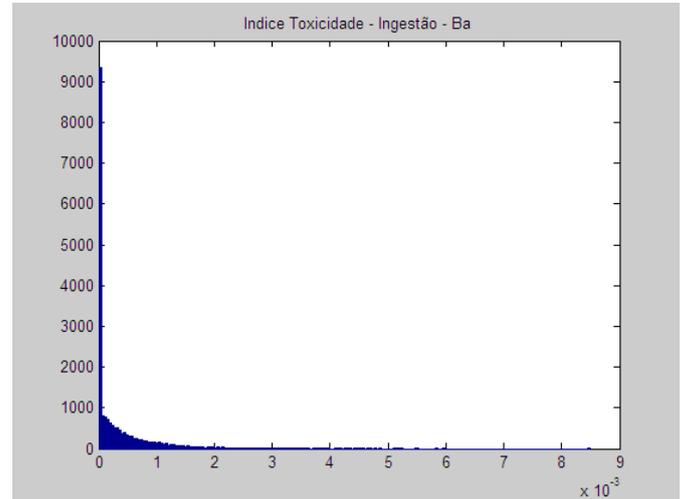


Ilustração 81: Histograma do Índice de Toxicidade do Bário por Ingestão.

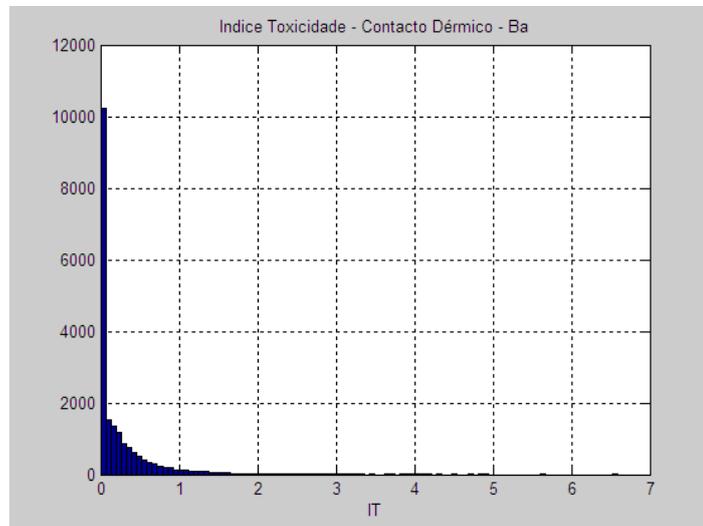


Ilustração 82: Histograma do Índice de Toxicidade do Bário por Contacto Dérmico.

Como se pode verificar, o risco maior está associado ao contacto dérmico, uma vez que só este ultrapassa o valor unitário, apesar dos indivíduos afectados por este risco serem muito poucos, abaixo de uma centena, ou seja, cerca de 0,5%.

5.4.3 Manganês

Mais uma vez, para este elemento, só existe risco de toxicidade, havendo no entanto risco potencial para as três vias de exposição. Os histogramas respectivos encontram-se presentes nas **Ilustrações 83, 84 e 85**.

Efeito Tóxico

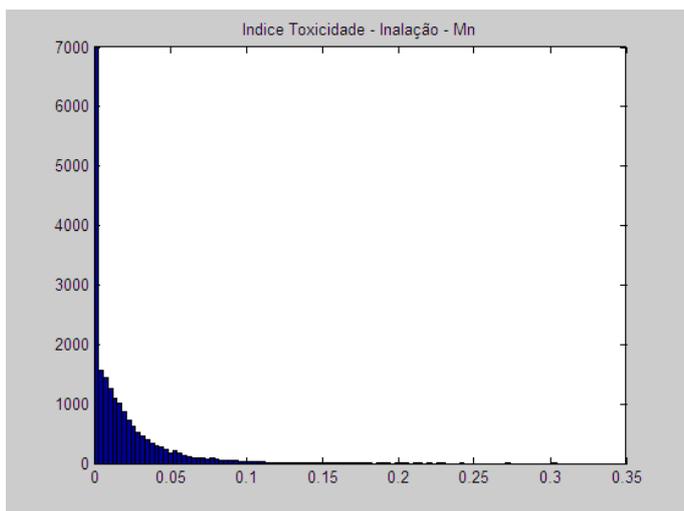


Ilustração 83: Histograma do Índice de Toxicidade do Manganês por Inalação.

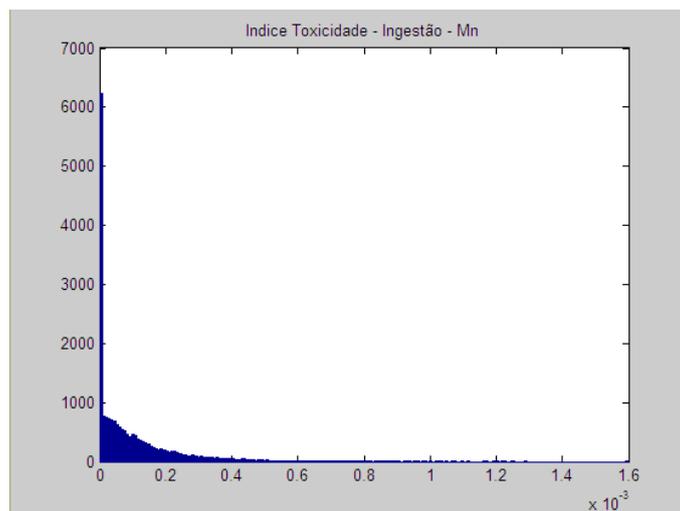


Ilustração 84: Histograma do Índice de Toxicidade do Manganês por Ingestão.

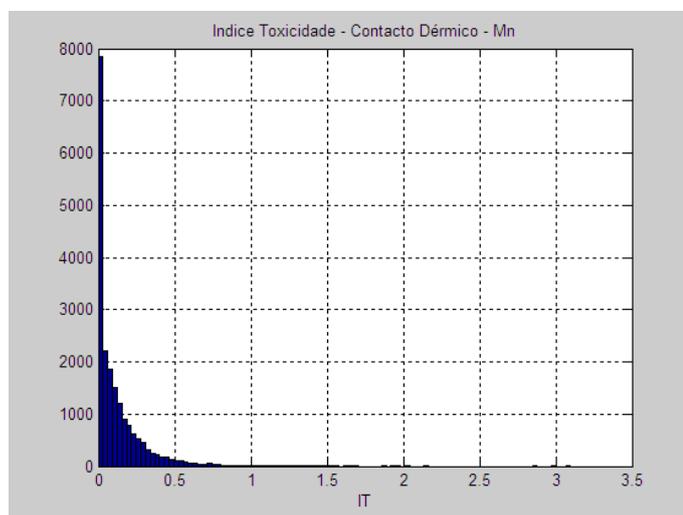


Ilustração 85: Histograma do Índice de Toxicidade do Manganês por Contacto Dérmico.

Como se pode observar, o risco associado à exposição deste elemento só se manifesta pela via de contacto dérmico e é mais reduzida comparativamente ao risco verificado para o Arsénio e o Bário relativamente à mesma via de contacto. Efectivamente, para este elemento, o risco só se verifica para um número de indivíduos reduzido, abaixo da centena.

5.4.4 Zinco

Finalmente, para o Zinco, só existe dose de referência para a ingestão e o contacto dérmico, cujo histograma do Índice de Toxicidade de apresenta nas **Ilustrações 86 e 87**.

Efeito Tóxico

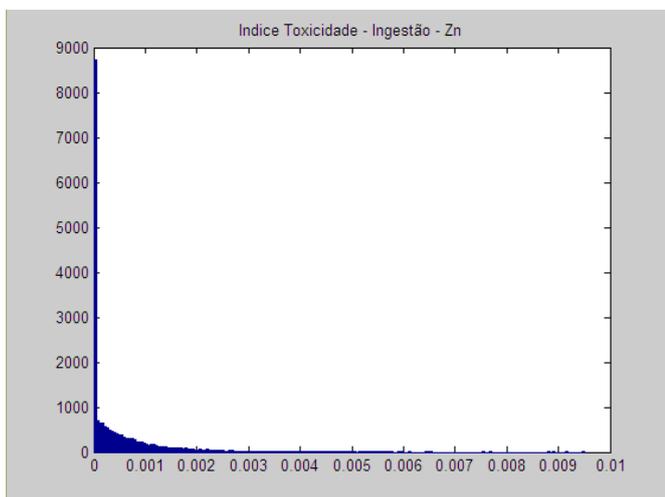


Ilustração 86: Histograma do Índice de Toxicidade do Zinco por Ingestão.

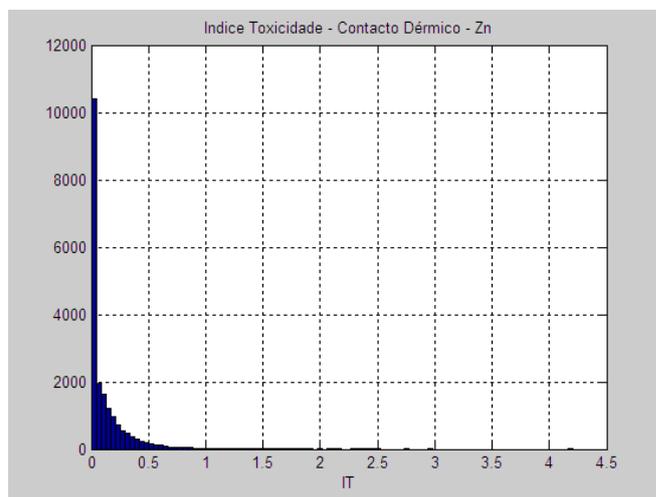


Ilustração 87: Histograma do Índice de Toxicidade do Zinco por Contacto Dérmico.

Verificando os índices de toxicidade, conclui-se que, mais uma vez, só por contacto dérmico o risco será maior. No entanto, este também não será muito elevado, uma vez que o número de indivíduos afectados não ultrapassa uma centena.

Fazendo agora um resumo destes resultados, é possível concluir que os elementos com maior risco são o Bário e o Arsénio, relativamente ao Índice de Toxicidade. Quanto à via de exposição mais perigosa, considerou-se que a via por contacto dérmico foi, de longe, a que mais se salientou, uma vez que pelas restantes vias de exposição, só no efeito carcinogénico se registou algum risco.

Capítulo 6

Conclusões

Tendo em consideração os dados adquiridos até este ponto, faz-se agora um resumo e algumas conclusões possíveis.

Quanto às análises ao solo, estas confirmaram a existência de concentrações anormais de Cobre, Zinco, Arsénio e Chumbo na zona de estudo. No entanto, estas mesmas análises foram realizadas em número escasso e só à superfície, não tendo havido informação relativamente às camadas mais profundas onde originalmente se depositaram os resíduos e por conseguinte há mais propensão a haver algum tipo de contaminação. No entanto, foram feitos esforços para se retirar o máximo de informação dos dados conseguidos, tendo-se para isso aplicado alguns métodos estatísticos e uma Análise de Risco básica, de tal forma que as conclusões retiradas com estes dados se aproximassem às conclusões retiradas com mais dados sem a aplicação destes métodos., nomeadamente no que toca à dispersão preferencial dos metais e da localização das concentrações mais elevadas.

Relativamente à água, foi confirmada a existência de contaminação relativamente à matéria orgânica e foi levantada a suspeita da contaminação inorgânica por metais pesados uma vez que as escorrências provenientes da bacia possuem um valor elevado e as análises ao solo confirmaram a existência de valores elevados de Cobre, Zinco, Arsénio e Chumbo. No entanto, seria necessária a realização de análises que confirmassem a contaminação destes metais na água. De qualquer das formas, poderá ser encontrada uma solução para a contaminação que se sabe ter na água, passando esta pelo transporte da mesma para uma ETAR depois do tratamento do solo (para não voltar a haver contaminação por parte deste) de forma a restabelecer os níveis normais de oxigénio.

Já no que toca aos lixiviados, não foram identificados perigos substanciais relativamente aos parâmetros medidos, sendo no entanto aconselhada a realização de ensaios suplementares à concentração de metais pesados para avaliar se há dispersão destes na área.

De qualquer das formas, uma solução de contenção ou de prevenção da dispersão destes contaminantes prioritária seria a introdução de uma membrana de PEAD (PoliEtileno de Alta Densidade) por cima do aterro actual de tal forma que a água da chuva resultante não percolasse pelo solo até à zona de resíduos, evitando a lixiviação para a laguna. Já relativamente a esta, a solução mais económica passaria pela introdução de difusores de ar para aumentar a concentração de oxigénio. No entanto, este processo levaria provavelmente à formação de precipitados óxidos e hidróxidos metálicos que teriam que ser removidos posteriormente numa lagoa de decantação. De notar que as tecnologias referidas inicialmente para a descontaminação de solos não teriam muita aplicação aqui, uma vez que, para além de mais caras, o baixo grau de contaminação não justifica a sua implementação. Para além disso, teriam que ser sempre alvo de estudos muito mais profundos na sua aplicação.

Como conclusões finais, pode-se afirmar que a utilidade deste relatório passou pela transmissão de uma ideia geral do estado ambiental da zona de estudo e principalmente pela demonstração dos métodos disponíveis que poderão ser aplicados de forma a se extrair o máximo de informação possível com a mínima amostragem de dados, que por vezes poderão ser complicados de adquirir por necessitarem de meios elaborados, como é o caso das amostragens em profundidade, ou pela duração prolongada que algumas amostras exigem, de forma a se avaliarem os parâmetros em várias condições atmosféricas. No entanto, estes dados terão sempre utilidade na elaboração de estudos posteriores, uma vez que já fornecem uma orientação dos aspectos mais críticos deste local. Assim, considera-se que os objectivos deste relatório foram atingidos com sucesso.

Por fim, este tipo de análise não pode ser visto como um prejuízo financeiro, uma vez que a requalificação de terrenos é também uma oportunidade de negócio, que se fundamenta na perspectiva do retorno financeiro que pode resultar na devolução dessa parcela ao uso urbano, comercial ou industrial.

Capítulo 7

Referências Bibliográficas

- [1] “O ambiente na Europa - Quarta avaliação”, Agência Europeia do Ambiente, URL: <http://www.eea.europa.eu>, acessado em Março 2009
- [2] Agência Europeia do Ambiente, URL: <http://www.eea.europa.eu/pt/themes/soil>, consultado em Março 2009;
- [3] P. M. Heikkinen *et al*, “Mine Closure Handbook”, Environmental Techniques for the Extractive Industries, 2008;
- [4] Regulamento N° 224/2008, “Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia”, de 18 de Abril de 2008.
- [5] Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho que estabelece um quadro para a protecção do solo e altera a Directiva 2004/35/CE, 2006 ou Directiva da Responsabilidade Ambiental;
- [6] Decisão 1600/2002/CE, que estabelece o Sexto Programa Comunitário em matéria de Ambiente, consultado em Março 2009;
- [7] Carlos Nunes da Costa, Celeste Jorge, António M. A. Fiúza, “Requalificação e Descontaminação de Solos”, Revista “Indústria e Ambiente”, Janeiro e Fevereiro 2009;
- [8] Direcção Geral de Energia e Geologia, URL: <http://www.dgge.pt/>, acessado em Março de 2009;
- [9] Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável: URL: <http://www.desenvolvimentosustentavel.pt/>, acessado em Março 2009;
- [10] “Measuring Soil Quality (5)”, Soil Quality Institute, Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, consultado em Março 2009;

- [11] Mutasem El-Fadel, Salah Sadek, “Environmental Management of Quarries as Waste Disposal Facilities”, *Environmental Management*, Vol. 27, No 4, pp515-531, 2001;
- [12] Tamar Milgrom, “Environmental aspects of rehabilitating abandoned quarries: Israel as a case study” *Landscape an Urban Planning*, 87, pp 172-179, 2008;
- [13] “Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning”, Soil Quality Institute, Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Janeiro 2001;
- [14] Government Decree on the Assessment of Soil Contamination and Remediation Needs (214/07), Ministry of the Environment, Finland, 2007;
- [15] Institute for Veterinary Public Health, University of Veterinary Medicine Vienna, URL: <http://koepfen-geiger.vu-wien.ac.at/>, acedido em Março 2009;
- [16] James T. Maughan, “Ecological Assessment of Hazardous Waste Sites”, 1993;
- [17] “Contaminacion y Depuracion de Suelos”, Coordenação de Francisco López Santiago e Francisco Javier Ayala Carcedo, Instituto Tecnológico GeoMinero de España;
- [18] António Fiúza, “Protecção e Reabilitação de Solos e Aquíferos Contaminados”, sebenta da disciplina “Reabilitação de Solos e Aquíferos” do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, edição de 2004;
- [19] Agência Portuguesa do Ambiente, URL: <http://www.apambiente.pt/politicasantambiente/Residuos/Paginas/default.aspx>, consultado em Março 2009;
- [20] Lei 58/2005 ou Lei-Quadro da Água;
- [21] Decreto-Lei 340/2007 ou D.L. da Indústria Extractiva;
- [22] Decreto-Lei 194/00 ou D.L. da Prevenção e Controlo Integrados de Poluição;
- [23] Portaria sobre a Listagem de Substâncias Perigosas ou Portaria n.º 209/2004;
- [24] Babylon, www.babylon.com, acedido em Abril 2009;
- [25] Mário Bastos, Isabel Azevedo e Silva "Restauração, Reabilitação e Reconversão na Recuperação Paisagística de Minas e Pedreiras", VISA Consultores;
- [26] Decreto-Lei 270/2001 ou D.L. da Pesquisa e Exploração de Massas minerais-pedreiras;
- [27] Decreto-Lei 46/2008 ou D.L. DA Gestão de Resíduos de Construção e Demolição;
- [28] Formigo, “Apontamentos de Ecologia”, acetatos da disciplina “Gestão de Recursos Hídricos e de Áreas Protegidas” do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, consultado em Abril 2009;

- [29] DIN 38414: Sludge and Sediments, Determination of Leachability by water, German Standard Methods for the Examination of Water, Waste Water and Sludge;
- [30] Decreto-Lei 152/2002 ou D. L. da Deposição de Resíduos em Aterros;
- [31] How Stuff Works, URL: www.howstuffworks.com, consultado em Março 2009;
- [32] Apontamentos de aulas de Estatística Ambiental e Tecnologias de Informação Geográfica, Universidade Nova de Lisboa, URL:
http://air.dcea.fct.unl.pt/aulas/eatig/apoio/Aula_T10/Geoestatistica.htm, consultado em Maio 2009;
- [33] Claudio Carlon, “Derivation Methods of Soil Screening Values in Europe: a Review and Evaluation of National Procedures towards harmonization”, JRC Scientific and Technical Reports, European Commission, 2007;
- [34] Relatório do Ensaio de Lixiviação no âmbito da Disciplina “Laboratórios de Ciências do Ambiente III”, do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, elaborado em Abril de 2006;
- [35] Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, URL: www.priberam.pt, acedido em Maio 2009;
- [36] Decreto-Lei 236/1998 sobre as normas de qualidade da água consoante o seu fim;
- [37] Decreto-Lei 239/97 sobre a gestão de resíduos;
- [38] Rodrigo Maia, acetatos da disciplina “Gestão de Recursos Hídricos e de Áreas Protegidas” do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, consultado em Abril 2009;
- [39] Hair, Anderson, Tathan, Black, “Multivariate Data Analysis”, International Edition, Fifth Edition;
- [40] Pereira, H. G. e Sousa, A, J. 1988, “Análise de Dados para Tratamento de Quadros Multidimensionais”, Centro de Valorização de Recursos Minerais, Lisboa, 115 pp;
- [41] Patrícia Carvalho Carvalhido, “Análise Conjunta de Quadros de Dados: Comparação de Alguns Métodos”, Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Estatística Aplicada e Modelação pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005;
- [42] Lindsay I. Smith, “A Tutorial on Principal Components Analysis” University of Otago, 2002, URL: www.cs.otago.ac.nz, acedido em Maio 2009;
- [43] John C. Davis, “Statistics and Data Analysis in Geology”, Second Edition;
- [44] Limit Values for the allocation of Wastes to Austrian landfill types, URL: http://iae.unileoben.ac.at/download/skripten/landfill/DV_1996_Englisch_Grenzwerte.pdf, consultado em Junho 2009;

- [45] António Fiúza, texto de apoio da disciplina “Modelos de Dispersão Ambientais” Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, consultado em Junho 2009;
- [46] Cheng, texto de apoio da disciplina “Tecnologias e Sistemas de Tratamento de Águas I”, Integrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, consultado em Junho 2009;
- [47] Integrated Risk Information System Overview, URL: <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm>, acedido em Junho 2009;
- [48] Ivan T. Demov, “Monte Carlo Methods for Applied Scientists, Word Scientific;
- [49] Introduction to Matlab, Mathworks, URL: http://www.mathworks.com/products/matlab/description1.html?s_cid=ML_b1008_desintro, acedido em Junho 2009;
- [50] E. A. Dawoud, S. T. Purucker, “Quantitative Uncertainty Analysis of Superfund Residential Risk Pathways Models for Soil And Groundwater”, Environmental Restoration Risk Assessment Program, U. S. Department of Energy, 1996

Anexos

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Planta de Altimetria e Planos de Ordenamento e Condicionante	91
Anexo B: Bacia Hidrográfica.....	95
Anexo C: Tabelas com os Dados Base da Temperatura, Pluviosidade e Evaporação Potencial	97
Anexo D: Método de Thornthwaite e Mather para o Cálculo da Evaporação Efectiva	117
Anexo E: Tabelas usadas para o Cálculo da Evaporação Efectiva e Escorrências	119
Anexo F: Princípio de Funcionamento do GPS (Global Positioning System).....	143
Anexo G: Fotografias dos Locais onde se realizaram as Análises ao Solo.....	145
Anexo H: Protocolos seguidos para os Ensaios de Lixiviação e de Geração Líquida de Ácido	151
H.1 Protocolo do Ensaio de Lixiviação baseada na Norma DIN 38414-S4	151
H.2 Protocolo do Ensaio de Geração Líquida de ácido Baseada em [18]	153
Anexo I: Tabelas com os Resultados das Análises ao Solo	155
Anexo J: Tabelas com os Resultados das Análises à Água e Respectiva Legislação	159
Anexo K: Tabelas com os Resultados das Análises aos lixiviados.....	161
Anexo L: Modelos predefinidos utilizados na construção de Variogramas.....	167
L.1 Modelo Linear.....	167
L.2 Modelo Potência.....	167
L.3 Modelo Gaussiano.....	168
L.4 Modelo Esférico	168
Anexo M: Relatório da Krigagem Efectuada no Surfer® 8.....	169
Anexo N: Valores devolvidos pelo XLSTAT no cálculo da Análise em Componentes Principais	171
Anexo O: Características das Distribuições Estatísticas usadas na Análise de Risco Probabilística.....	177
O.1 Distribuição Normal	177
O.2 Distribuição Log-Normal.....	178
O.3 Distribuição Triangular.....	179
Anexo P: Princípio do Método do Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	181
Anexo Q: Exemplo das rotinas utilizadas no Matlab® para o elemento Arsénio.....	183

Q.1 Efeito Carcinogéneo por Contacto Dérmico.....	183
Q.2 Efeito Tóxico por Contacto Dérmico.....	186
Q.3 Efeito Carcinogéneo por Inalação.....	188
Q.4 Efeito Tóxico por Inalação	191
Q.5 Efeito Carcinogéneo por Ingestão.....	193
Q.6 Efeito Tóxico por Ingestão	195
Anexo R: Gráficos resultantes da Análise de Risco.....	199
R.1 Arsénio.....	199
R.2 Bário.....	205
R.3 Manganês	208
R.4 Zinco	211

Anexo A

Planta de Altimetria e Planos de Ordenamento e Condicionante

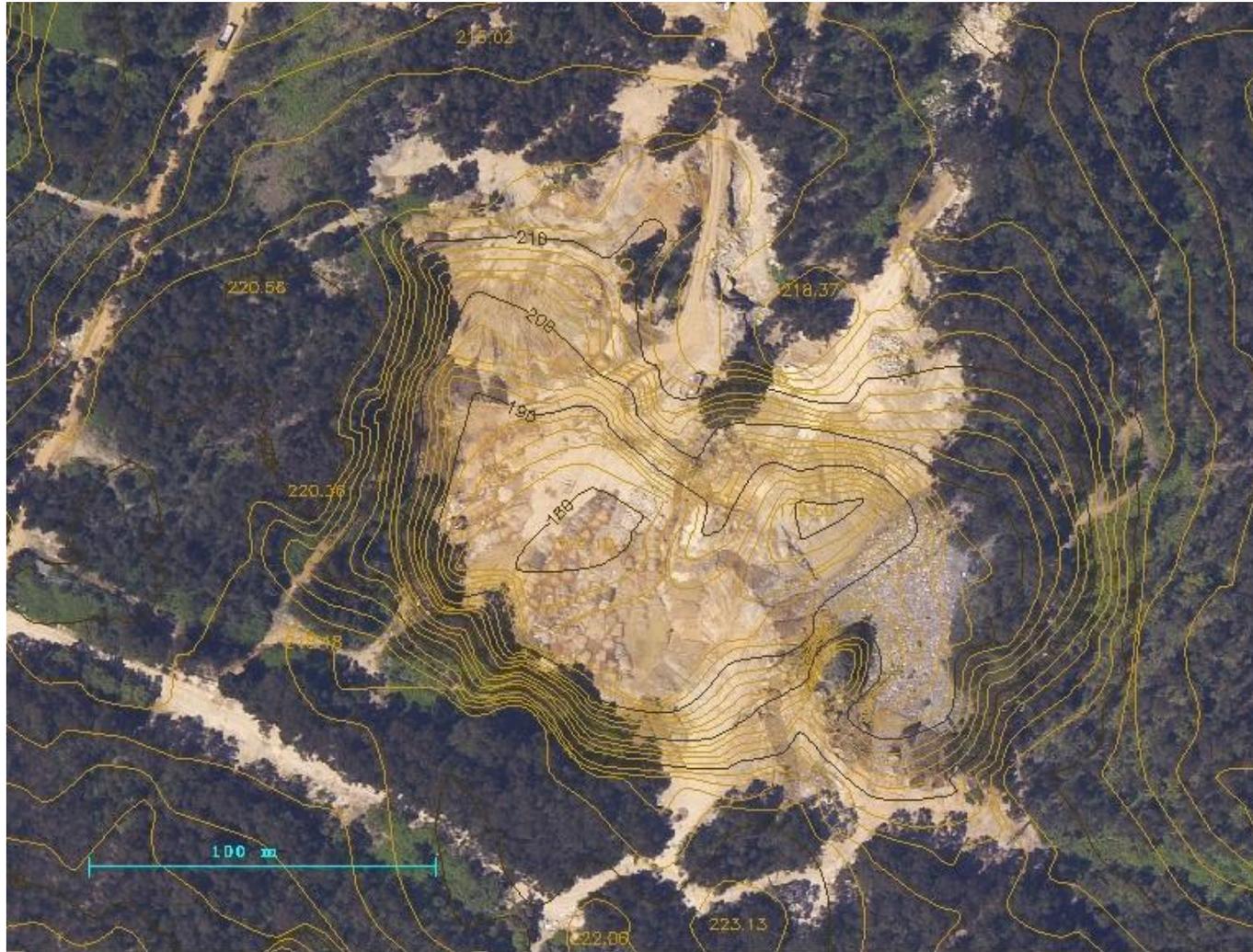


Ilustração 1: Planta da Altimetria de 2001. Fonte: Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia.

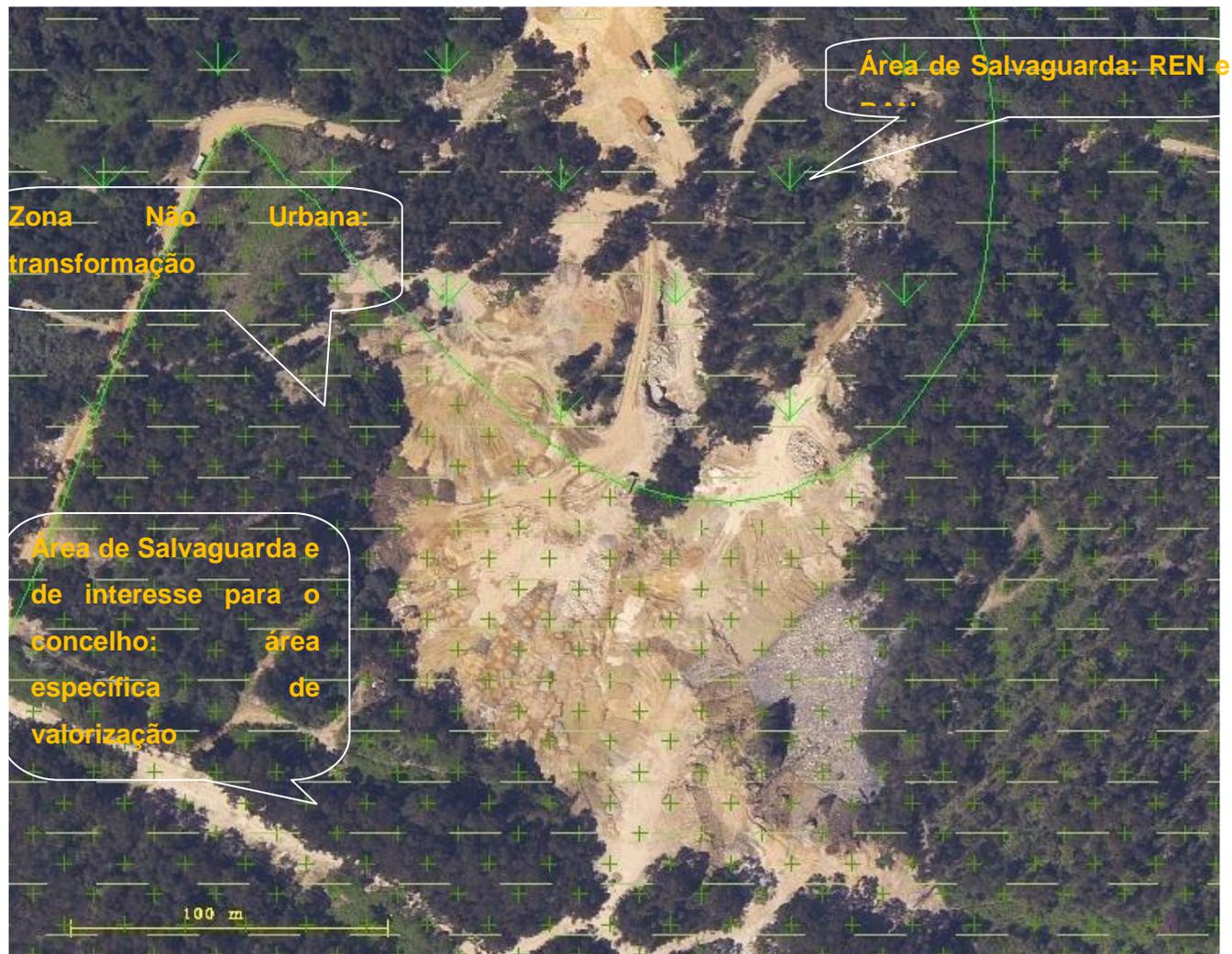


Ilustração 2: Planta de Ordenamento de 1997. Fonte: Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia.

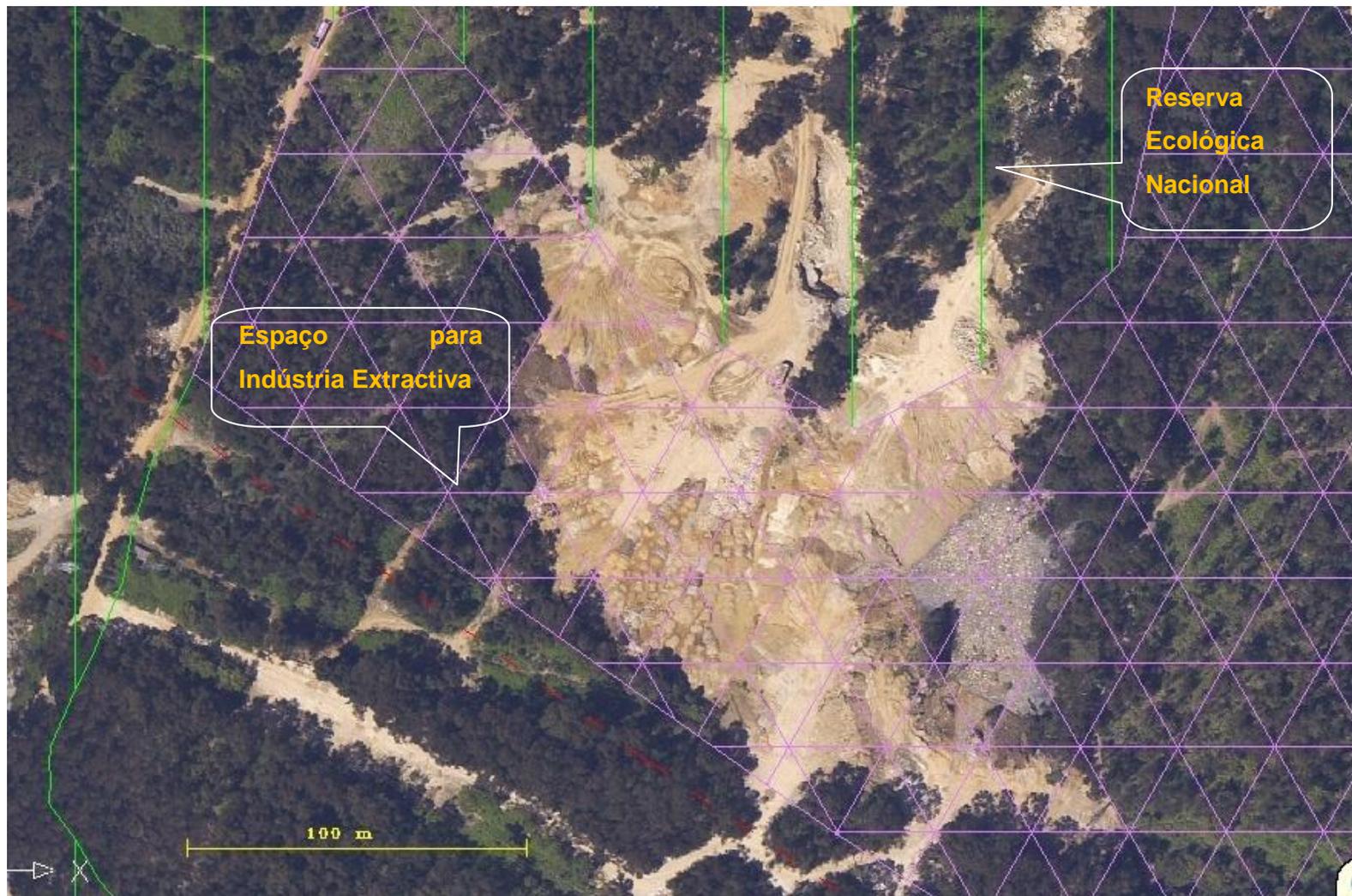


Ilustração 3: Planta de Condicionantes de 1997. Fonte: Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia.

Anexo B

Bacia Hidrográfica

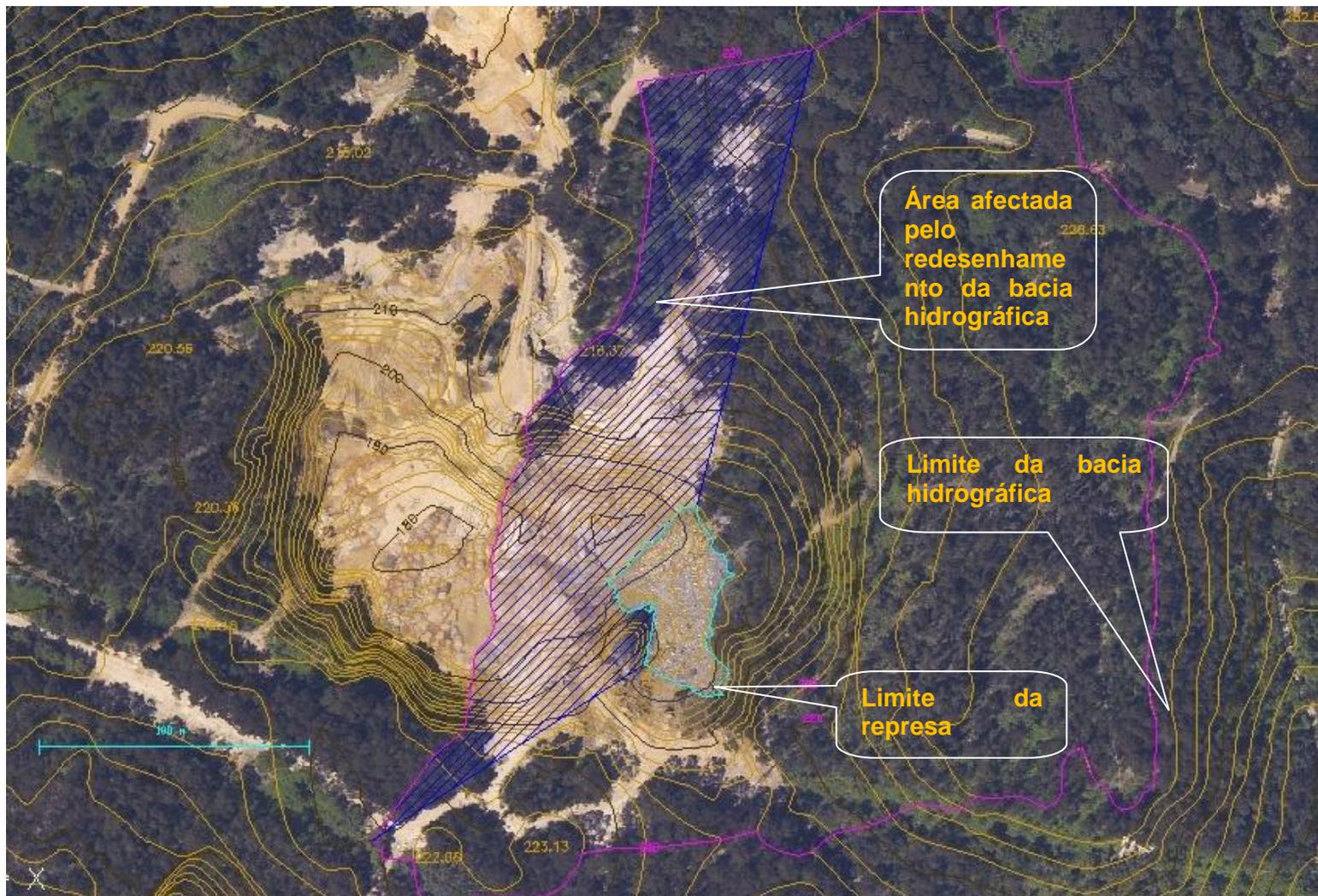


Ilustração 4: Esboço da bacia hidrográfica da represa.

Anexo C

**Tabelas com os Dados Base da
Temperatura, Pluviosidade e
Evaporação Potencial**

Tabela 1: Temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Janeiro	8,5	9,3	7,5	8,6	7	11,8	9,9	7,8	9,4	10,6
Fevereiro	10,5	8,4	9,7	9	8,2	9,8	6,1	11,4	11,6	9,7
Março	12,9	11,2	12,9	11,9	10,8	11,1	10,9	13,9	11	12,6
Abril	13,1	13	13,1	13	13,5	15,6	13,1	13,4	13,1	13,1
Mai	15,5	13,2	16,5	17,2	15,7	16,4	16,5	15,6	15,4	15,9
Junho	18,4	17,7	19	17,1	16,8	18	18,5	17,4	17	18,6
Julho	19,7	19,8	20,6	19,7	19,7	19,6	19	21	18,4	21
Agosto	19,3	18,6	19	21,4	18,4	20,6	18,2	20,4	18,7	21
Setembro	18,1	18,6	16,7	19,7	18	20	17,2	19,8	18,8	19,5
Outubro	15,9	15,1	15,4	15,7	18,1	16,4	16,4	15,3	16,6	16
Novembro	13,8	12,4	12,2	14	14	13	10	11,6	12	12,1
Dezembro	8,1	10,9	10	12,5	9,5	11,6	8,2	7,7	10,2	10,3
Média	14,5	14,0	14,4	15,0	14,1	15,3	13,7	14,6	14,4	15,0

Tabela 2: Temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1960			1961			1962			1963			1964		
	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin
Janeiro	9,09	13,46	5,67	8,18	12,24	4,53	9,26	14,18	5,34	9,33	12,70	6,60	8,28	14,87	3,96
Fevereiro	10,28	13,84	6,63	11,34	17,11	7,26	8,57	14,39	3,54	8,08	11,84	4,98	10,34	15,30	6,62
Março	12,18	16,54	8,57	13,91	21,45	8,26	11,19	14,86	7,96	11,30	15,07	7,87	10,79	15,18	7,07
Abril	12,18	16,54	8,57	13,27	17,33	9,61	13,30	18,44	8,93	12,94	17,97	8,26	11,89	17,94	7,14
Mai	15,41	19,71	11,87	17,24	22,43	12,45	15,30	20,39	10,73	15,88	21,58	10,92	16,72	22,19	12,26
Junho	19,01	24,49	14,38	18,61	23,85	14,16	19,28	25,26	13,94	16,88	21,92	12,93	18,89	23,97	14,37
Julho	19,62	25,36	14,27	20,24	25,62	15,58	18,41	23,95	13,86	19,64	25,28	14,53	18,94	24,20	15,10
Agosto	18,11	23,43	13,65	21,35	28,82	14,75	19,20	25,62	14,05	18,29	24,49	13,04	20,56	26,57	15,17
Setembro	17,43	23,06	13,13	17,66	23,26	13,71	18,51	24,10	14,33	17,57	24,01	12,60	19,61	25,84	14,82
Outubro	14,02	18,46	10,75	14,84	19,94	11,16	17,63	23,81	13,14	16,34	23,27	11,49	15,08	20,98	10,36
Novembro	12,33	15,85	9,24	11,44	15,85	7,72	9,74	15,10	5,72	12,86	16,53	10,17	10,50	17,26	5,85
Dezembro	8,01	12,35	3,96	11,23	14,66	8,54	8,43	12,83	4,92	8,39	12,96	5,12	7,05	12,78	2,60
Média	14,0	18,6	10,1	14,9	20,2	10,6	14,1	19,4	9,7	14,0	19,0	9,9	14,1	19,8	9,6

Tabela 3: temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1965			1966			1967			1968			1969		
	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin
Janeiro	8,20	13,19	4,14	11,88	14,58	9,38	8,04	12,56	4,01	8,51	14,78	3,76	10,00	13,86	6,66
Fevereiro	8,11	13,46	3,53	11,89	14,46	9,21	9,89	14,89	5,61	9,72	13,47	6,33	8,38	12,62	4,93
Março	12,25	15,83	8,68	11,44	18,18	5,64	13,12	18,52	8,07	11,12	15,90	6,82	10,84	15,06	6,84
Abril	13,34	18,16	8,78	13,23	16,98	9,74	13,40	19,37	8,29	11,82	16,03	8,06	11,97	16,84	7,68
Maio	16,52	22,19	11,11	16,23	22,01	11,00	13,36	17,87	9,45	15,01	20,16	10,38	13,98	18,04	10,41
Junho	17,78	22,97	13,70	18,20	22,95	13,61	19,09	25,15	13,44	17,38	23,00	12,71	17,34	22,22	13,07
Julho	17,57	23,30	12,62	19,95	25,51	15,02	18,27	23,49	14,51	19,34	24,89	14,01	21,20	27,61	15,75
Agosto	19,16	25,79	13,72	18,72	24,27	14,22	18,46	23,94	14,24	18,97	24,85	14,44	20,29	26,98	14,78
Setembro	15,98	21,36	11,60	19,31	26,06	14,13	18,14	23,54	13,78	17,07	21,80	13,12	16,82	22,08	12,88
Outubro	16,53	21,35	13,04	14,66	19,40	10,86	15,68	20,79	11,88	16,93	22,16	13,11	17,18	23,04	12,82
Novembro	11,48	15,05	8,46	9,29	14,51	5,16	11,71	16,58	7,65	13,04	17,39	9,61	10,16	15,26	6,28
Dezembro	10,49	13,51	7,35	8,67	13,59	4,73	7,71	13,24	3,47	9,66	14,17	6,09	7,97	12,58	3,97
Média	14,0	18,8	9,7	14,5	19,4	10,2	13,9	19,2	9,5	14,6	19,4	10,4	14,1	14,0	12,5

Tabela 4: temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1970			1971			1972			1973			1974		
	MÉDIA	TMax	TMin												
Janeiro	10,72	13,48	7,88	8,59	12,65	5,27	7,20	11,54	3,31	8,01	13,40	3,80	10,49	13,71	7,55
Fevereiro	8,60	13,96	4,15	9,70	16,13	4,46	9,10	12,89	5,53	8,60	14,25	3,89	9,35	13,58	5,46
Março	9,50	15,63	3,87	9,68	15,02	4,85	10,17	14,43	6,36	10,95	16,99	5,59	10,31	15,21	6,22
Abril	12,00	17,80	6,56	12,30	17,05	8,35	12,85	18,01	8,24	13,05	19,11	7,40	11,84	16,92	7,45
Mai	16,43	21,83	11,26	13,39	17,39	10,25	13,14	18,11	8,58	14,85	19,29	10,97	15,06	19,66	10,60
Junho	16,99	21,63	13,25	15,96	20,56	11,96	14,58	19,32	10,61	18,69	24,17	13,91	17,68	22,42	13,39
Julho	19,85	25,34	15,15	20,20	25,24	16,10	19,45	24,65	14,68	19,04	24,02	14,65	20,74	26,55	15,05
Agosto	18,37	23,73	13,79	18,23	23,32	13,97	19,26	24,91	14,37	19,36	25,08	15,21	18,57	24,26	13,62
Setembro	19,40	26,11	14,14	18,42	25,03	12,86	17,51	22,85	13,36	17,99	23,36	13,55	15,99	21,29	11,47
Outubro	14,84	23,02	8,54	16,94	23,49	12,16	14,80	19,62	10,95	15,27	20,84	11,29	12,12	17,66	7,07
Novembro	13,69	18,98	9,38	10,01	16,19	5,04	12,37	16,67	9,01	12,02	18,56	7,50	10,58	15,99	6,28
Dezembro	5,83	11,70	1,89	9,70	14,64	5,72	9,54	14,09	5,63	7,36	13,41	2,95	9,02	15,06	4,80
Média	13,9	19,4	9,2	13,6	18,9	9,2	13,3	18,1	9,2	13,8	19,4	9,2	13,5	18,5	9,1

Tabela 5: temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1975			1976			1977			1978			1979		
	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin
Janeiro	9,22	14,01	5,59	7,31	14,63	2,07	9,01	12,37	5,95	9,03	12,63	5,68	9,44	13,36	6,06
Fevereiro	10,34	14,44	7,09	10,17	15,19	5,84	10,67	13,52	8,15	10,62	14,24	7,39	10,50	13,59	7,50
Março	9,73	13,99	5,57	10,78	16,50	5,75	11,60	16,80	6,99	10,47	14,75	6,81	9,47	13,38	5,87
Abril	12,47	17,80	7,53	12,19	17,31	7,80	12,68	17,43	8,63	11,34	15,11	7,70	11,95	16,43	7,33
Mai	14,55	19,45	9,88	14,96	19,80	10,40	13,31	18,04	9,18	14,30	18,34	10,45	14,19	18,76	9,54
Junho	17,56	22,71	12,84	19,16	25,09	14,38	15,35	19,50	11,65	16,41	20,63	12,51	18,08	23,39	13,29
Julho	18,68	23,56	14,43	20,55	25,31	16,39	18,04	22,91	14,00	17,89	23,16	13,37	20,48	25,71	15,80
Agosto	19,97	26,13	14,61	18,96	24,37	14,48	17,33	22,20	13,40	17,66	23,05	13,00	19,42	25,09	14,35
Setembro	17,18	22,21	13,01	16,92	21,82	12,72	19,09	24,79	14,88	19,98	26,47	14,57	17,34	22,85	13,18
Outubro	15,85	20,63	12,13	13,84	17,90	10,41	15,27	20,08	11,64	15,65	22,36	10,83	14,40	18,71	11,03
Novembro	11,11	16,52	6,82	10,47	14,95	6,97	11,00	15,48	7,59	11,66	17,76	7,40	10,82	16,88	6,52
Dezembro	7,43	12,57	3,61	10,23	13,68	7,33	12,39	15,83	9,11	11,54	14,46	8,78	10,11	14,60	6,35
Média	13,7	18,7	9,4	13,8	18,9	9,5	13,8	18,2	10,1	13,9	18,6	9,9	13,9	18,6	9,7

Tabela 6: temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1980			1981			1982			1983			1984		
	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin	MÉDIA	TMax	TMin
Janeiro	9,32	13,27	5,87	8,59	15,02	3,74	10,13	15,10	6,22	7,97	14,05	3,46	9,13	12,75	5,77
Fevereiro	10,40	14,71	6,74	9,06	14,86	4,06	10,29	15,38	6,21	8,36	12,77	4,63	8,90	14,26	4,31
Março	11,04	15,36	7,38	12,22	16,26	9,02	11,26	17,15	6,09	12,61	18,53	7,68	10,03	14,81	5,74
Abril	13,23	18,70	7,50	12,36	17,34	8,20	14,52	20,80	9,04	11,70	15,32	8,21	15,11	20,23	10,97
Maiο	14,18	18,27	10,36	13,42	17,67	9,94	14,81	19,53	10,54	13,03	16,74	9,72	12,65	16,85	8,74
Junho	17,04	21,61	12,84	20,55	26,03	15,12	16,74	20,84	13,08	18,92	24,08	14,29	18,20	23,00	14,01
Julho	17,93	23,09	13,50	20,74	26,75	15,12	18,00	22,68	14,59	18,91	22,98	15,63	18,83	23,48	14,79
Agosto	19,86	25,21	15,35	19,27	25,03	15,05	20,16	26,52	15,02	20,00	25,24	15,85	19,91	25,70	15,06
Setembro	18,15	24,07	13,72	17,99	23,28	13,74	19,02	24,62	14,75	18,57	24,64	14,12	17,93	23,79	12,90
Outubro	14,91	20,67	10,51	14,93	19,74	11,09	14,16	19,17	10,37	15,69	21,39	11,14	14,64	20,34	10,63
Novembro	11,11	15,97	7,17	13,75	21,10	9,17	11,51	16,31	7,60	14,87	18,60	12,01	11,81	15,34	8,81
Dezembro	7,75	13,35	3,41	11,25	14,35	8,14	9,43	13,09	6,42	10,46	15,58	6,50	10,62	14,26	7,36
Média	13,7	18,7	9,5	14,5	19,8	10,2	14,2	19,3	10,0	14,3	19,2	10,3	14,0	18,7	9,9

Tabela 7: temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1985			1986			1987			1988			1989		
	MÉDIA	TMax	TMin												
Janeiro	7,46	12,23	3,80	8,64	12,84	5,07	8,64	13,10	5,04	10,47	13,53	7,80	8,34	14,40	4,17
Fevereiro	11,61	15,62	8,33	9,18	12,41	6,12	9,34	13,68	5,74	10,36	14,83	6,21	10,66	15,85	6,30
Março	10,42	15,01	6,17	10,33	14,72	6,37	12,16	16,77	8,10	11,34	16,62	6,84	12,30	17,36	7,81
Abril	13,59	18,75	8,93	9,96	14,34	5,78	13,82	17,97	10,09	12,35	16,19	8,87	11,39	15,32	7,91
Maiο	14,37	19,17	9,95	14,75	19,04	11,09	16,16	21,26	11,16	14,53	18,21	11,25	16,45	21,25	12,52
Junho	17,39	21,95	13,38	17,99	23,01	13,62	17,60	22,22	13,49	18,05	22,51	14,44	18,85	23,25	14,56
Julho	19,51	24,10	15,53	19,81	25,22	15,40	20,39	25,45	16,16	18,66	23,04	14,73	22,06	27,56	17,21
Agosto	18,46	24,27	13,34	17,94	22,47	13,93	20,87	26,27	16,86	18,86	23,98	14,42	20,53	25,06	16,79
Setembro	20,72	27,16	15,80	19,10	23,62	15,93	20,26	25,84	16,22	19,10	25,77	13,78	18,67	24,02	14,12
Outubro	16,41	23,13	11,64	16,30	21,75	12,65	14,81	18,54	12,05	15,65	20,53	11,65	18,47	23,84	14,15
Novembro	11,28	15,41	7,97	11,64	16,45	7,92	12,31	17,43	8,46	13,82	18,67	10,37	13,48	16,81	10,87
Dezembro	10,47	14,83	6,80	9,55	14,11	5,86	11,90	15,37	9,18	9,53	14,29	5,86	13,19	15,65	10,77
Média	14,3	19,3	10,1	13,8	18,3	10,0	14,9	19,5	11,0	14,4	19,0	10,5	15,4	20,0	11,4

Tabela 8: temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1990			1991			1992			1993			1994		
	MÉDIA	TMax	TMin												
Janeiro	8,71	13,16	5,44	8,95	13,26	5,53	7,40	12,97	3,27	8,66	14,43	5,19	9,06	13,56	5,16
Fevereiro	12,70	16,20	9,77	8,67	13,06	4,55	9,85	16,12	4,82	10,42	16,38	5,41	8,89	13,44	5,29
Março	13,65	19,24	8,87	11,63	15,46	8,26	12,05	18,04	7,05	11,74	17,23	7,08	12,96	18,28	8,74
Abril	13,02	17,58	8,59	12,66	17,43	8,52	13,49	18,36	9,12	11,87	16,34	8,19	12,73	17,85	7,77
Mai	17,42	22,33	12,73	17,63	23,55	12,17	16,83	22,18	12,55	14,50	18,57	11,21	13,95	17,96	10,53
Junho	17,96	22,13	14,18	18,12	23,12	13,57	16,85	21,10	13,33	18,57	23,20	14,43	19,38	24,74	14,57
Julho	21,70	27,48	16,64	20,09	25,36	15,84	16,85	21,10	13,33	21,26	26,87	15,99	18,15	22,83	14,64
Agosto	20,60	26,00	16,29	21,00	27,13	16,58	19,30	24,70	15,03	19,84	25,71	15,09	18,88	23,82	15,17
Setembro	19,28	24,07	15,78	19,18	24,07	15,45	17,07	22,40	12,90	16,71	20,78	13,55	17,17	22,11	12,91
Outubro	15,65	19,75	12,31	14,36	18,99	10,92	13,57	17,79	10,51	13,68	17,51	10,58	15,87	20,36	12,97
Novembro	10,96	16,29	7,23	11,89	15,90	8,52	13,19	17,02	10,49	10,96	15,67	7,84	13,37	18,62	10,01
Dezembro	9,25	12,80	6,28	9,94	14,82	6,50	11,00	14,47	7,83	10,69	13,76	8,13	11,41	15,08	8,35
Média	15,1	19,8	11,2	14,5	19,3	10,5	14,0	18,9	10,0	14,1	18,9	10,2	14,3	19,1	10,5

Tabela 9: temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1995			1996			1997			1998			1999		
	MÉDIA	TMax	TMin												
Janeiro	10,38	14,36	6,85	10,74	13,94	8,10	9,04	13,56	5,95	11,08	14,82	8,13	9,48	14,45	5,72
Fevereiro	11,22	15,42	7,91	9,01	13,26	5,30	11,64	16,58	8,18	12,54	18,44	7,86	9,52	15,86	4,51
Março	12,92	18,84	7,94	11,86	16,89	7,98	15,39	23,32	9,14	13,79	19,75	8,67	12,58	17,67	8,37
Abril	14,45	20,54	9,22	13,84	18,87	9,58	16,60	22,10	12,09	11,88	15,51	8,72	13,90	18,86	9,82
Maio	17,07	21,44	12,93	14,51	19,10	10,51	15,76	20,44	11,90	15,44	19,91	12,12	16,13	20,42	12,38
Junho	18,95	23,66	15,05	20,19	25,78	15,20	17,00	21,20	13,30	18,22	23,46	13,72	18,77	23,89	14,41
Julho	20,15	25,45	16,44	20,27	25,50	16,41	21,13	26,70	16,41	20,39	26,19	15,36	20,53	26,20	16,20
Agosto	22,26	28,39	17,35	18,94	23,90	15,39	19,61	24,61	16,06	20,86	26,44	16,98	19,47	24,62	15,25
Setembro	17,76	22,97	13,61	17,77	22,88	14,04	19,61	25,25	15,45	18,25	22,44	15,15	18,31	23,08	14,89
Outubro	17,36	22,93	13,40	15,52	20,76	11,58	17,97	22,78	14,44	14,89	20,14	10,92	15,66	20,09	12,28
Novembro	14,17	17,73	11,71	11,73	15,93	8,32	13,56	16,96	10,74	12,28	17,07	8,77	11,28	16,55	7,16
Dezembro	11,85	14,92	9,04	10,10	13,61	7,23	11,27	14,48	8,41	8,56	13,98	4,55	10,14	13,88	6,89
Média	15,7	20,6	11,8	14,5	19,2	10,8	15,7	20,7	11,8	14,8	19,8	10,9	14,6	19,6	10,7

Tabela 10: temperatura média diária do ar (°C). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	2000			2001			2002			2003			2004			2005			2006		
	MÉD.	TMax	TMin																		
Jan.	7,49	13,01	3,77	10,38	13,38	7,87	10,48	14,83	6,98	9,29	14,12	5,63	10,33	14,37	7,34	8,32	14,10	4,20	7,72	13,21	3,66
Fev.	11,19	16,30	7,20	11,10	16,10	6,96	11,22	15,76	7,00	9,47	13,80	6,30	10,06	15,88	6,21	7,87	13,90	2,71	8,88	14,69	4,45
Mar.	13,00	19,20	7,70	13,07	15,59	10,72	12,92	18,22	8,69	13,14	18,36	9,29	11,04	16,20	6,67	12,00	17,88	7,58	12,11	16,02	9,18
Abr.	11,80	15,38	8,74	13,55	18,16	9,29	13,25	18,80	8,50	14,16	18,79	10,31	13,27	19,02	8,28	13,69	18,29	10,03	15,05	20,28	10,81
Mai.	15,82	20,77	11,93	15,77	20,77	11,37	14,58	18,76	10,97	16,82	22,32	11,78	16,29	21,82	11,76	16,41	20,98	12,39	17,35	22,53	12,43
Jun.	20,02	25,14	15,21	18,54	23,55	14,24	17,33	22,14	13,65	19,69	24,65	15,55	20,45	25,88	16,56	20,65	25,64	16,49	19,63	25,08	15,38
Jul.	20,19	25,16	15,81	19,11	23,92	15,43	19,16	24,67	15,11	19,57	24,41	15,39	20,36	26,09	15,76	21,07	26,33	16,90	22,08	27,84	17,58
Ago.	19,91	25,55	15,20	19,75	24,26	16,07	19,38	25,12	15,12	22,04	27,77	17,94	19,85	24,91	16,20	22,31	28,39	17,28	22,81	29,27	17,44
Set.	17,55	23,23	13,29	19,66	25,25	15,14	18,55	23,26	15,29	20,36	26,15	15,97	19,56	25,62	15,04	18,93	24,43	14,44	18,98	23,92	15,53
Out.	14,57	19,69	10,65	16,73	21,04	13,46	17,09	21,32	13,78	15,18	19,95	11,95	15,15	19,64	12,19	16,99	21,70	13,52	18,05	22,16	14,74
Nov.	11,60	14,95	8,67	11,16	16,35	6,70	12,92	16,34	10,16	13,17	17,36	9,93	11,24	16,62	7,61	11,74	16,42	8,35	14,73	19,01	14,43
Dez.	12,16	14,91	9,52	7,93	12,76	4,45	12,05	15,58	9,14	10,06	14,26	6,94	9,05	14,26	5,31	9,89	14,73	6,19	10,46	14,54	5,99
Média	14,6	19,4	10,6	14,7	19,3	11,0	14,9	19,6	11,2	15,2	20,2	11,4	14,7	20,0	10,7	15,7	20,6	11,8	15,7	20,7	11,8

Tabela 11: Precipitação Anual Total. Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Janeiro	42,2	220	81,3	29,1	95,8	335,8	218,7	44,7	129,2	225,9
Fevereiro	163,6	272,8	23,6	24,7	109,9	194,1	42,7	209,4	93	61,6
Março	93,7	185,5	159,2	15,2	238,2	70,1	232,4	147,5	178	249,9
Abril	19,7	60,2	80,8	75,6	43,5	23,8	144,5	10,6	58,3	167,9
Maiο	140,3	113,6	97,8	44,2	45	45,3	158,2	67,9	64,1	79,8
Junho	63,9	36,2	48,4	9,4	34,9	82,1	11,4	44	131,9	25,5
Julho	10,6	23	5	17,4	5	0,8	68,2	16,6	40,5	2,1
Agosto	18,3	28,5	58,5	19,3	35,6	0,8	70,2	36,7	39,8	55,6
Setembro	29,4	27,1	27,7	63	13,7	3,9	163	24,3	58,5	67
Outubro	40,5	89,5	107,2	116,6	41,9	33,6	155,6	12,9	79,7	141
Novembro	154	223	82,5	138,4	192,2	235,1	88,1	104	8,7	222,6
Dezembro	133,8	108,1	136,8	40,6	112,1	181,5	117,6	155	231,6	377,4
TOTAL	910	1387,5	908,8	593,5	967,8	1206,9	1470,6	873,6	1113,3	1676,3

Tabela 12: Precipitação Anual Total. Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Janeiro	159,5	178,8	138,6	271,3	39,6	131,9	326,2	145,4	30,7	253
Fevereiro	213,5	88,8	45,1	252,6	255,6	63,5	476,2	85,4	288,8	192,4
Março	212,6	15,6	229,8	164,8	246,7	207,4	2,2	130	81,6	188,9
Abril	58,4	222,5	114,7	152,3	60,6	53	226,8	39,4	209,8	100,1
Maiο	119,3	133,4	19,6	32,1	37,8	38,3	36	123,7	127,8	244,7
Junho	5,9	39,4	12,5	89,2	94,3	9	44,8	13	8,6	91,6
Julho	7,9	50,4	37,2	1,8	17,4	10,4	0	0,4	2,2	0,9
Agosto	81,1	8,6	0,9	12,8	11,1	7,4	30,3	69,9	32,1	5,1
Setembro	96	71,1	52,9	37,1	58,9	180,8	34	78	98,5	120,7
Outubro	408,7	202,4	72,9	82,7	114,6	189,1	278,8	100,5	100,9	54,5
Novembro	382,9	118	130,5	363,8	30,8	301,9	78,3	133,7	252,9	195,4
Dezembro	254,7	266,3	92,7	233,7	80	204	93,9	30,8	192,7	120,6
TOTAL	2000,5	1395,3	947,4	1694,2	1047,4	1396,7	1627,5	950,2	1426,6	1567,9

Tabela 13: Precipitação Anual Total. Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Janeiro	374,9	261,7	192,8	165,5	346,3	158,5	101,2	293,5	134,4	178,2
Fevereiro	87,9	46,8	267,2	73	183,8	155,8	71	365,6	304,7	366,4
Março	25	77,8	145,1	91,1	84,4	167,6	111,2	154,5	141,7	220,5
Abril	19,3	84,9	59	52,1	33,4	41,7	156,5	98,6	144,6	103,6
Maiο	131	116,2	54,8	219,6	90,2	33	2,6	82,4	53	110
Junho	128,4	105,5	28,5	38,8	253,2	5	1,8	48,5	47,6	13,5
Julho	7,6	63,7	1,8	27,8	1,2	9,2	6,4	16	0	18,7
Agosto	18,9	55,7	11,7	2,7	2,9	0,2	46,5	51,5	0	4
Setembro	20,3	15,4	84,1	85,9	81,4	82	75,8	50,4	0,1	6,6
Outubro	15,2	19,9	169,1	102,3	19,2	66,2	348,8	188,6	77,9	234
Novembro	187	58,4	137,8	14,5	237,2	103,3	157	149,1	40,7	92
Dezembro	63,5	78,9	141,4	143,2	41,9	52,6	277	292,8	620	120,8
TOTAL	1079	984,9	1293,3	1016,5	1375,1	875,1	1355,8	1791,5	1564,7	1468,3

Tabela 14: Precipitação Anual Total. Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1980	1981	1982	1983	1984
Janeiro	118,2	3,6	94,4		279
Fevereiro	92,5	69,5	143		54,3
Março	167,8	153,1	15,5		128,9
Abril	88,1	95,7	36,4		123,8
Maio	92,9	163,8	91,1		122,5
Junho	49	40,1	42,3		93,1
Julho	34,3	1,7	14,8		16,6
Agosto	26,2	4,7	14,9		31
Setembro	63,1	169,4	107,4		56,5
Outubro	105,1	130,7	98,1		146,1
Novembro	151,6	3	213,7		376,7
Dezembro	55,5	470,1	172,1		127,2
TOTAL	1044,3	1305,4	1043,7		1555,7

Tabela 15: Evaporação Potencial (mm). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Janeiro	91,3	44,4	61,8	96,4	62	38,7	52,9	76,7	49,6	57,9
Fevereiro	61,9	38	93,1	94,1	55,6	50,7	95,2	53,4	74,9	58,9
Março	91,6	103,7	67,4	141,7	63,3	97,1	73,3	69,3	57	63,1
Abril	118,3	99,6	97,9	108,4	169,9	121,3	86,9	124,3	126,9	88,5
Maiο	95	108,2	102,9	143,5	119	85,6	126,4	131,1	104,9	101,7
Junho	81,6	104,2	101,6	108,8	93,7	89,6	138,2	89,1	97,3	115,6
Julho	99,1	125,3	166,2	127,9	147,7	103,7	107,9	172,4	95,5	123,3
Agosto	136,7	123,6	108,1	161,4	97,2	90,4	95,6	126,6	97,1	143,9
Setembro	119,7	108,9	121,2	131,4	83,1	143	72,5	127,3	60,1	76,2
Outubro	66,5	89,2	49,2	85,6	123,2	124,8	85,5	98,9	114,3	77,1
Novembro	57,8	71,2	85,3	60,1	79	118,9	77,5	76,9	79,3	60,7
Dezembro	56,5	79,4	51,2	96,7	58,7	54,9	48,2	51,6	48,4	41,7
TOTAL	1076	1095,7	1105,9	1356	1152,4	1118,7	1060,1	1197,6	1005,3	1008,6

Tabela 16: Evaporação Potencial (mm). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Janeiro	52,6	36,8	44,4	60,4	56,7	42,3	28,4	40	42,2	45,3
Fevereiro	68,2	41,6	80,4	23,3	52,4	72,9	38,7	51,3	38,2	58,4
Março	75,7	107,8	59,5	52,4	51,7	67,6	92,4	91,9	77	48,4
Abril	106	55,5	64,7	74,5	54,1	71	53,9	84,2	50,4	49,4
Mai	60,6	115,2	75,9	102,6	70,1	87,8	82,6	52	68,6	49,9
Junho	115,1	94,5	98,5	58,1	70,5	65,6	80,6	109,3	55,8	62,7
Julho	147	112,7	69,4	82,5	62,6	73,1	105,1	61,5	91,8	100,3
Agosto	88,9	171,1	80,8	85,4	93,5	88,5	73,6	58,5	66,6	105,8
Setembro	80,3	57,1	52,5	80,2	71,5	61,4	74,5	75,1	38,8	55,3
Outubro	55	40,5	54,4	64	68,5	58,9	41,7	41,4	47,2	62,5
Novembro	45,5	58,9	43,4	51,9	41,9	45,7	35	48,8	41,1	30
Dezembro	41,6	49,8	54,6	44,4	42,1	27,6	26,8	43,1	31,9	30,6
TOTAL	936,5	941,5	778,5	779,7	735,6	762,4	733,3	757,1	649,6	698,6

Tabela 17: Evaporação Potencial (mm). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Janeiro	29	37,6	36,7	39,7	33	38,9	54,9	40,9	52,9	42,8
Fevereiro	30,7	65,1	36,2	43,7	46,5	33,4	45,8	18,3	41,6	37,1
Março	73,1	80,8	41,7	78,2	51,1	46,8	62,4	54,3	46,6	40
Abril	64,2	42,2	82,3	80,7	59,2	66,2	58,1	61,2	51,7	71,6
Mai	80,2	41,4	55,9	55,7	69,7	74,2	67,1	61	67,1	75,5
Junho	51,7	49	49,4	79,2	74,8	71,9	92	53,2	66,4	87,6
Julho	113,9	68,3	76,8	71,1	96,1	67,2	87,2	83,3	84,3	104,8
Agosto	83,4	55,4	101,1	62,7	82,8	96,3	68,6	66,3	77,7	100,4
Setembro	72,7	72	64,3	64	54,4	62,1	60	61,7	98,2	68,6
Outubro	86,8	77,5	49,4	59,6	50,2	48,9	33,5	44,2	87,7	44,5
Novembro		70,3	38,4	70,2	31,1	37,2	42,7	34,8	50,1	47
Dezembro		55,7	47,4	40,2	48,8	60	35,9	58,2	34	39,9
TOTAL	685,7	715,3	679,6	745	697,7	703,1	708,2	637,4	758,3	759,8

Tabela 18: Evaporação Potencial (mm). Fonte: Observatório Meteorológico da Serra do Pilar Centro Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Janeiro	38,3	56,4	32,7		28,2		33,9
Fevereiro	40,9	46,4	33,5		62,9		32,6
Março	54	37,3	59,9		102,8		50
Abril	108,6	57	92,4		77,4		72,1
Maiο	61,9	54,1	68		74,4		89,5
Junho	70,9	105,9	48		94,6		117,2
Julho	86,7	139	61,6		83,9		123,7
Agosto	88,6	79,7	98,2		117,7		84,6
Setembro	73,3	55,3	88,5		92,2		68,9
Outubro	61,4	38,7	34,7		49		51,3
Novembro	42,5	52,9	30,5		36		48,1
Dezembro	56,7	28,7	26,6		49,7		38,7
TOTAL	783,8	751,4	674,6	0	868,8	0	810,6

Anexo D

Método de Thornthwaite e Mather para o Cálculo da Evaporação Efectiva

- L_i (mm) = Perda Potencial acumulada de água no mês i , no intervalo k do período seco, ou seja, de Junho a Setembro inclusive.

$$L_i(k) = \sum_{j=1}^k [P(k) - ET_p(k)]$$

$P(k)$ - Precipitação no mês k ;

$ET_p(k)$ - Evaporação Potencial no mês k ;

sendo sempre $L < 0$ devido ao facto de se estar a calcular um défice de água, que só se verifica quando existe maior Evaporação Potencial do que Precipitação.

- $S_{SO,i}$ (mm) = Armazenamento de água no solo (so) no final do mês i :

$$S_{SO,i} = n_u * e^{L_i/n_u}$$

n_u - Porosidade do solo

Este parâmetro considera a capacidade de armazenamento de água no solo, nomeadamente através do valor da porosidade,

- $\Delta S_{SO,i}$ (mm) = Variação do armazenamento de água no solo (so) no mês i :

$$\Delta S_{SO,i} = S_{SO,i} - S_{SO,i-1}$$

Este parâmetro considera a variação de acumulação de água em dois meses consecutivos, de tal forma que tem em conta as condições anteriores para estimar a quantidade actual de água no solo.

- $ET_{e,j}$ (mm) = Evaporação efectiva durante o mês i :

$$ET_{e,j} = ET_{p,j} \text{ se } P_i \geq ET_{p,j}$$

$$ET_{e,j} = P_i - \Delta S_{SO,j} \text{ se } P_i < ET_{p,j}$$

$$\Delta S_{SO,j} < 0$$

Estas condições simplesmente referem que se a precipitação for maior do que a capacidade de evaporação ditada pelas condições atmosféricas (evaporação potencial) existirá muita água disponível que otimizará as condições de evaporação. Como a evaporação efectiva (que considera as capacidades de retenção e armazenamento de água do solo) nunca poderá ser maior do que a potencial, no limite só será igual, caso que se verifica na primeira condição. Já a segunda refere que se a precipitação for menor do que a evaporação potencial, o solo já não estará saturado, pelo que a evaporação efectiva será menos elevada e equivalente à precipitação menos a variação de acumulação de água no solo.

Anexo E

Tabelas usadas para o Cálculo da Evaporação Efectiva e Escorrências

Tabela 19: Perda Potencial (L) em mm.

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	-17,7	-68	-53,2	-99,4	-58,8	-7,5	-126,8	-45,1	0	-90,1
Julho	-88,5	-102,3	-161,2	-110,5	-142,7	-102,9	-39,7	-155,8	-55	-121,2
Agosto	-118,4	-95,1	-49,6	-142,1	-61,6	-89,6	-25,4	-89,9	-57,3	-88,3
Setembro	-90,3	-81,8	-93,5	-68,4	-69,4	-139,1	0	-103	-1,6	-9,2
Outubro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	-314,9	-347,2	-357,5	-420,4	-332,5	-339,1	-191,9	-393,8	-113,9	-308,8

Tabela 20: Perda Potencial (L) em mm.

	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	-109,2	-55,1	-86	0	0	-56,6	-35,8	-96,3	-47,2	0
Julho	-139,1	-62,3	-32,2	-80,7	-45,2	-62,7	-105,1	-61,1	-89,6	-99,4
Agosto	-7,8	-162,5	-79,9	-72,6	-82,4	-81,1	-43,3	0	-34,5	-100,7
Setembro	0	0	0	-43,1	-12,6	0	-40,5	0	0	0
Outubro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	-256,1	-279,9	-198,1	-196,4	-140,2	-200,4	-224,7	-157,4	-171,3	-200,1

Tabela 21: Perda Potencial (L) em mm.

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	0	0	-20,9	-40,4	0	-66,9	-90,2	-4,7	-18,8	-74,1
Julho	-106,3	-4,6	-75	-43,3	-94,9	-58	-80,8	-67,3	-84,3	-86,1
Agosto	-64,5	0	-89,4	-60	-79,9	-96,1	-22,1	-14,8	-77,7	-96,4
Setembro	-52,4	-56,6	0	0	0	0	0	-11,3	-98,1	-62
Outubro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	-223,2	-61,2	-185,3	-143,7	-174,8	-221	-193,1	-98,1	-278,9	-318,6

Tabela 22: Perda Potencial (L) em mm.

	1980	1981	1982	1983	1984
Janeiro	0	0	0		0
Fevereiro	0	0	0		0
Março	0	0	0		0
Abril	0	0	0		0
Mai	0	0	0		0
Junho	-21,9	-65,8	-5,7		-1,5
Julho	-52,4	-137,3	-46,8		-67,3
Agosto	-62,4	-75	-83,3		-86,7
Setembro	-10,2	0	0		-35,7
Outubro	0	0	0		0
Novembro	0	0	0		0
Dezembro	0	0	0		0
TOTAL	-146,9	-278,1	-135,8		-191,2

Porosidade do solo = 0,35 mm/dia.

Tabela 23: Armazenamento de Água do Solo (so) em mm

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Janeiro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Fevereiro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Março	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Abril	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Mai	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Junho	3,81E-23	1,47E-85	3,40E-67	1,60E-124	3,82E-74	1,73E-10	1,60E-158	3,82E-57	3,50E-01	5,55E-113
Julho	5,37E-111	4,04E-128	3,31E-201	2,70E-138	2,99E-178	7,27E-129	1,92E-50	1,66E-194	1,99E-69	1,43E-151
Agosto	4,25E-148	3,47E-119	9,96E-63	1,66E-177	1,28E-77	2,32E-112	1,06E-32	9,83E-113	2,78E-72	9,50E-111
Setembro	3,13E-113	1,10E-102	3,35E-117	4,68E-86	2,69E-87	8,77E-174	3,50E-01	5,46E-129	3,62E-03	1,34E-12
Outubro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Novembro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Dezembro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
TOTAL	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8

Tabela 24: Armazenamento de Água do Solo (so) em mm

	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Janeiro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Fevereiro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Março	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Abril	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Maio	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Junho	1,1071E-136	1,49E-69	6,8E-108	0,35	0,35	2,05E-71	1,32E-45	1,1E-120	9,47E-60	0,35
Julho	8,7707E-174	1,74E-78	3,88E-41	2,6E-101	2,87E-57	5,54E-79	1,4E-131	5,35E-77	2,3E-112	1,6E-124
Agosto	7,33678E-11	8,1E-203	2,5E-100	2,88E-91	2E-103	8,2E-102	6,54E-55	0,35	5,43E-44	3,9E-126
Setembro	0,35	0,35	0,35	1,16E-54	8,12E-17	0,35	1,95E-51	0,35	0,35	0,35
Outubro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Novembro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Dezembro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
TOTAL	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	2,8	3,5	3,2	3,5

Tabela 25: Armazenamento de Água do Solo (so) em mm

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Janeiro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Fevereiro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Março	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Abril	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Mai	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Junho	0,35	0,35	4,08E-27	2,59E-51	0,35	3,40E-84	4,17E-113	5,15E-07	1,65E-24	3,96E-93
Julho	4,39E-133	6,86E-07	3,03E-94	6,54E-55	6,14E-119	3,76E-73	1,92E-101	1,09E-84	8,73E-106	5,10E-108
Agosto	3,23E-81	0,35	4,10E-112	1,24E-75	2,52E-100	1,99E-120	1,32E-28	1,51E-19	1,35E-97	8,45E-121
Setembro	3,34E-66	2,05E-71	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	3,33E-15	6,57E-123	4,09E-78
Outubro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Novembro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Dezembro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
TOTAL	3,2	3,5	3,2	3,2	3,5	3,2	3,2	2,8	2,8	2,8

Tabela 26: Armazenamento de Água do Solo (so) em mm

	1980	1981	1982	1983	1984
Janeiro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Fevereiro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Março	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Abril	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Mai	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Junho	2,34E-28	7,88E-83	2,96E-08	0,35	4,82E-03
Julho	3,34E-66	1,50E-171	2,97E-59	0,35	1,09E-84
Agosto	1,30E-78	3,03E-94	1,52E-104	0,35	9,19E-109
Setembro	7,72E-14	0,35	0,35	0,35	1,76E-45
Outubro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Novembro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Dezembro	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
TOTAL	2,8	3,2	3,2	4,2	2,8

Tabela 27: Variação do Armazenamento de água no solo (Δs_o) em mm

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Janeiro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maio		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	3,81E-23	-3,81E-23	3,40E-67	-3,40E-67	3,82E-74	1,73E-10	-1,73E-10	3,82E-57	0,35	-0,35
Julho	5,37E-111	-5,37E-111	-4,04E-128	2,70E-138	-2,70E-138	7,27E-129	1,92E-50	-1,92E-50	1,99E-69	-1,99E-69
Agosto	4,25E-148	3,47E-119	9,96E-63	-9,96E-63	1,28E-77	-1,28E-77	1,06E-32	-1,06E-32	2,78E-72	-2,78E-72
Setembro	3,13E-113	1,10E-102	-1,10E-102	4,68E-86	-4,41E-86	-2,69E-87	0,35	-0,35	3,62E-03	-3,62E-03
Outubro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	3,8E-23	-3,8E-23	1,0E-62	-1,0E-62	3,8E-74	1,7E-10	0,3	-0,4	0,4	-0,4

Tabela 28: Variação do Armazenamento de água no solo (Δs_o) em mm

	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Janeiro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maio		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	1,11E-136	1,49E-69	-1,49E-69	0,35	0	-0,35	1,32E-45	-1,32E-45	9,47E-60	0,35
Julho	8,77E-174	1,74E-78	3,88E-41	-3,88E-41	2,87E-57	-2,87E-57	-5,54E-79	5,35E-77	-5,35E-77	-2,32E-112
Agosto	7,34E-11	-7,34E-11	2,52E-100	2,88E-91	-2,88E-91	7,96E-102	6,54E-55	0,35	-0,35	-5,43E-44
Setembro	0,35	0	0	-0,35	8,12E-17	0,35	-0,35	0,35	0	0
Outubro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0,4	-7,3E-11	3,9E-41	0,0E+00	8,1E-17	-5,6E-17	-0,4	0,7	-0,4	0,4

Tabela 29: Variação do Armazenamento de água no solo (Δ so) em mm

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Janeiro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maiο		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	0,35	0	-0,35	-4,08E-27	0,35	-0,35	-3,40E-84	5,15E-07	-5,15E-07	-1,65E-24
Julho	4,39E-133	6,86E-07	-6,86E-07	6,54E-55	-6,54E-55	3,76E-73	-3,76E-73	1,09E-84	-1,09E-84	-8,68E-106
Agosto	3,23E-81	0,35	-0,35	1,24E-75	-1,24E-75	-2,52E-100	1,32E-28	1,51E-19	-1,51E-19	-1,35E-97
Setembro	3,34E-66	-3,34E-66	0,35	0	0	0	0	-0,35	-3,33E-15	4,09E-78
Outubro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro		0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0,4	0,4	-0,4	-4,1E-27	0,4	-0,4	1,3E-28	-0,3	-5,2E-07	-1,6E-24

Tabela 30: Variação do Armazenamento de água no solo (Δs_o) em mm

	1980	1981	1982	1983	1984
Janeiro		0	0	0	0
Fevereiro		0	0	0	0
Março		0	0	0	0
Abril		0	0	0	0
Maió		0	0	0	0
Junho	2,34E-28	-2,34E-28	2,96E-08	0,35	-3,45E-01
Julho	3,34E-66	-3,34E-66	2,97E-59	0,35	-0,35
Agosto	1,30E-78	-1,30E-78	-3,03E-94	0,35	-0,35
Setembro	7,72E-14	0,35	0	0	-0,35
Outubro		0	0	0	0
Novembro		0	0	0	0
Dezembro		0	0	0	0
TOTAL	7,7E-14	0,3	3,0E-08	1,0	-1,4

Tabela 31: Evaporação Efectiva em mm

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	63,90	36,20	48,40	9,40	34,90	82,10	11,40	44,00	97,30	25,85
Julho	10,60	23,00	5,00	17,40	5,00	0,80	68,20	16,60	40,50	2,10
Agosto	18,30	28,50	58,50	19,30	35,60	0,80	70,20	36,70	39,80	55,60
Setembro	29,40	27,10	27,70	63,00	13,70	3,90	72,50	24,65	58,50	67,00
Outubro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	122,2	114,8	139,6	109,1	89,2	87,6	222,3	121,95	236,1	150,6

Tabela 32: Evaporação Efectiva em mm

	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maiο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	5,90	39,40	12,50	58,10	70,50	9,35	44,80	13,00	8,60	62,70
Julho	7,90	50,40	37,20	1,80	17,40	10,40	0,00	0,40	2,20	0,90
Agosto	81,10	8,60	0,90	12,80	11,10	7,40	30,30	58,50	32,45	5,10
Setembro	80,30	57,10	52,50	37,45	58,90	61,40	34,35	75,10	38,80	55,30
Outubro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	175,2	155,5	103,1	110,2	157,9	88,6	109,5	147,0	82,1	124,0

Tabela 33: Evaporação Efectiva em mm

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maiο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	51,70	49,00	28,85	38,80	74,80	5,35	1,80	48,50	47,60	13,50
Julho	7,60	63,70	1,80	27,80	1,20	9,20	6,40	16,00	1,09E-84	18,70
Agosto	18,90	55,40	12,05	2,70	2,90	0,20	46,50	51,50	1,51E-19	4,00
Setembro	20,30	15,40	64,30	64,00	54,40	62,10	60,00	50,75	0,10	6,60
Outubro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	98,5	183,5	107,0	133,3	133,3	76,9	114,7	166,7	47,7	42,8

Tabela 34: Evaporação Efectiva em mm

	1980	1981	1982	1983	1984
Janeiro	0	0	0		0
Fevereiro	0	0	0		0
Março	0	0	0		0
Abril	0	0	0		0
Maio	0	0	0		0
Junho	49,00	40,10	42,30		93,45
Julho	34,30	1,70	14,80		16,95
Agosto	26,20	4,70	14,90		31,35
Setembro	63,10	55,30	88,50		56,85
Outubro	0	0	0		0
Novembro	0	0	0		0
Dezembro	0	0	0		0
TOTAL	172,6	101,8	160,5		198,6

A lago (m²)

1716,13

A Bacia (m²)

66275,0

9

A Bacia - A represa (m²)

64558,9

6

Tabela 35: Precipitação s2-s1 em m³

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Janeiro	2724,39	14202,97	5248,64	1878,67	6184,75	21678,90	14119,04	2885,79	8341,02	14583,87
Fevereiro	10561,85	17611,68	1523,59	1594,61	7095,03	12530,89	2756,67	13518,65	6003,98	3976,83
Março	6049,17	11975,69	10277,79	981,30	15377,94	4525,58	15003,50	9522,45	11491,49	16133,28
Abril	1271,81	3886,45	5216,36	4880,66	2808,31	1536,50	9328,77	684,32	3763,79	10839,45
Mai	9057,62	7333,90	6313,87	2853,51	2905,15	2924,52	10213,23	4383,55	4138,23	5151,80
Junho	4125,32	2337,03	3124,65	606,85	2253,11	5300,29	735,97	2840,59	8515,33	1646,25
Julho	684,32	1484,86	322,79	1123,33	322,79	51,65	4402,92	1071,68	2614,64	135,57
Agosto	1181,43	1839,93	3776,70	1245,99	2298,30	51,65	4532,04	2369,31	2569,45	3589,48
Setembro	1898,03	1749,55	1788,28	4067,21	884,46	251,78	10523,11	1568,78	3776,70	4325,45
Outubro	2614,64	5778,03	6920,72	7527,57	2705,02	2169,18	10045,37	832,81	5145,35	9102,81
Novembro	9942,08	14396,65	5326,11	8934,96	12408,23	15177,81	5687,64	6714,13	561,66	14370,82
Dezembro	8637,99	6978,82	8831,67	2621,09	7237,06	11717,45	7592,13	10006,64	14951,85	24364,55
TOTAL	58748,7	89575,6	58671,2	38315,7	62480,2	77916,2	94940,4	56398,7	71873,5	108220,2

Tabela 36: Precipitação S2-S1 em m³

	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Janeiro	10297,15	11543,14	8947,87	17514,85	2556,53	8515,33	21059,13	9386,87	1981,96	16333,42
Fevereiro	13783,34	5732,84	2911,61	16307,59	16501,27	4099,49	30742,98	5513,34	18644,63	12421,14
Março	13725,23	1007,12	14835,65	10639,32	15926,69	13389,53	142,03	8392,66	5268,01	12195,19
Abril	3770,24	14364,37	7404,91	9832,33	3912,27	3421,62	14641,97	2543,62	13544,47	6462,35
Maiο	7701,88	8612,16	1265,36	2072,34	2440,33	2472,61	2324,12	7985,94	8250,63	15797,58
Junho	380,90	2543,62	806,99	5758,66	6087,91	581,03	2892,24	839,27	555,21	5913,60
Julho	510,02	3253,77	2401,59	116,21	1123,33	671,41	0	25,82	142,03	58,10
Agosto	5235,73	555,21	58,10	826,35	716,60	477,74	1956,14	4512,67	2072,34	329,25
Setembro	6197,66	4590,14	3415,17	2395,14	3802,52	11672,26	2195,00	5035,60	6359,06	7792,27
Outubro	26385,25	13066,73	4706,35	5339,03	7398,46	12208,10	17999,04	6488,18	6514,00	3518,46
Novembro	24719,63	7617,96	8424,94	23486,55	1988,42	19490,35	5054,97	8631,53	16326,96	12614,82
Dezembro	16443,17	17192,05	5984,62	15087,43	5164,72	13170,03	6062,09	1988,42	12440,51	7785,81
TOTAL	129150,2	90079,1	61163,2	109375,8	67619,1	90169,5	105069,7	61343,9	92099,8	101222,0

Tabela 37: Precipitação S2-S1 em m³

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Janeiro	24203,15	16895,08	12446,97	10684,51	22356,77	10232,59	6533,37	18948,05	8676,72	11504,41
Fevereiro	5674,73	3021,36	17250,15	4712,80	11865,94	10058,29	4583,69	23602,76	19671,11	23654,40
Março	1613,97	5022,69	9367,50	5881,32	5448,78	10820,08	7178,96	9974,36	9148,00	14235,25
Abril	1245,99	5481,06	3808,98	3363,52	2156,27	2692,11	10103,48	6365,51	9335,23	6688,31
Maiο	8457,22	7501,75	3537,83	14177,15	5823,22	2130,45	167,85	5319,66	3421,62	7101,49
Junho	8289,37	6810,97	1839,93	2504,89	16346,33	322,79	116,21	3131,11	3073,01	871,55
Julho	490,65	4112,41	116,21	1794,74	77,47	593,94	413,18	1032,94	0	1207,25
Agosto	1220,16	3595,93	755,34	174,31	187,22	12,91	3001,99	3324,79	0	258,24
Setembro	1310,55	994,21	5429,41	5545,61	5255,10	5293,83	4893,57	3253,77	6,46	426,09
Outubro	981,30	1284,72	10916,92	6604,38	1239,53	4273,80	22518,16	12175,82	5029,14	15106,80
Novembro	12072,53	3770,24	8896,22	936,10	15313,38	6668,94	10135,76	9625,74	2627,55	5939,42
Dezembro	4099,49	5093,70	9128,64	9244,84	2705,02	3395,80	17882,83	18902,86	40026,55	7798,72
TOTAL	69659,1	63584,1	83494,1	65624,2	88775,0	56495,5	87529,0	115657,4	101015,4	94791,9

Tabela 38: Precipitação S2-S1 em m³

	1980	1981	1982	1983	1984
Janeiro	7630,87	232,41	6094,37		18011,95
Fevereiro	5971,70	4486,85	9231,93		3505,55
Março	10832,99	9883,98	1000,66		8321,65
Abril	5687,64	6178,29	2349,95		7992,40
Maiο	5997,53	10574,76	5881,32		7908,47
Junho	3163,39	2588,81	2730,84		6010,44
Julho	2214,37	109,75	955,47		1071,68
Agosto	1691,44	303,43	961,93		2001,33
Setembro	4073,67	10936,29	6933,63		3647,58
Outubro	6785,15	8437,86	6333,23		9432,06
Novembro	9787,14	193,68	13796,25		24319,36
Dezembro	3583,02	30349,17	11110,60		8211,90
TOTAL	67418,9	84275,3	67380,2		100434,4

Tabela 39: Evaporação Efectiva s_2-s_1 em m^3

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maiο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	4125,32	2337,03	3124,65	606,85	2253,11	5300,29	735,97	2840,59	6281,59	1668,85
Julho	684,32	1484,86	322,79	1123,33	322,79	51,65	4402,92	1071,68	2614,64	135,57
Agosto	1181,43	1839,93	3776,70	1245,99	2298,30	51,65	4532,04	2369,31	2569,45	3589,48
Setembro	1898,03	1749,55	1788,28	4067,21	884,46	251,78	4680,52	1591,38	3776,47	4325,68
Outubro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	7889,1	7411,4	9012,4	7043,4	5758,7	5655,4	14351,5	7873,0	15242,1	9719,6

Tabela 40: Evaporação Efectiva s_2-s_1 em m^3

	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	380,90	2543,62	806,99	3750,88	4551,41	603,63	2892,24	839,27	555,21	4047,85
Julho	510,02	3253,77	2401,59	116,21	1123,33	671,41	0,00	25,82	142,03	58,10
Agosto	5235,73	555,21	58,10	826,35	716,60	477,74	1956,14	3776,70	2094,94	329,25
Setembro	5184,08	3686,32	3389,35	2417,73	3802,52	3963,92	2217,60	4848,38	2504,89	3570,11
Outubro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	11310,7	10038,9	6656,0	7111,2	10193,9	5716,7	7066,0	9490,2	5297,1	8005,3

Tabela 41: Evaporação Efectiva S_2-S_1 em m^3

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junho	3337,70	3163,39	1862,53	2504,89	4829,01	345,39	116,21	3131,11	3073,01	871,55
Julho	490,65	4112,41	116,21	1794,74	77,47	593,94	413,18	1032,94	0,00	1207,25
Agosto	1220,16	3576,57	777,94	174,31	187,22	12,91	3001,99	3324,79	0,00	258,24
Setembro	1310,55	994,21	4151,14	4131,77	3512,01	4009,11	3873,54	3276,37	6,46	426,09
Outubro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	6359,1	11846,6	6907,8	8605,7	8605,7	4961,4	7404,9	10765,2	3079,5	2763,1

Tabela 42: Evaporação Efectiva S_2-S_1 em m^3

	1980	1981	1982	1983	1984
Janeiro	0	0	0		0
Fevereiro	0	0	0		0
Março	0	0	0		0
Abril	0	0	0		0
Maiο	0	0	0		0
Junho	3163,39	2588,81	2730,84		6032,72
Julho	2214,37	109,75	955,47		1094,27
Agosto	1691,44	303,43	961,93		2023,92
Setembro	4073,67	3570,11	5713,47		3670,18
Outubro	0	0	0		0
Novembro	0	0	0		0
Dezembro	0	0	0		0
TOTAL	11142,9	6572,1	10361,7		12821,1

*Valor da infiltração de água
no solo na literatura (I) em m^3*

7,07E+03

Tabela 43: Valores necessários para o cálculo das Escorrências, em m³

	Classificação Hidrológica	Média da Precipitação anual s_2-s_1 em m ³	Média da Evaporação efectiva anual s_2-s_1 em m ³	Escorrências s_2-s_1 em m ³
1950	Seco	58748,7	7889,1	
1951	Húmido	89575,6	7411,4	75095,0
1952	Seco	58671,2	9012,4	
1953	Muito Seco	38315,7	7043,4	
1954	Médio	62480,2	5758,7	49652,3
1955	Médio	77916,2	5655,4	65191,6
1956	Húmido	94940,4	14351,5	73519,7
1957	Muito Seco	56398,7	7873,0	
1958	Médio	71873,5	15242,1	49562,1
1959	Muito Húmido	108220,2	9719,6	
1960	Extremamente Húmido	129150,2	11310,7	
1961	Húmido	90079,1	10038,9	72971,0
1962	Seco	61163,2	6656,0	
1963	Muito Húmido	109375,8	7111,2	
1964	Médio	67619,1	10193,9	50356,0
1965	Húmido	90169,5	5716,7	77383,6
1966	Muito Húmido	105069,7	7066,0	
1967	Seco	61343,9	9490,2	
1968	Húmido	92099,8	5297,1	79733,5
1969	Muito Húmido	101222,0	8005,3	
1970	Médio	69659,1	6359,1	56230,9
1971	Médio	63584,1	11846,6	44668,3
1972	Médio	83494,1	6907,8	69517,1
1973	Médio	65624,2	8605,7	49949,3
1974	Húmido	88775,0	8605,7	73100,1
1975	Seco	56495,5	4961,4	
1976	Húmido	87529,0	7404,9	73054,9
1977	Extremamente Húmido	115657,4	10765,2	
1978	Muito Húmido	101015,4	3079,5	
1979	Húmido	94791,9	2763,1	84959,6
1980	Médio	67418,9	11142,9	49206,8
1981	Húmido	84275,3	6572,1	70634,0
1982	Médio	67380,2	10361,7	49949,3
1983				
1984	Húmido	100434,4	12821,1	80544,1
Média		8,15E+04	8,32E+03	6,48E+04

Anexo F

Princípio de Funcionamento do GPS (Global Positioning System)

O Global Positioning System ou Sistema Global de Posicionamento é constituída por uma constelação de 27 satélites a orbitar em volta da Terra, de tal forma posicionados que em qualquer local da Terra se encontram pelo menos quatro “visíveis” no céu.

Os receptores de GPS limitam-se então a localizar estes quatro satélites, calcular a distância entre estes e, através da técnica da triangulação¹, achar a sua própria localização. No entanto, verifica-se que o processo para a detecção da distância é mais complexo do que pode parecer à primeira vista, uma vez que o cálculo se baseia no tempo que o sinal do satélite demora a chegar ao receptor. Como só os satélites possuem relógios atômicos (bastante caros e daí não viáveis de instalar também nos receptores), os dois relógios nunca irão estar sincronizados, afectando posteriormente o cálculo da distância, através da equação

$$velocidade\ da\ luz = \frac{distância}{\Delta t}$$

Assim, de forma a contornar este problema, todos os satélites, começam a transmitir um código aleatório num certo tempo conhecido, assim como os receptores de GPS. Assim, quando o sinal do satélite chega ao receptor, este saberá o delay que o seu relógio tem devido à comparação entre o código que chegou, que tem um tempo padronizado, com o seu próprio código, igual ao que corre no satélite e também padronizado, sendo a diferença desse tempo

¹ Técnica que através do conhecimento da posição de pelo menos três pontos e suas distâncias, se traçam círculos de raio igual à distância entre eles para se determinar a intersecção destes – sendo esta correspondente ao ponto que se pretende.

igual ao tempo que o sinal demorou desde o satélite ao receptor. Para além disso, sabendo o delay do relógio do receptor, este reinicia e sincroniza-se com o relógio atómico. [31].

Anexo G

Fotografias dos Locais onde se realizaram as Análises ao Solo



Ilustração 5: Local da Análise 1.



Ilustração 6: Local da Análise 2.



Ilustração 7: Local da Análise 3.



Ilustração 8: Local da Análise 4.



Ilustração 9: Local da Análise 5.



Ilustração 10 Local da Análise 6.



Ilustração 11 Local da Análise 7.



Ilustração 12 Local da Análise 8.



Ilustração 13 Local da Análise 9.



Ilustração 14: Local da Análise 10.



Ilustração 15 Local da Análise 11.



Ilustração 16: Local da Análise 12.



Ilustração 17: Local da Análise 13.



Ilustração 18: Local da Análise 14.



Ilustração 19: Local da Análise 15.



Ilustração 20: Local da Análise 16.



Ilustração 21: Local da Análise 17.



Ilustração 22: Local da Análise 18.



Ilustração 23: Local da Análise 19.



Ilustração 24: Local da Análise 20.



Ilustração 25: Local da Análise 21.



Ilustração 26: Local da Análise 22.



Ilustração 27: Local da Análise 23.



Ilustração 28: Local da Análise 24.



Ilustração 29: Local da Análise 25 e 26.



Ilustração 30: Local da Análise 27.



Ilustração 31: Local da Análise 28.



Ilustração 32: Local da Análise 29 e 30.



Ilustração 33: Amostra de solo 1 para ensaio de Lixiviação e de Geração Líquida de ácido.



Ilustração 34: Amostra de solo 2 para ensaio de Lixiviação e de Geração Líquida de ácido.



Ilustração 35: Amostra de solo 3 para ensaio de Lixiviação e de Geração Líquida de ácido.



Ilustração 36: Amostra de solo 4 para ensaio de Lixiviação e de Geração Líquida de ácido.



Ilustração 37: Amostra de solo 5 para ensaio de Lixiviação e de Geração Líquida de ácido.

Anexo H

Protocolos seguidos para os Ensaio de Lixiviação e de Geração Líquida de Ácido

H.1 Protocolo do Ensaio de Lixiviação baseada na Norma DIN 38414-S4

EQUIPAMENTO, MATERIAL E REAGENTES DE LABORATÓRIO

- Balança analítica com precisão às gramas;
- Gobelé de 1000 ml;
- Agitador mecânico rotativo;
- Medidor de pH;
- Medidor de condutividade;
- Medidor de Oxigênio Dissolvido;
- Medidor de Potencial REDOX;
- Medidor de Salinidade;
- Medidor de Sólidos Dissolvidos Totais
- Membrana com poro de 0,45 μm ;
- Sistema de Filtração;
- Estufa de secagem com controlador de temperatura;
- Água destilada;
- Resíduo para análise.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1 Pesar cerca de 100 g de resíduo e introduzi-lo num gobelé;
- 2 Pesar também uma pequena quantidade de resíduo para determinar a sua humidade; colocá-lo num vidro de relógio dentro duma estufa a 105 °C e fazer a determinação do peso final, consoante o habitual;
- 3 Medir os mesmos parâmetros que se irão medir no lixiviado na água destilada;
- 4 Adicionar 1000 ml de água destilada ao resíduo e colocá-lo no agitador mecânico rotativo regulado a 60 rpm;
- 5 Parar a agitação ao fim de 60 minutos e deixar sedimentar o resíduo durante 3 h e 24 h;
- 6 Retirar uma amostra e filtrar com uma membrana de poro 0,45 µm ao fim de cada um dos tempos referidos no ponto anterior;
- 7 Medir o pH, condutividade, salinidade, potencial REDOX, oxigénio dissolvido e SST.



Ilustração 38: Exemplo da Fase de Agitação

H.2 Protocolo do Ensaio de Geração Líquida de ácido Baseada em [18]

REAGENTES

- Reagente 1: H₂O₂ – a 30% w/v (100 V): diluir com água desionizada 1:1 de modo a obter H₂O a 15%. (Ver Nota 1).
- Reagente 2: NaOH -0.50 M Solução padronizada
- Reagente 3: NaOH - 0.10 M Solução padronizada

PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

As amostras devem ser previamente fragmentadas a – 4 mm e novamente submetidas a amostragem. As sub-amostras devem ser moídas a -200 mesh (<75 µm).

MÉTODO

- 1 Adicionar 250 ml do Reagente 1 (15 % H₂O₂) a 2,5 g da amostra moída num recipiente cônico de 500 ml, ou equivalente. Cobrir com um vidro de relógio e colocar numa hotte ou num local bem ventilado (ver nota 2). O H₂O₂ deve estar à temperatura ambiente antes de o teste se iniciar.
- 2 Deixar a amostra reagir até que a efervescência pare. Aquecer a amostra numa placa de aquecimento até fervura leve e deixar até a efervescência parar, ou alternativamente durante um período mínimo de 2 horas. Não deixar que a amostra fique seca. Se necessário adicionar água destilada.
- 3 Deixar a solução arrefecer até à temperatura ambiente e registar o pH final.
- 4 Limpar a amostra que aderir às paredes do recipiente utilizando um esguicho com água destilada. Adicionar água destilada até obter um volume final de 250 ml.
- 5 Titular até pH 4,5, agitando simultaneamente, com a solução de NaOH de concentração apropriada baseada no pH anteriormente medido de acordo com a seguinte tabela.

Tabela 44: Concentração de NaOH necessária para a titulação

pH da SOLUÇÃO	REAGENTE	CONCENTRAÇÃO NaOH
>2	3	0.10 M
<2	2	0.50 M

1 Cálculos

Capacidade Líquida de Geração de Ácido (NAG)

$$\text{NAG} = 49 \times V \times M/W$$

onde:

NAG = capacidade líquida de geração de ácido (kg H₂SO₄/tonelada)

V = volume da base NaOH titulada (ml)

M = molaridade da base NaOH (moles/l)

W = massa da amostra utilizada (g)

NOTA: Se o NAG exceder 25 kg H₂SO₄ per tonelada, repetir o teste utilizando amostras de 1,00 gramas.

NOTAS E PRECAUÇÕES

O pH do H₂O₂ utilizado no teste deve estar entre 4 e 7. Se o pH for inferior a 4 deve-se adicionar NaOH diluído (utilizar uma solução obtida adicionando 1 g de NaOH a 100 ml de água destilada até o pH ser superior a 4 (o objectivo é que esteja entre 4 e 6). O objectivo é garantir que o ácido fosfórico que muitas vezes é utilizado em algumas marcas comerciais para estabilizar o H₂O₂ esteja estabilizado).

A reacção é vigorosa e algumas amostras podem “ferver” com temperaturas até 120 °C. É por esta razão que as amostras devem ser colocadas na hotte.

Anexo I

Tabelas com os Resultados das Análises ao Solo

Tabela 45: Valores da concentração dos vários contaminantes no solo, em ppm.²

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ti	2976,00	2287	3127	13727	2197	1744	1846	3573	3769	3479	2402	3807	1050	684	2522
Ba	2	2	2	3535	2	2	2	74	2	2	2	2	2	2	2
Cr	2	2	2	670	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mn	226	144	110	1279	2	118	2	2	279	220	141	133	389	2	61
Fe	17800	13442	15730	>10%	11822	9873	18124	13657	6956	25685	17635	16194	4464	4341	13426
Co	2	2	2	2	2	2	124	101	28	2	2	2	2	2	25
Cu	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	2	2	2	2	2
Zn	59,00	48	70	19537	19	79	64	40	2	58	47	44	28	8	2
As	8	2	18	2	13	11	20	16	2	7	6	9	2	2	14
Pb	33,00	25	52	634	21	35	31	22	14	16	28	21	15	11	26
Rb	150,00	162	117	85	52	249	83	84	58	78	128	96	58	23	89
Sr	86	122	79	77	24	93	32	39	47	29	64	55	38	11	42
Zr	309	120	193	176	107	80	145	229	257	66	114	352	210	61	195
Mo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sn	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sb	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

² Quando aparece o valor de 2 ppm significa que a concentração deste elemento se encontra abaixo do limite de detecção do aparelho. No entanto, foi colocado um valor diferente de zero porque existirá sempre uma concentração de cada elemento no solo, por mínima que seja.

Tabela 46: Valores da concentração dos vários contaminantes no solo, em ppm.³

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Ti	1501	2229	3465	2090	1170	1984	2795	866	1352	3733	2831	1251	2481	2932	2809
Ba	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Cr	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mn	63	2	69	59	2	108	71	2	2	117	2	70	195	184	211
Fe	14119	16900	13365	9928	6581	14618	20254	2676	4080	16596	12790	9805	19158	18651	18281
Co	120	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	175
Cu	2	2	75	134	25	17	2	50050	1709	20	2	2	2	2	2
Zn	44	42	889	569	34	57	65	3342	2552	68	23	42	67	76	66
As	7	17	10	8	2	11	12	95	2	14	12	9	18	17	15
Pb	42	24	31	38	23	27	32	2522	328	40	16	24	33	22	31
Rb	93	76	65	82	53	89	93	18	22	111	44	107	111	104	113
Sr	93	31	40	65	37	140	115	55	38	73	31	81	131	129	144
Zr	77	118	197	285	53	114	100	32	96	282	172	84	110	118	128
Mo	6	2	8	2	2	13	8	11	2	2	2	2	7	2	8
Sn	2	2	2	2	2	2	2	129	2	2	2	2	2	2	2
Sb	2	2	2	2	2	2	2	1064	2	2	2	2	2	2	2

³ Quando aparece o valor de 2 ppm significa que a concentração deste elemento se encontra abaixo do limite de detecção do aparelho. No entanto, foi colocado um valor diferente de zero porque existirá sempre uma concentração de cada elemento no solo, por mínima que seja.

Tabela 47: Valores da concentração dos vários contaminantes no solo, em ppm.⁴

	A	B	C	D	Média
Ca		8161	5400	28158	13906,33
K	4299	64190	8395	25213	25524,25
S	2	14708	2	42701	14353,25
Ti	935	7626	4817	8586	5491
Ba	113	605	406	609	433,25
Cr	2	2	2	2	2
Mn	41	386	341	475	310,75
Fe	7510	37628	44652	46499	34072,25
Co	2	2	2	2	2
Cu	2	2	2	2	2
Zn	11	51	53	64	44,75
As	8	12	2	2	6
Pb	11	32	48	23	28,5
Rb	14	141	93	90	84,5
Sr	13	94	47	32	46,5
Zr	59	258	99	386	200,5
Mo	8	2	2	2	3,5
Sn	2	2	2	2	2
Sb	2	2	2	2	2

⁴ Quando aparece o valor de 2 ppm significa que a concentração deste elemento se encontra abaixo do limite de detecção do aparelho. No entanto, foi colocado um valor diferente de zero porque existirá sempre uma concentração de cada elemento no solo, por mínima que seja.

Anexo J

Tabelas com os Resultados das Análises à Água e Respectiva Legislação

Tabela 48: Valores das análises à água e respectivos valores limite da legislação Nacional.

Valores Medidos		Destino de Produção		
		Consumo Humano: Categoria A2	Fins aquícolas - piscícolas	Fins aquícolas - conquícolas
OD (mg/l)	1.12		50% das vezes no mínimo acima de 7 (VMA)	
% saturação em O ₂	7.6	50% (VmR)		60% para medições individuais (VMA)
p(O ₂) (mbar)	9.2			
Condutividade (µS)	451	1000 (VMR)		
SDT (mg/l)	453			
pH	7.3	5.5 - 9 (VMR)	6.0 - 9.0 (VMA)	7.0 - 9.0 (VMA)
Potencial REDOX	44.1			
CBO ₅	30	5 mas pode ser excedido para lagos de pouca profundidade e com baixa taxa de renovação	6 no mínimo (VMR)	

VMA: Valor Máximo Admissível

VMR: Valor Máximo Recomendado

VmR: Valor mínimo Recomendado

Anexo K

Tabelas com os Resultados das Análises aos lixiviados

Tabela 49: Resultados do Ensaio de Lixiviação 1.

	Solo1		Solo2		Solo3		Solo4		Solo5		
	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	
pH	6.8	7.83	6.2	6.3	6.32	6.46	7.3	7.53	7	7.39	
Condutividade (µS)	314	307.6	236	215.1	23.14	84.9	135.2	171.3	154.3	151	
SDT (ppm)	Em solo húmido	157	154	117	107.5	11.6	42.4	66.8	85.7	77.1	75.5
	Em solo seco ⁵	50.70	49.73	19.36	17.79	2.28	8.34	23.33	29.93	22.01	21.55
Potencial REDOX (mV)	250.3	227.2	268.3	272.3	260.7	221	353.1	21.51	267.4	242	
Salinidade (%)	0.6	0.6	0.4	0.4	0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	

⁵ Para converter em ppm utilizou-se a massa de solo seco pesada para cada solo, encontrando-se estes valores presentes na **Tabela 52**.

Tabela 50: Resultados do Ensaio de Lixiviação 2.

	Solo1		Solo2		Solo3		Solo4		Solo5		
	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	
pH	7.82	7.93	6.27	6.49	6.37	6.26	7.34	7.47	6.9	7.06	
Condutividade (µS)	305.5	373.6	98.7	136.7	75.3	73.3	178.3	201.5	106.8	148.5	
SDT (ppm)	Em solo húmido		49.4	68.3	37.7	36.7	89.2	100.7	53.4	73.3	
	Em solo seco ⁶		49.08	60.38	8.18	11.30	7.42	7.22	31.15	35.17	15.24
Potencial REDOX (mV)	242.6	209.2	172.9	242.3	201.3	235	222	207.7	214.6	305.6	
Salinidade (%)	0.6	0.7	0.2	0.3	0.1	0.1	0.3	0.4	0.2	0.3	
Oxigénio Dissolvido (ppm) ⁴	6.7	6.08	6.6	6	6.22	5.58	6.24	6.64	6.35	6.66	
	2.16	1.96	1.09	0.99	1.22	1.10	2.18	2.32	1.81	1.90	

⁶ Para converter em ppm utilizou-se a massa de solo seco pesada para cada solo, encontrando-se estes valores presentes na **Tabela 52**.

Tabela 51: Média dos dois ensaios.

	Solo1		Solo2		Solo3		Solo4		Solo5	
	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h	ao fim de 3 h	ao fim de 24 h
pH	7.31	7.88	6.24	6.40	6.35	6.36	7.32	7.50	6.95	7.23
Condutividade (μ S)	309.75	340.60	167.35	175.90	49.22	79.10	156.75	186.40	130.55	149.75
SDT (ppm)	49.89	55.05	13.77	14.55	4.85	7.78	27.24	32.55	18.62	21.24
Potencial REDOX (mV)	246.45	218.20	220.60	257.30	231.00	228.00	287.55	114.61	241.00	273.80
Salinidade (%)	0.60	0.65	0.30	0.35	0.05	0.15	0.30	0.35	0.25	0.30
Oxigénio Dissolvido (ppm)	2.16	1.96	1.09	0.99	1.22	1.10	2.18	2.32	1.81	1.90

Tabela 52: Valores dos parâmetros em água destilada.

Água Destilada	
pH	6
Condutividade (µS)	60.1
SDT (ppm) ⁷	30
Potencial REDOX (mV)	7.92
Salinidade (%)	224
Oxigénio Dissolvido (ppm) ³	0.1
	6.64
	1.75

Tabela 53: Massa de solo húmido e seco para o cálculo dos Sólidos dissolvidos totais e do Oxigénio Dissolvido.

Massa solo para ensaio lixiviação		
	húmido	seco
Solo1 (g)	100.29	32.38
Solo2 (g)	100.25	16.59
Solo3 (g)	100.14	19.70
Solo4 (g)	100.07	34.95
Solo5 (g)	100.12	28.58
Média	100.17	26.44

⁷ No caso dos Sólidos Dissolvidos Totais e do Oxigénio Dissolvido da água destilada, decidiu-se usar a média do solo seco das massas dos 5 solos pesados, uma vez que este parâmetro não estava ligado a nenhum tipo de solo.

Anexo L

Modelos predefinidos utilizados na construção de Variogramas

L.1 Modelo Linear

É o modelo calculado por defeito pelo software Surfer. Sendo o mais simples e indicativo de uma correlação contínua e decrescente ao longo do espaço, não atingindo, no entanto, o patamar, sendo por isso considerado um modelo pouco realista.

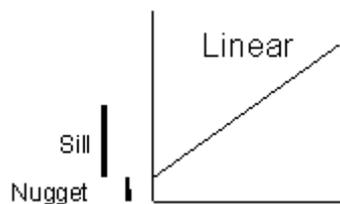


Ilustração 39: Representação do Modelo Linear. Fonte: Adaptado de [32]

L.2 Modelo Potência

Este modelo carece do mesmo problema do modelo linear no que toca à ausência de alcance. É indicativo de um aumento significativo da variância dos resultados, não atingindo mais uma vez o patamar.

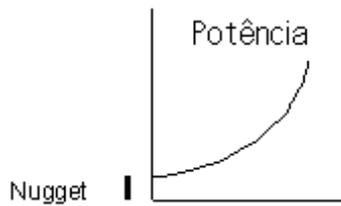


Ilustração 40: Representação do modelo Potência. Fonte: Adaptado de [32]

L.3 Modelo Gaussiano

Este modelo já é bastante comum e plausível de ser encontrado, uma vez que atinge um alcance e um patamar. É caracterizado por apresentar variações mínimas para distâncias muito próximas, apresentando de seguida uma subida abrupta da variância até atingir o patamar.

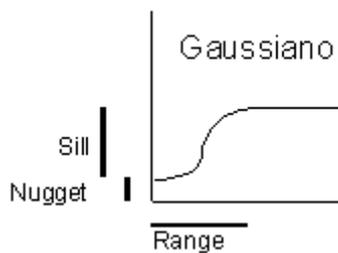


Ilustração 41: Representação do modelo Gaussiano. Fonte: Adaptado de [32]

L.4 Modelo Esférico

Este modelo é e muitos aspectos semelhante ao modelo anterior com a diferença de não haver a estabilização inicial da variância. Em vez disso, o modelo esférico apresenta uma evolução mais rápida do que o modelo linear até atingir o patamar, onde estabiliza.

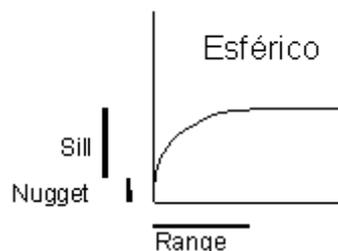


Ilustração 42: Representação do modelo esférico. Fonte: Adaptado de [32]

Anexo M

Relatório da Krigagem Efectuada no Surfer® 8

Tabela 54: Relatório da Krigagem para o Cobre, Zinco, Arsénio e Chumbo utilizando 30 pontos.

Método Utilizado	Krigagem
Tipo de Krigagem	Pontos
Tamanho da Grelha	100 linhas x 45 colunas
Nós	4500
Nós Preenchidos	4500
Geometria da Grelha	
Mínimo Valor de X	161645.7
Máximo Valor de X	161681.58
Espaçamento do X	0.81545454545399
Espaçamento do X	0.81545454545399
Mínimo Valor de Y	456247.69
Máximo Valor de Y	456328.39
Espaçamento do Y	0.81515151515163

Anexo N

**Valores devolvidos pelo XLSTAT no
cálculo da Análise em Componentes
Principais**

Tabela 55: Cálculo dos Valores Próprios e respectiva Variabilidade Acumulada para cada Variável calculada.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
Valor Próprio	5.842	5.230	1.790	1.044	0.931	0.675	0.194	0.141	0.086	0.039	0.017	0.011	0.001	0.000	0.000
Variabilidade (%)	36.510	32.686	11.186	6.523	5.820	4.216	1.215	0.879	0.536	0.244	0.108	0.072	0.004	0.001	0.000
% acumulada	36.510	69.197	80.383	86.905	92.726	96.942	98.157	99.036	99.571	99.816	99.924	99.995	99.999	100.000	100.000

Tabela 56: Cálculo dos Vectores Próprios para cada elemento.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
Ti	0.375	0.137	-0.001	-0.050	0.150	0.078	-0.291	0.276	0.240	0.677	-0.353	-0.089	0.007	0.021	0.001
Ba	0.364	0.199	-0.027	0.071	-0.045	-0.044	-0.020	-0.046	-0.248	-0.193	-0.058	-0.429	0.290	-0.665	-0.050
Cr	0.364	0.200	-0.026	0.068	-0.053	-0.040	-0.012	-0.051	-0.241	-0.208	-0.026	-0.392	0.121	0.725	0.141
Mn	0.365	0.149	0.059	-0.062	0.008	0.035	0.438	-0.385	0.649	-0.189	-0.152	0.128	0.003	-0.009	-0.002
Fe	0.375	0.154	0.068	0.056	-0.011	-0.038	-0.272	0.279	0.201	-0.106	0.749	0.246	-0.007	-0.024	-0.001
Co	-0.022	-0.041	0.265	0.628	0.622	-0.363	0.080	-0.076	-0.015	0.045	0.006	0.002	-0.007	0.004	0.001
Cu	-0.199	0.378	-0.026	-0.099	0.053	-0.070	0.095	-0.074	-0.002	0.158	0.125	-0.044	-0.076	-0.127	0.849
Zn	0.324	0.259	-0.052	0.067	-0.060	-0.022	0.041	-0.086	-0.458	-0.039	-0.212	0.459	-0.578	-0.070	-0.045
As	-0.218	0.343	0.062	-0.094	0.162	-0.103	-0.288	0.436	0.216	-0.552	-0.393	0.082	-0.008	0.003	0.004
Pb	-0.110	0.416	-0.039	-0.070	0.027	-0.075	0.132	-0.077	-0.210	0.183	-0.008	0.461	0.667	0.096	-0.186
Rb	0.076	-0.136	0.468	-0.498	-0.006	-0.516	-0.341	-0.350	-0.057	0.017	-0.024	0.024	0.002	0.001	0.003
Sr	0.042	0.002	0.697	-0.144	-0.065	0.173	0.489	0.436	-0.152	0.048	0.014	-0.054	-0.015	-0.002	0.000
Zr	0.112	-0.113	-0.145	-0.459	0.734	0.378	0.038	-0.063	-0.171	-0.119	0.108	0.008	0.005	-0.001	0.001
Mo	-0.132	0.191	0.431	0.240	-0.049	0.620	-0.405	-0.388	0.010	-0.032	-0.013	0.013	0.020	0.001	0.001
Sn	-0.198	0.378	-0.020	-0.104	0.059	-0.073	0.076	-0.073	0.053	0.122	0.171	-0.266	-0.240	0.020	-0.332
Sb	-0.198	0.378	-0.020	-0.104	0.059	-0.073	0.076	-0.073	0.053	0.122	0.171	-0.266	-0.240	0.020	-0.332

Tabela 57: Valores das Cargas Factoriais ou Correlações entre os Dados e Variáveis para cada elemento.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
Ti	0.907	0.313	-0.001	-0.051	0.145	0.064	-0.128	0.104	0.070	0.134	-0.046	-0.010	0.000	0.000	0.000
Ba	0.879	0.456	-0.036	0.072	-0.043	-0.036	-0.009	-0.017	-0.072	-0.038	-0.008	-0.046	0.007	-0.008	0.000
Cr	0.879	0.457	-0.035	0.070	-0.051	-0.033	-0.005	-0.019	-0.071	-0.041	-0.003	-0.042	0.003	0.008	0.000
Mn	0.881	0.341	0.079	-0.064	0.008	0.029	0.193	-0.144	0.190	-0.037	-0.020	0.014	0.000	0.000	0.000
Fe	0.907	0.353	0.091	0.058	-0.010	-0.031	-0.120	0.105	0.059	-0.021	0.099	0.026	0.000	0.000	0.000
Co	-0.054	-0.093	0.354	0.642	0.600	-0.298	0.035	-0.029	-0.004	0.009	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Cu	-0.482	0.864	-0.035	-0.101	0.051	-0.058	0.042	-0.028	-0.001	0.031	0.016	-0.005	-0.002	-0.001	0.002
Zn	0.783	0.592	-0.069	0.068	-0.058	-0.018	0.018	-0.032	-0.134	-0.008	-0.028	0.049	-0.014	-0.001	0.000
As	-0.526	0.783	0.083	-0.096	0.157	-0.084	-0.127	0.163	0.063	-0.109	-0.052	0.009	0.000	0.000	0.000
Pb	-0.265	0.951	-0.053	-0.071	0.026	-0.062	0.058	-0.029	-0.061	0.036	-0.001	0.049	0.016	0.001	0.000
Rb	0.183	-0.311	0.626	-0.508	-0.005	-0.424	-0.150	-0.131	-0.017	0.003	-0.003	0.003	0.000	0.000	0.000
Sr	0.100	0.004	0.932	-0.147	-0.063	0.142	0.215	0.164	-0.045	0.009	0.002	-0.006	0.000	0.000	0.000
Zr	0.271	-0.258	-0.194	-0.469	0.709	0.311	0.017	-0.024	-0.050	-0.024	0.014	0.001	0.000	0.000	0.000
Mo	-0.320	0.437	0.576	0.245	-0.047	0.509	-0.178	-0.146	0.003	-0.006	-0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
Sn	-0.479	0.864	-0.027	-0.106	0.057	-0.060	0.034	-0.028	0.016	0.024	0.023	-0.028	-0.006	0.000	-0.001
Sb	-0.479	0.864	-0.027	-0.106	0.057	-0.060	0.034	-0.028	0.016	0.024	0.023	-0.028	-0.006	0.000	-0.001

Tabela 58: Percentagem de explicação de cada variável relativamente a cada elemento.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
Ti	14.072	1.876	0.000	0.246	2.251	0.602	8.460	7.635	5.742	45.795	12.484	0.789	0.005	0.043	0.000
Ba	13.234	3.974	0.074	0.503	0.199	0.191	0.040	0.214	6.127	3.733	0.339	18.420	8.419	44.281	0.253
Cr	13.227	3.990	0.069	0.463	0.276	0.161	0.014	0.262	5.805	4.331	0.066	15.375	1.475	52.493	1.993
Mn	13.287	2.227	0.348	0.389	0.006	0.122	19.177	14.833	42.060	3.580	2.322	1.641	0.001	0.007	0.000
Fe	14.087	2.384	0.466	0.319	0.011	0.145	7.388	7.812	4.028	1.126	56.138	6.032	0.005	0.059	0.000
Co	0.050	0.166	7.004	39.473	38.646	13.199	0.639	0.585	0.023	0.203	0.003	0.000	0.005	0.002	0.000
Cu	3.971	14.281	0.070	0.975	0.280	0.491	0.910	0.546	0.000	2.507	1.555	0.192	0.574	1.608	72.039
Zn	10.495	6.712	0.268	0.446	0.358	0.050	0.171	0.737	20.980	0.150	4.494	21.048	33.400	0.493	0.199
As	4.742	11.736	0.384	0.881	2.634	1.054	8.294	18.983	4.665	30.492	15.447	0.677	0.007	0.001	0.002
Pb	1.206	17.308	0.155	0.489	0.075	0.570	1.740	0.592	4.398	3.346	0.007	21.253	44.490	0.930	3.442
Rb	0.576	1.851	21.871	24.767	0.003	26.613	11.595	12.246	0.329	0.029	0.060	0.059	0.001	0.000	0.001
Sr	0.173	0.000	48.546	2.064	0.421	3.009	23.880	19.016	2.324	0.228	0.019	0.297	0.023	0.001	0.000
Zr	1.257	1.268	2.096	21.087	53.913	14.301	0.144	0.397	2.941	1.419	1.169	0.007	0.002	0.000	0.000
Mo	1.754	3.650	18.565	5.743	0.236	38.417	16.391	15.063	0.009	0.100	0.016	0.018	0.038	0.000	0.000
Sn	3.934	14.289	0.041	1.078	0.345	0.538	0.579	0.540	0.284	1.481	2.940	7.096	5.778	0.041	11.035
Sb	3.934	14.289	0.041	1.078	0.345	0.538	0.579	0.540	0.284	1.481	2.940	7.096	5.778	0.041	11.035

Tabela 59: Coordenadas das variáveis calculadas para cada observação.

Observação	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
Obs1	0.594	-0.951	0.401	-1.973	1.103	0.080	0.138	-0.269	-0.034	-0.069	0.243	0.085	0.014	-0.004	-0.001
Obs2	0.139	-0.990	1.471	-1.115	-0.776	-0.759	0.531	0.026	-0.223	0.342	0.128	-0.097	-0.018	-0.004	0.000
Obs3	0.033	-0.545	0.133	-0.963	0.179	-0.188	-0.137	0.441	0.073	-0.100	-0.172	0.038	0.029	0.011	-0.008
Obs4	11.441	5.626	-0.252	0.382	-0.264	-0.146	-0.012	-0.039	-0.111	-0.044	-0.002	-0.024	0.000	0.001	0.000
Obs5	-0.594	-0.528	-1.467	0.523	-0.611	-0.099	-0.345	0.251	0.069	-0.082	-0.089	-0.064	0.007	0.008	0.001
Obs6	-0.128	-1.079	1.923	-1.786	-1.044	-2.152	-0.605	-0.797	-0.191	-0.028	-0.247	0.007	0.000	0.004	0.003
Obs7	-0.563	-0.594	-0.289	1.645	1.464	-1.310	-0.408	0.101	-0.010	-0.370	0.107	0.101	-0.012	0.010	0.001
Obs8	-0.132	-0.696	-0.470	0.787	1.963	-0.619	-0.420	0.185	-0.146	0.155	-0.149	-0.111	0.026	-0.049	0.000
Obs9	0.383	-0.783	-1.080	-0.172	1.077	0.601	0.609	-0.323	0.393	0.407	-0.246	-0.118	0.010	0.016	0.001
Obs10	0.329	-0.340	-0.947	0.440	-0.968	-0.479	-0.354	-0.012	0.922	0.327	0.212	0.164	-0.006	-0.009	0.002
Obs11	0.056	-0.754	0.082	-0.495	-0.681	-0.696	-0.122	-0.187	0.171	0.142	0.177	0.042	0.004	-0.004	-0.002
Obs12	0.476	-0.862	-0.838	-1.502	1.615	0.771	-0.118	0.020	-0.098	0.107	0.158	-0.010	0.013	0.008	0.003
Obs13	-0.013	-0.809	-1.299	-0.216	0.125	0.480	1.024	-0.906	0.521	-0.464	-0.060	0.029	0.006	-0.012	-0.001
Obs14	-0.982	-0.776	-1.997	1.229	-1.209	-0.007	0.186	-0.234	-0.129	-0.089	0.059	-0.174	-0.001	0.001	0.000
Obs15	-0.237	-0.687	-0.744	-0.153	0.504	-0.209	-0.280	0.058	-0.013	-0.142	-0.030	-0.011	0.013	0.009	0.002
Obs16	-0.620	-0.554	1.561	1.997	0.475	-0.526	0.192	-0.275	-0.198	0.080	0.181	-0.036	0.013	0.009	-0.006
Obs17	-0.473	-0.482	-1.074	0.160	-0.488	-0.327	-0.581	0.325	0.095	-0.235	0.021	0.033	0.002	0.002	0.001
Obs18	-0.225	-0.168	-0.348	0.272	0.121	1.530	-0.988	-0.534	0.001	0.168	-0.156	0.070	-0.078	-0.001	-0.004
Obs19	-0.110	-0.894	-0.734	-0.956	0.862	0.607	0.295	0.067	-0.530	-0.175	0.137	-0.017	-0.061	-0.006	0.001
Obs20	-0.787	-0.791	-1.181	0.838	-1.298	-0.258	0.200	-0.067	-0.188	0.106	0.056	-0.170	0.003	0.003	-0.002
Obs21	-0.656	0.092	2.644	0.493	-0.961	2.300	-0.354	-0.315	-0.158	-0.143	0.022	-0.058	0.036	-0.004	0.004
Obs22	-0.297	-0.117	1.553	0.233	-0.905	1.058	-0.327	0.287	0.008	0.111	0.116	-0.009	0.019	-0.002	-0.001
Obs23	-6.240	10.646	-0.196	-0.584	0.295	-0.267	0.080	-0.056	0.025	0.026	0.016	-0.016	-0.001	0.000	0.000
Obs24	-0.679	-0.235	-1.639	0.905	-0.908	0.235	0.617	0.010	-0.718	0.227	-0.135	0.401	0.023	-0.003	0.001
Obs25	0.326	-0.696	-0.209	-1.365	0.994	0.315	-0.139	0.320	-0.036	0.065	-0.020	0.012	0.023	0.011	-0.002

Obs26	-0.368	-0.572	-1.537	0.213	-0.003	0.355	-0.244	0.412	-0.019	0.047	-0.032	-0.094	0.001	0.010	0.003
Obs27	-0.509	-0.772	0.197	-0.154	-1.025	-0.569	0.323	0.133	-0.175	-0.150	-0.011	-0.086	-0.014	-0.003	0.000
Obs28	-0.152	-0.068	1.928	-0.227	-0.784	0.740	0.069	0.351	0.276	-0.260	-0.092	0.073	0.006	-0.008	-0.001
Obs29	0.128	-0.387	1.087	-0.583	-0.608	-0.147	0.708	1.056	0.263	-0.046	-0.119	0.005	-0.041	-0.007	0.001
Obs30	-0.137	-0.236	3.319	2.127	1.753	-0.314	0.462	-0.032	0.159	0.089	-0.072	0.036	-0.019	0.011	0.003

Anexo O

Características das Distribuições Estatísticas usadas na Análise de Risco Probabilística

O.1 Distribuição Normal

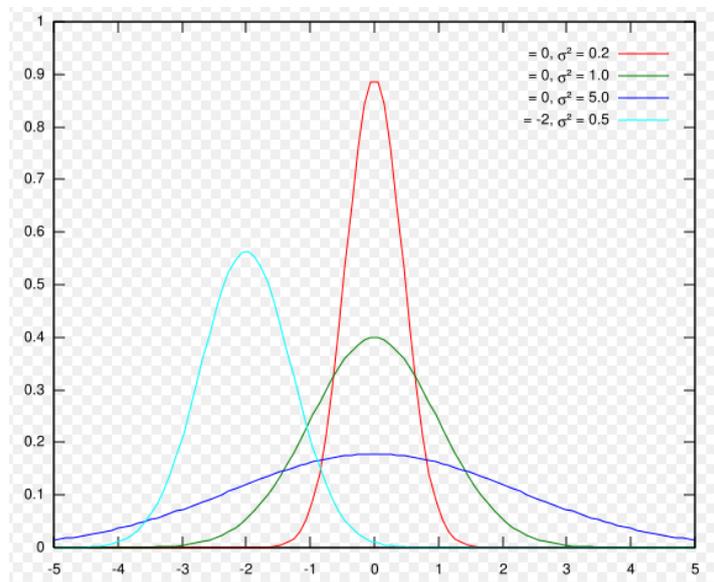


Ilustração 43: Várias formas da Distribuição Normal. Fonte: Wikipedia.

Em que a Função Densidade de Probabilidade é a seguinte:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

E os parâmetros de caracterização são a média e o desvio-padrão.

O.2 Distribuição Log-Normal

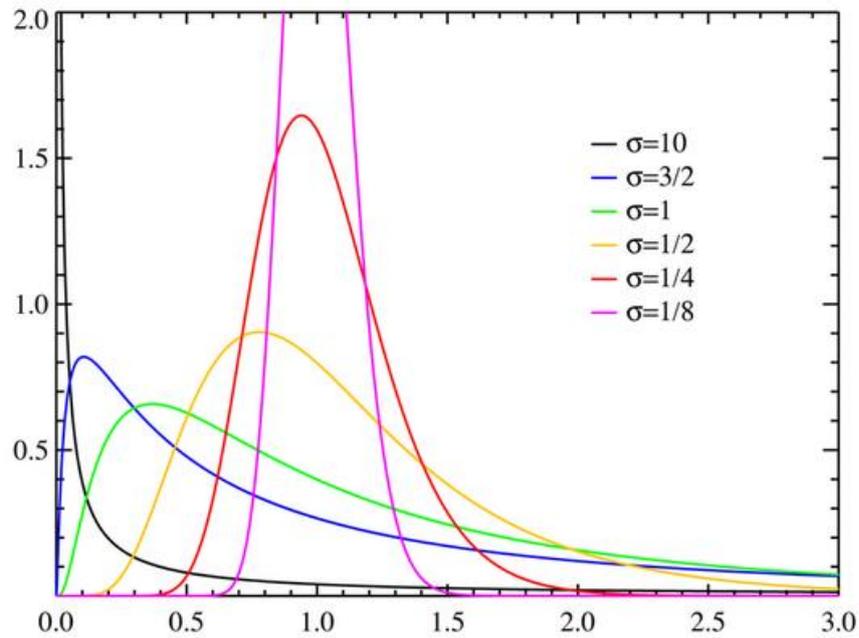


Ilustração 44: Várias formas da Distribuição Log-Normal. Fonte: Wikipedia.

Em que a Função Densidade de Probabilidade é a seguinte:

$$f(x; \mu; \sigma) = \frac{e^{-(\ln x - \mu)^2 / (2\sigma^2)}}{x\sigma\sqrt{2\pi}}$$

E os parâmetros de caracterização são a média e o desvio-padrão.

O.3 Distribuição Triangular

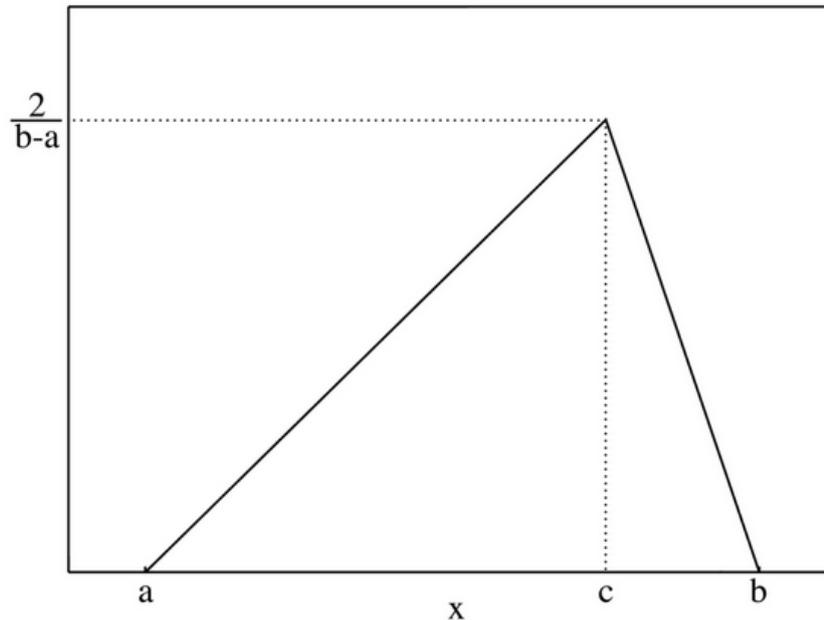


Ilustração 45: Várias formas da Distribuição Triangular. Fonte: Wikipedia.

Em que a Função Densidade de Probabilidade é a seguinte:

$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} \text{ para } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} \text{ para } c \leq x \leq b \\ 0 \text{ para qualquer outro valor de } x \end{cases}$$

E os parâmetros de caracterização são os valores máximo, mínimo e mais provável.

Anexo P

Princípio do Método do Teste de Kolmogorov-Smirnov

Este teste de qualidade de ajuste é dos mais potentes para o ajuste de uma distribuição empírica a uma distribuição teórica. Para isso, tem como base a análise da proximidade ou do ajuste entre a função de distribuição teórica e a empírica para qualquer valor. A estatística de teste, denotada de D , corresponde ao supremo da diferença em valor absoluto, entre estas duas funções. A metodologia seguida é a seguinte:

- **Formulação das Hipóteses:** aqui são definidas as duas hipóteses do teste, H_0 e H_1 , em que a primeira testa se a função em questão segue uma distribuição normal e a segunda, aceite por exclusão de partes, refere que a função não segue uma distribuição normal;
- **Nível de Significância do Teste:** o nível de significância determina se se aceita H_0 ou H_1 , consoante o resultado do teste tiver um valor maior que o valor mínimo de significância previamente decidido (normalmente 5%);
- **Cálculo da Estatística de Teste:** neste passo, calculam-se as funções acumuladas e as respectivas diferenças entre estas duas funções, como se verifica na **Ilustração 46**. Com isto, calcula-se o máximo da diferença entre estas duas funções e compara-se com o nível de significância escolhido. Se o nível de significância calculado for maior do que o estipulado, não se rejeita H_0 .

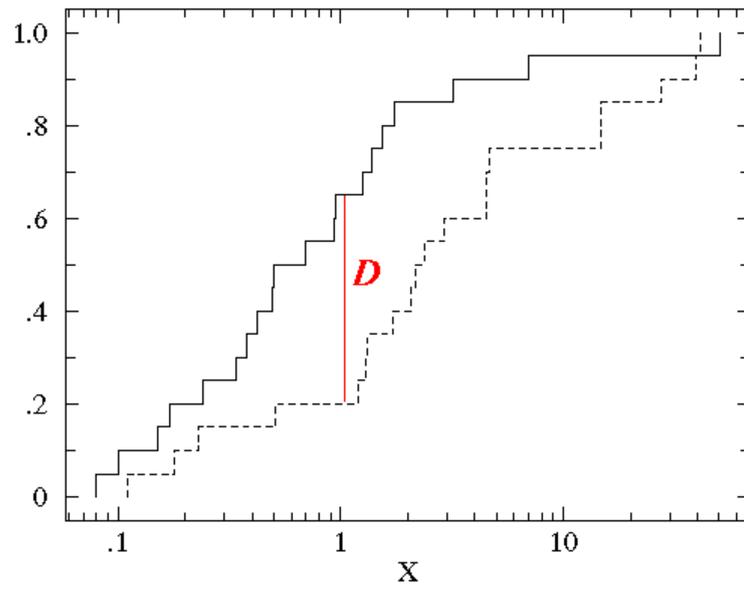


Ilustração 46: Comparação das Funções Empírica e Teórica com o supremo da sua diferença assinalado. Fonte: Chandra Science Centre.

Anexo Q

Exemplo das rotinas utilizadas no Matlab® para o elemento Arsénio

Q.1 Efeito Carcinogénico por Contacto Dérmico

```
function [x,Y]=dermcarc(d)
FPC=3.66; %Factor Potencia Cancerígena As
CF=1.0E-6; % Conversão unidades kg/mg
rand('state',sum(100*clock))
    % distribuição das Concentrações no Solo
m1=mean(d);
s1=std(d);
% Parâmetro área superficial unitária
m3=248;
s3=28;
am=log(m3/sqrt(1+(s3/m3)^2));
as=sqrt(log(1+(s3/m3)^2));
% Factor de aderência
m2=0.52;
s2=0.09;
mf=log(m2/sqrt(1+(s2/m2)^2));
sf=sqrt(log(1+(s2/m2)^2));
% valores mínimos, max e mais prov. para para a frequência da
exposição - distr.
% triangular
efmin=12;
```

```

efmax=180;
efpr=52;
%distribuição duração Exposição
mm=11.36;
ss=13.72;
edm=log(mm/sqrt(1+(ss/mm)^2));
eds=sqrt(log(1+(ss/mm)^2));
%distribuição do Peso
wm=77.1;
ws=13.5;
mw=log(wm/sqrt(1+(ws/wm)^2));
sw=sqrt(log(1+(ws/wm)^2));
for i=1:20000
    % Concentração aleatório no solo
    CS(i)=norminv(rand,m1,s1);
    if CS(i)<2
        CS(i)=2;
    else
        CS(i)=CS(i);
    end
    % Peso aleatório
    %W(i)=norminv(rand,47,8.3);
    W(i)=logninv(rand,mw,sw);
    % Área Superficial da pele
    SAU=logninv(rand,am,as);
    SA(i)=SAU*70;
    %Fracção da Área da Pele Exposta
    BF(i)=logninv(rand,-2.15,0.5);
    % Factor Aderência poeiras - pele
    DF(i)=logninv(rand,mf,sf);
    % Frequência da Exposição
    y=rand;
    if y<=(efpr-efmin)/(efmax-efmin)
        EF(i)=efmin+sqrt(y*(efmax-efmin)*(efpr-efmin));
    else
        EF(i)=efmax-sqrt((efmax-efmin)*(efmax-efpr)*(1-y));
    end
    %Duração Exposição
    ED(i)=logninv(rand,edm,eds);
    if ED(i)>70
        ED(i)=70;

```

```

else
    ED(i)=ED(i);
end
%Cálculo da Dose
Dose(i)=CS(i)*CF*SA(i)*BF(i)*DF(i)*EF(i)*ED(i)/(W(i)*70*365);
Risk(i)=Dose(i)*FPC;
end
subplot(2,2,1)
hist(CS,20);
title('Conc. Solo mg/kg - As');
subplot(2,2,2)
hist(W,20);
title('Peso');
subplot(2,2,3)
hist(SA,20);
title('Área Corpo - cm2');
subplot(2,2,4)
hist(BF,20);
title('Fracção Pele Exposta');
pause
clf
subplot(2,2,1)
hist(DF,20);
title('Aderência Poeira, mg/cm2');
subplot(2,2,2)
hist(EF,20);
title('Exposição - d/ano');
subplot(2,2,3)
hist(ED,20);
title('Duração Exposição (Anos)');
pause
clf
hist(Dose,50)
title('Dose Contaco Dérmico - As - mg/kg.d')
pause
clf
hist(Risk,100)
title('Risco Cancerígeno - Contacto Dérmico - As')
xlabel('Risco')
grid
m2=mean(Risk);

```

```

s2=std(Risk);
A=[75,80,90,95,98,99,99.5,99.9,99.999];
Y=prctile(Risk,A);
x=[m2;s2]

```

Q.2 Efeito Tóxico por Contacto Dérmico

```

function [x,Y]=dermtox(d)
RfD=1.23E-4; %Dose Referência As
CF=1.0E-6; % Conversão unidades kg/mg
rand('state',sum(100*clock))
    % distribuição das Concentrações no Solo
m1=mean(d);
s1=std(d);
    % Parâmetro área superficial unitária
m3=248;
s3=28;
am=log(m3/sqrt(1+(s3/m3)^2));
as=sqrt(log(1+(s3/m3)^2));
    % Factor de aderência
m2=0.52;
s2=0.09;
mf=log(m2/sqrt(1+(s2/m2)^2));
sf=sqrt(log(1+(s2/m2)^2));
    % valores mínimos, max e mais prov. para para a frequência da
exposição - distr.
    % triangular
efmin=12;
efmax=180;
efpr=52;
    %distribuição do Peso
wm=77.1;
ws=13.5;
mw=log(wm/sqrt(1+(ws/wm)^2));
sw=sqrt(log(1+(ws/wm)^2));
for i=1:20000
    % Concentração aleatório no solo
CS(i)=norminv(rand,m1,s1);
    if CS(i)<2
        CS(i)=2;
    else

```

```

        CS(i)=CS(i);
    end
    % Peso aleatório
    W(i)=logninv(rand,mw,sw);
    %W(i)=norminv(rand,47,8.3);
    % Área Superficial da pele
    SAU=logninv(rand,am,as);
    SA(i)=SAU*W(i);
    %Fracção da Área da Pele Exposta
    BF(i)=logninv(rand,-2.15,0.5);
    % Factor Aderência poeiras - pele
    DF(i)=logninv(rand,mf,sf);
    % Frequência da Exposição
    y=rand;
    if y<=(efpr-efmin)/(efmax-efmin)
        EF(i)=efmin+sqrt(y*(efmax-efmin)*(efpr-efmin));
    else
        EF(i)=efmax-sqrt((efmax-efmin)*(efmax-efpr)*(1-y));
    end
    %Cálculo da Dose
    Dose(i)=CS(i)*CF*SA(i)*BF(i)*DF(i)*EF(i)/(W(i)*365);
    IT(i)=Dose(i)/RfD;
end
subplot(2,3,1)
hist(CS,20);
title('Conc. Solo mg/kg - As');
subplot(2,3,2)
hist(W,20);
title('Peso');
subplot(2,3,3)
hist(SA,20);
title('Área Corpo - cm2');
subplot(2,3,4)
hist(BF,20);
title('Fracção Pele Exposta');
subplot(2,3,5)
hist(DF,20);
title('Aderência Poeira, mg/cm2');
subplot(2,3,6)
hist(EF,20);
title('Exposição - d/ano');

```

```

pause
clf
hist(Dose,50)
title('Dose Contaco Dérmico - As - mg/(kg.d)')
pause
clf
hist(IT,100)
title('Indice Toxicidade - Contacto Dérmico - As')
xlabel('IT')
grid
m2=mean(IT);
s2=std(IT);
A=[75,80,90,95,98,99,99.5,99.9,99.999];
Y=prctile(IT,A);
x=[m2;s2]

```

Q.3 Efeito Carcinogéneo por Inalação

```

function [x,Y]=inalcarc(d)
FPC=50; % Factor Potencia Cancerígena - As
CA=3.0E-7; % concentração poeiras Atmosfera kg/m3
rand('state',sum(100*clock))
    % valores mínimos, max e mais prov. para para a inalação -
distr.
    % uniforme
a=5.05;
b=17.76;
    % valores mínimos, max e mais prov. para a fracção temporal
diária -
    % distribuição triangular
fdmin=0.0625;
fdmax=0.25;
fdpr=0.10;
    % distribuição das Concentrações no Solo
m1=mean(d);
s1=std(d);
    % valores mínimos, max e mais prov. para para a frequência da
exposição - distr.
    % triangular
efmin=12;
efmax=180;

```

```

efpr=52;
%distribuição duração Exposição
mm=11.36;
ss=13.72;
edm=log(mm/sqrt(1+(ss/mm)^2));
eds=sqrt(log(1+(ss/mm)^2));
%distribuição do Peso
wm=77.1;
ws=13.5;
mw=log(wm/sqrt(1+(ws/wm)^2));
sw=sqrt(log(1+(ws/wm)^2));
for i=1:20000
x=rand;
% Taxa respiração aleatória
TR(i)=a+rand*(b-a);
% Frequência diária aleatória
c=rand;
if c<=(fdpr-fdmin)/(fdmax-fdmin)
    FD(i)=fdmin+sqrt(c*(fdmax-fdmin)*(fdpr-fdmin));
else
    FD(i)=fdmax-sqrt((fdmax-fdmin)*(fdmax-fdpr)*(1-c));
end
% Concentração aleatório no solo
CS(i)=norminv(rand,m1,s1);
if CS(i)<2
    CS(i)=2;
else
    CS(i)=CS(i);
end
% Frequência da Exposição
y=rand;
if y<=(efpr-efmin)/(efmax-efmin)
    EF(i)=efmin+sqrt(y*(efmax-efmin)*(efpr-efmin));
else
    EF(i)=efmax-sqrt((efmax-efmin)*(efmax-efpr)*(1-y));
end
%Duração Exposição
ED(i)=logninv(rand,edm,eds);
if ED(i)>80
    ED(i)=80;
else

```

```

        ED(i)=ED(i);
    end
    % Peso aleatório
    W(i)=logninv(rand,mw,sw);
    %W(i)=norminv(rand,47,8.3);
    %Cálculo da Dose
    Dose(i)=TR(i)*FD(i)*CA*CS(i)*EF(i)*ED(i)/(W(i)*70*365);
    Risk(i)=Dose(i)*FPC;
end
subplot(2,3,1)
hist(TR,20);
title('Taxa Inalação - m3 ar/d');
subplot(2,3,2)
hist(FD,20);
title('Fracção Temporal Diária');
subplot(2,3,3)
hist(CS,20);
title('Conc. Solo mg/kg, As');
subplot(2,3,4)
hist(EF,20);
title('Freq.Exposição dias/Ano');
subplot(2,3,5)
hist(ED,20);
title('Duração Exposição (Anos)');
subplot(2,3,6)
hist(W,50);
title('Distribuição Peso');
pause
clf
hist(Dose,20)
title('Dose Inalação - As - mg/(kg.d)')
pause
clf
hist(Risk,20)
title('Risco - Inalação - As')
m2=mean(Risk);
s2=std(Risk);
A=[75,80,90,95,98,99,99.5,99.9,99.999];
Y=prctile(Risk,A);
x=[m2;s2]

```

Q.4 Efeito Tóxico por Inalação

```
function [x,Y]=inaltox(d)
RfD=1.43E-5; %Dose Referência Mn
CA=3.0E-7; % concentração poeiras Atmosfera
rand('state',sum(100*clock))

    % valores mínimos, max e mais prov. para para a inalação -
distr.
    % uniforme
a=5.05;
b=17.76;

    % valores mínimos, max e mais prov. para a fracção temporal
diária -
    % distribuição triangular
fdmin=0.0625;
fdmax=0.25;
fdpr=0.10;

    % distribuição das Concentrações no Solo
m1=mean(d);
s1=std(d);

    % valores mínimos, max e mais prov. para para a frequência da
exposição - distr.
    % triangular
efmin=12;
efmax=180;
efpr=52;

%distribuição do Peso
wm=77.1;
ws=13.5;
mw=log(wm/sqrt(1+(ws/wm)^2));
sw=sqrt(log(1+(ws/wm)^2));
for i=1:20000
x=rand;
    % Taxa respiração aleatória
TR(i)=a+rand*(b-a);
    % Frequência diária aleatória
c=rand;
if c<=(fdpr-fdmin)/(fdmax-fdmin)
    FD(i)=fdmin+sqrt(c*(fdmax-fdmin)*(fdpr-fdmin));
else
    FD(i)=fdmax-sqrt((fdmax-fdmin)*(fdmax-fdpr)*(1-c));
```

```

end
% Concentração aleatório no solo
CS(i)=norminv(rand,m1,s1);
if CS(i)<2
    CS(i)=2;
else
    CS(i)=CS(i);
end
% Frequência da Exposição
y=rand;
if y<=(efpr-efmin)/(efmax-efmin)
    EF(i)=efmin+sqrt(y*(efmax-efmin)*(efpr-efmin));
else
    EF(i)=efmax-sqrt((efmax-efmin)*(efmax-efpr)*(1-y));
end
% Peso aleatório
W(i)=logninv(rand,mw,sw);
%W(i)=norminv(rand,47,8.3);
%Cálculo da Dose
Dose(i)=TR(i)*FD(i)*CA*CS(i)*EF(i)/(W(i)*365);
IT(i)=Dose(i)/RfD;
end
subplot(2,3,1)
hist(TR,20);
title('Taxa Inalação - m3 ar/d');
subplot(2,3,2)
hist(FD,20);
title('Fracção Temporal Diária');
subplot(2,3,3)
hist(CS,20);
title('Conc. Solo mg/kg, Mn');
subplot(2,3,4)
hist(EF,20);
title('Freq.Exposição dias/Ano');
subplot(2,3,5)
hist(W,20);
title('Distribuição Peso');
pause
clf
hist(Dose,50)
title('Dose Inalação - Mn - mg/(kg.d)')

```

```

pause
clf
hist(IT,100)
title('Indice Toxicidade - Inalação - Mn')
m2=mean(IT);
s2=std(IT);
A=[75,80,90,95,98,99,99.5,99.9,99.999];
Y=prctile(IT,A);
x=[m2;s2]

```

Q.5 Efeito Carcinogéneo por Ingestão

```

function [x,Y]=ingestcarc(d)
CPF=1.5; %Factor Potência cancerígena para o As (substituir para
outros compostos)
CF=1E-6; %conversão kg para mg
FC=1; % fracção de solo contaminado
rand('state',sum(100*clock))
    % valores mínimos, max e mais prov. para para a ingestão -
distr.
    % triangular
    ismin=0.1;
    ismax=50;
    ispr=25;
    % distribuição das Concentrações no Solo
    m1=mean(d);
    s1=std(d);
    % valores mínimos, max e mais prov. para para a frequência da
exposição - distr.
    % triangular
    efmin=12;
    efmax=180;
    efpr=52;
    %distribuição duração Exposição
    mm=11.36;
    ss=13.5;
    edm=log(mm/sqrt(1+(ss/mm)^2));
    eds=sqrt(log(1+(ss/mm)^2));
    %distribuição do Peso
    wm=77.1;
    ws=13.5;

```

```

mw=log(wm/sqrt(1+(ws/wm)^2));
sw=sqrt(log(1+(ws/wm)^2));
for i=1:10000
x=rand;
%geração de um valor aleatório para a ingestão
if x<=(ispr-ismin)/(ismax-ismin)
    IS(i)=ismin+sqrt(x*(ismax-ismin)*(ispr-ismin));
else
    IS(i)=ismax-sqrt((ismax-ismin)*(ismax-ispr)*(1-x));
end
% geração de um valor aleatório para o peso
W(i)=logninv(rand,mw,sw);
%W(i)=norminv(rand,47,8.3);
%geração de um valor aleatório para a concentração
CS(i)=norminv(rand,m1,s1);
if CS(i)<0
    CS(i)=2*rand;
else
    CS(i)=CS(i);
end
%geração de um valor aleatório para a Frequência da Exposição
y=rand;
if y<=(efpr-efmin)/(efmax-efmin)
    EF(i)=efmin+sqrt(y*(efmax-efmin)*(efpr-efmin));
else
    EF(i)=efmax-sqrt((efmax-efmin)*(efmax-efpr)*(1-y));
end
%geração de um valor aleatório para a duração da exposição
ED(i)=logninv(rand,edm,eds);
if ED(i)>80
    ED(i)=80;
else
    ED(i)=ED(i);
end
%cálculo da dose e do Risco
Dose(i)=IS(i)*FC*CS(i)*CF*EF(i)*ED(i)/(W(i)*365*75);
Risk(i)=Dose(i)*CPF;
end
subplot(3,2,1)
hist(CS,20);
title('Concentrações no solo - mg/kg');

```

```

subplot(3,2,2)
hist(IS,20);
title('Ingestao Solo - mg/d');
subplot(3,2,3)
hist(W,20);
title('Peso - kg');
subplot(3,2,4)
hist(EF,20);
title('Freq.Exposição (Acont./Ano)');
subplot(3,2,5)
hist(ED,20);
title('Duração Exposição - Anos');
pause
clf
hist(Dose,100)
title('Dose Ingestao - As - mg/(kg.d)')
pause
clf
hist(Risk,200)
title('Risco Cancerígeno - Ingestão - As')
m2=mean(Risk);
s2=std(Risk);
A=[90,95,98,99,99.5,99.9,99.999];
Y=prctile(Risk,A);
x=[m2;s2]

```

Q.6 Efeito Tóxico por Ingestão

```

function [x,Y]=ingesttox(d)
RfD=3.00E-4;% dose de Referência para o As
CF=1E-6; %conversão kg para mg
FC=1; % fracção de solo contaminado
rand('state',sum(100*clock))
    % valores mínimos, max e mais prov. para para a ingestão -
distr.
    % triangular
    ismin=.1;
    ismax=50;
    ispr=25;
    % distribuição das Concentrações no Solo
    m1=mean(d);

```

```

s1=std(d);
% valores mínimos, max e mais prov. para para a frequência da
exposição - distr.
% triangular
efmin=12;
efmax=180;
efpr=52;
%distribuição do Peso
wm=77.1;
ws=13.5;
mw=log(wm/sqrt(1+(ws/wm)^2));
sw=sqrt(log(1+(ws/wm)^2));
for i=1:20000
% Ingestão solo contamano
x=rand;
if x<=(ispr-ismin)/(ismax-ismin)
    IS(i)=ismin+sqrt(x*(ismax-ismin)*(ispr-ismin));
else
    IS(i)=ismax-sqrt((ismax-ismin)*(ismax-ispr)*(1-x));
end
% Distribuição peso
W(i)=logninv(rand,mw,sw);
%W(i)=norminv(rand,47,8.3);
CS(i)=norminv(rand,m1,s1);
if CS(i)<2
    CS(i)=2;
else
    CS(i)=CS(i);
end
%Frequência da exposição
y=rand;
if y<=(efpr-efmin)/(efmax-efmin)
    EF(i)=efmin+sqrt(y*(efmax-efmin)*(efpr-efmin));
else
    EF(i)=efmax-sqrt((efmax-efmin)*(efmax-efpr)*(1-y));
end
Dose(i)=IS(i)*FC*CS(i)*CF*EF(i)/(W(i)*365);
IT(i)=Dose(i)/RfD;
end
subplot(2,2,1)
hist(CS,20);

```

```

title('Concentrações no solo - mg/kg');
subplot(2,2,2)
hist(IS,20);
title('Ingestao Solo - mg/d');
subplot(2,2,3)
hist(W,20);
title('Peso - kg');
subplot(2,2,4)
hist(EF,20);
title('Freq.Exposição (Acont./Ano)');
pause
clf
hist(Dose,100)
title('Dose Ingestao - As -mg/(kg.d)')
pause
clf
hist(IT,200)
title('Indice Toxicidade - Ingestão - As')
m2=mean(IT);
s2=std(IT);
A=[75,80,90,95,98,99,99.5,99.9,99.999];
Y=prctile(IT,A);
x=[m2;s2]

```


Anexo R

Gráficos resultantes da Análise de Risco

R.1 Arsénio

EFEITO TÓXICO

1. INGESTÃO

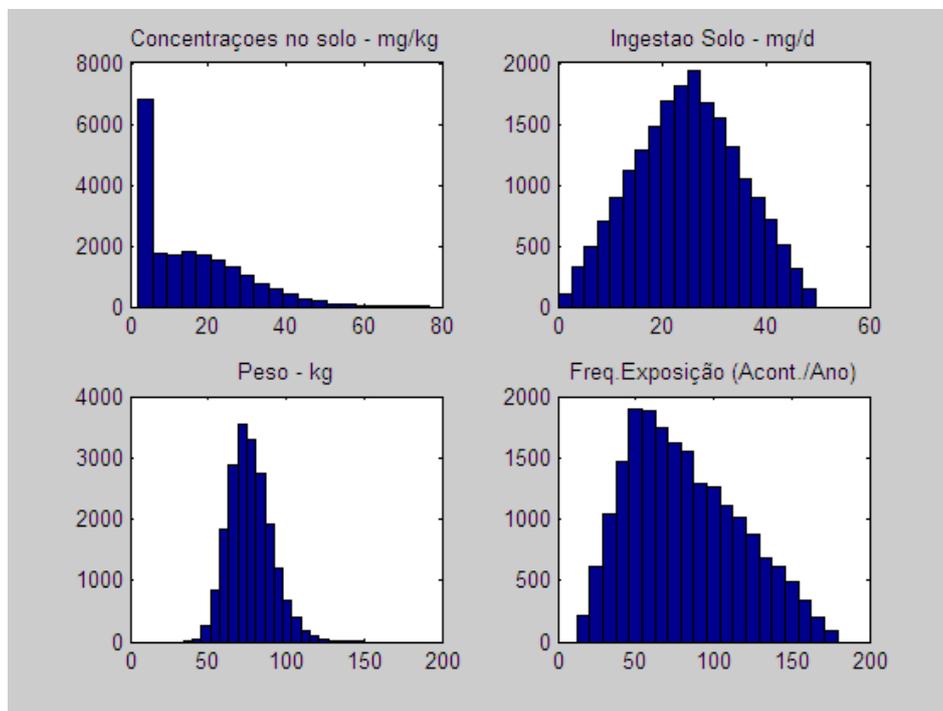


Ilustração 47: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, ingestão, peso dos indivíduos e frequência de exposição para o cenário de ingestão de Arsénio.

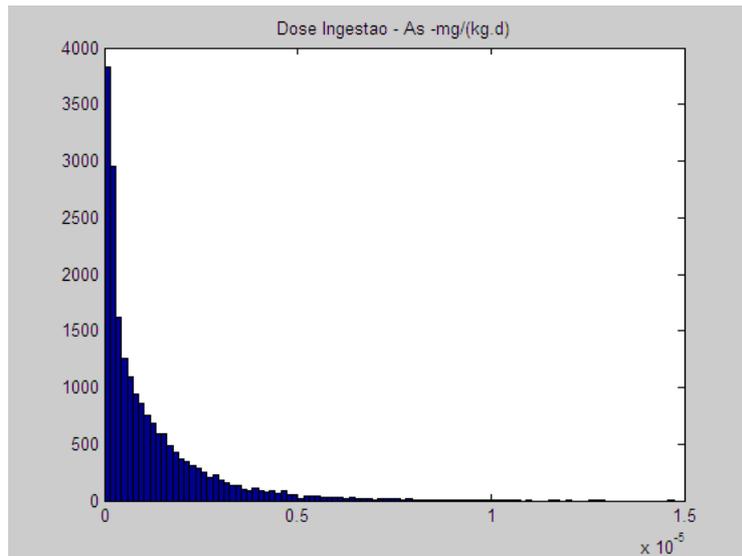


Ilustração 48: Histograma da dose de ingestão obtida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

2. CONTACTO DÉRMICO

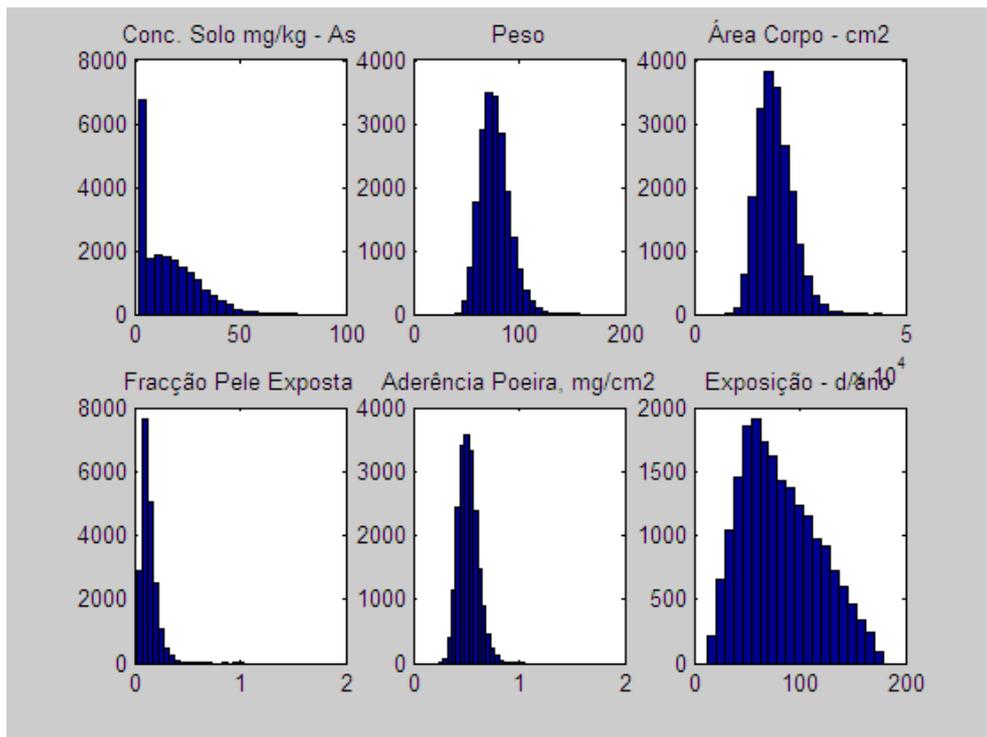


Ilustração 49: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, peso dos indivíduos, area corporal, fracção de pele exposta, aderência da pele às poeiras e frequência de exposição para o cenário de contacto dérmico de Arsénio.

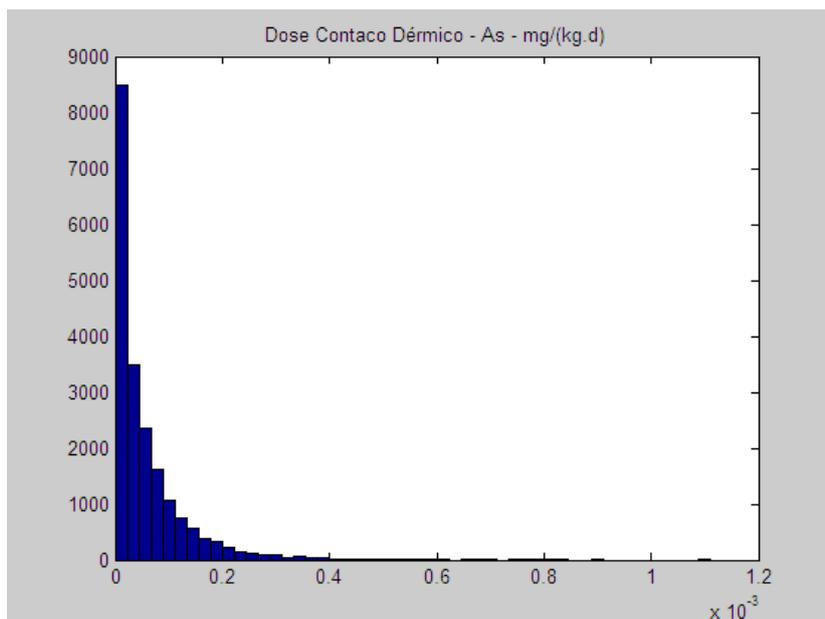


Ilustração 50: Histograma da dose obtida por contacto dérmico fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

EFEITO CARCINOGENEO

1. INALAÇÃO

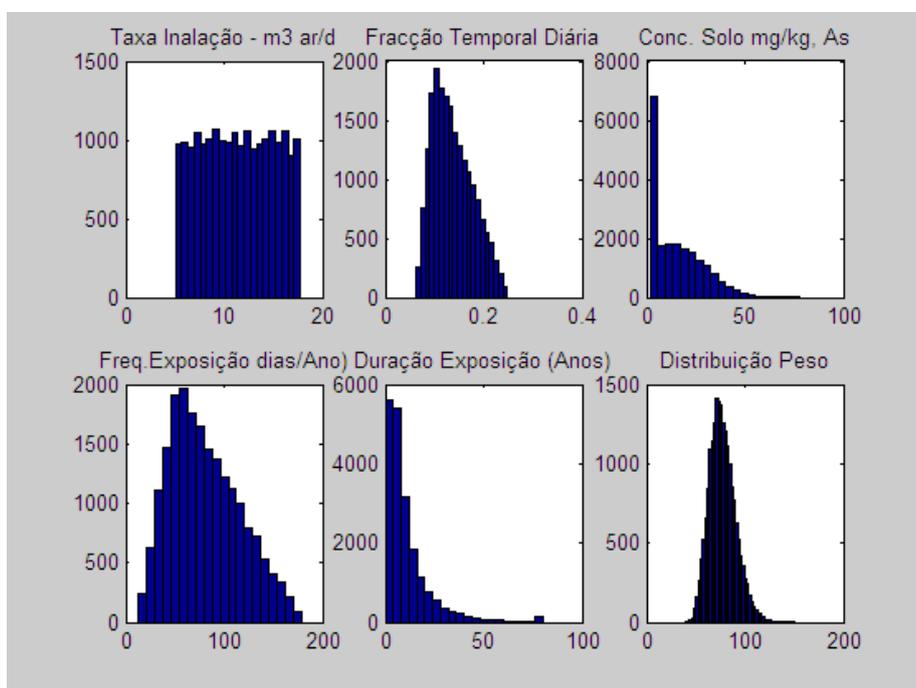


Ilustração 51: Histogramas obtidos pelo Matlab para a taxa de inalação, fracção temporal diária, concentração do elemento no solo, frequência de exposição, duração da exposição e distribuição de peso para o cenário de contacto dérmico de Arsénio.

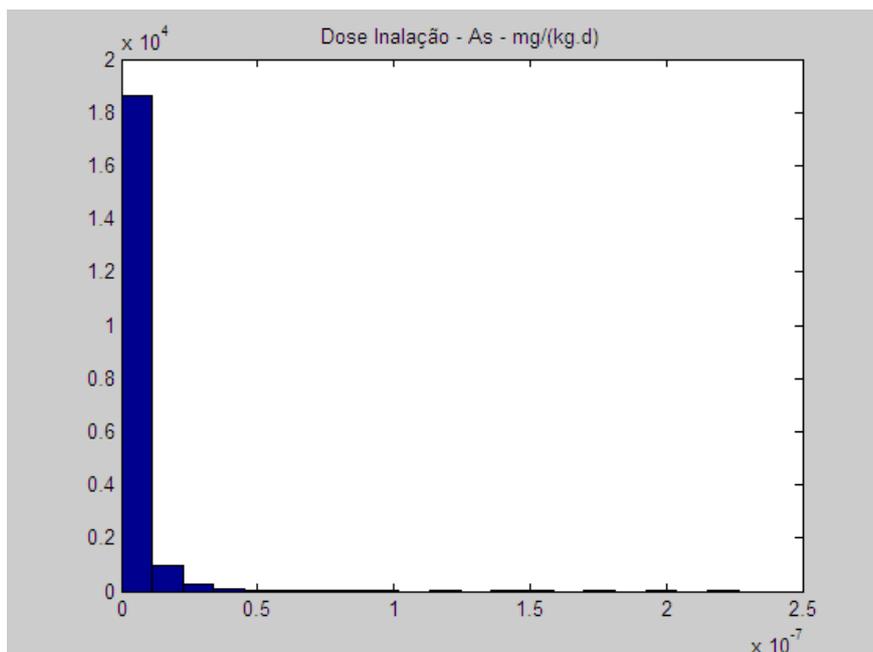


Ilustração 52: Histograma da dose obtida por inalação fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

2. INGESTÃO

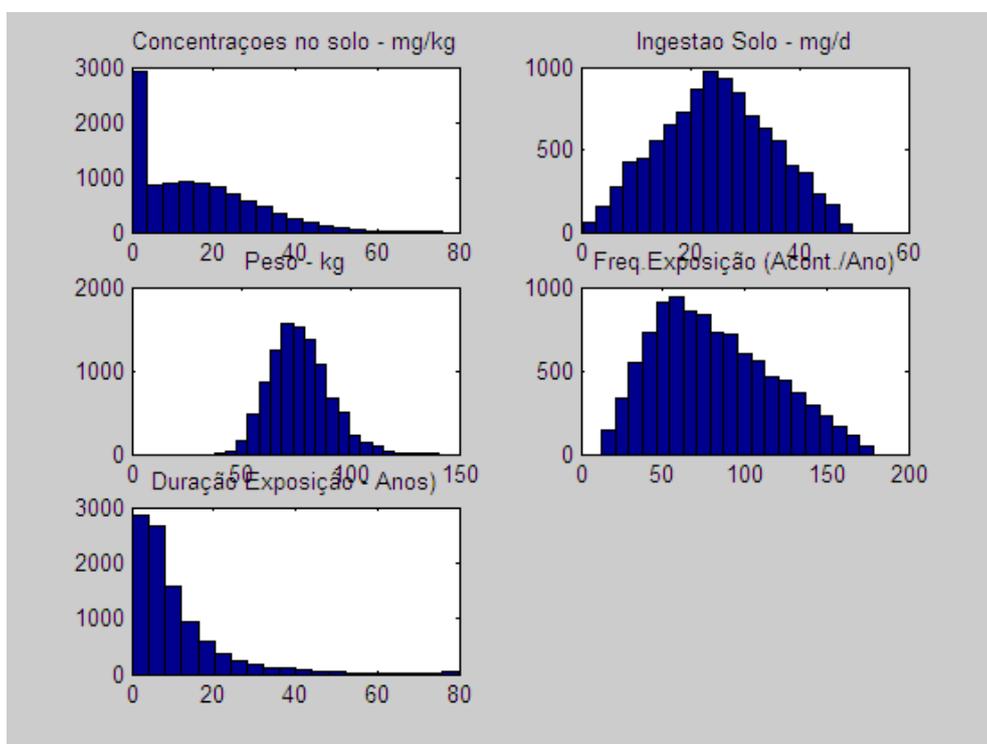


Ilustração 53: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, a ingestão, a distribuição de peso, duração da exposição e a frequência de exposição para o cenário de ingestão de Arsênio.

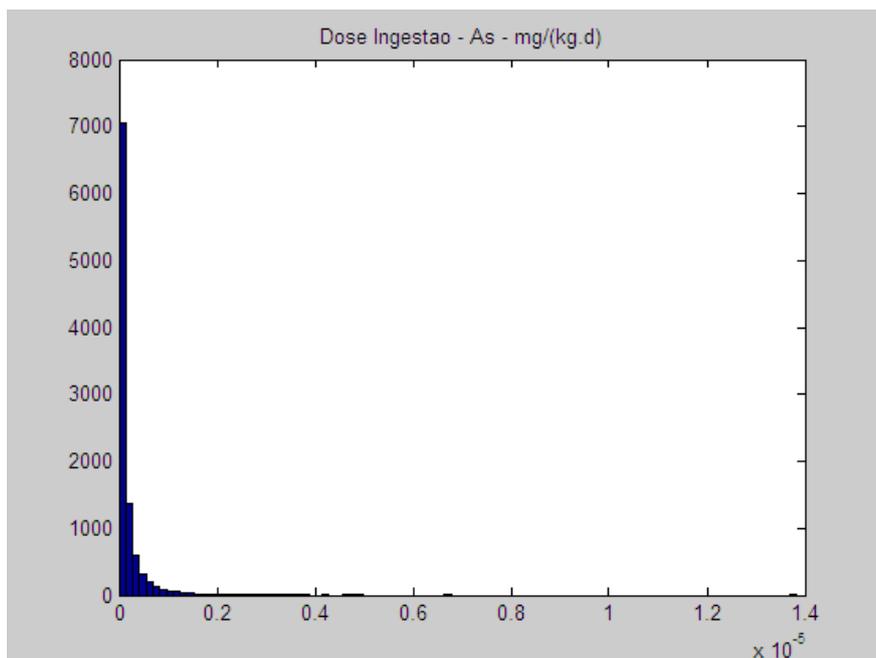


Ilustração 54: Histograma da dose obtida por ingestão fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

3. CONTACTO DÉRMICO

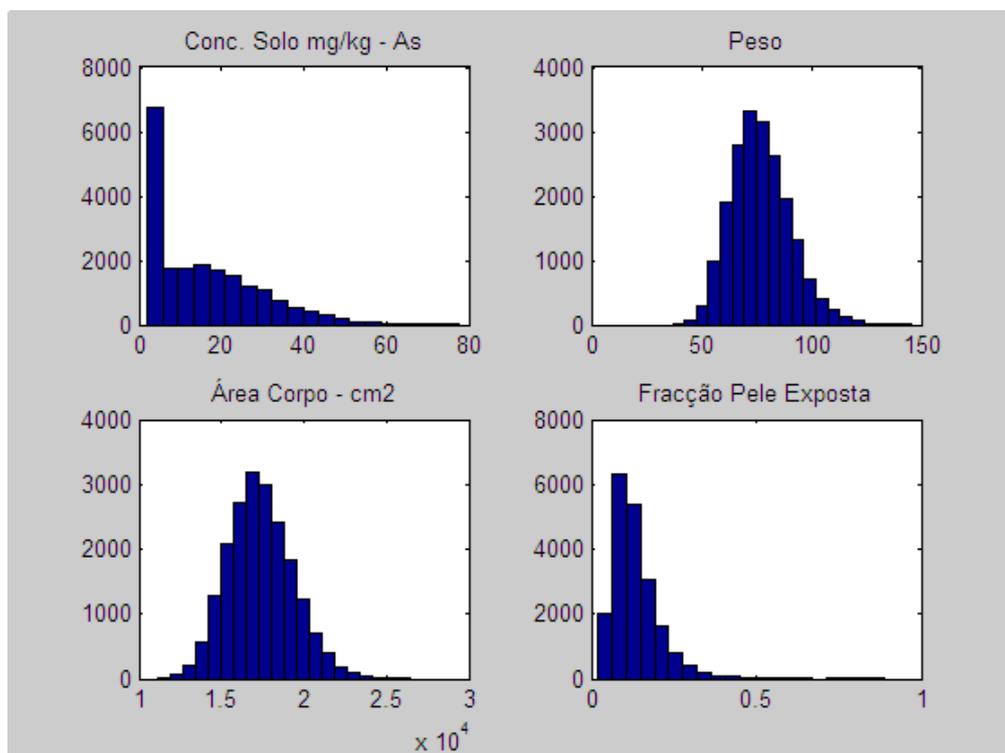


Ilustração 55: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, peso dos indivíduos, area corporal e fracção de pele exposta para o cenário de contacto dérmico de Arsénio.

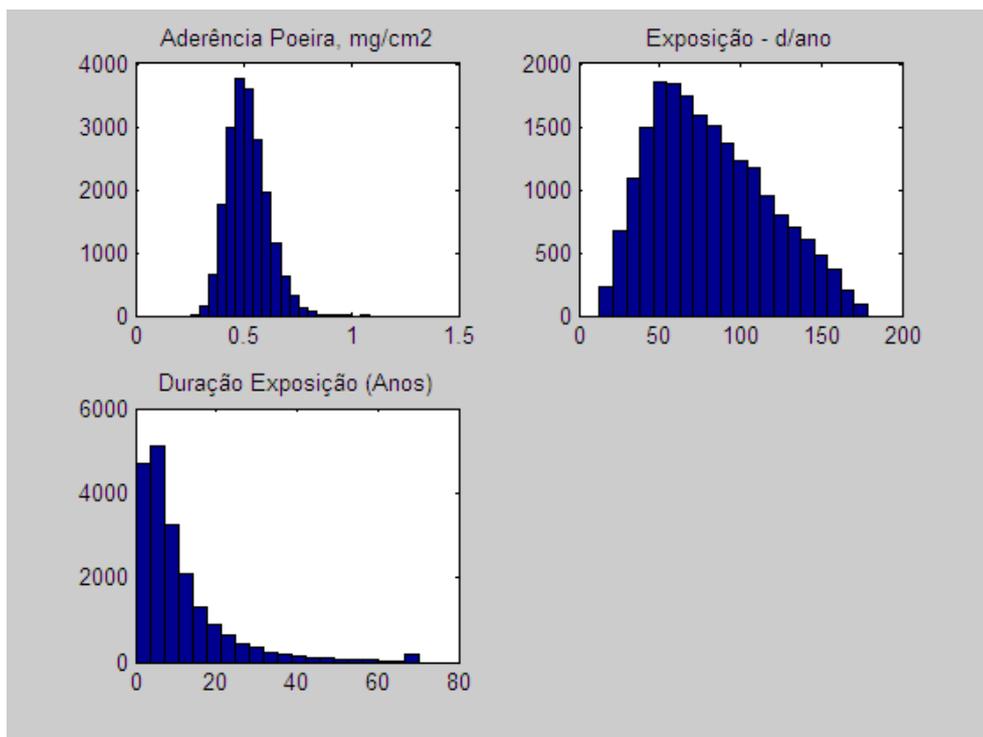


Ilustração 56: Histogramas obtidos pelo Matlab para a aderência da pele às poeiras, frequência de exposição e duração da exposição para o cenário de contacto dérmico de **Arsénio**.

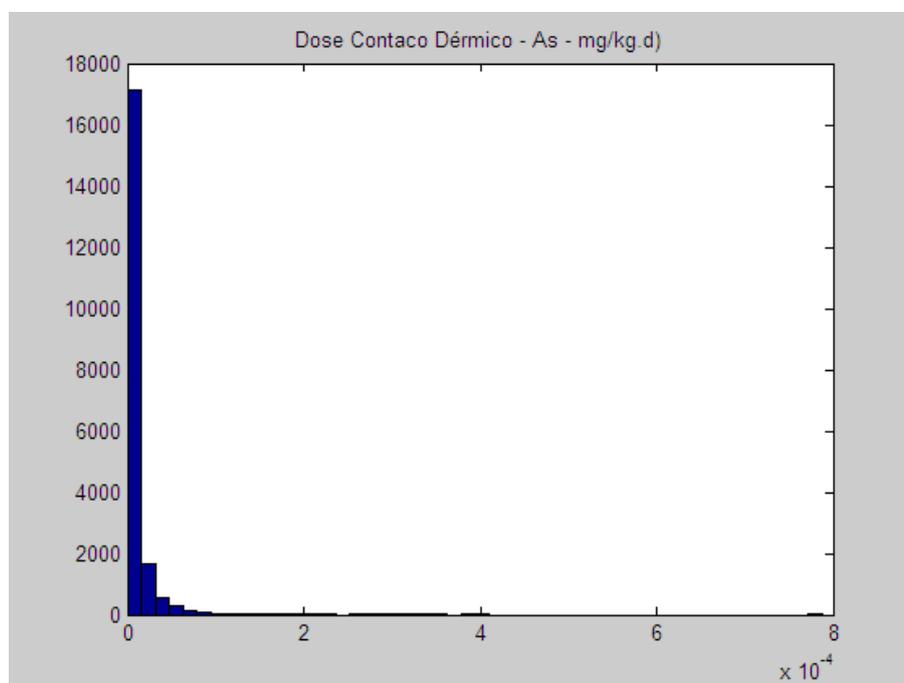


Ilustração 57: Histograma da dose obtida por contacto dérmico fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

R.2 Bário

EFEITO TÓXICO

1. INALAÇÃO

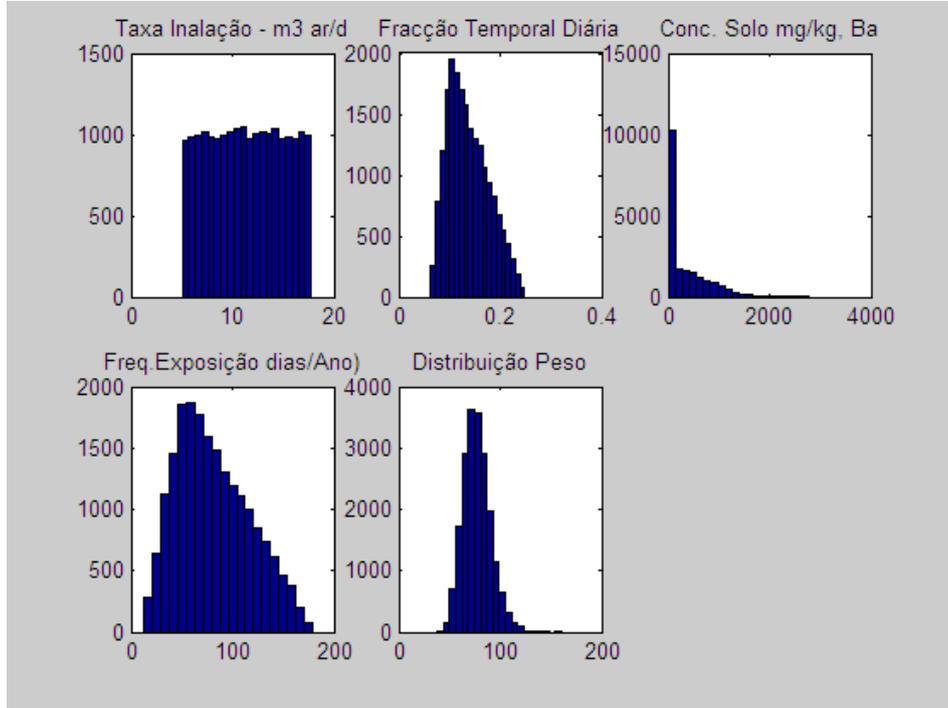


Ilustração 58: Histogramas obtidos pelo Matlab para a taxa de inalação, fracção temporal diária, concentração do element no solo, frequência de exposição, duração da exposição e distribuição de peso para o cenário de inalação de Bário.

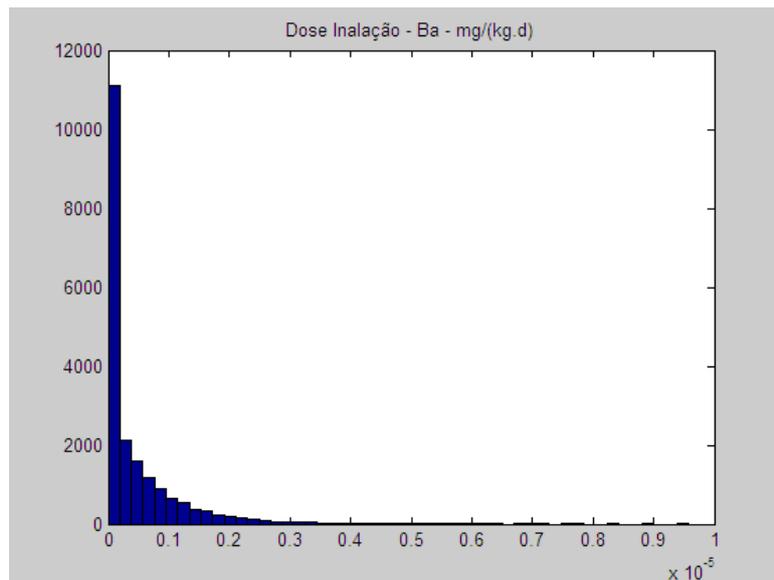


Ilustração 59: Histograma da dose obtida por inalação fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

2. INGESTÃO

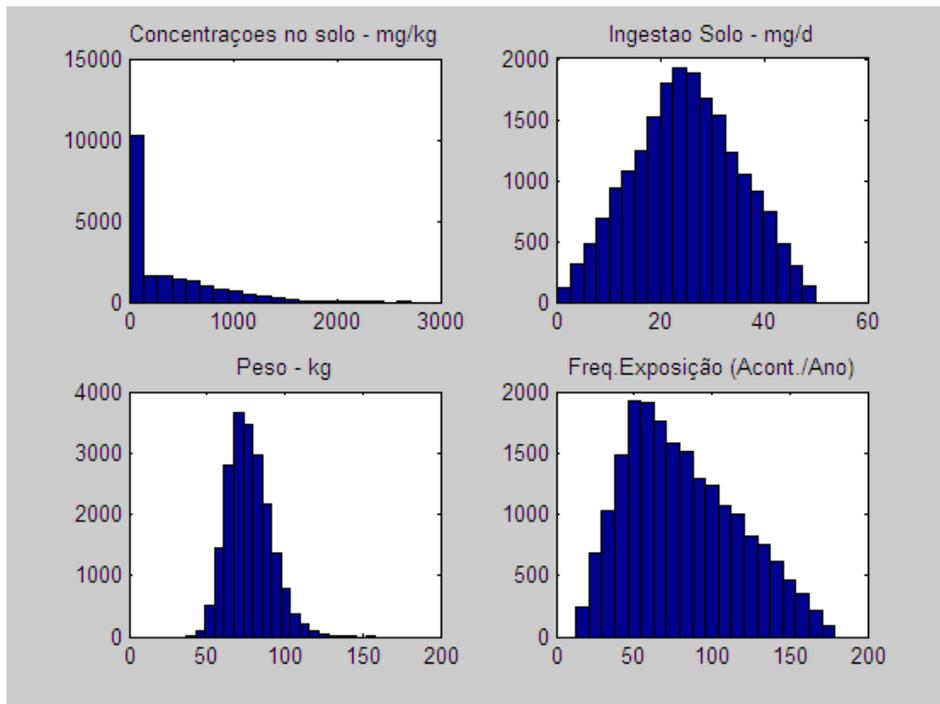


Ilustração 60: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, a ingestão, a distribuição de peso e a frequência de exposição para o cenário de ingestão de **Bário**.

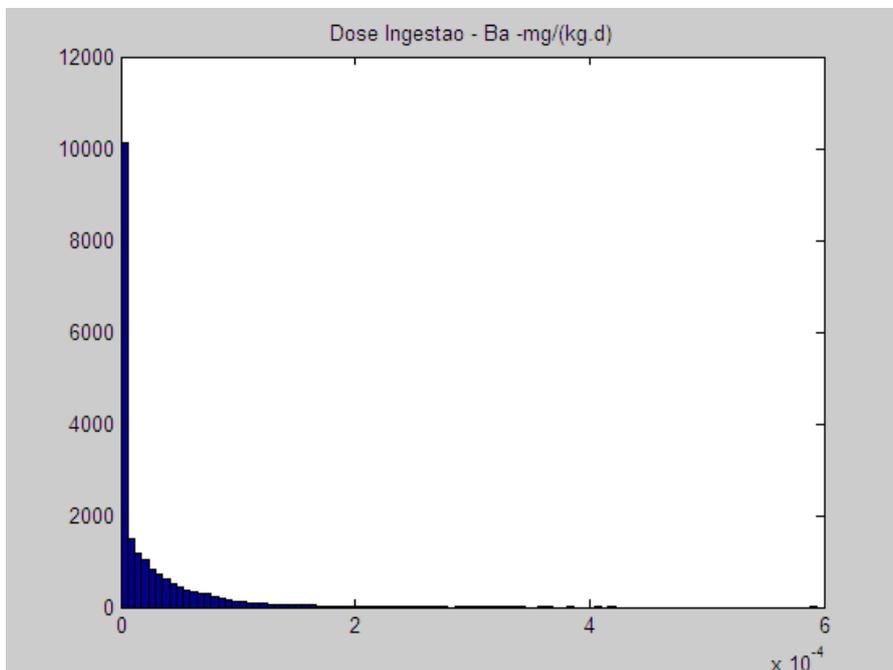


Ilustração 61: Histograma da dose obtida por ingestão fornecida pelo Matlab utilizando o **Método de Monte Carlo**.

3. CONTACTO DÉRMICO

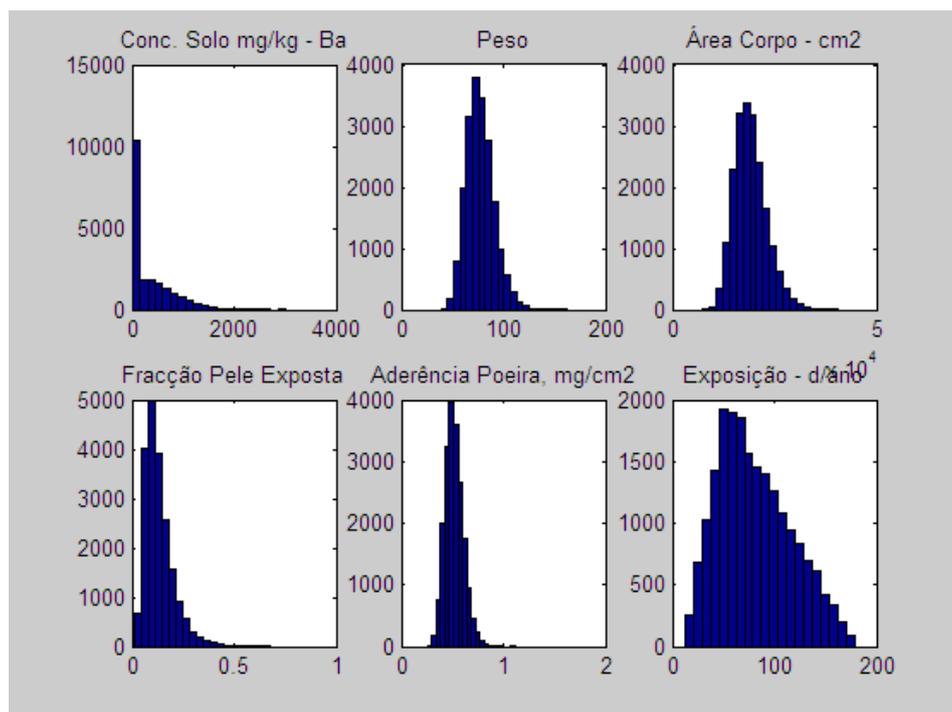


Ilustração 62: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, peso dos indivíduos, area corporal, fracção de pele exposta, aderência da poeira e frequência de exposição para o cenário de contacto dérmico de Bário.

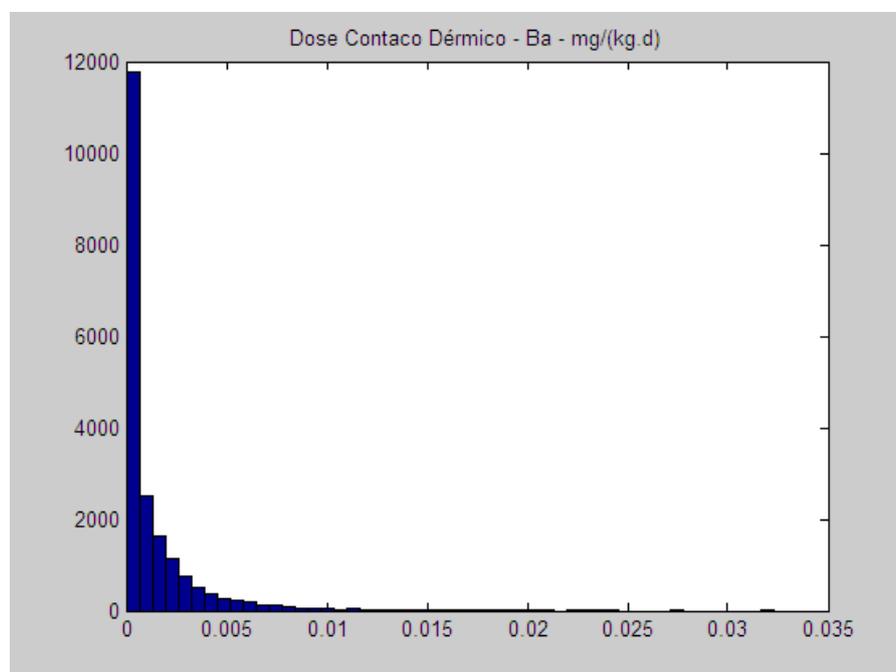


Ilustração 63: Histograma da dose obtida por contacto dérmico fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

R.3 Manganês

EFEITO TÓXICO

1. INALAÇÃO

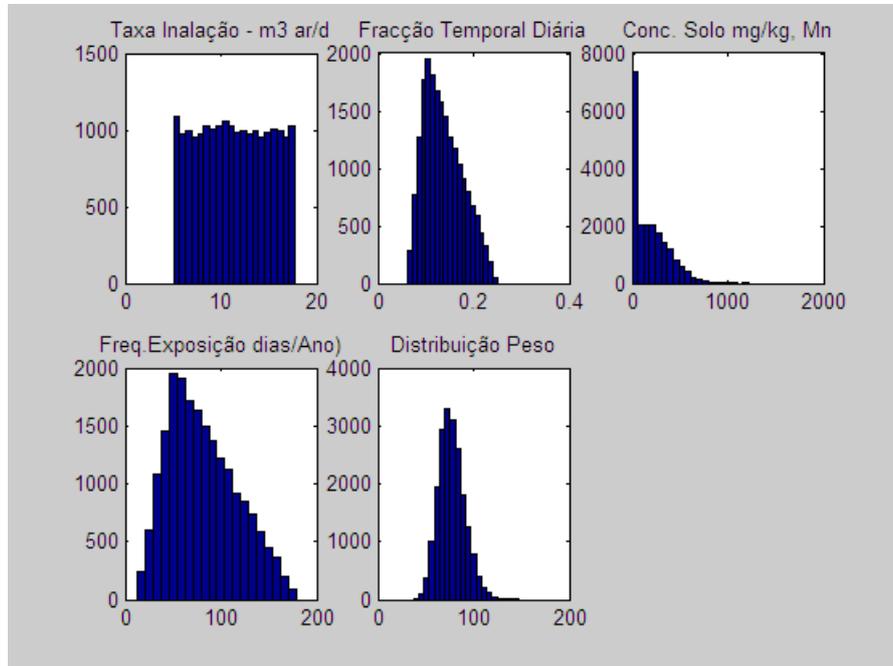


Ilustração 64: Histogramas obtidos pelo Matlab para a taxa de inalação, fracção temporal diária, concentração do elemento no solo, frequência de exposição e distribuição de peso para o cenário de inalação de Manganês.

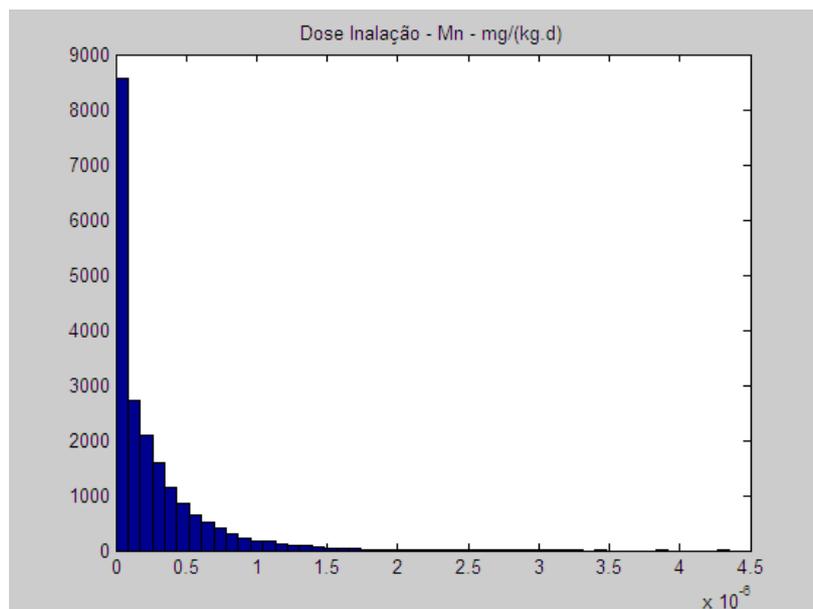


Ilustração 65: Histograma da dose obtida por inalação fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

2. INGESTÃO

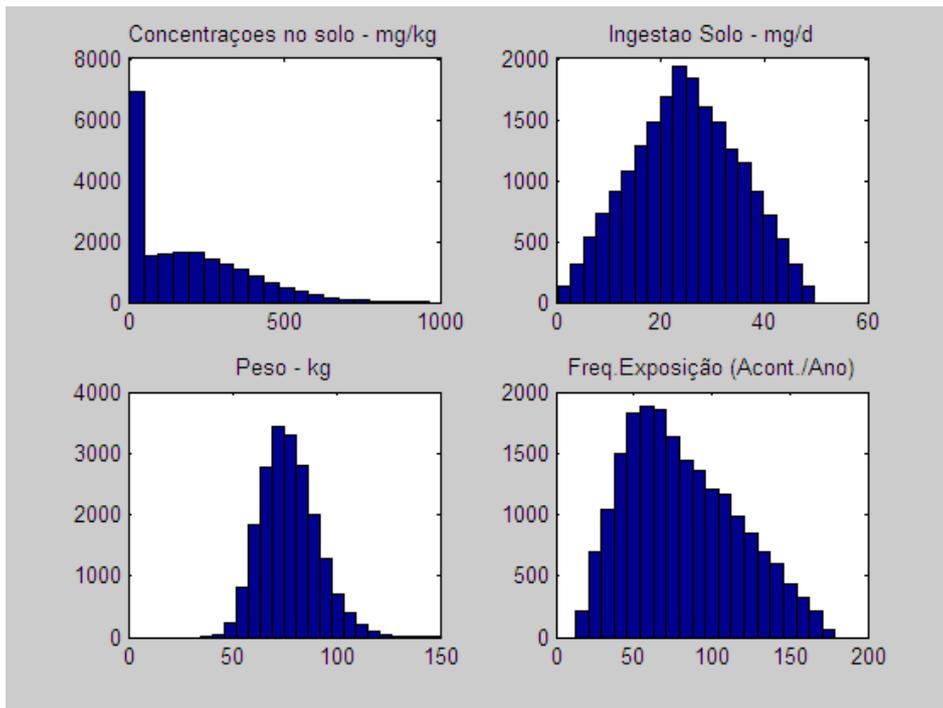


Ilustração 66: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, a ingestão, a distribuição de peso e a frequência de exposição para o cenário de ingestão de Manganês.

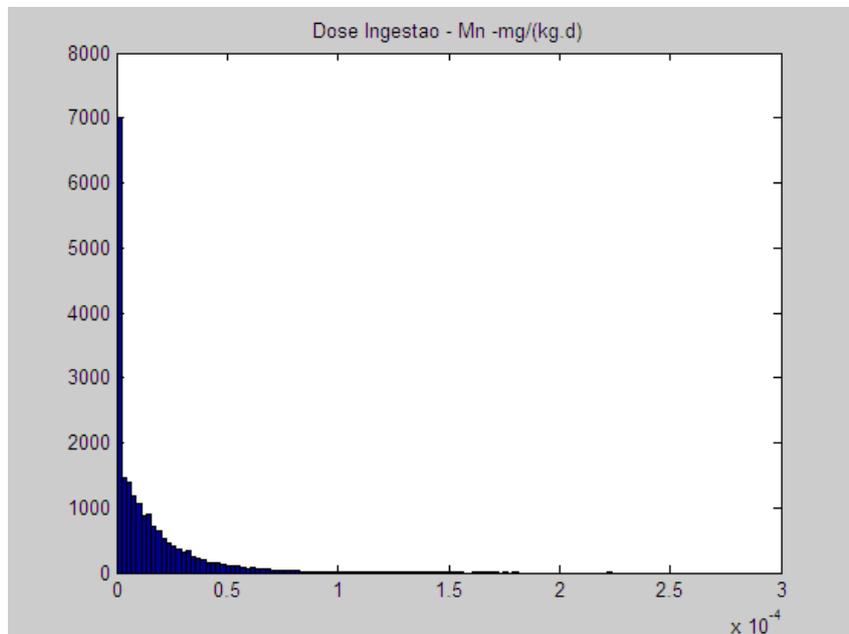


Ilustração 67: Histograma da dose obtida por ingestão fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

3. CONTACTO DÉRMICO

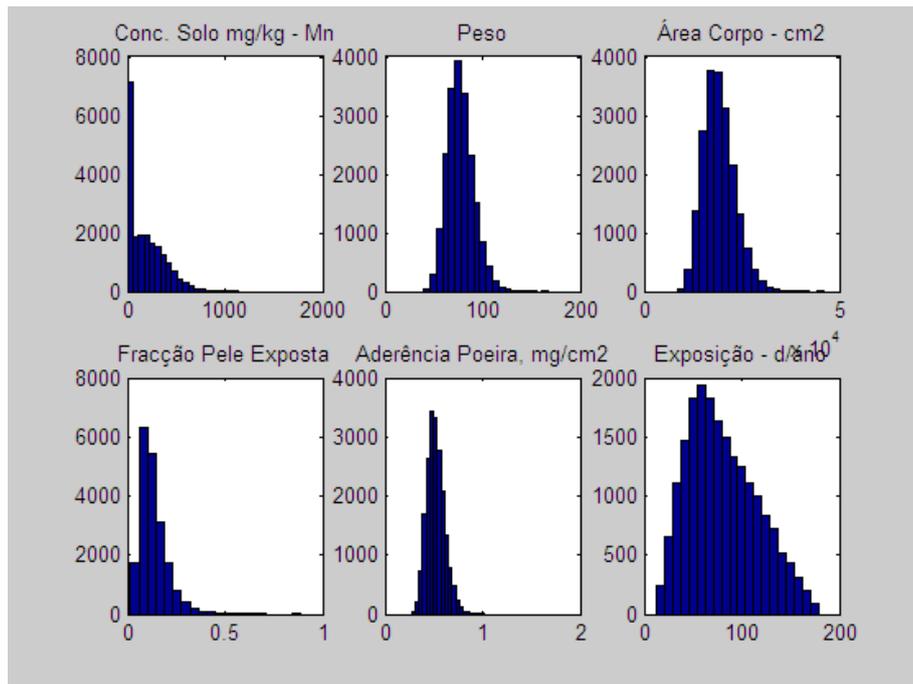


Ilustração 68: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, peso dos indivíduos, area corporal, fracção de pele exposta, aderência da poeira e frequência de exposição para o cenário de contacto dérmico de Manganês.

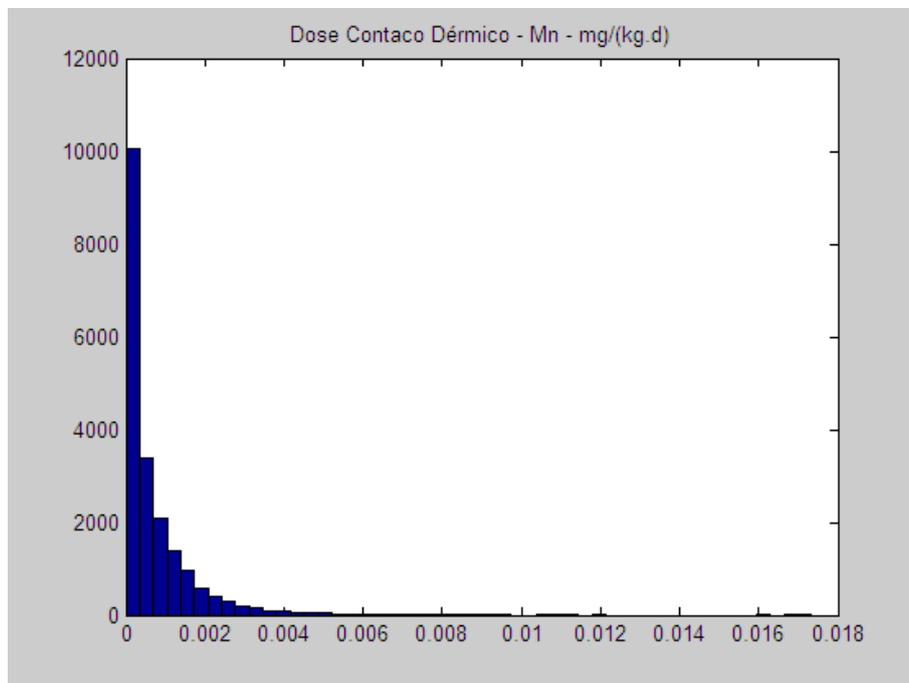


Ilustração 69: Histograma da dose obtida por contacto dérmico fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.

R.4 Zinco

EFEITO TÓXICO

1. INGESTÃO

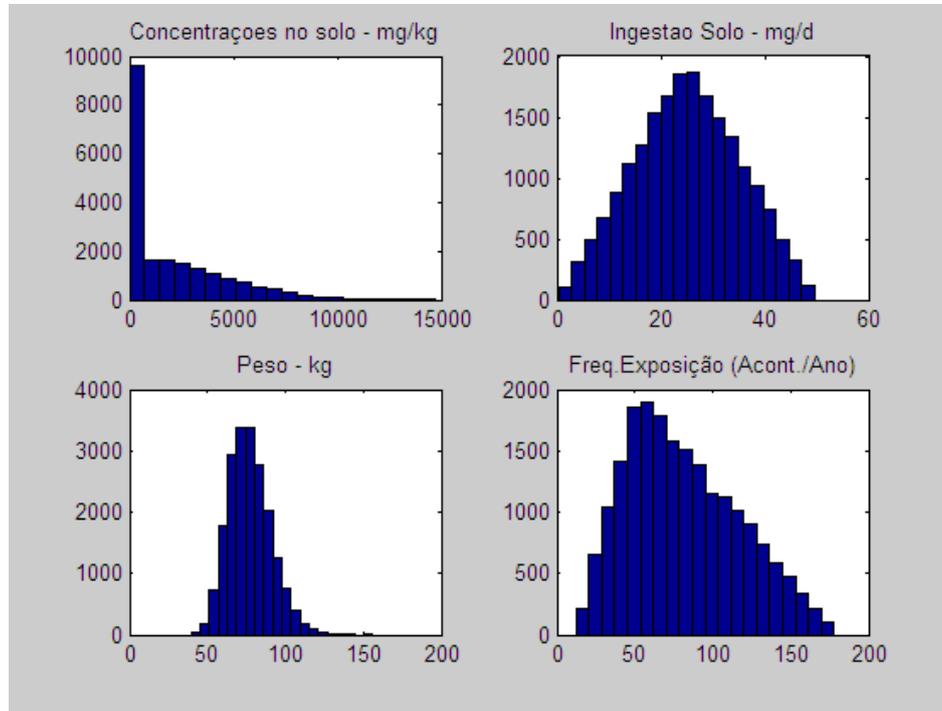


Ilustração 70: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, a ingestão, a distribuição de peso e a frequência de exposição para o cenário de ingestão de **Zinco**.

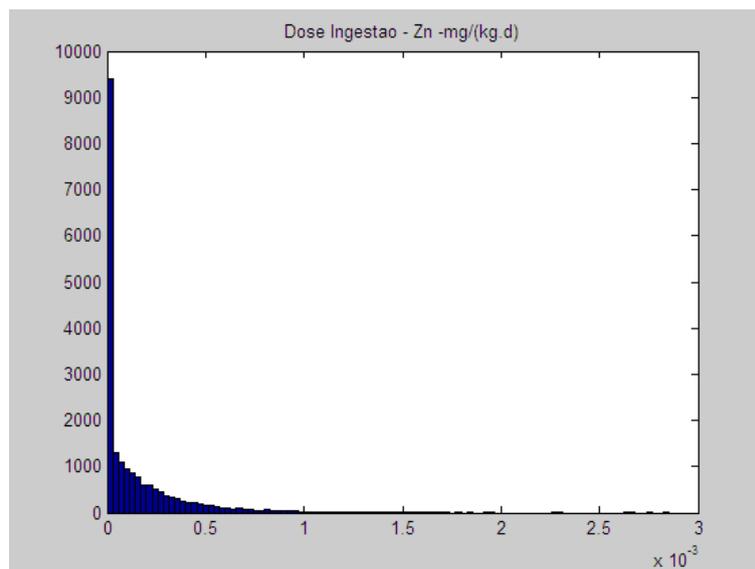


Ilustração 71: Histograma da dose obtida por ingestão fornecida pelo Matlab utilizando o **Método de Monte Carlo**.

2. CONTACTO DÉRMICO

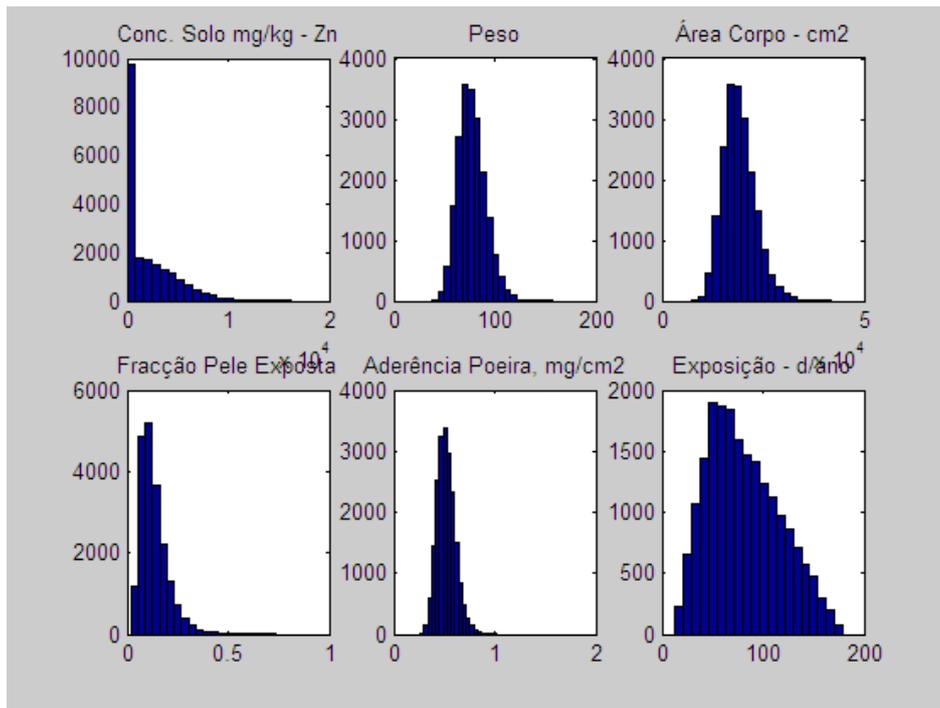


Ilustração 72: Histogramas obtidos pelo Matlab para a concentração do elemento no solo, peso dos indivíduos, area corporal, fracção de pele exposta, aderência da poeira e frequência de exposição para o cenário de contacto dérmico de Zinco.

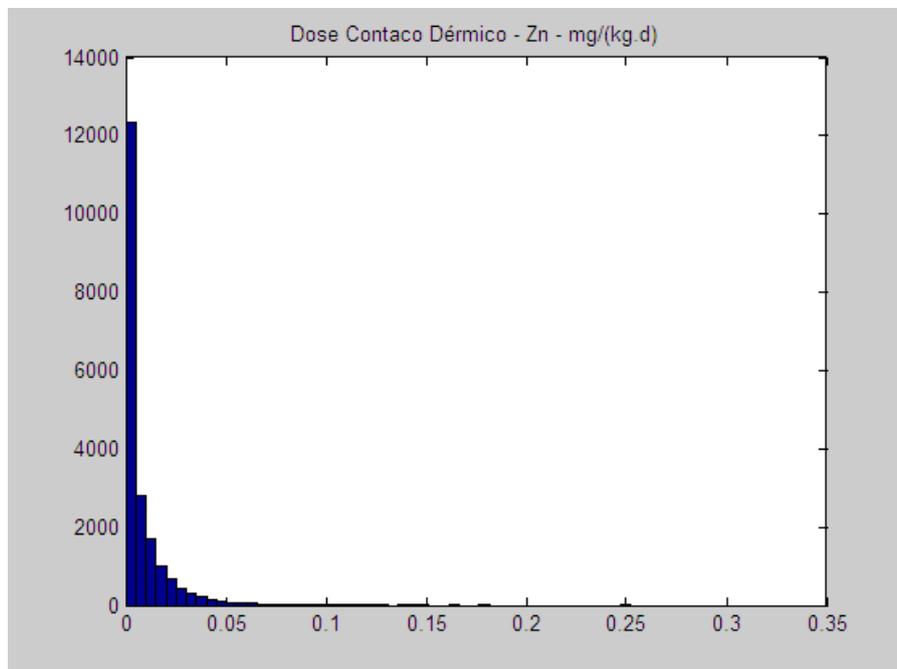


Ilustração 73: Histograma da dose obtida por contacto dérmico fornecida pelo Matlab utilizando o Método de Monte Carlo.