



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Risco de Incêndio em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais e o seu Impacte Ambiental

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

Autor

Ana Catarina Laranjeiro Simões Azedo

Orientador

João Paulo Correia Rodrigues

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Março, 2013

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Doutor João Paulo Correia Rodrigues, agradeço toda a disponibilidade e paciência na orientação e acompanhamento deste trabalho, fornecendo-me toda a bibliografia necessária, esclarecendo todas as dúvidas relativas à mesma, e o esforço que fez para me ajudar a trabalhar com o *Software* usado neste trabalho.

Ao Victor Van Swinderen, representante da firma holandesa TNO, e à equipa de suporte da TNO, pela cedência de utilização do *Software Effects* e pelo esclarecimento de todas as dúvidas decorrentes da utilização do *Software*.

À Inspeção Geral do Ambiente do Ordenamento do Território (IGAOT), pela cedência do ponto de situação dos aterros em Portugal.

À Mafalda Sobral pela disponibilidade e esclarecimento de dúvidas relativas à utilização do *Software Effects*.

Ao Vítor Gomes e à Catarina Carvalho, por estarem presentes em todos os momentos e pela paciência que têm em ouvir os meus problemas. Obrigado pelo vosso apoio, motivação e amizade.

Aos meus colegas e amigos do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, por todos os momentos vividos em conjunto que tornaram esta jornada inesquecível.

Por último, e porque os últimos são sempre os primeiros, quero agradecer à minha família, principalmente aos meus pais e irmão pelo apoio imenso, incentivo e paciência não só ao longo da realização deste trabalho, mas também ao longo de toda a minha existência.

RESUMO

Durante décadas a problemática dos resíduos foi esquecida pela população, mas a necessidade de dar um fim ambientalmente favorável a estes resíduos tem vindo a aumentar, e atualmente, é cada vez mais necessário ter em conta o caminho que damos aos resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais perigosos e banais até à sua deposição final em aterro.

Os aterros de resíduos industriais banais recebem resíduos que comportam em geral materiais desde plásticos, tecidos, materiais orgânicos, madeiras, resíduos de demolição, restos de matérias-primas não utilizadas e os demais produtos resultantes dos processos de fabricação, levando a que estes aterros comportem um risco de incêndio agravado. Um incêndio num aterro poderá levar à destruição da tela de isolamento levando ao escoamento de lixiviados para os solos e aquíferos, ocorrendo consequências graves para saúde pública e/ou meio ambiente.

Numa primeira parte deste trabalho realiza-se uma análise de risco de incêndio de um aterro de resíduos industriais banais, com recurso ao *software Effects* da TNO que permite simular os efeitos físicos resultantes de um eventual incêndio. A partir dos resultados obtidos para a área de superfície de incêndio mais comum nos relatos de incêndios em aterros (1500m²), poderiam ocorrer queimaduras letais até uma distância de 192m e uma emissão de calor de 81,23Kw/m², não atingindo a população mais próxima.

Numa segunda parte do trabalho, são identificados e caracterizados possíveis impactes ambientais decorrentes de um incêndio no aterro de RIB, identificando-se a saúde pública e a socio economia como os impactes mais significativos e prováveis de acontecer.

O aterro estudado neste trabalho não comporta elevado risco de incêndio, devido a ser um aterro onde deveriam ser depositados resíduos não perigosos. Ainda assim, se ocorrer um incêndio podem ocorrer consequências preocupantes a nível de poluição atmosférica mas principalmente a nível de poluição dos solos e hídrica.

Palavras-chave: risco, incêndio, resíduos, aterro, impacto ambiental

ABSTRACT

For decades the people has forgotten the problem of waste, however, the need to give a environmentally favourable final to it, has been increased and nowadays, it is increasingly necessary to take into account a solution to the municipal solid, hazardous and ordinary industrial wastes until it is dumped on landfill.

The ordinary industrial waste landfills can receive waste from plastics, textiles, organics waste, wood, debris, remnants of unused raw materials and the other products resulting from the manufacturing process, with the result that these landfills carry an aggravated fire risk. A fire at a landfill can destruct the film isolation, which can lead to the flowing of leakages for soils and aquifers, bringing serious consequences for the public health and/or environment.

In the first part of this paper, we have analyzed the fire risk in landfill of ordinary industrial waste, using the *software Effects* from TNO that allows us to simulate the physical effects resulting from a possible fire. From the results obtained for the surface area of fire commonest (1500m²), in reports of fires in landfills, lethal burns could occur up to a distance of 192m and heat emission of 81.23 kw/m², not reaching the nearest population.

In the second part of this paper, we have identified and characterized the possible environmental impacts, which occurred after a fire at the ordinary industrial waste landfill, identifying public health and socio economic impacts as more significant and likely to happen.

The landfill studied on this paper is not at high fire risk because it is a landfill where it is only supposed to be deposited non hazardous waste. Still, if a fire occurs, it can lead to worrying consequences concerning air pollution, but mainly concerning the level of soil and water pollution.

Keywords: risk, fire, waste, landfill, environmental impact

Índice

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE QUADROS	vi
ABREVIATURAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos e motivação	2
1.3. Estrutura da dissertação	3
2. GESTÃO E EXPLORAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS	4
2.1. Constituição e construção de um aterro sanitário	4
2.2. Exploração de um aterro sanitário	6
2.3. Encerramento de um aterro sanitário	7
2.4. Legislação em aterros de Resíduos Sólidos Urbanos e Resíduos Industriais	8
2.4.1. Condições gerais para aterros	9
2.4.2. Processos de controlo na fase de exploração de aterros	13
2.4.3. Processos de controlo após o encerramento de aterros	13
2.5. Avaliação de impacte ambiental	14
2.6. Deposição de resíduos em aterros sanitários em Portugal	15
2.6.1. Aterros em infração em Portugal	21
2.7. Gestão de resíduos	22
2.8. Incêndios em aterros	23
2.8.1. Registo de incêndios em aterros em Portugal	26
2.9. Impacte Ambiental de incêndios em aterros	27
3. MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO	30
3.1. Método de Gretener	30
3.2. Método de F.R.A.M.E.	31
3.3. Método Hierárquico	33
3.4. Árvore de Acontecimentos	34
3.5. Árvore de Falhas	35
3.6. Software Effects	35
3.6.1. Interface do software Effects	39

4. CASO DE ESTUDO NUM ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS BANAIS	42
4.1. Enquadramento	42
4.1.1. Caracterização do local	43
4.2. Constituição do Aterro	44
4.2.1. Impermeabilização de fundo	44
4.2.2. Drenagem superficial	45
4.2.3. Drenagem de lixiviados e suas características	45
4.2.4. Sistema de controlo de biogás	47
4.2.5. Selagem da célula de deposição do aterro	47
4.2.6. Plano de segurança do aterro	48
4.2.7. Plano de segurança dos trabalhadores do aterro	49
4.3. Análise de danos provocados por um incêndio num aterro de Resíduos Industriais Banais	49
5. IMPACTES AMBIENTAIS E PLANO DE EMERGÊNCIA	57
5.1. Enquadramento do Local	57
5.2. Análise de Impactes Ambientais	58
5.3. Plano de segurança em situação de emergência	60
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ELETRÓNICAS	66
ANEXO A- IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS DE UM INCÊNDIO NO ATERRO DE RIB EM ESTUDO	A-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Constituição de um aterro sanitário.....	5
Figura 2.2- Lagoas de receção de lixiviado.....	6
Figura 2.3- Posso de extração do biogás numa célula em processo de selagem.....	6
Figura 2.4- Motor gerador de energia.....	7
Figura 2.5- Queimador de biogás.....	7
Figura 2.6- Célula de um aterro já selada em 1998.....	8
Figura 2.7- Célula de um aterro em processo de selagem.....	8
Figura 2.8- Aterros de RSU e RIB em Portugal Continental, em Dezembro de 2011.....	15
Figura 2.9- Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos, em janeiro de 2011.....	16
Figura 2.10- Cumprimento das metas propostas pelo PERSU I.....	17
Figura 2.11- Caracterização física dos RSU em 2010.....	20
Figura 2.12- Incêndio de superfície num aterro nos Estados Unidos, 2002.....	25
Figura 2.13- Incêndio subterrâneo num aterro nos Estados Unidos, 2002.....	25
Figura 3.1- Estrutura da rede hierárquica.....	33
Figura 3.2- Janela de interface do software Effects.....	39
Figura 3.3- Quarto grupo da barra de ferramentas do Software Effects.....	40
Figura 3.3- Sexto grupo da barra de ferramentas do Software Effects.....	40
Figura 4.1- Localização da antiga Pedreira de Maiorca, local estudado para a implantação de um aterro de RIB.....	42
Figura 4.2- Antiga pedreira de Maiorca, Figueira da Foz.....	42
Figura 4.3- Exploração de calcário na antiga pedreira de Maiorca, Figueira da Foz.....	43
Figura 4.4- Representação gráfica da radiação térmica em função da distância para uma superfície de incêndio de 1500m ² e velocidade do vento de 22,2 m/s.....	52
Figura 4.5- Representação gráfica da radiação térmica em função da distância para uma superfície de incêndio de 1000m ² e velocidade do vento de 22,2 m/s.....	53
Figura 4.6- Representação gráfica da radiação térmica em função da distância para uma superfície de incêndio de 2000m ² e velocidade do vento de 22,2 m/s.....	55
Figura 4.7- Representação gráfica da radiação térmica em função da distância para uma superfície de incêndio de 34900m ² e velocidade do vento de 22,2 m/s.....	56
Figura 5.1- Pato-real.....	57
Figura 5.2- Cegonha branca.....	57
Figura 5.3- Gaivota prateada.....	57
Figura 5.4- Sável.....	57
Figura 5.5- Savelha.....	57
Figura 5.6- Lampreia.....	55

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1- Quadro representativo do valor de coeficiente de permeabilidade e espessura da barreira de segurança passiva.....	11
Quadro 2.2- Critérios de admissão resultantes da análise ao resíduo.....	12
Quadro 2.3- Critérios de aceitação de resíduos resultantes da análise ao eluato (solução obtida a partir de um ensaio em laboratório, segundo a norma DIN 38414 S4)	13
Quadro 2.4- Resultados dos indicadores relativos à gestão de RSU e respetivas metas para o período entre 2007-2010	20
Quadro 3.1- Valores dos parâmetros da fórmula de Thomas para o cálculo da inclinação da chama.....	39
Quadro 4.1- Direção e velocidade máxima do vento na estação meteorológica de Casal do Rato, Figueira da Foz.....	44
Quadro 4.2- Produção expectável de lixiviados	46
Quadro 4.3- Características expectáveis do lixiviado do aterro de RIB	46
Quadro 4.4- Carga térmica de cada constituinte dos resíduos considerados para deposição no aterro.....	50
Quadro 4.5- Massa equivalente de metano da fração de resíduos depositados no aterro de resíduos industriais banais.....	51
Quadro 4.6- Resultados obtidos do Software Effects para um <i>pool fire</i> , com uma área de superfície de incêndio de 1500m ² , para capacidade máxima de deposição de resíduos do aterro.....	52
Quadro 4.7- Resultados obtidos do Software Effects para um <i>pool fire</i> , com uma área de superfície de incêndio de 1000m ² , para capacidade máxima de deposição de resíduos do aterro.....	53
Quadro 4.8- Resultados obtidos do Software Effects para um <i>pool fire</i> , com uma área de superfície de incêndio de 2000m ² , para capacidade máxima de deposição de resíduos do aterro.....	54
Quadro 4.9- Resultados obtidos do Software Effects para um <i>pool fire</i> , com uma área de superfície de incêndio de 34900m ² , para capacidade máxima de deposição de resíduos do aterro.....	55
Quadro 5.1- Classificação de impactes ambientais.....	58

ABREVIATURAS

AOX- Teor de Halogénios Organicamente Ligados
APA- Agência Portuguesa do Ambiente
As- Arsénio
CCDR- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
CFC's- Clorofluorcarbonetos
CH₄- Metano
CO- Monóxido de Carbono
CO₂- Dióxido de Carbono
COT- Carbono Orgânico Total
CQO- Carência Química de Oxigénio
Cr- Crómio
DIA- Declaração de Impacte Ambiental
ETAR- Estação de Tratamento de Águas residuais
Hg- Mercúrio
H₂S- Ácido Sulfídrico
H₂O- Água
LER-Lista Europeia de Resíduos
O₂- Oxigénio
Pb- Chumbo
PCDD- Dibenzo-p-dioxinas policloradas
PCDF- Dibenzofuranos policlorados
PEAD- Polietileno de alta densidade
PERSU- Plano Estratégicos para os Resíduos Sólidos Urbanos
PVC- Policloreto de Vinil
ppm- Partes por milhão
RI- Resíduos Industriais
RIB- Resíduos Industriais Banais
RIP- Resíduos Industriais Perigosos
RSU- Resíduos Sólidos Urbanos
SGRU- Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos
SNIRH- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Por muitas décadas a problemática dos resíduos foi negligenciada pela população, mas a necessidade de dar um fim ambientalmente favorável a estes resíduos tem vindo a aumentar, e atualmente, é cada vez mais necessário ter em conta o caminho que damos aos resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais perigosos e banais até à sua deposição final em aterro.

Resíduo é qualquer substancia ou objeto que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer, nomeadamente os identificados na Lista Europeia de resíduos (Decreto-lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, revogado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho).

Segundo o Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, a responsabilidade pela gestão dos resíduos, incluindo os respetivos custos cabe ao produtor inicial dos resíduos, sem prejuízo de poder ser imputada, na totalidade ou em parte, ao produtor do produto que deu origem aos resíduos e partilhada pelos distribuidores desse produto se tal decorrer da legislação específica aplicável. Excluem-se do anteriormente mencionado os resíduos urbanos cuja produção diária não exceda os 1100 l por produtor, caso em que a respetiva gestão é assegurada pelos municípios.

Segundo o princípio da proteção da saúde humana e do ambiente (Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho), constitui objetivo prioritário da política de gestão de resíduos evitar e reduzir os riscos para a saúde humana e para o ambiente, garantindo que a produção, a recolha, o transporte, o armazenamento preliminar e o tratamento de resíduos sejam realizados recorrendo a processos ou métodos que não sejam suscetíveis de gerar efeitos adversos sobre o ambiente, nomeadamente poluição da água, ar, ruído, afetação da fauna e flora, odores, ou quaisquer locais de interesse e na paisagem.

Desta forma, o princípio da hierarquia dos resíduos (Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho) deve respeitar a seguinte ordem de prioridades a gestão dos resíduos:

- 1) Prevenção e redução;
- 2) Preparação para a reutilização;
- 3) Reciclagem;
- 4) Outros tipos de valorização;
- 5) Eliminação (aterro).

Ainda segundo o mesmo Decreto-Lei (Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho), estão fixadas as seguintes metas até 2020:

- ✓ Aumento mínimo global para 50% em peso relativamente à preparação para reutilização, reciclagem de RSU;
- ✓ Aumento mínimo de 70% em peso relativamente à preparação para reutilização, reciclagem e outras formas de valorização de material, incluindo operações de enchimento que utilizem resíduos como substituto de outros materiais, resíduos de construção e demolição não perigosos, exceto os materiais indicados na Lista Europeia de Resíduos (LER) na categoria 170504 (solos e rochas que não contêm substâncias perigosas).

Entende-se por aterro de resíduos uma instalação de eliminação de resíduos acima ou abaixo da superfície natural, incluindo: instalações de eliminação internas, considerando-se como tal os aterros em que o produtor de resíduos efetua a sua própria eliminação de resíduos no local de produção; uma instalação permanente, considerando-se como tal a que tiver uma vida útil superior a um ano, usada para armazenagem temporária (Decreto lei n.º183/2009, de 10 de agosto).

Os aterros de Resíduos Sólidos Urbanos recebem resíduos domésticos que comportam em geral materiais que vão desde plásticos, tecidos, materiais orgânicos e os aterros de Resíduos Industriais Banais são mais específicos mas podem receber resíduos que vão desde plásticos, madeiras, resíduos de demolição, restos de matérias-primas não utilizadas e os demais produtos resultantes dos processos de fabricação. Este facto leva a que estes aterros comportem um risco de incêndio agravado, potenciado pela formação de biogás, constituído essencialmente por de gás metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), resultante da combustão anaeróbia dos resíduos que poderá levar a incêndios nos aterros com danos para a própria estrutura do aterro. Um incêndio num aterro poderá levar à destruição da tela de isolamento levando ao escoamento de lixiviados para os aquíferos, o que leva a consequências graves para o meio ambiente.

1.2. Objetivos e motivação

Este trabalho surge com uma questão bastante comum nos dias que correm, sendo ela: “Quais as consequências para o meio ambiente de um incêndio em aterros de Resíduos Sólidos Urbanos e/ou Resíduos Industriais Banais?”

Desta forma este trabalho tem como objetivo, a caracterização de diferentes tipos de aterros em consequência dos diferentes tipos de resíduos que podem ser depositados em aterro; a avaliação da carga e risco de incêndio que um aterro pode comportar e tentar minimizar esse risco; avaliar as potencialidades e limitações dos métodos de avaliação do risco de incendio; e por fim, a avaliação do impacte ambiental de um incêndio num aterro de resíduos sólidos urbanos e/ou de resíduos industriais, tendo em conta a constituição do aterro.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, sendo eles: Introdução, Gestão e exploração de Aterros Sanitários, Métodos de Análise de Risco de Incêndio, Caso de Estudo num Aterro de Resíduos Industriais Banais, Impactes Ambientais e Conclusões.

No segundo capítulo faz-se descrição da gestão e exploração dos aterros sanitários. Neste capítulo explica-se a constituição e construção de um aterro, ou seja, descreve-se a constituição de um aterro, desde material a usar na sua construção, altura de camadas de impermeabilização, drenos de biogás e lixiviados. De seguida analisa-se as fases pelas quais um aterro passa, fase de exploração e encerramento. Depois é analisada toda a legislação em torno de um aterro, desde condições para a sua implantação, permeabilidade e espessura das barreiras de impermeabilização, critérios de admissão de resíduos nos aterros, processos de controlo na fase de exploração e após o encerramento do aterro. É também feita uma análise de infrações e quantidades de resíduos depositados em Portugal, e por fim analisam-se as causas e possíveis impactes ambientais de incêndios em aterros, desde poluição atmosférica a poluição do solo e meios hídricos e suas consequências na sociedade.

O terceiro capítulo diz respeito aos Métodos de Análise de Risco de Incêndio, abrangendo seis métodos possíveis para a análise de risco de incêndio: Método de Gretener, Método de F.R.A.M.E., Método Hierárquico, Árvore de Acontecimentos, Árvore de Falhas, Software Effects.

O quarto capítulo refere-se ao Caso de Estudo num Aterro de Resíduos Industriais Banais, onde se faz a caracterização do local onde seria construído o aterro analisando a geologia, geotecnia, dados hidrogeológicos e meteorológicos. De seguida analisa-se a constituição desse aterro relativamente à impermeabilização de fundo, drenagem superficial, drenagem de lixiviados, sistema de controlo de biogás, e a selagem da célula do aterro depois de atingir a sua capacidade máxima de deposição. Por fim, fez-se uma análise ao plano de segurança e a aplicou-se o software Effects ao caso de estudo com o objetivo de determinar as consequências de um eventual incêndio no aterro de resíduos industriais banais.

O quinto capítulo refere-se à análise dos Impactes Ambientais, onde se identifica e descreve os principais impactes ambientais resultantes de um possível incêndio num aterro de resíduos industriais banais.

O capítulo final, capítulo seis corresponde às Conclusões deste trabalho e a possíveis desenvolvimentos futuros.

2. GESTÃO E EXPLORAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

2.1. Constituição e construção de um aterro sanitário

Um aterro é composto por três áreas distintas, sendo elas:

- ✓ Área de apoio: edifício, oficinas, balança, lava rodas, vedação, parque de estacionamento e acessos;
- ✓ Área de tratamento de resíduos e deposição final: células de deposição de resíduos, estruturas de drenagem de lixiviados e biogás;
- ✓ Pátio de sucatas: área destinada a armazenamento temporário de viaturas abandonadas, de resíduos eletrónicos, pneus, e matérias recicláveis (Russo, 2003).

As células de um aterro sanitário são normalmente uma cavidade efetuada no solo na qual os resíduos vão ser depositados. Esta cavidade divide-se em alvéolos, ou seja, pequenas porções da célula que são usadas para depositar os resíduos de apenas um dia, sendo que esses deveriam ser cobertos no final de cada dia de deposição de resíduos.

Para assegurar a proteção do solo onde vai ser instalado um novo aterro faz-se um revestimento do fundo com telas impermeáveis, de modo a evitar possíveis contaminações do solo e águas subterrâneas. Para evitar que ocorra essa contaminação que pode ocorrer com infiltrações, é também montado um sistema de recolha de soluções lixiviadas. Para evitar a entrada de água da chuva ou outras escorrências no aterro, à medida que a deposição ocorre vai-se procedendo também à cobertura dos resíduos, feita normalmente no final de cada dia de deposição de resíduos.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, o revestimento do fundo do aterro deve ser constituído por um leito impermeável de argila ou geomembranas (PEAD). Este revestimento impermeável tenta impedir a poluição do solo e das águas através da retenção dos lixiviados gerados no aterro e das escorrências resultantes de águas pluviais ou de líquidos preexistentes misturados com os sólidos. As escorrências são recolhidas e bombadas através de uma tubagem ou deslocam-se devido à força da gravidade para uma bacia de receção onde são tratadas. A tela de PEAD colocada como fundo de impermeabilização de um aterro tem uma temperatura de fusão de 120°C, uma temperatura de combustão que ronda os 250°C, uma temperatura de autoignição de 350°C, uma densidade de aproximadamente 0,95 g/cm³ e uma resistência à tração do ponto de cedência de 16N/mm² para uma geomembrana de 2mm.

O aterro é dividido em células que são ocupadas por curtos períodos de tempo. Estes aterros dispõem de um sistema de monitorização para a determinação da contaminação das escorrências, bem como avaliar as emissões de gases. Para além de todos estes constituintes é necessário e indispensável haver tubagens de recolha de gases libertados, que é efetuada através de tubos perfurados envolvidos por uma camada de gravilha.

Qualquer aterro bem projetado deve ter um sistema de recolha de lixiviados para minimizar o risco de uma contaminação perigosa no futuro. Para que possa ser assegurada uma boa drenagem de lixiviados, a solução ótima é usar uma impermeabilização de fundo constituída por uma tela a partir da qual se faz a recolha do lixiviado, e seguidamente coberta por uma camada de drenagem. Esta camada de drenagem está prevista na legislação como tendo uma espessura não inferior a 0,5m. Sobre esta camada é aplicada uma segunda tela que reforça a proteção contra infiltrações acidentais. A primeira recolha de lixiviados normalmente feita no fundo da tela superficial e só se ocorrer uma falha na estanquidade desta tela é que o infiltrado vai atravessar a camada de enchimento permeável sendo posteriormente recolhido no fundo da tela exterior por escorrência das fugas de lixiviado.

Assim, a criação de células é muito importante para evitar reações químicas imprevisíveis: reações de oxidação/redução, ácido/base, e decomposição biológica, que podem alterar a composição inicial do aterro. O isolamento destas células e a proteção contra a ação das águas pluviais é principalmente para garantir a segurança do aterro.

Por fim, a cobertura do aterro é feita pela deposição de argila ou uma tela impermeável, acima da qual é colocada uma camada de solo permeável e finalmente uma camada de solo que vai permitir a fixação de vegetação.

Toda a estrutura de um aterro pode ser vista na figura 2.1:

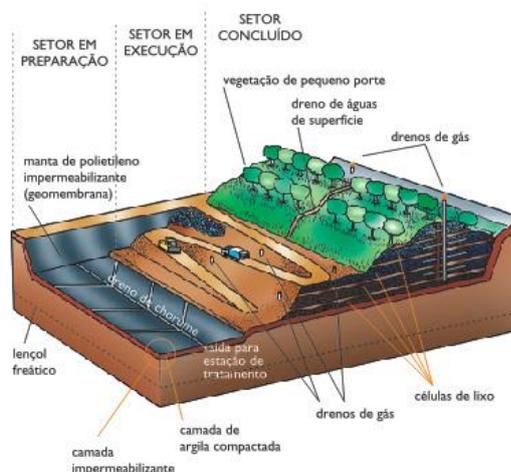


Figura 2.1- Constituição de um aterro sanitário.

Fonte: (<http://www.google.pt/imgres/como-funciona-um-aterro-sanitario.html/>)

2.2. Exploração de um aterro sanitário

A fase de exploração de um aterro comporta a monitorização do volume de resíduos recebidos em aterro, a deposição e compactação desses resíduos e a constituição de estação de controlo e monitorização. Após a deposição de resíduos deverá ser colocada uma cobertura de solo ou composto, de forma a evitar o arrastamento de resíduos por ação do vento, evitar a entrada e saída de animais que posteriormente poderão transmitir doenças (animais roedores, mosquitos, etc.) e ainda controlar a entrada de águas no aterro durante a fase de deposição de resíduos nas células (Braga, 2011).

Os efluentes que resultam da exploração de um aterro devem ser tratados numa ETAR para que o seu impacto ambiental seja o mais reduzido possível. Desta forma, o sistema de impermeabilização é muito importante para que se possa controlar e evitar ao máximo as infiltrações dos lixiviados produzidos nas águas subterrâneas, para que se possa fazer uma captação de biogás gerado no aterro e assim reduzir as emissões para a atmosfera desse gás (Sarsby, 2000). Na figura 2.2 pode ver-se as lagoas de receção do lixiviado para depois ser tratado na ETAR, e na figura 2.3 pode-se ver um poço de extração de biogás com condutas em PEAD para fazer o transporte do mesmo.



Figura 2.2- Lagoas de receção de lixiviado.



Figura 2.3- Poço de extração do biogás numa célula em processo de selagem.

O processo de extração do biogás (figura 2.3) está completamente selado para evitar ou minimizar as perdas de biogás gerado na célula do aterro. O tubo interior ao anel transporta o biogás até um sistema de valorização energética por um motor gerador de energia (figura 2.4) ou para um sistema de queima (figura 2.5) (Russo, 2003). No interior e no exterior do aterro são feitos controlos de emissões de biogás, através de sondas para se obter as concentrações e desta forma tentar evitar que as emissões possam ser prejudiciais tanto a saúde pública como ao meio ambiente (Sarsby, 2000).



Figura 2.4- Motor gerador de energia.



Figura 2.5- Queimador de biogás.

2.3. Encerramento de um aterro sanitário

O encerramento de um aterro sanitário ocorre quando este já atingiu a sua capacidade máxima de receção de resíduos. O seu encerramento é feito pelos responsáveis de gestão, de forma a minimizar a produção de lixiviados, bem como as emissões de odores para a vizinhança do aterro (Barroso, 1994).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, antes da selagem do aterro, este deverá ter alguns sistemas incorporados, sendo eles: sistema de impermeabilização, sistema de drenagem e recolha de lixiviados, sistema de recolha de biogás e um sistema de drenagem de águas pluviais. Após a selagem, devem-se implementar outros sistemas, tais como: sistema de drenagem de biogás, sistema de impermeabilização, uma camada de argila, uma nova camada de drenagem e por fim uma camada de material terroso para fixar vegetação para minimizar os impactos ambientais pós-encerramento. Após o encerramento de uma célula, deve-se realizar imediatamente o seu recobrimento com geossintéticos para minimizar as fugas do biogás, bem como a implementação de sistemas de ventilação para evitar formação de bolsas de biogás que poderão provocar deflagrações não controladas na célula. O volume de lixiviados diminui com a compressão dos extratos e com a colocação do solo no topo da camada impermeabilizante que ajudará na diminuição de águas infiltradas. Assim, o lixiviado diminui consideravelmente após o encerramento de uma célula (Misgav et al, 2001). Na figura 2.6 pode-se ver uma célula de um aterro já selada e na figura 2.7 uma célula de um aterro em processo de selagem.



Figura 2.6- Célula de um aterro já selada em 1998.



Figura 2.7- Célula de um aterro em processo de selagem.

2.4. Legislação em aterros de Resíduos Sólidos Urbanos e Resíduos Industriais

Resíduos sólidos urbanos (RSU) são resíduos provenientes das habitações bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos provenientes das habitações (Decreto-lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, revogado pelo Decreto-Lei nº73/2011, de 17 de junho).

Resíduos industriais (RI) são resíduos gerados em processos produtivos industriais, bem como o que resulta das atividades de produção e distribuição de eletricidade, gás, e água (Decreto-lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, revogado pelo Decreto-Lei nº73/2011, de 17 de junho).

Resíduos industriais perigosos (RIP) são resíduos que apresentam características de perigosidade para a saúde ou para o ambiente, nomeadamente os definidos na portaria n.º 818/97, de 5 de setembro, em conformidade com a lista de resíduos perigosos constantes na Decisão do Conselho da União Europeia n.º94/904/CEE.

Resíduos industriais banais (RIB) são todos os resíduos gerados em processos industriais, ou em produção e distribuição de eletricidade, gás, e água que não estão abrangidos na lista de resíduos perigosos.

Segundo o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de maio, revogado pelo Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, compete ao órgão consultivo do Ministério do Ambiente a operação e gestão de resíduos sólidos e ao Instituto de Resíduos a emissão de licenças de instalação e exploração de aterros para resíduos sólidos.

2.4.1. Condições gerais para aterros

A localização e implantação de um aterro de resíduos sólidos deverá ter em consideração os seguintes aspetos:

- ✓ Distâncias do perímetro do local em relação a áreas residenciais e recreativas, cursos de água, massas de água e outras zonas agrícolas e urbanas;
- ✓ Existência de águas subterrâneas ou costeiras, ou áreas protegidas;
- ✓ Condições geológicas e hidrogeológicas;
- ✓ Riscos de cheias, de aluimento, de desabamento de terras ou avalanches;
- ✓ Proteção do património natural ou cultural;
- ✓ Deve manter um afastamento mínimo de 25km relativamente a outros aterros já autorizados ou em funcionamento e destinados a receção, tratamento e confinamento de resíduos;
- ✓ Deve manter um afastamento mínimo de 2km em relação a núcleos populacionais com mais de 50 habitantes;
- ✓ Deve manter um afastamento mínimo de 500m em relação a quaisquer construções destinadas a habitação, com exceção das instalações destinadas ao pessoal afeto ao funcionamento do aterro.

Todas estas distâncias são medidas a partir das linhas de vedação exterior do aterro. Não é aplicável o afastamento mínimo de 25km de outros aterros sempre que o aterro a autorizar ou já autorizado constitua soluções para exclusivo uso privativo da respetiva entidade promotora, ou se o aterro se encontrar em fase de encerramento, ou ainda sempre que o Ministro do Ambiente entenda que o novo aterro vai ser benéfico para os níveis de atendimento das necessidades dos utentes e que se encontra salvaguardada a sustentabilidade económico-financeira dos projetos já autorizados ou em funcionamento. Para efeitos do que mencionei anteriormente considera-se em fase de encerramento um aterro cuja entidade exploradora não haja tempestivamente requerendo à prolongação da respetiva licença de funcionamento ou se tiver ocorrido essa prolongação da licença ela não caduque em prazo inferior a um ano. Esta licença de funcionamento é concedida para um prazo de funcionamento entre 10 a 15 anos.

Estes aterros devem ter controlo de emissões, proteção do solo, proteção das águas superficiais e subterrâneas. A camada de solo subjacente ao aterro deve constituir uma barreira de segurança passiva durante a fase de exploração até à completa estabilização dos resíduos devendo evitar, tanto quanto possível, a poluição dos solos e águas pelos resíduos e lixiviados produzidos. A barreira de segurança passiva deve ter baixa permeabilidade e uma espessura adequada de acordo com:

- ✓ Exigências relativas à barreira de segurança passiva: a barreira geológica é determinada pelas condições geológicas e hidrogeológicas inferiores e adjacentes ao local de implantação do aterro, de modo a impedir qualquer risco de poluição do solo e das águas subterrâneas; a base e os taludes do aterro devem constituir uma camada mineral que satisfaça as condições de permeabilidade e espessura de efeito combinado, de acordo com o quadro 2.1.

2.1- Quadro representativo do valor de coeficiente de permeabilidade e espessura da barreira de segurança passiva.

Fonte: Decreto-Lei n.º 183/2009.

	Aterro para resíduos inertes	Aterro para resíduos não perigosos	Aterro para resíduos perigosos
Coeficiente de permeabilidade (K), (m/s)	$\leq 1 \times 10^{-7}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$
Espessura (e), (m)	≥ 1	≥ 1	≥ 5

- ✓ Reforço da barreira de segurança passiva: no caso da barreira geológica não oferecer as condições anteriormente definidas, poderá ser complementada artificialmente com uma espessura não inferior a 0,5m.

Os aterros de resíduos sólidos devem ser munidos de um sistema de proteção ambiental ativa que deverá assegurar as seguintes funções:

- ✓ Controlar a infiltração de águas de precipitação no aterro;
- ✓ Evitar a infiltração de águas superficiais ou subterrâneas nos resíduos depositados;
- ✓ Captar águas contaminadas e lixiviados, garantindo que a acumulação de lixiviados no aterro se mantenha num nível mínimo;
- ✓ Tratar as águas contaminadas e lixiviados captados no aterro segundo normas exigidas para a sua descarga;
- ✓ Captar, tratar e, se possível, valorizar o biogás produzido no aterro.

Os sistemas de drenagem de águas pluviais e drenagem e recolha de lixiviados devem ser dimensionados tendo em conta as características do aterro e as condições meteorológicas locais. Os sistemas de águas pluviais devem ser dimensionados de modo a evitar a formação desnecessária de lixiviados e a minimizar a ocorrência de fenómenos erosivos ao nível dos taludes do aterro. Deverá incluir valetas, colocadas estrategicamente de modo a serem totalmente eficientes na função a que se destinam.

A drenagem e recolha de lixiviados deverá abonar a rápida remoção destes do aterro, controlando a altura de líquido sobre o sistema de revestimento e minimizando o risco de infiltração de

lixiviados no solo causado por uma carga hidráulica excessiva. Assim, o fundo do aterro deverá ter uma inclinação mínima de 2% de toda a área de aterro, a camada drenante deverá ter uma permeabilidade hidráulica igual ou superior a 10^{-4} m/s e a camada mineral drenante deverá ter no mínimo uma espessura de 0,5m e ser isenta de material calcário.

De acordo com o Decreto-Lei n.º152/2002, os aterros podem receber os resíduos abrangidos pela legislação. Para a admissão de resíduos em aterro deve-se conhecer da forma mais exata possível, as suas propriedades gerais, a sua composição, lixiviabilidade e comportamento a longo prazo. O processo de admissão de um resíduo em aterro passa pela caracterização do resíduo e respetiva verificação que se deve basear numa escala de três níveis, sendo eles:

- ✓ Nível 1: Classificação básica onde se faz a determinação do comportamento do resíduo a curto e longo prazo, de acordo com os métodos normalizados e verificação do comportamento do lixiviado;
- ✓ Nível 2: Verificação de conformidade através de verificação periódica por métodos normalizados e de verificação do comportamento do resíduo e das condições da licença. A verificação incidirá sobre os comportamentos identificados na classificação básica;
- ✓ Nível 3: Verificação no local que consiste em métodos de ensaio rápido com vista a confirmar se se trata dos mesmos resíduos submetidos a verificação de conformidade.

Desta forma, os aterros podem receber resíduos que cumpram os vários parâmetros especificados nos quadros 2.2 e 2.3.

Quadro 2.2- Critérios de admissão resultantes da análise ao resíduo.

Fonte: Decreto-Lei n.º 152/2002.

Parâmetro	Classe de aterro		
	Inertes	Não perigosos	Perigosos
Perda a 105°C (%)	65	⁽¹⁾ 65	⁽¹⁾ 65
Perda entre os 50 e os 105°C (%)	⁽²⁾ 5	⁽³⁾ 15	⁽³⁾ 15
Ponto de inflamação (%)	55	55	55
Substâncias lipofílicas (%)	0,5	4	10
Compostos orgânicos voláteis halogenados (%)	⁽⁴⁾ 0,05	0,1	1
Compostos orgânicos voláteis não halogenados (%)	⁽⁵⁾ 0,15	0,3	3
Arsênio (mg/kg)	250	2000	-
Cádmio (mg/kg)	50	1000	-
Cobre (mg/kg)	6000	6%	-
Crómio (mg/kg)	3000	5%	-
Mercúrio (mg/kg)	25	250	-
Níquel (mg/kg)	2000	5%	-
Chumbo (mg/kg)	2000	5%	-
Zinco (mg/kg)	8000	7,5%	-

(1) O aterro não poderá admitir mensalmente mais de 10% de resíduos que ultrapassem o valor deste parâmetro.

- (2) Este valor poderá ser ultrapassado sempre que se tratar de um resíduo que não seja suscetível de fermentar.
- (3) Se o aterro estiver preparado para receber resíduos orgânicos ou resíduos que não fermentem, este valor poderá ser ultrapassado.
- (4) Nenhum parâmetro poderá ultrapassar individualmente 100 mg/kg. A sua soma não poderá ultrapassar 0,05%.
- (5) Nenhum parâmetro poderá ultrapassar individualmente 300 mg/kg. A sua soma não poderá ultrapassar 0,15%.

Quadro 2.3- Critérios de aceitação de resíduos resultantes da análise ao eluato (solução obtida a partir de um ensaio em laboratório, segundo a norma DIN 38414-S4).

Fonte: Decreto-Lei n.º 152/2002.

Parâmetro	Classe de aterro		
	Inertes	Não perigosos	Perigosos
pH	5.5<x<12	4<x<13	4<x<13
Condutividade (mS/cm)	6<y<50		100
COT (mg C/l)	40	⁽¹⁾ 100	⁽¹⁾ 200
Arsênio (mg/l)	0,1	0,5	1
Cádmio (mg/l)	0,1	0,2	0,5
Cobre (mg/l)	2	5	10
Crómio VI (mg/l)	0,1	0,1	0,5
Crómio Total (mg/l)	0,5	2	5
Merúrio (mg/l)	0,02	0,05	0,1
Níquel (mg/l)	0,5	1	2
Chumbo (mg/l)	0,5	1	2
Zinco (mg/l)	2	5	10
Fenóis (mg/l)	1	10	50
Fluoretos (mg/l)	5	25	50
Cloretos (mg/l)	500	5000	10000
Sulfatos (mg/l)	500	1500	5000
Nitratos (mg/l)	3	10	30
Amónio (mg/l)	5	200	1000
Cianetos (mg/l)	0,1	0,5	1
AOX (mg/Cl/l)	0,3	1,5	3

- (1) Sempre que o aterro for especialmente concebido para receber resíduos orgânicos, este valor poderá ser ultrapassado. Também poderá ser ultrapassado sempre que o resíduo não seja suscetível de fermentar

Sempre que forem ultrapassados os valores limite fixados, os resíduos devem ser sujeitos a um tratamento prévio à sua deposição em aterro. De igual modo, para a deposição de um resíduo não incluído na lista de resíduos admitidos num determinado aterro ou não constante na lista de resíduos da licença do aterro, dever-se-á apresentar um pedido de autorização, a título excecional, mediante processo de admissão estabelecido pela autoridade competente.

2.4.2. Processos de controlo na fase de exploração de aterros

Segundo o Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, na fase de exploração de aterros deve haver um controlo de assentamentos e de enchimento do aterro por parte de um operador. A avaliação do estado do aterro será efetuada através de parâmetros, tais como: superfície ocupada pelos resíduos, volume e composição dos resíduos, métodos de deposição, início e duração da deposição e cálculo da capacidade de deposição ainda disponível no aterro.

Deve ocorrer um controlo de lixiviados durante a fase de exploração do aterro, tendo como função o operador medir mensalmente o pH, condutividade, CQO (carência química de oxigénio), cloretos e amónio. Ainda em relação ao controlo de lixiviados nesta fase o operador deve trimestralmente realizar uma análise mais completa dos lixiviados, medindo e analisando o pH, condutividade, CQO, carbonatos/bicarbonatos, cianetos, cloretos, amónio, arsénio, cádmio, crómio total, mercúrio, chumbo, potássio e índice de fenóis. E semestralmente deverá ocorrer uma análise exaustiva de lixiviados, com análise de todos os parâmetros referidos anteriormente completada com análise também a COT (carbono orgânico total), cianetos, fluoretos, nitratos, nitritos, sulfatos, sulfuretos, alumínio, bário, boro, cobre, ferro, magnésio, zinco, antimónio, níquel, selénio, cálcio, magnésio, sódio, hidrocarbonetos totais e AOX (teor de halogénios organicamente ligados). Caso este último parâmetro seja superior a 10mg/l deverá fazer-se uma análise no sentido de apurar a presença de compostos orgânicos clorados definidos pela autoridade competente.

Deve ainda existir um controlo de águas subterrâneas com análise de todos os parâmetros referidos anteriormente, mas neste caso se o valor de COT for superior a 15mg/l deverá ser efetuada uma análise de modo a apurar a existência de hidrocarbonetos. Caso o aterro seja causa da alteração da qualidade da água do meio hídrico o operador de aterro deverá juntamente com a autoridade competente iniciar um programa de acompanhamento e controlo para resolver a situação.

Por fim, durante a fase de exploração do aterro deverá ser analisada a emissão de gases, para controlo dos mesmos. Deverá ser medido o teor de oxigénio, dióxido de carbono e metano libertados pelo aterro mensalmente.

2.4.3. Processos de controlo após o encerramento de aterros

De acordo com o Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, na fase de controlo após o encerramento de aterros deverá ser controlada a qualidade dos lixiviados gerados pelos resíduos aí confinados semestralmente. Deverá ser controlado o volume de lixiviados trimestralmente. Dever-se-á também analisar trimestralmente o nível piezométrico, a qualidade das águas subterrâneas e

caso necessário um controlo da qualidade de gases emitidos. Os assentamentos e cobertura do terreno deverão ser controlados anualmente.

2.5. Avaliação de impacte ambiental

Segundo o Decreto-Lei n.º 232/2007, de 15 de junho, avaliação ambiental pode-se definir como *“a identificação, descrição e avaliação dos eventuais efeitos significativos no ambiente resultantes de um plano ou programa, realizada durante um procedimento de preparação e elaboração do plano ou programa e antes de o mesmo ser aprovado ou submetido a procedimento legislativo, concretizada na elaboração de um relatório ambiental e na realização de consultas, e a ponderação dos resultados obtidos na decisão final sobre o plano ou programa e a divulgação pública de informação respeitante à decisão final”*.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 69/2000, revogado pelo Decreto-Lei n.º 197/2005, de 8 de novembro, define-se impacte ambiental como o *“conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área (situação de referência), resultantes da realização de um projeto, comparadas com a situação que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se esse projeto não viesse a ter lugar”*. Define-se também avaliação de impacte ambiental como *“um instrumento de carácter preventivo da política do ambiente, sustentado na realização de estudos e consultas, com efetiva participação pública e análise de possíveis alternativas, que tem por objeto a recolha de informação, identificação e previsão dos efeitos ambientais de determinados projetos, bem como a identificação e proposta de medidas que evitem, minimizem ou compensem esses efeitos, tendo em vista uma decisão sobre a viabilidade da execução de tais projetos e respetiva pós-avaliação”*.

Em relação à avaliação de impacte ambiental em aterros sanitários, o Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, diz-nos que o licenciamento de um aterro só pode ser efetuado por entidades creditadas, ou seja, pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), por entidades de administração central e Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR). Este licenciamento de aterro só será emitido após a publicação de uma declaração de impacte ambiental (DIA) favorável ou parcialmente favorável ao projeto.

Os maiores impactes ambientais que um aterro terá no seu funcionamento normal serão a produção de lixiviado e de biogás como resultado da biodegradação da matéria orgânica depositada no aterro. Desta forma, será importante tomar medidas que de alguma forma possam evitar ou minimizar impactes ambientais negativos causados, sendo elas: uma rede de captação de biogás e lixiviados, tratamento e eliminação destes poluentes de forma eficaz (Barroso, 1994).

Por fim é deveras importante ter meios para prevenir os impactes ambientais negativos dos aterros, deve-se ter em conta boas soluções para o tratamento de lixiviado e biogás gerado em aterro, para que ao longo de todas as fases pelas quais um aterro passa (exploração, encerramento e pós-encerramento) esse tratamento seja o mais adequado e seguro, de modo a não prejudicar o meio ambiente e a sociedade vizinha (Barroso, 1994).

2.6. Deposição de resíduos em aterros sanitários em Portugal

De acordo com dados disponibilizados pela APA (2011b), em dezembro de 2011 estavam ativos em Portugal 34 aterros de RSU e 8 aterros de resíduos industriais banais. Os aterros de RSU estão distribuídos pelo país da seguinte forma: 13 aterros na região norte do país, 7 na região centro, 7 na região de Lisboa e Vale do Tejo, 5 no Alentejo e 2 no Algarve, como podemos ver na figura 2.8. Os aterros de RIB estão distribuídos da seguinte forma: 2 na região norte, 2 na região centro, 3 na região de Lisboa e Vale do Tejo e 1 na região do Alentejo, como podemos verificar na figura 2.8.

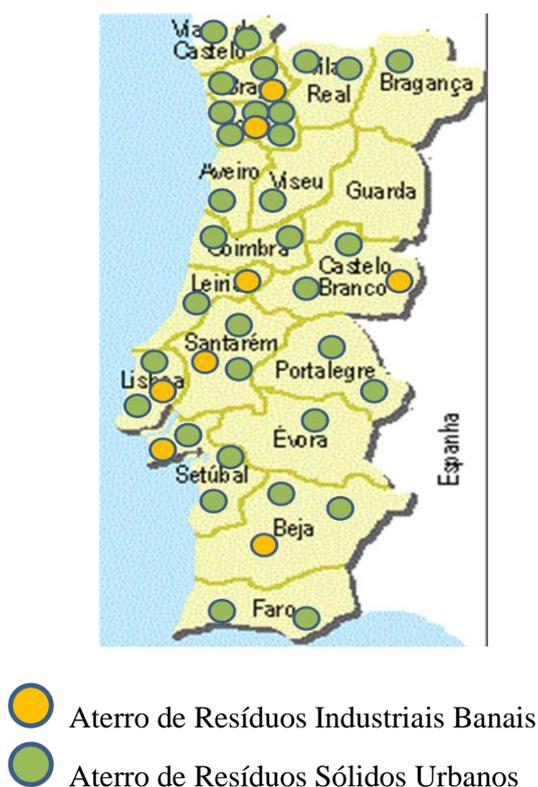


Figura 2.8- Aterros de RSU e RIB em Portugal Continental, em Dezembro de 2011.

Para que se consiga garantir o bom funcionamento dos aterros de RSU, foi necessário realizar um sistema de gestão de resíduos urbanos (SGRU), que foi definido como uma estrutura de meios

humanos, logísticos, equipamentos e infraestruturas para poder aplicar com eficiência todas medidas de gestão de resíduos. Desta forma, no início do ano de 2011 tínhamos em Portugal 23 SGRU para todo o território nacional, representados na figura 2.9 (APA 2011a).

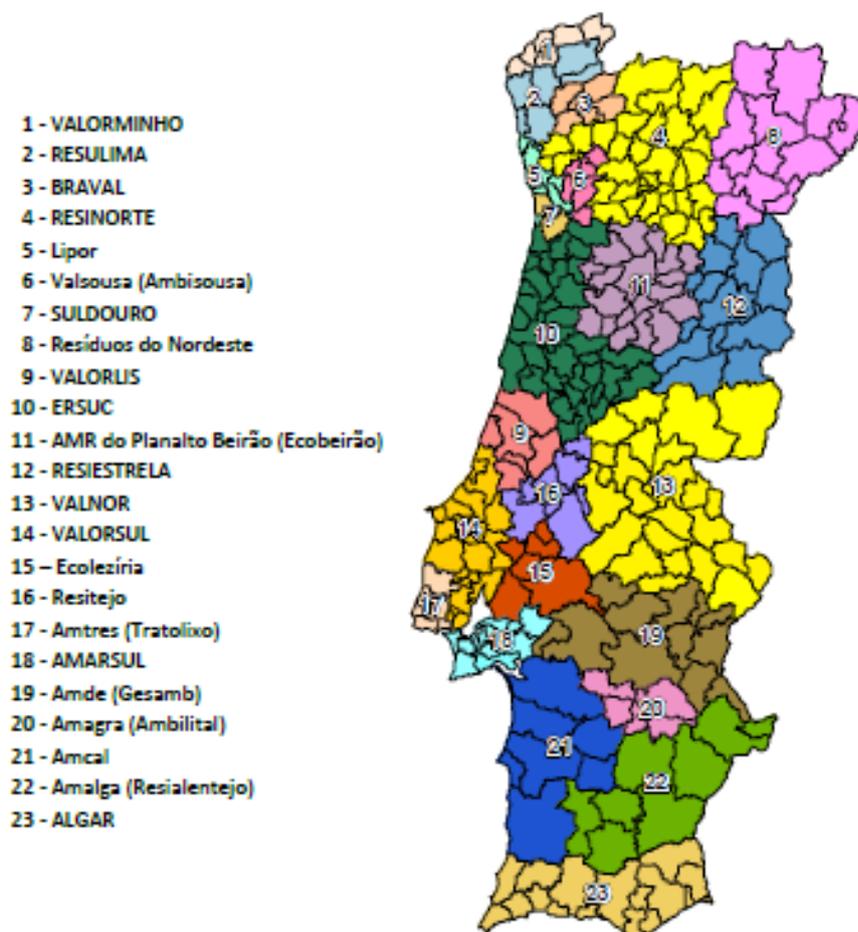


Figura 2.9- Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos, em janeiro de 2011.

Fonte: APA, Caracterização da situação atual 2010/2011

Em julho de 1997 foi aprovado o primeiro Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) no qual foram definidas metas para a área de gestão de resíduos sólidos urbanos, para o período de 1997-2005, particularmente: o encerramento de mais de 300 lixeiras inventariadas; construção de infraestruturas para o tratamento de RSU; reforço acentuado no processo de recolha seletiva e de reciclagem, para que as metas para 2000, 2005 e 2010 pudessem ser alcançadas (Lipor, 2009). Na figura 2.10 pode-se comparar o ultimo ano de comparação deste plano com os objetivos preconizados.

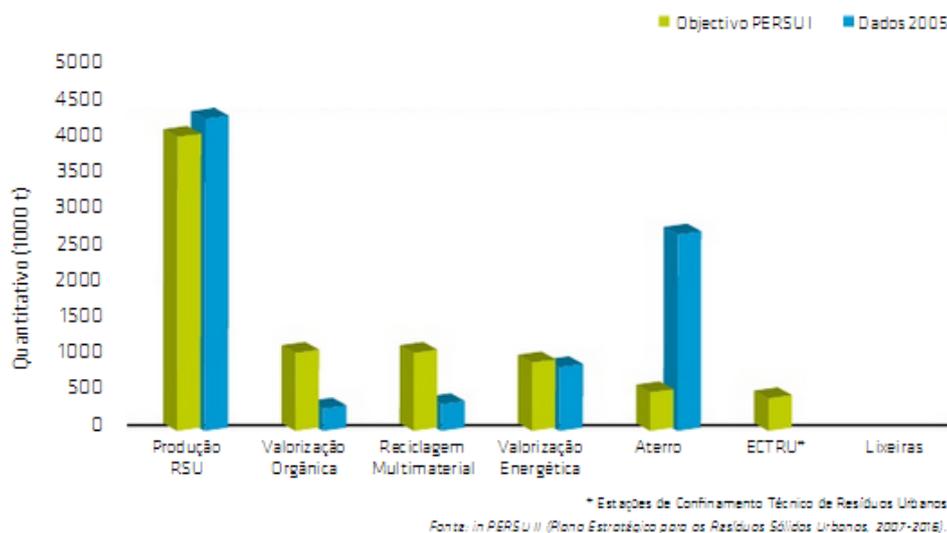


Figura 2.10- Cumprimento das metas propostas pelo PERSU I

Fonte: PERSU II (Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016)

Da análise da figura 2.10 podemos verificar que o encerramento das lixeiras foi cumprido; não houve evoluções das estações de confinamento técnico de resíduos urbanos (ECTRU), sendo que 63% dos RSU produzidos foram depositados em aterro, valor muito superior aos 23% previstos pelo PERSU I; o ritmo de crescimento da produção de RSU foi superior ao previsto; a valorização energética, orgânica e reciclagem multimaterial também ficaram aquém das metas previstas pelo plano, sendo que as ultimas duas ficaram bastante abaixo do que era planeado (APA 2011c).

Com o avançar do tempo houve necessidade de atualizações no PERSU I, surgindo assim o PERSU II, com um horizonte de 2007- 2016, como uma revisão do PRESU I, bem como a regulamentação do desvio dos resíduos biodegradáveis de aterro, a reciclagem e valorização de resíduos de embalagem, e a diminuição das emissões dos gases de efeito de estufa. O objetivo do PERSU II passa não só pela redução da produção de resíduos mas também pelo fim que se dá aos resíduos. Desta forma, o PERSU II pretende:

- ✓ A redução, reutilização e reciclagem dos resíduos;
- ✓ Separação dos resíduos na origem de forma a facilitar a reciclagem;
- ✓ Minimizar a deposição de resíduos em aterro;
- ✓ Transformar os resíduos em energia, para os não recicláveis;
- ✓ Protocolo de Quioto (compromisso muito importante na gestão de resíduos);
- ✓ Protocolo Montreal;
- ✓ Ter informação validada a tempo de tomar decisões importantes;
- ✓ Haver sustentabilidade dos sistemas de gestão de resíduos.

O efeito de estufa é um fenómeno natural e imprescindível à vida na Terra. Os raios provenientes do Sol, ao serem emitidos para a Terra, têm dois destinos. Parte deles é absorvida, e transformada em calor, mantendo o planeta quente, enquanto outra parte é refletida e direcionada ao espaço, como radiação infravermelha. Ou seja, cerca de 35% da radiação é refletida de volta para o espaço, enquanto os outros 65% ficam retidos na superfície do planeta (Efeito de estufa, 2002). Isso por causa da ação refletora de uma camada de gases que a Terra tem, os gases de efeito de estufa. Eles comportam-se como isolantes por absorver uma parte da energia irradiada e são capazes de reter o calor do Sol na atmosfera. Um dos piores gases de efeito de estufa é o metano (CH_4), cerca de 20 vezes mais significativo que o dióxido de carbono (CO_2), sendo estes os gases mais libertados para a atmosfera.

O Protocolo de Quioto surge como resultado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas e foi aberto a assinaturas em dezembro de 1997 (APA, 2013a). Este protocolo constitui compromissos rígidos para a redução de emissões de gases que agravam o efeito de estufa, considerados pela maioria das investigações científicas feitas como a causa antropogénica do aquecimento global. Ele propõe um calendário segundo o qual os Países membros (os desenvolvidos, principalmente) têm a obrigação de reduzir as emissões de gases de efeito de estufa entre 2008 e 2012 (primeiro período de compromisso) em, pelo menos, 5,2% relativamente aos níveis de 1990. A redução das emissões de gases de efeito de estufa deveria acontecer em várias das atividades económicas, através de algumas ações básicas, tais como:

- ✓ Reformar os setores de energia e transportes;
- ✓ Promover o uso de fontes de energia renováveis;
- ✓ Eliminar mecanismos financeiros e de mercado inapropriados aos fins da convenção;
- ✓ Limitar as emissões de metano na gestão de resíduos e sistemas energéticos;
- ✓ Proteger as florestas e outros sumidouros de carbono.

Se o Protocolo de Quioto for bem implementado pelos seus países membros, espera-se que a temperatura global reduza entre 1,4°C e 5,8°C até 2100. Este sucesso de implementação do protocolo dependerá muito das negociações após o primeiro período de compromisso, visto que comunidades científicas afirmam que a meta de 5,2% de redução das emissões de gases de efeito de estufa relativamente a 1990 não será suficiente para abrandar o aquecimento global do planeta.

O Protocolo de Montreal é um tratado internacional, realizado com o objetivo dos países membros se comprometerem a acabar ou substituir o uso de CFC's e de outras substâncias que contribuem para a destruição da camada do ozono (APA, 2013b). Este tratado ficou aberto a adesão a 16/09/1987 entrando em vigor no dia 1/1/1989. A adesão a este tratado foi de mais de 150 países, estipulando-se para estes países 10 anos para a substituição ou diminuição significativa do uso de CFC's. Um dos problemas para se alcançar a máxima redução do uso de CFC's são as pequenas

indústrias que não possuem capacidade financeira para se adaptar ao que foi proposto no protocolo.

Segundo a primeira avaliação intercalar do PERSU II (APA 2011c), em 2010 foram produzidas cerca de 5467 mil toneladas de RSU, mais 64mil toneladas que no ano anterior, 2009, verificando-se assim que a produção de resíduos cresceu a um ritmo superior ao esperado pelo PERSU II. Também se verificou com esta avaliação intercalar que em 2010 a quantidade de resíduos enviados para aterro ainda era bastante elevada, cerca de 61% da produção total de RSU, como podemos verificar no quadro seguinte (quadro 2.4).

Quadro 2.4- Resultados dos indicadores relativos à gestão de RSU e respetivas metas para o período entre 2007-2010.

Fonte: PERSU II (Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016).

Código	Designação	2007		2008		2009		2010		ID 2007 (%)	ID 2008 (%)	ID 2009 (%)	ID 2010 (%)
		Real (Mg)	Meta (Mg)										
P14	Resíduos entrados em aterro	-	-	4.059.204	3.145.511	3.907.238	2.594.800	3.794.815	2.329.000	n.a.	77	66	61
P15	Resíduos depositados diretamente em aterro	3.150.139	2.747.500	3.562.185	2.689.000	3.395.705	2.211.000	3.333.223	1.948.000	87	75	65	58
P16	RU provenientes da recolha indiferenciada que deram entrada em unidades de TMB	417.531	382.500	330.179	495.000	396.095	918.000	413.115	1.153.000	109	67	43	36
P17	RUB entrados em unidades de valorização orgânica provenientes de recolha seletiva	72.139	133.000	81.675	133.000	84.392	183.000	101.563	183.000	54	61	46	55
P18	Resíduos entrados em centrais de incineração	967.542	1.126.000	990.525	1.126.000	1.086.582	1.126.000	1.058.369	1.126.000	86	88	96	94
P19	Resíduos entrados em unidades de TM	0	0	-	0	-	0	-	0	0	0	0	0
P20	Triagem Multimaterial	399.649	540.000	416.637	550.000	439.772	605.000	528.314	663.000	74	76	73	80

Ainda de acordo com a primeira avaliação intercalar do PERSU II (APA, 2011c) que procedeu a uma caracterização dos RSU, podemos verificar que são na sua maioria resíduos putrescíveis, cerca de 41%, seguido de papel, plásticos, e outras matérias que até então ainda eram depositados em aterro sem triagem (figura 2.11).

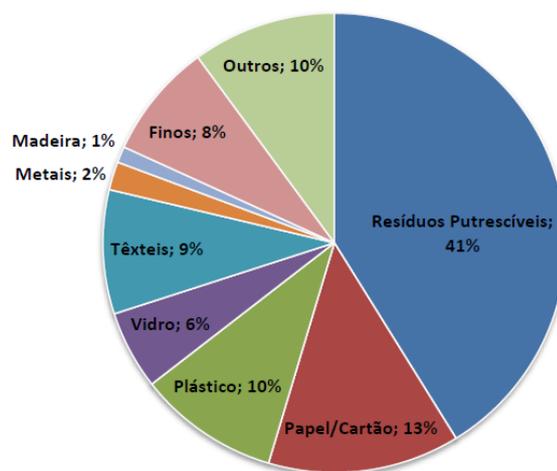


Figura 2.11- Caracterização física dos RSU em 2010

Fonte: PERSU II (Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016)

Para regulamentar a gestão de resíduos industriais (RI), surgiu em julho de 1995 o Projeto de Plano Nacional de Resíduos Sólidos no qual também estavam inseridos os resíduos industriais. Este projeto estimava a produção anual de resíduos industriais em cerca de 4,4 milhões de toneladas por ano, dos quais cerca de 31% eram resíduos perigosos, à luz da legislação europeia da altura. Só dois anos mais tarde se elaborou o Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais (PESGRI 99) aprovado pelo Decreto-lei n.º 516/99, de 2 de dezembro, que constituía um elemento bastante importante para a indústria na gestão dos seus resíduos. O PESGRI assenta em princípios fundamentais, tendo como base a hierarquia das opções de gestão de resíduos estabelecida na Estratégia Comunitária de Gestão de Resíduos adotada por Resolução do Conselho de Ministros da União Europeia, de 24 de fevereiro de 1997, e que recomendava a prevenção, seguida de reutilização, reciclagem, valorização energética e, por último, a deposição em aterro sanitário apropriado para receber este tipo de resíduos (Decreto-Lei n.º 89/2002, de 9 de abril).

Com a evolução da indústria e com o avançar do tempo surgiu a necessidade de revisão e alteração do PESGRI, designado por PESGRI 2001. Este plano conta com:

- ✓ Melhor definição do âmbito, onde se prevê uma gestão sustentável, uma proteção e valorização ambiental do território, uma conservação da natureza e proteção da biodiversidade e paisagem, e por fim uma integração do ambiente nas políticas setoriais;
- ✓ Uma atualização da situação de referência;
- ✓ Um aprofundamento da caracterização do setor de atividades de gestão de resíduos;
- ✓ Consolidação da estratégia de prevenção;
- ✓ Integração das conclusões da Comissão Científica Independente (CCI) para tomar decisões de estratégia de co-incineração de resíduos perigosos em cimenteiras;

- ✓ Abordagem mais detalhada dos locais potencialmente contaminados para elaborar uma lista nacional de locais potencialmente contaminados;
- ✓ Sistematização das melhores opções de tratamento dos resíduos industriais;
- ✓ Melhor definição e caracterização dos fluxos de resíduos industriais.

Este novo PESGRI (Decreto-Lei n.º 89/2002, de 9 de abril) tem como principal objetivo assegurar um correto encaminhamento dos resíduos segundo prioridades bem definidas. Tem como prioridade imediata fixar garantias inequívocas de destino final para os resíduos industriais armazenados, ainda que nos seus estabelecimentos de origem, certificando-se que esses resíduos vão sofrer um tratamento adequado de fim de linha por confinamento ou inceneração.

Existem em Portugal 8 aterros para resíduos industriais banais (RIB) ativos e, em 2002 já existiam 2 projetos em fase de avaliação de impacto ambiental para a construção de 2 aterros de resíduos industriais perigoso (RIP), que até ao momento ainda não foram concretizados, continuando Portugal a exportar os seus resíduos industriais perigosos ou simplesmente depositá-los em aterros que não estão preparados para os receber.

2.6.1. Aterros em infração em Portugal

Segundo uma inspeção aos aterros em Portugal realizada entre 2005-2007 pela Inspeção Geral do Ambiente e Ordenamento do Território (IGAOT, 2008), verificou-se que 23 dos 34 aterros de RSU e 4 dos 8 aterros de RI ativos estavam a cometer infrações.

Os aterros de RSU que estavam a cometer infrações na data de inspeção são os seguintes:

- 1) Região Norte: Aterro de Valença, Aterro de Viana do Castelo, Aterro da Maia, Aterro de Lutosa, Aterro Sanitário de Vila Real e Aterro Sanitário do Alto do Tâmega;
- 2) Região Centro: Aterro Sanitário de Leiria, Aterro Sanitário de Aveiro, Aterro Sanitário de Coimbra, Aterro Sanitário da Figueira da Foz, Centro Integrado de Tratamento e Eliminação de Resíduos do Planalto Beirão e Aterro de Resíduos não Perigosos do Fundão;
- 3) Região de Lisboa e Alto do Tejo: Aterro Sanitário do Oeste, Aterro Sanitário da Raposa, Aterro Sanitário da Chamusca, Aterro de Palmela, Aterro do Seixal e Aterro de Abrantes;
- 4) Região Alentejo: Aterro de Évora, Aterro de Santiago do Cacém e Aterro de Avis;
- 5) Região Algarve: Aterro do Barlavento Algarvio e Aterro do Sotavento.

Os aterros de RIB que estavam em infração na data da inspeção são: Aterro de Resíduos não perigosos de Leiria, Aterro de Resíduos não perigosos da Chamusca, Centro Integrado de Resíduos Industriais de Setúbal e o Aterro de Resíduos não perigosos de Beja.

As infrações mais comuns detetadas nos aterros em infração foram:

- ✓ Inexistência de licença de exploração de instalações de armazenamento ou abastecimento;
- ✓ Inobservância das condições impostas na licença ambiental, nomeadamente em relação à deposição direta do concentrado resultante de osmose inversa (resíduo perigoso) na célula de deposição sem garantias de estabilização suficientes para serem depositados em aterros de resíduos não perigosos;
- ✓ Falta de caracterização e medição do ruído externo conforme exigia a licença ambiental;
- ✓ Não elaboração do plano de desempenho ambiental, onde deveriam constar todas as ações de melhoria ambiental de acordo com as estratégias nacionais de políticas de ambiente;
- ✓ Inexistência de cálculos de assentamentos do aterro;
- ✓ Inexistência do relatório ambiental anual do aterro;
- ✓ Incumprimento dos valores estipulados na licença ambiental para os diferentes parâmetros analisados no lixiviado;
- ✓ Fugas de águas lixiviantes do aterro detetadas nas descargas de águas pluviais;
- ✓ Incumprimento das normas de qualidade da legislação em vigor, relativamente aos efluentes descarregados em linhas de água;
- ✓ Inexistência de guia de acompanhamento quando o lixiviado necessita de ser transportado para uma ETAR exterior às infraestruturas do aterro;
- ✓ Incumprimento do dever de assegurar um destino final adequado a resíduos possíveis de reciclar;
- ✓ Início de exploração do aterro sem que haja ainda uma licença de exploração, sem prestação de garantia financeira por parte do operador e sem seguro de responsabilidade civil extracontratual;
- ✓ Depósito em aterro de resíduos que não cumprem os critérios de admissão nesses aterros;
- ✓ Transporte de resíduos em veículos não autorizados para tal;
- ✓ Incumprimento das condições descritas na licença de captação de águas subterrâneas, nomeadamente a ausência de análises físico-químicas à água captada e o envio destes mesmos resultados à CCDR correspondente à sua localização;
- ✓ Falta de controlo das emissões de biogás para a atmosfera por parte da entidade gestora do aterro.

2.7. Gestão de resíduos

A gestão de resíduos tem sido cada vez mais complexa à medida que a industrialização tem aumentado, não por falta de tecnologias, mas por um problema de aceitabilidade pública (Ferreira, 2010).

As atividades humanas geram sempre resíduos. Antigamente não era um problema mas com o passar dos anos, com a urbanização e industrialização tornou-se um grande problema para a sociedade conseguir ter uma boa gestão de resíduos, o que tem vindo a ter grande impacto no ambiente e na saúde pública. Em resultado desse desenvolvimento da sociedade, a gestão de

resíduos envolve vários objetivos que por vezes se tornam difíceis de alcançar devido aos problemas existentes, principalmente de recolha e transporte dos resíduos produzidos.

Segundo um estudo de análise do sistema de gestão de resíduos em Portugal, em 2010 foram produzidos cerca de 5,2 milhões de toneladas de RSU com uma produção anual de 512Kg/hab e cerca de 180568 toneladas de resíduos perigosos. A produção de resíduos tem vindo a aumentar de ano para ano, registando um aumento de 48,6% entre 1995 e 2010. Ainda segundo este estudo, concluiu-se que a deposição em aterro de resíduos tem vindo a diminuir, mas mesmo assim ainda é o principal destino de resíduos (61% da produção de resíduos), seguido da produção de energia (18%), recuperação orgânica (13%) e reciclagem (8%). Desta forma a gestão de resíduos em Portugal ainda fica bastante aquém comparada com a União Europeia que deposita em aterro uma média de 40% dos resíduos produzidos (Pascoal, 2012).

Cada vez mais existe uma grande pressão para a redução de resíduos enviados para aterro, implementando metas para recuperação, reciclagem ou reutilização sem por vezes ponderar os custos económicos e as consequências ambientais que daí poderão resultar. Cada forma de eliminação de resíduos tem custos para os governos Europeus, e cada vez mais existe a necessidade de adequar taxas, cotas e penalidades financeiras para influenciar a redução na produção de resíduos. Esta influência na redução destina-se a toda a população em geral, fabricantes, retalhistas, consumistas em geral. A reutilização, reciclagem e recuperação de energia devem ser impostas até onde tal faça sentido. Nos sistemas de reutilização de materiais deve-se ter especial atenção no ganho líquido para ao ambiente. A reciclagem quando feita de forma correta é importante, mas é um processo industrial e como tal ela mesma gera resíduos com impacto ambiental. A recuperação energética é das opções ambientalmente mais benéficas, sendo que em toda a Europa se faz recuperação energética de mais de 40 milhões de toneladas de resíduos por ano (Ferreira, 2010).

2.8. Incêndios em aterros

Os aterros em geral comportam uma elevada carga de risco de incêndio devido não só aos resíduos lá depositados como também à sua própria constituição (geomembranas impermeáveis, por exemplo, geotêxtil e PEAD).

Os resíduos depositados em aterro contêm várias substâncias prejudiciais ao ambiente, tais como: metais pesados (Hg, Pb, Cr, As, etc.), poluentes orgânicos persistentes, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, etc., que são provenientes de materiais como baterias, tintas usadas, material PVC, óleos e solventes, pesticidas, restos de madeiras, equipamentos eletrónicos, resíduos de construção e demolição, RSU. Todos estes poluentes são persistentes no ambiente, provocando efeitos adversos à saúde da população quando exposta a estes poluentes (Chrysikou et al., 2008).

A geração de calor em pilhas de resíduos pode ser resultado de reações de metais com água, da fermentação dos microrganismos, da auto oxidação dos materiais orgânicos e/ou do calor de fricção ou esmagamentos dos resíduos para os compactar. Esta geração de calor acumula e acelera o aumento de temperatura dentro do aterro e pode ser explicação para a acumulação de calor em aterro e até mesmo para uma possível auto ignição de um incêndio (Shimizu et al., 2009).

Segundo Ettala em 1996, numa investigação geofísica e geoquímica de possíveis incêndios em aterros, refere que um quinto dos aterros tem um ou mais incêndios, enquanto um quarto desses incêndios ocorre a uma profundidade superior a 2m. As causas desses incêndios podem ser faíscas de máquinas de trabalho no aterro, fogo posto, erro humano por parte dos operadores do aterro, material inflamável depositado no aterro ou apenas resultado de uma combustão espontânea, o que poderia ser dividido à geração de calor a partir de processos aeróbios após a intrusão de oxigénio para um aterro (Frid et al., 2009).

Segundo Ferreira, (2010) num estudo de avaliação de risco de incêndio em estações de tratamento, nos Estados Unidos são reportados cerca de 8400 incêndios em aterros, prevendo-se que este número represente menos de metade dos que na realidade acontecem porque na sua maioria são extintos pelos próprios funcionários dos aterros, sem que seja necessária a intervenção dos bombeiros. Cerca de 40% desses incêndios suspeita-se serem de origem criminosa, cerca de 20% dos incêndios por materiais descarregados nos aterros sem serem completamente extintos (por exemplo cigarros, cinzas, fósforos, etc.), e por fim cerca de 5% dos incêndios por causa espontânea. Os incêndios em aterros podem ser de dois tipos: incêndios de superfície e incêndios subterrâneos.

Os incêndios de superfície (figura 2.12) são caracterizados por queima de resíduos recentemente enterrados ou resíduos ainda não compactados, com uma profundidade entre os 0,3 e 1,2 m. Podem ser identificados através da emissão de uma nuvem densa de fumo branco e produtos de combustão incompleta (Frid et al., 2009; Ferreira, 2010). Quando existe queima de pneus e plásticos a temperatura da chama será um pouco mais elevada e a nuvem de fumo será negra.



Figura 2.12- Incêndio de superfície num aterro nos Estados Unidos, 2002.

Fonte: (<http://www.landfillfire.com/index.html>)

Incêndios subterrâneos (figura 2.13) ocorrem em resíduos que estão depositados abaixo da superfície, resíduos com meses ou até anos de deposição em aterro. Estes incêndios são normalmente detetados pela emanção de fumo numa parte do aterro ou pela presença de monóxido de carbono com uma concentração superior a 1000 ppm no gás de aterro. Podem também ser confirmados pelo abatimento substancial dos resíduos num curto espaço de tempo, aumento de temperatura do gás de aterro ou na combustão de resíduos na sua extração por furos. Os incêndios subterrâneos são mais complicados de extinguir que os incêndios de superfície podendo dar origem a grandes vazios no interior do aterro, provocando por vezes cavernas à superfície do mesmo.



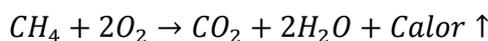
Figura 2.13- Incêndio subterrâneo num aterro nos Estados Unidos, 2002.

Fonte: (<http://www.landfillfire.com/index.html>)

A extinção de um incêndio de superfície será bastante mais simples que de um incêndio subterrâneo. A forma mais eficaz de extinguir um incêndio poderá ser escavando e extinguindo as massa de resíduos com água, assim sendo, um incêndio subterrâneo será mais complicado de

extinguir visto que extrair a massa de resíduos até chegar as massas em queima não será trabalho fácil para os operadores e/ou bombeiros (Oygard et al., 2005).

Segundo um estudo geofísico-geoquímico de possíveis incêndios em aterros (Frid et al., 2009), a composição do gás de aterro é um dos melhores indicadores do potencial de risco de incêndio num aterro. O gás gerado num aterro resulta da biodegradação dos resíduos e o seu conteúdo é influenciado pela composição dos resíduos e variáveis ambientais. A biodegradação dos resíduos gera essencialmente metano e dióxido de carbono, conhecido por biogás, do qual um aumento de concentração no aterro pode originar uma combustão espontânea dos resíduos. Se por algum motivo houver uma entrada de oxigénio no corpo de aterro pode aumentar bastante a temperatura no aterro. A equação 3.1 mostra a difusão de oxigénio num aterro e a libertação de calor.



Equação 3.1- Equação da difusão do oxigénio num aterro (Frid et al., 2009).

O gás de aterro também contém H₂S e CO gerados pela biodegradação dos resíduos, importantes na deteção de uma combustão espontânea dos resíduos. Estes gases são importantes para a deteção de uma combustão espontânea porque, se houver um aumento da sua concentração no gás de aterro combinado com uma quantidade de oxigénio suficiente poderá ocorrer combustão espontânea dos resíduos (Frid et al., 2009).

Segundo um estudo de um incêndio descontrolado no lixiviado de um aterro (Oygard et al., 2005), normalmente o lixiviado de um aterro tem uma cor castanho claro, um baixo nível de partículas, e um ligeiro odor a petróleo. Quando ocorre um incêndio num aterro que afeta o lixiviado, então este passa a ter uma cor bastante escura, um número de partículas elevado e um odor desagradável bastante forte. Em relação à análise química do lixiviado após a ignição do incêndio, segundo Oygard et al (2005), o pH e a condutividade aumentam e durante a extinção do incêndio o nível de COD e metais aumenta drasticamente em relação aos níveis normais. Estes níveis voltam a ter as suas características normais cerca de uma semana após a extinção do incêndio, exceto os níveis de COD e metais que levam cerca de um mês para estabilizar.

2.8.1. Registo de incêndios em aterros em Portugal

Em Portugal existem alguns registos de incêndios em aterros apesar de muito poucos terem sido noticiados, estes incêndios suspeita-se que na sua maioria tenham ocorrido por autoignição no interior do aterro durante as épocas mais quentes do ano aos fins-de-semana, visto que é a altura em que a vigilância do aterro está mais reduzida, normalmente apenas a um vigilante.

Em 2003 a TSF noticiou um incêndio no aterro de Vale de Minhaços no Seixal, este incendio terá ocorrido numa zona de deposição de lixos com cerca de 300m² e 7 a 8m de altura, não representado perigo par a população vizinha (TSF, 2003)

Em 2008 foi também noticia na TSF um incêndio no aterro de resíduos industriais banais da Mitrena, em Setúbal, sem propagação de chamas para as zonas envolventes ao aterros mas com algumas consequências ambientais, visto que desse incêndio emanava uma nuvem de fumo bem visível com uma distância de cerca de 10Km (TSF 2008).

Em 2010 deflagrou um incêndio de grandes dimensões no aterro de RSU da Chamusca destruindo várias toneladas de resíduos armazenados para reciclagem. Segundo o jornal “o mirante” foi um incêndio difícil de combater visto que existia no local material altamente inflamável que deu bastante celeridade às chamas (Semanal Omirante, 2010).

Ainda em 2010 existe um outro registo de um incêndio, este no aterro de Portalegre também este complicado de extinguir devido à elevada carga térmica existente no local. Segundo o administrador do aterro, as condições climatéricas das épocas mais quentes do ano são favoráveis a focos de incêndio nos aterros. Isto dever-se-á ao calor existente no ambiente que juntamente com os gases de biodegradação dos resíduos (biogás) podem muitas vezes gerar a autoignição de um incêndio (tvi 24,2010).

Em 2011 registou-se um incêndio no aterro de Loulé com difícil extinção devido á deposição feita neste aterro de toneladas de madeira e plástico de combustão lenta. As causas do incêndio não foram apuradas, suspeitando-se de uma autoignição dos resíduos (Sapo Noticias, 2011).

Em 2012 registou-se um incêndio no aterro de Vil de Matos em Coimbra, com difícil extinção devido ao incêndio ter deflagrado em materiais essencialmente plásticos e de combustão lenta. Segundo Alberto Santos, responsável da ERSUC, o incêndio deflagrou por autocombustão tendo sido descarregada terra sobre o material para a extinção por falta de oxigénio neste incêndio (Diário de Coimbra, 2012).

2.9. Impacte Ambiental de incêndios em aterros

Segundo um estudo efetuado sobre poluição de poluentes orgânicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no solo e vegetação após um incêndio de grande escala num aterro no norte da Grécia, realizado por Chrysikou et al (2008), os resíduos urbanos podem conter varias substâncias perigosas, que uma vez libertados para o meio ambiente descontroladamente podem causar bastantes danos no meio ambiente e na saúde pública. Os incêndios em aterros na Grécia são frequentes, maioritariamente durante o verão, o que provoca uma grande libertação de poluentes para o meio ambiente, quer para a atmosfera, quer para os solos e meios hídricos que pode

provocar danos ao nível do ambiente, cadeia alimentar e consequentemente efeitos nocivos para saúde da população circundante a um local onde ocorra um incêndio de grande escala num aterro. De acordo com o estudo de Chrysikou et al (2008), está um estudo sobre revisão das práticas de gestão de resíduos e o seu impacto na saúde humana, realizado por Giusti em 2009 que nos diz que as principais vias de exposição aos poluentes libertados pelos resíduos são a inalação devido a emissões dos aterros e incineradores, ao consumo de água que pode estar contaminada pelo lixiviado do aterro ou a consumo de alimentos que contenham bactérias ou substâncias química libertadas por aterros e incineradores. Desta forma, se por algum motivo deflagrar um incêndio num aterro, a quantidade de poluentes emitidos para o ambiente é descontrolada, podendo causar bastantes problemas não só a nível de poluição atmosférica mas também a nível de poluição do solo e meios hídricos, caso o incêndio afete a camada de impermeabilização. Ainda em concordância com este estudo, a libertação de poluentes para o ambiente pode causar lesões graves na saúde pública, tais como um aumento de deficiências à nascença e cancro.

De acordo com um estudo sobre estratégias de redução de emissões de carbono para uma melhor gestão de resíduos, realizado em África (Couth e Trois, 2010), conclui-se que o metano produzido em aterros contribui com cerca de 3-4% para o efeito de estufa. Desta forma, verifica-se que a deposição de resíduos em aterro ainda é a opção de tratamento de resíduos com maiores emissões de carbono para o ambiente, mesmo que esses aterros tenham captura de biogás.

Segundo um estudo de contaminação por dioxina e furanos após um incêndio num aterro na Grécia (Vassiliadou et al., 2009), compostos de PCDD e PCDF são subprodutos não intencionais de processos tecnológicos e de fontes não industriais, mas nunca produzidos com fim comercial. Estes compostos são formados durante a combustão incompleta de materiais orgânicos na presença de cloro, sendo as suas principais fontes de emissões globais anuais não industriais, incêndios em aterros ou queima de resíduos em “barril de quintal”. De acordo com o estudo realizado por Vassiliadou et al (2009), um estudo sobre libertação de dioxinas e furanos num incêndio num aterro de resíduos municipais na Finlândia realizado por Ruokijarvi et al (1995), existem poucos relatos de incêndios em aterros, mas estima-se que ocorram cerca de 380 fogos por ano em aterros finlandeses e que a quantidade de PCDD's/PCDF's emitida durante um incêndio num aterro é estimada em cerca de 50-70 g (TE, Nordic)/ano. Neste estudo, examinaram as concentrações e os diferentes tipos de dioxinas e furanos no ar depois de dois incêndios em aterro, um provocado e outro natural. Após a análise das várias amostras retiradas no terreno e nas imediações do aterro, concluíram que durante os dois tipos de incêndios as concentrações de dioxinas e furanos no ar no aterro e nas suas imediações eram altas e excediam os valores limites de $3,65 \times 10^{-8}$ (g/ (m³.ano)) (Decreto-lei n.º 85/2005, de 28 de abril) até mesmo para instalações de inceneração em muitos países. As amostras de resíduos retirados do local em análise após o incêndio tinham concentrações de PCDD/PCDF baixas, e os perfis eram semelhantes aos das amostras de resíduos domésticos. As maiores concentrações de PCDD/PCDF foram detetadas

cerca de 1-3m acima do centro do incêndio. Desta forma, recomenda-se proteção para os trabalhadores de um aterro durante um incêndio.

De acordo com Martens et al (1997), que efetuou um estudo sobre o impacte ambiental da combustão não controlada de resíduos, a libertação de poluentes num incêndio em resíduos é inevitável e estes são facilmente detetados na nuvem de fumo que emana desse incêndio. Todos os poluentes emitidos para o ar durante um incêndio num aterro de resíduos sólidos sofrem processos físicos, químicos ou fotoquímicos sendo depois repostos na superfície terrestre sob a forma de chuvas, neve ou nevoeiro. As concentrações destes poluentes são encontradas em quantidades muito elevadas nas proximidades do aterro onde ocorre o incêndio, diminuindo depois exponencialmente à medida que aumenta a distância do local onde ocorreu o incêndio.

Por fim, de acordo com Cram et al (2006) que efetuou um estudo sobre vegetação a implantar em aterros no México, conclui-se que existem alguns tipos de vegetação adequada para aterros, sendo elas: pastagens climáticas, arbustos, chaparros, árvores de floresta e terra estéril.

3. MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO

Os métodos de análise de risco de incêndio têm como objetivo avaliar as consequências resultantes de diferentes cenários de incêndio, sendo a segurança contra incêndio considerada suficiente quando o risco de incêndio presente não ultrapasse aquele que se considera admissível para uma dada situação.

Não existe ainda um método perfeito para a identificação de risco de incêndio, pelo que se deverá combinar vários métodos para assim se ter a maior quantidade de informação possível.

3.1. Método de Gretener

O Método de Gretener foi desenvolvido pelo Engenheiro suíço Max Gretener na década de 60, este método permite avaliar quantitativamente o risco de incêndio em edifícios (Lemos et al., 2004). Segundo este método, o risco de incêndio efetivo (R) é o produto do valor do fator de exposição ao perigo (B) pelo valor do fator de perigo de ativação (A), sendo que o fator de perigo de exposição é definido pelo produto de todos os fatores de perigo (P), dividido pelo produto de todos os fatores de proteção (M), de acordo com a expressão (1):

$$R = B \times A = \frac{P}{M} \times A = \frac{P}{N \times S \times F} \times A \quad (1)$$

Os fatores de perigo abrangem não só os perigos inerentes ao conteúdo como a carga de incêndio mobiliária (q), a combustibilidade (c), a formação de fumo (f) e o perigo de corrosão/toxicidade (k), mas também os perigos inerentes ao próprio edifício como a carga de incêndio imobiliária (i), o nível do andar/altura local (e) e a amplitude dos comprimentos (g). Assim sendo, o perigo potencial (P) pode ser definido pela expressão (2):

$$P = q \times c \times f \times k \times i \times e \times g \quad (2)$$

As medidas de proteção (M) subdividem-se em três classes, sendo elas:

- ✓ Medidas normais (N), onde podemos incluir os extintores, os hidrantes, a fiabilidade do sistema de adução de água, o cumprimento da conduta e a formação do pessoal;
- ✓ Medidas especiais (S), incluindo a deteção e transmissão do alarme, o tipo de brigadas de intervenção, os sistemas de extinção e as instalações de evacuação de calor e fumo;

- ✓ Medidas construtivas (F) baseadas na resistência ao fogo dos distintos componentes do edifício.

O fator de perigo de ativação quantifica a probabilidade de ocorrer ou não um incêndio, e é definido pela avaliação de fontes cuja energia calorífica ou de ignição capaz de desencadear um processo de combustão. Este fator de perigo resulta de fatores relacionados com a exploração/atividade e com fatores humanos.

À semelhança da maioria dos métodos de aproximação por índice, os valores destes fatores individuais não são baseados em estatísticas mas são uma figura empírica resultante da comparação das análises de risco de incêndio para as quais as medidas de segurança de incêndio são mais comuns ou exigidas por lei. Desta forma, o método de Gretener aconselha como valor aceitável de risco de incêndio (R_u) a multiplicação do valor normal de risco (R_n), fixado em 1,3, por um fator de correção (P_{HE}) levando em conta um maior ou menor perigo para os ocupantes. A prova de segurança contra o risco de incêndio (γ) é realizada através da comparação entre o risco de incêndio efetivo (R) e o risco de incêndio admissível (R_u), em concordância com a expressão (3):

$$\gamma = \frac{R_u}{R} = \frac{R_n \times P_{HE}}{R} = \frac{1,3 \times P_{HE}}{R} \quad (3)$$

A segurança contra o incêndio é aceitável quando $\gamma > 1$, isto é, quando o risco de incêndio efetivo é menor que o risco de incêndio admissível. Se acontecer o contrário, $\gamma < 1$, o local de incêndio analisado estará em perigo, sendo necessário reformular os conceitos de proteção desse local. Para que isso aconteça deve-se começar por reformular as medidas de proteção normais que asseguram os custos de implementação mais baixos, de seguida e se necessário, uma melhoria das medidas especiais que sendo mais eficazes exibem custos mais altos. Finalmente, se ainda não for suficiente a reformulação destas medidas dever-se-ão reformular as medidas construtivas.

3.2. Método de F.R.A.M.E.

O método de F.R.A.M.E. foi desenvolvido através do método de Gretener, e tem como objetivo a avaliação de risco de incêndio para edifícios e seu conteúdo e também para os seus ocupantes e atividades (Smet, 1999).

O risco de incêndio (R) é definido pelo método de F.R.A.M.E. como sendo o quociente entre o risco potencial (P) e o produto do risco aceitável (A) pelo nível de proteção (D), tal como podemos verificar na expressão (4):

$$R = \frac{P}{A \times D} \quad (4)$$

Assim sendo, esta expressão aplica-se no cálculo de riscos de edifícios (R), para os ocupantes (R_1) e para as atividades (R_2), sendo que o risco potencial, risco aceitável e nível de proteção têm valores diferentes para cada um dos cálculos.

Na determinação do risco de incêndio para o edifício e para o seu conteúdo (R), o risco potencial (P) tem em consideração a carga calorífica, fator de propagação, geometria horizontal, ventilação do edifício, número de andares e acessibilidade. O risco aceitável (A) está definido com um valor máximo de 1,6 subtraído do fator de ativação, do fator de evacuação e do fator conteúdo. O nível de proteção (P) reúne o fator de recursos de água, fator de proteção especial e fator de resistência a incêndio.

No cálculo do risco de incêndio para os ocupantes (R_1), o risco potencial (P_1) tem em conta a carga calorífica, o fator de propagação, os andares, a ventilação e a acessibilidade. O risco aceitável (A_1) é consequência da subtração do fator de ativação, do fator de evacuação e do fator ambiental com valor máximo de 1,6. O nível de proteção dos ocupantes (D_1), é definido como sendo o produto do fator de proteção normal e o fator de fuga.

Para calcular o risco de incêndio para a atividade (R_2), o risco potencial (P_2) define-se como sendo o produto entre o fator de propagação, o fator de geometria horizontal, o fator dos andares, o fator de ventilação e o fator de acessibilidade. O risco admissível para a atividade (A_2) é resultado da subtração do fator de ativação, fator de conteúdo e do fator de dependência, tendo um valor máximo de 1,6. O nível de proteção da atividade (D_2) resulta do produto do fator recursos de água com o fator de proteção normal, proteção especial e fator de salvaguarda.

Desta forma, um edifício está bem protegido contra incêndios se os valores dos riscos para o edifício e seu conteúdo (R), ocupantes (R_1) e atividade (R_2) forem iguais ou inferiores a 1.

O método de F.R.A.M.E. considera a medida de segurança ativa mais adequada através do fator de risco inicial (R_0), que pode ser definido pelo quociente entre o risco potencial (P) e o produto entre o risco aceitável (A) e o fator de resistência estrutural ao fogo (F_0) como podemos verificar na expressão (5):

$$R_0 = \frac{P}{A \times F_0} \quad (5)$$

Se $R_0 < 1$, então será suficiente para garantir a proteção do edifício e seu conteúdo um sistema de proteção contra incêndio que contenha meios de combate a incêndio manuais apoiados por uma brigada de incêndio pública. Se $1 < R_0 < 1,6$ deve-se instalar um sistema automático de deteção de incêndios para que seja possível um alerta precoce combinado com uma resposta imediata por parte das brigadas de incêndio. Se $1,6 < R_0 < 4,5$, então deverá instalar-se sprinklers e melhorar a fiabilidade dos recursos de água. Se $R_0 > 4,5$ será pouco provável ter uma proteção contra

incêndios adequada, sendo necessário adotar medidas de prevenção de modo a minimizar o risco de incêndio. Este risco de incêndio inicial (R0) elevado poderá ser resultado da junção de um edifício de grandes dimensões, uma elevada carga de incêndio e várias fontes de incêndio.

3.3. Método Hierárquico

O desenvolvimento do método hierárquico como método qualitativo foi inicialmente realizado na Universidade de Edimburgo (Curtat et al, 2005). A hierarquia de base do método hierárquico é representada na figura 3.1, na qual podemos estruturar os níveis da seguinte forma, do topo para a base:

- ✓ Política (P);
- ✓ Objetivos (O);
- ✓ Estratégias (E);
- ✓ Medidas (M).

Cada componente de um dado nível recebe determinados valores de acordo com a influência relativa a todos os componentes do nível inferior.

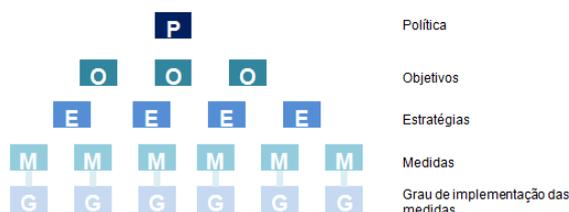


Figura 3.1- Estrutura da rede hierárquica.

De seguida deve-se definir a importância dos parâmetros de cada nível sobre os parâmetros do nível acima. Esta importância dos parâmetros será efetuada da seguinte forma:

- ✓ Sem importância = 0 pontos;
- ✓ Muito pouca importância =1 ponto;
- ✓ Pouca importância =3 pontos;
- ✓ Importância média =5 pontos;
- ✓ Importância forte =7 pontos;
- ✓ Importância total =9 pontos.

Ainda segundo Curtat et al (2005), a indexação é uma forma de análise de decisão multi atributo da qual resulta a pontuação acumulada de atributos positivos e negativos de um sistema, que contribuem para um objetivo geral de uma área ou determinado assunto específico. Na análise de risco de incêndio, essa avaliação multi-atributo é geralmente referida como um índice de risco, onde a sua eficácia é determinada com base na expressão (6):

$$E(P) = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^{19} O(i) \times E(ji) \times M(kj) \times G(k) \quad (6)$$

Os vários níveis e respetivos elementos de hierarquia devem ser os seguintes:

- ✓ Políticas: P- Reduzir o risco de incêndio;
- ✓ Objetivos: O1- Proteger os ocupantes; O2- Proteger os bombeiros; O3- Proteger a instalação; O4- Proteger o conteúdo da instalação; O5- Salvar a continuidade da atividade; O6- Proteger o ambiente;
- ✓ Estratégias: E1- Reduzir a probabilidade de início do incêndio; E2- Limitar o desenvolvimento/propagação do incêndio; E3- Facilitar a evacuação; E4- Facilitar as operações de combate e de resgate; E5- Limitar o efeito dos produtos do incêndio;
- ✓ Medidas: M1- Controlo das características de reação ao fogo dos materiais de construção da instalação; M2- Resistência ao fogo da estrutura; M3- Resistência ao fogo no interior da estrutura, ou seja, tentar evitar a propagação entre compartimentos distintos; M4- tamanho dos compartimentos, de forma a minimizar as consequências do incêndio e a facilitar as operações de combate ao mesmo; M5- Características de localização das aberturas nas fachadas, para limitar a propagação do fogo entre pisos; M6- Distância entre edifícios, para limitar a propagação do incêndio; M7- Geometria dos caminhos de evacuação; M8- Acesso dos bombeiros para combate do incêndio; M9- Meios de deteção de incêndio; M10- Meios de combate a incêndio; M11- Controlo de fumos para manter os caminhos de evacuação livres de fumos; M12- Sinais de alarme e emergência para avisar os ocupantes da existência de um incêndio; M13- Brigada de bombeiros da instalação para combater o incêndio o mais cedo possível; M14- Brigada de bombeiros da região; M15- Manutenção dos sistemas de segurança de incêndio; M16- Educação para a segurança em incêndio; M17- Planeamento e treino de emergência; M18- Manutenção e vigilância; M19- Inspeções periódicas.

Uma vez definidas as medidas de segurança contra incêndio, os custos associados deverão ser avaliados para que se possa verificar a aceitabilidade da solução.

3.4. Árvore de Acontecimentos

Uma árvore de acontecimentos é um método quantitativo racional na análise de risco de incêndio, constituída por um diagrama lógico e é usada para mostrar a sequência de eventos envolvidos na ignição, no desenvolvimento, controlo do incêndio, e no percurso de evacuação.

A análise de risco de incêndio através da árvore de acontecimentos inicia-se pela identificação do evento inicial, seguida da construção da árvore de acontecimentos, a estimativa da probabilidade condicional de cada rama da árvore de acontecimentos e a análise dos resultados.

Em cada ramificação da árvore de acontecimentos podem suceder várias alternativas. Todas as alternativas em cada ponto de ramificação afetam as ramificações seguintes da árvore de acontecimentos. Esta árvore estrutura vários cenários possíveis o que leva a questões que devem ser identificadas na análise: O que pode acontecer?; Qual a probabilidade de cada cenário?; Quais as consequências de cada cenário? (Neves, 2005)

3.5. Árvore de Falhas

A análise por árvore de falhas foi desenvolvida pelos Engenheiros do laboratório da Bell Telephone Company em 1962 e tem vindo a receber melhoras contínuas na sua análise. A análise por árvore de falhas tem como objetivo verificar a fiabilidade de um projeto, identificando as combinações das falhas nos equipamentos ou componentes de um sistema ou até mesmo erros humanos, dos quais podem resultar acidentes. Esta técnica tem sido bastante utilizada em análise de risco, visto que permite obter resultados tanto qualitativos como quantitativos. A técnica de análise de árvore de falhas tem cinco etapas, sendo elas:

- ✓ Escolha do evento não desejado a ser analisado. Definir a configuração do sistema, módulo, ciclo de vida e ambiente do objetivo em estudo;
- ✓ Obter informações, desenhos e qualquer outro tipo de informação disponível para ter um bom conhecimento do sistema a ser analisado;
- ✓ Construção do diagrama lógico da árvore de falhas, que começa com um “acontecimento de topo”, passando por acontecimentos intermédios e termina nos acontecimentos básicos;
- ✓ Avaliação do diagrama lógico construído;
- ✓ Preparação de um resumo de conclusões da análise da árvore de falhas.

A análise por árvore de falhas também tem algumas limitações (Rodrigues, 2008), tais como:

- ✓ A Interação entre conceitos não é bem conseguida neste tipo de árvores, sobretudo as entradas com mais que uma estratégia;
- ✓ Problemas com a sequência cronológica dos eventos;
- ✓ Os objetivos múltiplos são difíceis de tratar neste tipo de árvores.

3.6. Software Effects

O software Effects, foi desenvolvido pela *TNO Department of industrial & External safety* para ajudar na análise de segurança das indústrias químicas ou petroquímicas (TNO, 2012). O software Effects possibilita a execução de cálculos para prever efeitos físicos (concentrações de gases, níveis de radiação de calor, etc...) da libertação accidental de materiais perigosos, sendo os resultados deste software apresentados sob forma gráfica ou textual. Este software encontra-se ainda equipado com um sistema de informação geográfica interno que permite apresentar os resultados em termos de efeitos e consequências situados num mapa. Estes resultados, em termos

de efeitos (pressão e calor radiante) e consequências (danos estruturais e letalidade), ajudam os profissionais da segurança na identificação de perigos, análise de risco quantitativa, análise de segurança e no planeamento de emergência.

O software Effects é constituído por vários modelos de cálculo, baseados no “*Yellow Book*” e “*Green Book*”, para acidentes provenientes do armazenamento e transporte de produtos tóxicos e/ou inflamáveis. Os modelos disponíveis são:

- ✓ Derrame (release);
- ✓ Evaporação (pool evaporation);
- ✓ BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion);
- ✓ Incêndios (pool fire, jet fire);
- ✓ Explosão (explosion);
- ✓ Dispersão (dispersion);
- ✓ Danos (damage).

Segundo Bosch e Weterings (2005), neste software podemos ainda recorrer a modelos combinados, com uma combinação predefinida dos diferentes modelos internamente ligados, proporcionando um cálculo automático de todas as consequências possíveis para a libertação de substâncias perigosas.

As chamas resultantes de incêndios de hidrocarbonetos contêm produtos de altas temperaturas de combustão (800 a 1600K), importantes para a determinação do fluxo de calor. A energia contida na chama de um incêndio deste tipo pode ser transferida para o meio ambiente através de radiação, convecção ou condução de calor. A energia da superfície emissiva é o fluxo de calor devido à energia de radiação na área de superfície em chama. O poder emissivo de superfície pode ser calculado de acordo com a equação de Stefan-Boltzmann (expressão 6).

$$SEP = \varepsilon \times \sigma \times (T_f^4 - T_a^4), \quad se \ 0 < \varepsilon < 1 \quad (6)$$

Sendo:

- ✓ SEP- Poder emissivo de superfície (J/m².s);
- ✓ ε - Emissividade;
- ✓ σ - Constante de Stefan-Boltzmann ($5,6703 \times 10^{-8} \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{T}^4)$);
- ✓ T_f -Temperatura de radiação da superfície em chama;
- ✓ T_a -Temperatura ambiente.

Se $\varepsilon = 1$, calcula-se o poder emissivo de superfície máximo ($SEP_{m\acute{a}x}$), onde a temperatura da chama é difícil de ser determinada, visto que não é homogénea ao longo da superfície em chama.

Isto significa que a equação de Stefan-Boltzmann tem uso limitado para o cálculo do poder emissivo de superfície.

As chamas de um incêndio não emitem radiação através da sua área de superfície, mas sim o fluxo de calor emitido varia com a distância ao longo da qual ocorre emissão de calor. Este calor emitido que atravessa a superfície da chama vem dos produtos de combustão gasosos, do vapor de combustível e da sujidade que vem do interior do incêndio. Assim sendo, o poder emissivo de superfície teórico (SEP_{theor}) pode ser calculado a partir da energia gerada por combustão, ou seja, com base na taxa de combustão, no calor de combustão e na área de superfície de chama. O poder emissivo de superfície máximo ($SEP_{máx}$) calcula-se a partir do poder emissivo de superfície teórico (SEP_{theor}) e a fração do calor emitido através da superfície da chama, sendo necessário calcular um valor para a fração de radiação (F_s), de acordo com a expressão (7) e (8).

$$SEP_{theor} = Q' / A \quad (7)$$

Sendo:

- ✓ SEP_{theor} - Poder emissivo de superfície teórico ($J/m^2.s$);
- ✓ Q' - Energia de combustão por segundo (J/s);
- ✓ A - Área da superfície em chama (m^2).

$$SEP_{máx} = F_s \times SEP_{theor} \quad (8)$$

Sendo:

- ✓ F_s - Fração da energia de combustão emitida a partir da superfície da chama;
- ✓ SEP_{theor} - Poder emissivo de superfície teórico ($J/m^2.s$).

O fator F_s , na expressão (8), dá-nos a fração de calor gerado durante o incêndio, que é emitido pela superfície da chama sob a forma de radiação de calor. Essa fração de calor gerado é diferente de incêndio para incêndio, tal como a chama, que dependem do tipo de material em combustão.

O fluxo de calor de um incêndio em função da distância pode ser calculado através da relação entre o poder emissivo de superfície, a fração da energia emitida através da chama e a transmissividade atmosférica, tal como se pode ver na expressão (9).

$$q'' = SEP_{real} \times F_s \times \tau_a \quad (9)$$

Sendo:

- ✓ SEP_{real} - Poder emissivo de superfície em tempo real ($J/m^2.s$);
- ✓ F_s - Fração da energia de combustão emitida a partir da superfície da chama;

- ✓ τ_a - Transmissividade atmosférica.

Segundo Bosch e Weterings (2005), um incêndio numa “piscina de terra”, ou seja, um incêndio em materiais combustíveis armazenados em terra, pode ser definido como fogo de difusão turbulenta acima do plano horizontal do local de armazenamento em terra de materiais combustíveis vaporizando o material inflamável sob condições de muito baixo impulso inicial. Uma característica fundamental deste tipo de incêndios é que existe um grau de feedback entre o fogo e o material inflamável, onde existe transferência de calor que influencia mas não controla a taxa de evaporação, o diâmetro em combustão e as outras características do incêndio.

Na prática é muito complicado determinar as verdadeiras dimensões de um incêndio em “piscina de terra”, desta forma tenta-se calcular um diâmetro de incêndio equivalente, de acordo com a expressão seguinte (10):

$$D = 4 \times A_p / S_p \quad (10)$$

Sendo:

- ✓ D- Diâmetro de incêndio equivalente (m);
- ✓ A_p -Área de superfície em fogo (m^2);
- ✓ S_p - Perímetro da superfície em fogo (m).

O fluxo de calor a partir do ponto de emissão em função da distância é quase exato para uma distância cinco vezes superior ao diâmetro da “piscina de terra”, e pode ser determinada de acordo com a expressão (11).

$$q'' = F_s \times m'_h \times \frac{\Delta H_c}{4\pi x^2} \quad (11)$$

Sendo:

- ✓ q'' - Fluxo de calor ($J/m^2 \cdot s$);
- ✓ F_s - Fração da energia de combustão emitida a partir da superfície da chama;
- ✓ m'_h -Taxa de combustão dos materiais (Kg/s);
- ✓ ΔH_c - Calor de combustão (J/Kg);
- ✓ x - Distância da fonte de calor ao recetor mais próximo ou em estudo (m).

Segundo Bosch e Weterings (2005), a inclinação da chama será sempre na direção do vento com um determinado ângulo θ . Devido à influência do vento a equação de Thomas (expressão 12) toma os valores do quadro 4.1.

$$\cos(\theta) = e' \times (u^*)^{f'} \quad (12)$$

Sendo:

- ✓ u^* - Velocidade escalar do vento (m/s).

Quadro 3.1- Valores dos parâmetros da fórmula de Thomas para o cálculo da inclinação da chama.

	e'	f'
Chama em forma de cone	0.87	-0.272
Chama em forma de cilindro	0.86	-0.25
Chama de grandes dimensões	1	-0,5

3.6.1. Interface do software Effects

Quando o software é iniciado pela primeira vez a tela da sua interface aparecerá vazia. Depois de introduzidos os *input* poder-se-á ver a interface relativa aos *input* inseridos e ao modelo escolhido para execução (figura 3.2).

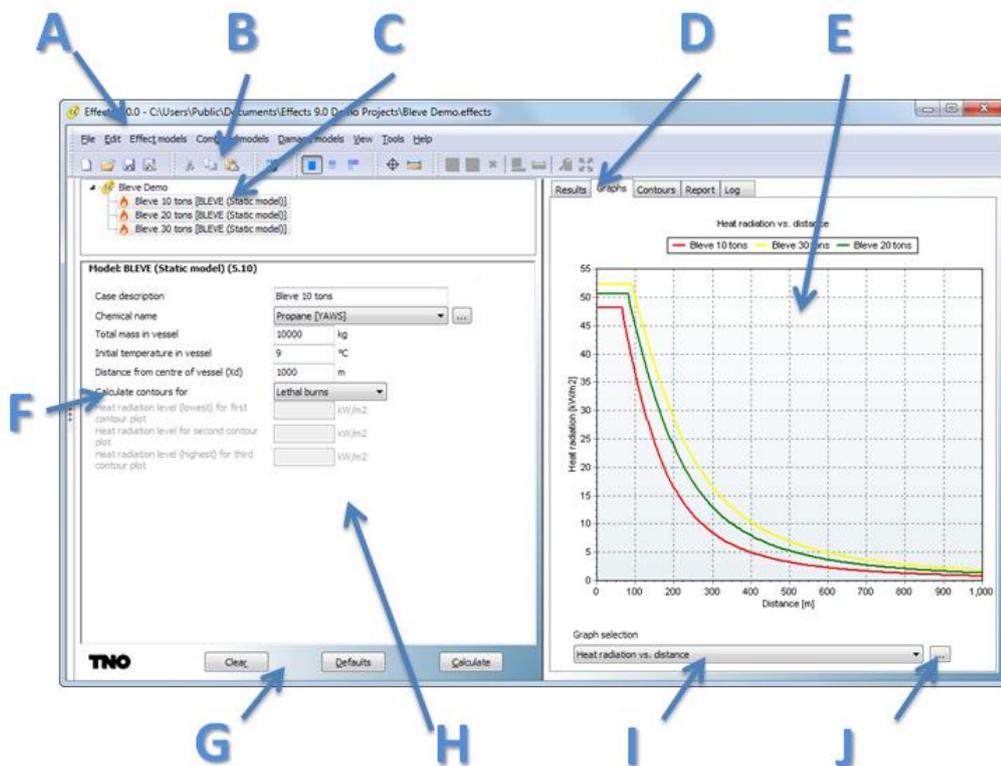


Figura 3.2- Janela de interface do software Effects.

Através da barra de menus do software (figura 3.2, letra A) pode-se controlar as principais funções do software. Com recurso ao menu “*File*” pode-se aceder a opções como criar um novo projeto, abrir, reabrir um projeto, fechar e guardar um projeto. O menu “*Edit*” contém opções para cortar, colar e copiar. No menu “*Efectt models*” pode-se escolher o modelo a executar, referidos anteriormente, sendo eles:

- ✓ Derrame (release);
- ✓ Evaporação (pool evaporation);
- ✓ BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion);
- ✓ Incêndios (pool fire, jet fire);
- ✓ Explosão (explosion);
- ✓ Dispersão (dispersion);
- ✓ Danos (damage).

No menu “*Combined models*” pode-se combinar vários modelos para uma simulação em simultâneo dos mesmos. Recorrendo ao menu “*Damage*” pode-se prever consequências para a população e estruturas resultantes de explosões, do calor de radiação e da toxicidade dos poluentes libertados. O menu “*View*” permite ativar ou desativar menus da barra de ferramentas. Através do menu “*Tools*” pode-se calcular massas e volumes de poluentes, mortalidade e conversões de unidades. Finalmente o menu “*Help*” contém ajuda para qualquer duvida que surja do funcionamento do software.

A barra de ferramentas do software (figura 3.2, letra B) contém ícones para acesso rápido às funções mais comuns do software e divide-se em vários grupos. O primeiro grupo destina-se a funções como: abrir um novo projeto, abrir um projeto arquivado e guardar um projeto. O segundo grupo contém ferramentas para cortar, colar e copiar determinado projeto ou parte dele. O quarto grupo (figura 3.5) refere-se aos ícones de complexidade dos dados de entrada na simulação, ou seja, quanto mais se avança no nível de complexidade (modo simples, normal e expert, respetivamente) mais dados são necessários introduzir para poder executar o projeto. Por fim no sexto grupo (figura 3.6) pode-se encontrar ícones para carregar uma imagem de fundo para os resultados, inserir uma grade de visualização sobre os contornos dos resultados, mostrar o ponto de libertação, georreferenciar a imagem de fundo ou os contornos e medir distâncias a objetos da imagem de fundo.



Figura 3.3- Quarto grupo da barra de ferramentas do Software Effects.



Figura 3.4- Sexto grupo da barra de ferramentas do Software Effects.

A árvore de navegação do modelo (figura 3.2, letra C), contém a lista de todos os modelos que fazem parte de determinado projeto. A primeira linha mostra o nome do modelo usado no projeto, enquanto que as restantes linhas mostram o que o usuário lá escrever, normalmente o nome ou massa do poluente libertado. Um modelo também pode ser vinculado a um modelo anterior, apresentando-se assim descrito a azul na árvore de navegação do modelo. Os modelos com *inputs* incompletos ou errados são legendados a vermelho como sinal de alerta para o utilizador.

No painel de resultados (figura 3.2, letra D) pode-se ver uma lista de todos os parâmetros de resultados, os resultados em forma de gráfico e o relatório de entrada de dados no projeto. Relativamente aos gráficos apresentados pelo software (figura 3.2, letra E), dependendo do modelo, estes gráficos apresentam o tempo ou distância em função de um parâmetro de resultados (por exemplo, calor de radiação ou queimaduras letais).

A caixa de seleção de contornos (figura 3.2, letra F), é o local onde se pode escolher entre resultados de queimaduras letais ou de danos físicos.

O painel de comando (figura 3.2, letra G) permite ao utilizador remover os dados de entrada no projeto, dar dados de entrada padrão memorizados para cada modelo pelo próprio software ou executar o modelo escolhido.

O painel de dados de entrada do projeto (figura 3.2, letra H) é o local onde se inserem todos os dados de entrada pedidos pelo software para calcular determinado modelo.

A caixa de seleção de gráfico (figura 3.2, letra I) é o local onde se pode escolher os diferentes tipos de gráfico que o software dá como resultado.

Por fim para ver os vários gráficos de resultados sobrepostos, seleciona-se o ícone que se mostra na figura 3.2, letra J.

4. CASO DE ESTUDO NUM ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS BANAIS

4.1. Enquadramento

Neste estudo realizou-se a análise de risco de incêndio de um aterro de RIB, que foi projetado para ser construído na antiga pedreira de Maiorca (figura 4.1 e 4.2) na freguesia de Maiorca, concelho de Figueira da Foz.

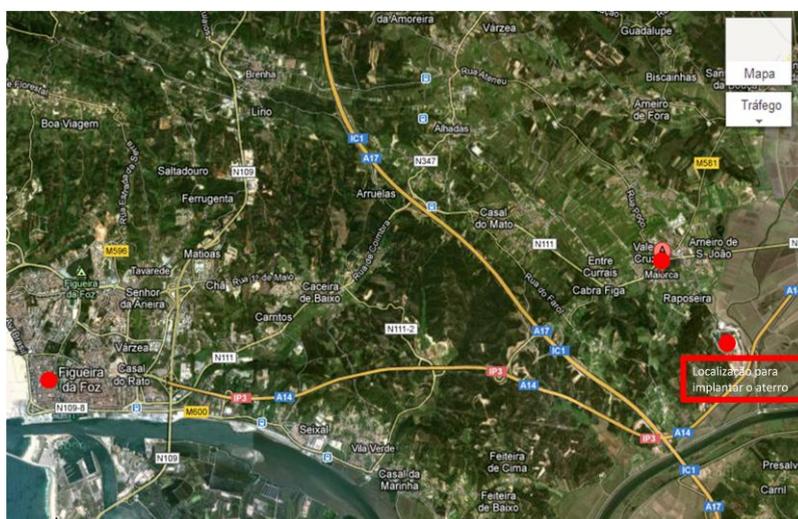


Figura 4.1- Localização da antiga Pedreira de Maiorca, local estudado para a implantação de um aterro de RIB.

Fonte: Google Earth



Figura 4.2- Antiga pedreira de Maiorca, Figueira da Foz.

4.1.1. Caracterização do local

Para caracterizar o local onde se pretendia implantar o aterro de RIB foram analisados dados geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos e meteorológicos. Desta forma, a área em estudo situa-se numa antiga exploração de calcários (figura 4.3), localizada do lado norte da cintura de relevos que norteiam a cidade da Figueira da Foz e o vale baixo do Rio Mondego (Reis, 2001).



Figura 4.3- Exploração de calcário na antiga pedreira de Maiorca, Figueira da Foz.

Este local está inserido em terrenos jurássicos que se apresentam em estruturas monoclinais e fazem a metade norte das Serras da Boa Viagem e das Alhadas. As principais famílias de fraturas tectónicas que afetam a região onde está inserida a área em estudo são:

- ✓ Fraturas de orientação NE-SW;
- ✓ Fraturas de orientação NW-SE.

O acidente tectónico cartografado mais próximo do local de implantação do aterro, está situado a cerca de 2Km a norte de Maiorca e cerca de 3Km a norte do local em estudo, apresentando orientação próxima de NW-SE e sendo responsável pelo contato dos terrenos do Jurássico inferior que fazem a base da série monoclinal anteriormente referida com os terrenos cretácicos aflorantes mais a norte.

O local estudado pertence à Bacia Hidrográfica do Baixo Mondego, tendo toda a drenagem de superfície direccionada para a Vala de Cimonte e para o Rio de Foja, afluentes do Rio Mondego.

Em termos de hidrogeologia, os aluviões que fazem o enchimento do vale do Baixo Mondego constituem o aquífero da região em estudo, embora não afete diretamente o local de implantação do aterro. O nível de água freática do local em estudo ronda a cota 2.

As formações jurássicas constituídas por arenitos, argilas, margas, calcários margosos e calcários compactos, apresentam no seu conjunto permeabilidade reduzida, estabelecida principalmente por meio de fissuração.

Em relação à sismicidade do local, conclui-se que este se insere na zona C, atribuída a regiões com sismicidade baixa a moderada, definida pelo regulamento de Segurança e Ações Sísmicas, para estruturas, edifícios e pontes (Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de maio), para a qual se atribuí um valor de coeficiente de sismicidade de $\alpha = 0,5$, indicando um risco sísmico médio a reduzido.

Após a análise dos dados relativos à direção do vento na estação meteorológica de Casal do Rato, Figueira da Foz, a estação mais próxima do local em estudo, verifica-se que o vento sopra normalmente do quadrante noroeste entre abril e outubro e de sudeste os demais meses do ano. A velocidade do vento, com base na informação dada pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), analisou-se que no período de 01/06/2000 a 29/10/2012 a direção e velocidade máxima atingida pelo vento esteve de acordo com o quadro 4.1 que se segue:

Quadro 4.1- Direção e velocidade máxima do vento na estação meteorológica de Casal do Rato, Figueira da Foz.

	N	NW	NE	S	SW	SE
Velocidade do vento (m/s)	10,8	22,2	4,7	13,8	18,1	16,5

Relativamente à temperatura da zona em estudo, verificou-se que a temperatura média anual na zona de Maiorca, Figueira da Foz, ronda os 14,3°C com uma temperatura máxima atingida no ano de 2012 de 39,5°C.

4.2. Constituição do Aterro

O Aterro em estudo pretendia-se implantar numa antiga pedreira com uma área total de 6,2ha (62000m²), sendo que a célula de deposição de resíduos iria ocupar 3,49ha (34900m²) com uma capacidade de deposição de 48000ton/ano durante os 15 anos de período de vida útil.

4.2.1. Impermeabilização de fundo

A base e os taludes das células seriam impermeabilizados de forma a garantir as condições de estanquidade e preservação dos recursos geológicos e geohidrológicos.

Desta forma, a base seria composta, de baixo para cima, por:

- ✓ Geocompósito bentonítico ($K < 1,2 \times 10^{-11} \text{ m/s}$);
- ✓ Geomembrana de PEAD com 2mm de espessura;
- ✓ Geotêxtil de 270g/m^2 ;
- ✓ Camada mineral permeável com 0,5m de espessura, constituída por 0,1m de areia na base e 0,4m de brita 5/15 no topo.

Os taludes seriam compostos por:

- ✓ Geocompósito bentonítico ($K < 1,2 \times 10^{-11} \text{ m/s}$);
- ✓ Geomembrana de PEAD com 2mm de espessura;
- ✓ Geotêxtil de 270g/m^2 ;
- ✓ Geocompósito de drenagem com geotêxtil de 300g/m^3 , resistente aos UVs, na face superior.

4.2.2. Drenagem superficial

O sistema de drenagem de águas superficiais seria concebido para recolher o possível reaparecimento de águas provenientes do maciço por debaixo do sistema de impermeabilização da célula e a manter uma separação efetiva entre o fundo da célula e os níveis freáticos ocorrentes. Assim sendo, para garantir um bom sistema de drenagem pretendia-se instalar no fundo da célula de deposição do aterro, junto ao pé do talude, um dreno constituído por brita 15/30 envolvida em geotêxtil, tal como se pretendia colocar drenos superficiais ao longo dos taludes do aterro de RIB.

4.2.3. Drenagem de lixiviados e suas características

O sistema de drenagem de lixiviados do aterro seria constituído por um sistema passivo de recolha, uma camada drenante, e um sistema ativo, uma rede de drenagem, que se prolongaria até à ETAR do aterro. Este sistema evitaria a acumulação de lixiviados na base do aterro, reduzia a carga hidráulica sobre o sistema de impermeabilização, logo contribuiria para a minimização de fugas de lixiviados através desse sistema de impermeabilização.

O sistema de drenagem teria um coletor principal que receberia o lixiviado vindo dos coletores secundários e o enviaria para a ETAR do aterro onde sofreria tratamento adequado. Estes coletores teriam um espaçamento de 35m, uma inclinação de 2%, seriam de PEAD perfurados a meia-cana e com um diâmetro de 160mm para os coletores secundário e 200mm para os coletores principais. Os lixiviados após a sua captação seriam enviados para um poço de bombagem e daí conduzidos por uma conduta elevatória com cerca de 25m de comprimento até ao sistema de tratamento.

As águas lixiviantes são resultantes tanto da percolação de águas pluviais através dos resíduos depositados na célula do aterro e conseqüente extração ou dissolução de materiais presentes, como da perda de humidade resultante da compressão que as camadas de resíduos exercem umas sobre as outras.

Os lixiviados gerados no interior do aterro, qualitativamente, previa-se que apresentariam baixa biodegradabilidade e reduzidas concentrações de metais pesados, de acordo com as características dos resíduos industriais banais que seriam recebidos na instalação (resíduos industriais exceto resíduos perigosos). Assim sendo, a produção de lixiviados expectável seria a representada no quadro 4.2, e as características expectáveis do lixiviado deste aterro de RIB seriam as indicadas no quadro 4.3, mas devemos ter presente que as características do lixiviado de um aterro só poderão ser determinadas em tempo real, através de determinação *in situ* porque estão em jogo vários fatores que se interrelacionam de formas muito diferentes no tempo e no espaço.

Quadro 4.2- Produção expectável de lixiviados.

Fase de exploração	Caudal médio anual (m ³ /h)	Caudal médio nos meses chuvosos (m ³ /h)	Caudal médio nos meses secos (m ³ /h)
Início da exploração	0,4	1,2	0
Final da exploração	1,6	4,1	0,4

Quadro 4.3- Características expectáveis do lixiviado do aterro de RIB.

Parâmetro	Valor
pH	7-12
SST	200-600
CQO, (mg/l)	1800-13000
Cloretos, (mg/l)	<1200
Sulfatos, (mg/l)	<200
Nitritos, (mg/l)	<6
Arsénio III, (mg/l)	<0,2
Chumbo, (mg/l)	<0,4
Cádmio, (mg/l)	<0,1
Crómio VI, (mg/l)	<0,1
Cianetos, (mg/l)	<0,2
Cobre, (mg/l)	<2
Níquel, (mg/l)	<0,4
Mercúrio, (mg/l)	<0,02
Zinco, (mg/l)	<2
Fenóis, (mg/l)	<20

Todo o lixiviado captado e drenado do aterro seria tratado num sistema constituído por operações unitárias, sendo elas:

- ✓ Regularização de caudais;
- ✓ Separação dos sólidos em suspensão, em sedimentador de lamas e filtro de areias;
- ✓ Depuração por osmose inversa em três fases.

4.2.4. Sistema de controlo de biogás

Como já foi referido anteriormente, a decomposição de matéria orgânica em meio anaeróbio é responsável pela formação de gases nas deposições de resíduos que contenham um teor de matéria biodegradável significativa. Os gases produzidos são essencialmente, dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), chamado biogás.

De acordo com uma análise de mercado efetuada a resíduos industriais banais, a biodegradabilidade esperada para os resíduos que seriam depositados neste aterro seria a seguinte:

- ✓ 1% dos resíduos teriam uma biodegradabilidade rápida;
- ✓ 16% dos resíduos teriam uma biodegradabilidade lenta;
- ✓ 83% dos resíduos seriam inertes ou não biodegradáveis.

Assim sendo, esperar-se-ia uma produção mínima de biogás de cerca de $48 \text{ Nm}^3/\text{h}$ que seria captada através de um sistema de drenagem passivo, constituído por um dreno de brita que na sua parte superior conectada uma cabeça, e nesta um dispositivo de ventilação.

4.2.5. Selagem da célula de deposição do aterro

A selagem da célula de deposição seria feita quando fosse atingida a cota máxima de deposição (cota +42m), ou seja, cerca de 16m de altura de resíduos que poderia ser elevada a 33m pontualmente.

Esta selagem seria efetuada da seguinte forma, de baixo para cima:

- ✓ Terras de qualquer natureza com 0,2m de espessura;
- ✓ Geomembrana de PEAD com 1,5mm de espessura;
- ✓ Geocompósito de drenagem;
- ✓ Camada de solo com 1m de espessura, sendo os primeiros 70cm constituídos por solo de qualquer natureza e os últimos 30cm constituídos por terra vegetal para poder fixar a vegetação de recuperação paisagística do local.

4.2.6. Plano de segurança do aterro

O plano de segurança do aterro de RIB em estudo previa planos de segurança para os riscos de contaminação do solo e águas subterrâneas, riscos de contaminação de águas superficiais, riscos de incêndio/explosão e outros riscos para a saúde pública.

Os riscos de contaminação dos solos e águas subterrâneas eram resultantes da falha do sistema de impermeabilização das células do aterro. De forma a tentar evitar este risco, o projeto do aterro previa a instalação de sistemas de impermeabilização com materiais resistentes à tensão de rotura e de escorregamento adequadas às características locais. Apesar do risco de contaminação dos solos e águas subterrâneas ser bastante reduzido, dever-se-ia instalar na fase de construção uma rede de vigilância e controlo de águas subterrâneas, que seria constituída por três piezómetros para poder recolher amostras. Na fase de exploração do aterro deveria ser desenvolvido um programa de monitorização, que incluía análise às águas subterrâneas recolhidas nos piezómetros.

Os riscos de contaminação de águas superficiais seriam resultantes de falhas no sistema de impermeabilização, do derrame de resíduos, transporte dos resíduos para deposição nas células do aterro, ou mesmo por transbordo dos poços de bombagem dos lixiviados. Para evitar a contaminação por falhas no sistema de impermeabilização, seria implementado um sistema de drenagem subsuperficial para recolher as ressurgências de água que possam surgir por baixo do sistema de impermeabilização da célula e manter a separação efetiva entre o fundo da célula e os níveis freáticos ocorrentes, e um dreno no fundo da célula para captar as águas em segurança de forma a impedir erosões e instabilidades que delas poderiam surgir. A ocorrência de derrames do transporte de resíduos deveria ser minimizada através de:

- ✓ Controlo da receção dos resíduos, nomeadamente relativamente ao seu acondicionamento, de acordo com a legislação (Decreto-lei 73/2011);
- ✓ Os poços de recolha de bombagem de lixiviados teriam um sistema de controlo de nível alto, que faria arrancar automaticamente as bombas submersíveis. Em caso de falha de energia elétrica, os lixiviados teriam que ser transportados através de camiões-cisterna;
- ✓ A descarga do efluente tratado na linha de água iria cumprir integralmente o disposto nas Normas Gerais de Descarga de Águas Residuais(Reis, 2001). Caso existisse alguma avaria na instalação de tratamento, os lixiviados seriam transportados em camião-cisterna, para uma instalação onde fosse possível o seu tratamento adequado.

Os riscos de incêndio ou explosão do aterro seriam bastante reduzidos, uma vez que este aterro não admitiria resíduos inflamáveis para deposição nas suas células. De qualquer forma foi prevista a implantação de drenos na construção do aterro para se poder captar o biogás gerado pela biodegradabilidade dos resíduos. Estes drenos teriam raios de influência que rondariam os 25 a 30m. O maior risco de incêndio estaria associado às instalações de apoio ao aterro, tais como:

portaria, instalações administrativas que incluiriam o laboratório, que deveriam ter sistemas de deteção de incêndio e uma rede de extinção de incêndio. Caso ocorresse um incêndio, o corpo de bombeiros mais próximo do local do aterro, está localizado em Montemor-o-Velho, a uma distância de 8Km, demorando cerca de 12 min para chegar ao local.

Os riscos para a saúde pública seriam causados pela proliferação de insetos aves ou roedores, formação de odores e/ou a entrada de pessoas estranhas no local do aterro. Desta forma, para tentar minimizar ou mesmo evitar este risco os resíduos deveriam ser cobertos diariamente com terra, para minimizar os odores e o arrastamento de resíduos por ação do vento. Dever-se-ia também vedar toda a área do aterro e manter esta área vigiada para evitar a entrada de pessoas estranhas no local.

4.2.7. Plano de segurança dos trabalhadores do aterro

O plano de segurança dos trabalhadores serve para a prevenção de acidentes ou de situações de risco nas diversas áreas de trabalho existentes no aterro. Assim, para sua proteção os trabalhadores devem usar:

- ✓ Bata, para proteger o corpo e as suas roupas de contaminações provocadas por agentes agressivos eventualmente presentes nos resíduos;
- ✓ Botas com sola antiderrapante, para evitar quedas;
- ✓ Luvas de borracha, para proteger as mãos de contaminações provocadas pelos agentes que poderão estar presentes nos resíduos ou águas residuais;
- ✓ Óculos, para proteger os olhos de salpicos de reagentes químicos para quem trabalha no laboratório;
- ✓ Máscara para evitar inalações e proteger a boca e o nariz de queimaduras e doenças de pele provocadas pelo contacto com produtos agressivos.

4.3. Análise de danos provocados por um incêndio num aterro de Resíduos Industriais Banais

Com o software Effects, realizou-se um estudo de simulação de uma libertação accidental de materiais perigosos e as suas consequências físicas num aterro de resíduos industriais banais que esteve projetado mas não chegou a ser construído na antiga pedreira de Maiorca, Figueira da Foz. Devido à diversidade de materiais que seriam depositados neste aterro, optou-se por considerar os resíduos que teriam maior carga térmica e apresentariam maior grau de perigosidade. Desta forma, foram considerados os seguintes materiais constituintes dos resíduos industriais banais depositados no aterro: madeira, metal, têxteis, plásticos, vidro, papel/cartão e bio-resíduos.

A deposição de material inflamável em aterro pode originar um incêndio (*pool fire*) e/ou a formação de uma chama súbita (*flash fire*). Pode ainda dar origem à formação de uma nuvem explosiva, cuja ignição dará origem a uma chama que, dependendo da sua velocidade de propagação ao longo do aterro, poderá levar à ocorrência da explosão não confinada da nuvem.

Recorrendo ao software Effects, foi possível realizar uma simulação de incêndio no aterro (*pool fire*) para calcular as consequências prováveis da libertação de materiais perigosos. Assim sendo, foi considerada como situação inicial uma temperatura ambiente máxima registada pelo Instituto de Meteorologia para o concelho da Figueira da Foz em 2012 de 39,5°C, proporcionando condições favoráveis à ocorrência de acidentes desta natureza. Foi também tida em conta a velocidade máxima do vento no local, tendo sido registada pelo Sistema Nacional de Informação e Recursos Hídricos (SNIRH), tomando o valor de 22,2 m/s, que favorece o desenvolvimento e propagação de um possível incêndio. Por fim, também foi considerada a direção do vento mais frequente no local e nos meses mais quentes do ano, sendo essa direção de noroeste (NW).

Este software não é o mais adequado para este estudo, uma vez que a sua aplicação incide em efeitos físicos resultantes de acidentes em tanques de armazenamento de substâncias perigosas e não armazenamento de resíduos em aterro. Assim sendo, para o cálculo das consequências de um incêndio no aterro em estudo foram usadas massa de libertação de poluente equivalente, usando-se o metano como substância química a ser libertada, visto que os restantes constituintes dos resíduos industriais banais não faziam parte da base de dados do software. Desta forma, a partir da constituição dos resíduos, da quantidade de resíduos depositada no aterro e da sua carga térmica (quadro 4.4) obteve-se a massa de poluente equivalente à massa de metano, de acordo com o quadro 4.5.

Quadro 4.4- Carga térmica de cada constituinte dos resíduos considerados para deposição no aterro.

	Madeira	Metal	Têxteis	Vidro	Plásticos	Papel/Cartão	Biogás gerado pelos bio-resíduos
Carga Térmica (J/(Kg.°C))	2721,42	376,81	1339,78	837,36	2100	1,34	2180

Quadro 4.5- Massa equivalente de metano da fração de resíduos depositados no aterro de resíduos industriais banais.

	Kg equivalentes de madeira	Kg equivalentes de metal	Kg equivalentes de têxteis	Kg equivalentes de vidro	Kg equivalentes de plástico	Kg equivalentes de papel/cartão	Kg equivalentes de bioresíduos
1º Ano	1198423,486	331869,3578	4365961,982	2212474,128	10329688,07	7907,23	0,00
2º Ano	2396846,972	663738,7156	8731923,963	4424948,257	20659376,15	15814,46	7210,97
3º Ano	3595270,459	995608,0734	13097885,94	6637422,385	30989064,22	23721,69	28906,60
4º Ano	4793693,945	1327477,431	17463847,93	8849896,514	41318752,29	31628,92	70616,11
5º Ano	5992117,431	1659346,789	21829809,91	11062370,64	51648440,37	39536,15	215268,20
6º Ano	7190540,917	1991216,147	26195771,89	13274844,77	61978128,44	47443,38	298582,60
7º Ano	8388964,404	2323085,505	30561733,87	15487318,9	72307816,51	55350,61	392539,43
8º Ano	9587387,89	2654954,862	34927695,85	17699793,03	82637504,59	63257,83	504622,97
9º Ano	10785811,38	2986824,22	39293657,83	19912267,16	92967192,66	71165,06	631128,45
10º Ano	11984234,86	3318693,578	43659619,82	22124741,28	103296880,73	79072,29	772174,31
11º Ano	13182658,35	3650562,936	48025581,8	24337215,41	113626568,81	86979,52	1075459,97
12º Ano	14381081,83	3982432,294	52391543,78	26549689,54	123956256,88	94886,75	1234577,57
13º Ano	15579505,32	4314301,651	56757505,76	28762163,67	134285944,95	102793,98	1400900,15
14º Ano	16777928,81	4646171,009	61123467,74	30974637,8	144615633,03	110701,21	1570828,21
15º Ano	17976352,29	4978040,367	65489429,72	33187111,93	154945321,10	118608,44	1744361,75

Inicialmente, foi então considerada a libertação de metano armazenado no interior do aterro à temperatura ambiente máxima registada, pressão atmosférica, uma humidade relativa de 12%, velocidade do vento máxima de 22,2 m/s, direção do vento de Noroeste, seguida de outras duas mais registadas, sendo elas: 18m/s de Sudoeste e 16,5m/s de Sudeste. Considerou-se ainda uma área de superfície de incêndio de 1500m² (a área de incêndio foi considerada a mais recorrente em incêndios desta natureza). Com a inserção destes dados no software, recorrendo a um *pool fire* e consequentes queimaduras letais, obteve-se distâncias máximas de queimaduras letais de 192m a partir do centro do incêndio, diminuindo com a redução da velocidade do vento. A Combustão total dos resíduos prevê-se que tenha uma duração de 659horas (cerca de 27dias e 10h), uma emissão de calor na superfície de 81,23Kw/m², uma inclinação da chama de 66° aproximadamente, temperatura máxima atingida de 823°C, que também diminui com a diminuição da velocidade do vento. Ao contrário do que acontece com todos estes parâmetros, a taxa de combustão mantem-se nos 117Kg/s e a altura de chama aumenta 1 a 2m com a diminuição da velocidade do vento, de acordo com o quadro 4.6.

Quadro 4.6- Resultados obtidos do Software Effects para um *pool fire*, com uma área de superfície de incêndio de 1500m², para capacidade máxima de deposição de resíduos do aterro.

Velocidade máxima do vento e sua direção (m/s)	Diâmetro máximo do incêndio (m)	Distância com queimaduras as letais (m)	Duração do Incêndio (h)	Radiação térmica na superfície (kW/m ²)	Inclinação máxima da chama (°)	Temperatura máxima da chama (°C)	Altura máxima da chama (m)	Taxa de combustão (Kg/s)
22,2 NW	44	192	658	81,23	66	823	35	117
18 SW	44	178	658	79	64	815	36	117
16,5 SE	44	173	658	78	63	812	37	117

Na figura 4.4 representa-se o gráfico relativo à radiação térmica resultante da ocorrência de um *pool fire* no aterro quando atingida a sua capacidade máxima, visto que nessa altura existe maior perigo de queimaduras. A partir desta figura verifica-se que a radiação térmica atinge o seu valor máximo nos 81,23 kW/m² no local do acidente, deixando de ser significativa para distâncias superiores a 250m.

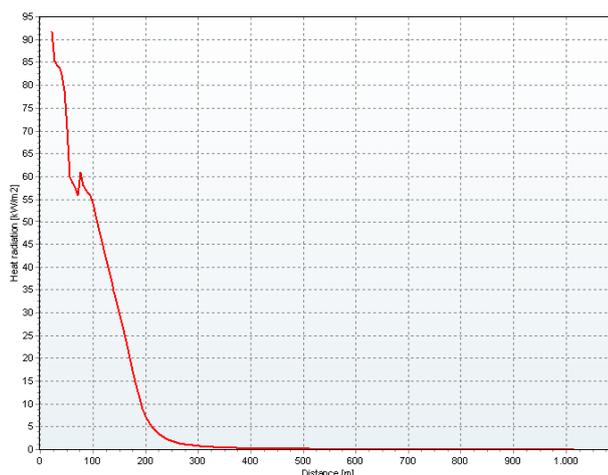


Figura 4.4- Representação gráfica da radiação térmica em função da distância para uma superfície de incêndio de 1500m² e velocidade do vento de 22,2 m/s.

Considerando a libertação de metano armazenado no interior do aterro nas mesmas condições da primeira simulação, mas considerando agora a área de superfície de incêndio de 1000m², obtiveram-se os resultados do quadro 4.7 para variações da velocidade e direção do vento correspondentes a NW, SW e SE respetivamente.

Quadro 4.7- Resultados obtidos do Software Effects para um *pool fire*, com uma área de superfície de incêndio de 1000m², para capacidade máxima de deposição de resíduos do aterro.

Velocidade máxima do vento e sua direção (m/s)	Diâmetro máximo do incêndio (m)	Distância com queimaduras letais (m)	Duração do Incêndio (h)	Radiação térmica na superfície (kW/m ²)	Inclinação máxima da chama (°)	Temperatura máxima da chama (°C)	Altura máxima da chama (m)	Taxa de combustão (Kg/s)
22,2 NW	36	186	986	78,6	66	814	30	78
18 SW	36	172	986	77	64	806	31	78
16,5 SE	36	167	986	76	64	803	32	78

Através dos resultados obtidos do Software Effects para um *pool fire*, com uma área de superfície de incêndio de 1000m² e diferentes velocidades e direções do vento, verifica-se que a duração do incêndio para a combustão da totalidade dos resíduos lá depositados é de cerca de 41 dias, e que podem acontecer queimaduras letais até uma distância máxima de 186m do centro do incêndio, diminuindo com a diminuição da velocidade do vento. Além da distância onde podem ocorrer queimaduras letais, também a temperatura da chama e a radiação térmica diminuem, ao contrário do que acontece com a altura da chama, que com a diminuição da velocidade do vento tem um aumento de 1 a 2m de altura.

Na figura 4.5 está representado o gráfico relativo à radiação térmica resultante da ocorrência de um *pool fire* no aterro quando atingida a sua capacidade máxima, visto que nessa altura existe maior perigo de queimaduras. A partir desta figura verifica-se que a radiação térmica atinge o seu valor máximo nos 78,6 kW/m² no local do acidente, deixando de ser significativa para distâncias superiores a 250m.

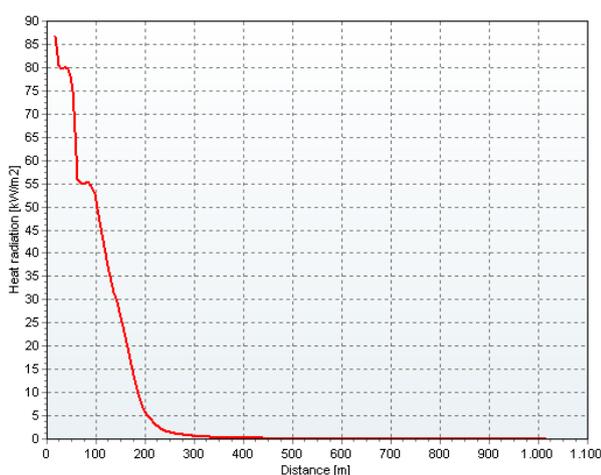


Figura 4.5- Representação gráfica da radiação térmica em função da distância para uma superfície de incêndio de 1000m² e velocidade do vento de 22,2 m/s.

Supondo agora que a área de superfície de incêndio é de 2000m^2 , obtiveram-se os resultados do quadro 4.8 para variações da velocidade e direção do vento correspondentes a NW, SW e SE respetivamente, da libertação de metano armazenado no interior do aterro nas mesmas condições da primeira simulação, exceto a área de superfície de incêndio.

Quadro 4.8- Resultados obtidos do Software Effects para um *pool fire*, com uma área de superfície de incêndio de 2000m^2 , para capacidade máxima de deposição de resíduos do aterro.

Velocidade máxima do vento e sua direção (m/s)	Diâmetro máximo do incêndio (m)	Distância com queimaduras letais (m)	Duração do Incêndio (h)	Radiação térmica na superfície (kW/m^2)	Inclinação máxima da chama ($^\circ$)	Temperatura máxima da chama ($^\circ\text{C}$)	Altura máxima da chama (m)	Taxa de combustão (Kg/s)
22,2 NW	50	196	492	83,1	66	829	39	156
18 SW	50	183	492	81	64	822	40	156
16,5 SE	50	178	492	80	63	819	41	156

Analisando os resultados obtidos no Software Effects para um *pool fire*, com uma área de superfície de incêndio de 2000m^2 e diferentes velocidades e direções do vento, verifica-se que a duração do incêndio para a combustão da totalidade dos resíduos lá depositados é de aproximadamente 20 dias, e que poderiam queimaduras letais até uma distância máxima de 196m do centro do incêndio, diminuindo com a diminuição da velocidade do vento. Além da distância onde podem ocorrer queimaduras letais, também a temperatura da chama e a radiação térmica diminuem, ao contrário do que acontece com a altura da chama, que com a diminuição da velocidade do vento tem um aumento de 1 a 2m de altura.

Na figura 4.6 encontra-se representado o gráfico referente à radiação térmica resultante da ocorrência de um *pool fire* no aterro quando atingida a sua capacidade máxima, visto que nessa altura existe maior perigo de queimaduras. A partir deste verifica-se que a radiação térmica atinge o seu valor máximo nos $83,1\text{ kW}/\text{m}^2$ no local do acidente, deixando de ser significativa para distâncias superiores a 250m.

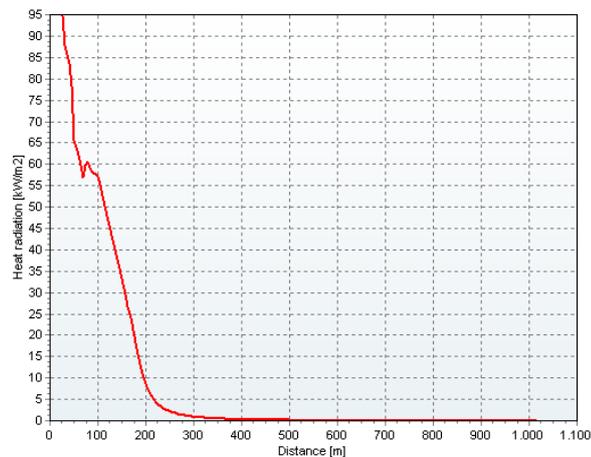


Figura 4.6- Representação gráfica da radiação térmica em função da distância para uma superfície de incêndio de 2000m² e velocidade do vento de 22,2 m/s.

Por fim, admitindo um extremo, ou seja, que o incêndio se alastre a toda a área de deposição do aterro (34900m² de área de superfície de incêndio), com todas as restantes condições iguais às simulações anteriores, obteve-se os resultados do quadro 4.9 para variações da velocidade e direção do vento correspondentemente a NW, SW e SE respetivamente.

Quadro 4.9- Resultados obtidos do Software Effects para um *pool fire*, com uma área de superfície de incêndio de 34900m², para capacidade máxima de deposição de resíduos do aterro.

Velocidade máxima do vento e sua direção (m/s)	Diâmetro máximo do incêndio (m)	Distância com queimaduras as letais (m)	Duração do Incêndio (h)	Radiação térmica na superfície (kW/m ²)	Inclinação máxima da chama (°)	Temperatura máxima da chama (°C)	Altura máxima da chama (m)	Taxa de combustão (Kg/s)
22,2 NW	210	317	28	104	62	892	110	2722
18 SW	210	316	28	102	60	885	116	2722
16,5 SE	210	316	28	100	59	882	118	2722

Observando os resultados obtidos no Software Effects para um *pool fire*, para uma área de superfície de incêndio de 34900m² (toda a área de deposição de resíduos do aterro) e diferentes velocidades e direções do vento, verifica-se que a duração do incêndio para a combustão da totalidade dos resíduos lá depositados é de aproximadamente 1 dia, e que poderiam queimaduras letais até uma distância máxima de 317m do centro do incêndio, diminuindo com a diminuição da velocidade do vento. Além da distância onde podem ocorrer queimaduras letais, também a temperatura da chama e a radiação térmica diminuem, ao contrário do que acontece com a altura da chama, que com a diminuição da velocidade do vento tem um aumento até 8m de altura.

Na figura 4.7 é apresentado o gráfico relativo à radiação térmica resultante da ocorrência de um *pool fire* no aterro quando atingida a sua capacidade máxima, visto que nessa altura existe maior perigo de queimaduras. Assim, a partir da análise do gráfico podemos verificar que a radiação térmica atinge o seu valor máximo nos 104 kW/m² no local do acidente, deixando de ser significativa para distâncias superiores a 250m.

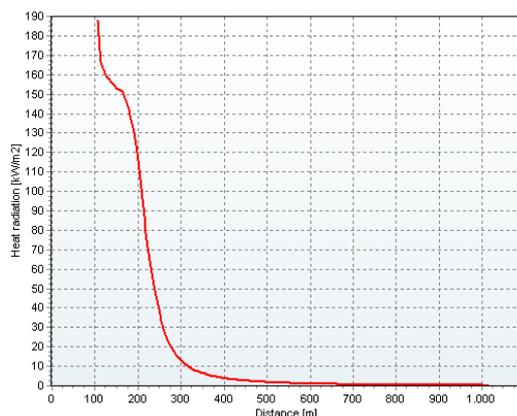


Figura 4.7- Representação gráfica da radiação térmica em função da distância para uma superfície de incêndio de 34900m² e velocidade do vento de 22,2 m/s.

5. IMPACTES AMBIENTAIS E PLANO DE EMERGÊNCIA

5.1. Enquadramento do Local

A ocorrência de um incêndio num aterro por mais accidental que seja, pode originar efeitos mais ou menos graves para o ambiente. Relativamente aos prejuízos ambientais, rapidamente se identificam a emissão de fumos e gases tóxicos mas também a poluição hídrica e dos solos caso haja rotura da camada de impermeabilização do aterro. Desta forma, é fundamental identificar e avaliar todos os possíveis impactes sobre o ambiente, provocados por um cenário de incêndio em aterro, de modo a estabelecer ações para minimização ou compensar os impactes ambientais negativos.

O aterro de resíduos industriais banais que seria construído na antiga pedreira de Maiorca, Figueira da Foz, não estaria próximo de zonas de proteção especial, mas encontrar-se-ia perto dos arrozais do Baixo Mondego, do leito do Rio Mondego e ainda mais próximo do seu afluente Rio Foja, onde se podem encontrar frequentemente espécies como: Pato-real (*Anas platyrhynchos*), representado na figura 5.1; Cegonha branca (*Ciconia ciconia*), representada na figura 5.2; Gaivota prateada (*Larus argentatos*), representada na figura 5.3; Sável (*Alosa alosa*), apresentado na figura 5.4; Savelha (*Alosa fallax*), representada na figura 5.5; Lampreia (*Petromyzon marinus*), representada na figura 5.6, que devem ser protegidas de possíveis impactes ambientais negativos, de modo a que não ocorra a sua extinção na zona.



Figura 5.1- Pato-real
(*Anas platyrhynchos*)
Fonte: en.wikipédia.org



Figura 5.2- Cegonha branca
(*Ciconia ciconia*)
Fonte: en.wikipédia.org



Figura 5.3-Gaivota prateada
(*Larus argentatos*)
Fonte: en.wikipédia.org



Figura 5.4- Sável
(*Alosa alosa*)
Fonte: en.wikipédia.org



Figura 5.5- Savelha
(*Alosa fallax*)
Fonte: en.wikipédia.org



Figura 5.6- Lampreia
(*Petromyzon marinus*)
Fonte: www.público.pt

5.2. Análise de Impactes Ambientais

A ocorrência de um eventual incêndio, apesar de não ser um local de elevado risco, visto que se trata da deposição de resíduos industriais banais, logo resíduos maioritariamente estáveis, que seria implantado na antiga pedreira de Maiorca, Figueira da Foz, poderia representar uma ameaça para as espécies que fazem do Rio Mondego, Rio Foja e até dos arrozais seu habitat. Para além destas espécies, também a população à volta do aterro poderia ser afetada pela nuvem de fumo e gases tóxicos, ou mesmo pela poluição do solo e poluição hídrica caso houvesse rutura da camada de impermeabilização.

A libertação de grandes quantidades de gases para a atmosfera que ocorre durante a combustão dos resíduos envolvidos num eventual incêndio em aterro, irá contribuir para o agravamento do efeito de estufa e, conseqüentemente, para o aumento do aquecimento global que originará uma alteração no equilíbrio químico de todo o planeta. Dependendo das características dos gases libertados no decorrer da combustão, poder-se-á verificar a degradação da qualidade do ar, ocorrência de chuvas ácidas (ocorrem quando existem partículas de gases ricos em enxofre e azoto na atmosfera), depleção da camada do ozono (destruição da camada de ozono por gases contendo átomos de cloro e fluor), e formação de smog fotoquímico (nevoeiro resultante da mistura de poluentes primários com poluentes secundários formados sob a influência da luz solar).

Um combate a um possível incêndio em aterro com um componente para extinção líquido, quando prolongado por muito tempo, pode levar a que as bacias de retenção de lixiviado transbordem provocando a poluição no solo e meios hídricos circundantes ao aterro.

A identificação de impactes ambientais pode ser feita através de matrizes simples de identificação de impactes ou de uma matriz de identificação e caracterização de impactes. A matriz simples de identificação de impactes apenas identifica as alterações ambientais e os respetivos impactes, enquanto a matriz de identificação e caracterização de impactes faz a identificação do impacto ambiental e a sua caracterização segundo o seu sinal, significância, duração, magnitude, extensão e probabilidade de ocorrência em concordância com o quadro 5.1.

Quadro 5.1- classificação de impactes ambientais.

Crítério	Classificação do impacte ambiental
Sinal	Positivo/ Negativo/ Nulo
Significância	Pouco significativo/ Significativo/ Muito significativo
Duração	Esporádico/ Temporário/ Permanente
Magnitude	Baixa magnitude/ Média magnitude/ Alta magnitude
Extensão	Local/ Regional/ Nacional/ Global
Probabilidade	Certo/ Provável/ Pouco provável

No anexo A encontra-se representada a matriz de identificação e caracterização de impactes ambientais resultantes de um possível incêndio no aterro de resíduos industriais banais que seria construído em Maiorca, Figueira da Foz.

Os impactes ambientais negativos resultantes de um incêndio num aterro de resíduos industriais banais podem ser a nível de: qualidade do ar, solos, recursos hídricos, recursos, clima, paisagem, fauna e flora, saúde pública e socio economia.

A nível de qualidade do ar podem ser identificadas as emissões de fumos, gases e partículas para a atmosfera, provocando a degradação da qualidade do ar, a depleção da camada de ozono e smog. Este impacte é caracterizado como sendo negativo, de média magnitude, temporário, significativo e certo sempre que ocorre um incêndio em aterro. Para minimizar ou de alguma forma tentar compensar esta poluição atmosférica deve-se implantar um plano paisagístico adequado ao local onde está implantado o aterro.

Quanto aos impactes causados no solo, foram identificados a contaminação dos solos e a perda de produtividade agrícola causadas por infiltração de lixiviado no solo ou uso de solos para extinção do incêndio. Estes impactes são sentidos a nível local, são negativos, de média magnitude, temporários, significativos mas pouco prováveis de acontecer. Para tentar evitar ou minimizar estes impactes caso ocorram, devem ser colocadas telas impermeáveis no aterro que sejam resistentes às altas temperaturas que um incêndio deste tipo pode atingir.

Relativamente aos impactes a nível dos recursos hídricos, foram identificados a contaminação das águas superficiais e /ou subterrâneas. Estes impactes são resultado do derrame de resíduos ou efluentes resultantes da extinção do incêndio no meio hídrico, e podem ser sentidos a nível regional apesar de serem pouco prováveis porque a maioria dos incêndios são extintos sem que ocorra destruição da camada de impermeabilização. Ainda assim, estes são impactes considerados negativos, de média magnitude, significativos e permanentes se ocorrerem.

A depleção dos recursos fósseis e da água são impactes ambientais sentidos a nível de recursos como resultado do consumo de água para extinção do incêndio. Podemos caracterizar estes impactes como negativos, de média magnitude, pouco significativos, prováveis e permanentes se ocorrer incêndio.

A nível do clima podem ocorrer impactes tais como, aquecimento global ou chuvas ácidas provocados pela emissão de gases durante o incêndio. Tais impactes são sentidos a nível global e caracterizados como impactes negativos, de média magnitude, significativos, permanentes mas pouco prováveis se o incêndio não for de grandes dimensões.

A paisagem é afetada por impactes ambientais negativos, de média magnitude, temporários, significativos e certos. São impactes sentidos a nível local visto que o derrame de substâncias na água e no solo ou a emissão de fumos, gases e partículas afetam a paisagem e reduzem a qualidade visual.

A afetação da fauna e flora foi também um dos impactes identificados devido às temperaturas elevadas, emissão de fumos e derrame de substâncias na água e no solo. Este impacte é caracterizado como sendo negativo, de média magnitude, permanente, significativo mas pouco provável de acontecer. Para tentar evitar este impacte deve-se proteger os habitats relativamente ao derrame de substâncias, este derrame deverá ser efetuado em local apropriado para tal.

A saúde pública e a socio economia são os descritores ambientais que requerem mais atenção, visto serem caracterizados como sendo negativos, de alta magnitude, temporários, muito significativos e prováveis de acontecer. Assim, na saúde pública são identificados como impactes problemas de saúde a nível respiratório, alimentação com produtos que contêm substâncias perigosas, consumos de água contaminada, e até mesmo perdas humanas devido à emissão de fumos, gases e partículas, às temperaturas elevadas nas proximidades do incêndio, ao derrame de lixiviados e efluentes resultantes da extinção do incêndio. A socio economia pode ter perdas económicas, perda dos materiais de construção do aterro, poluição dos solos e hídrica, resultantes da destruição da instalação e do derrame de substâncias no solo e meio hídrico. Para de alguma forma tentar evitar estes impactes dever-se-á proteger os trabalhadores do aterro e bombeiros com mascaradas adequadas e colocar telas de impermeabilização que sejam resistentes a altas temperaturas.

5.3. Plano de segurança em situação de emergência

Um aterro deve ter operação e manutenção de forma a reduzir ao máximo a possibilidade de incêndio, explosão ou derramamento de resíduos que podem ser bastante perigosos para a saúde pública e/ou meio ambiente.

Em caso de ocorrer um incêndio, derrame ou mesmo de sismo num aterro devem ser tomadas, coordenadamente, medidas que minimizem ou reduzam os possíveis efeitos prejudiciais resultantes desse incêndio. Desta forma, as medidas a serem tomadas devem, em caso de acidente, garantir primeiramente as operações de primeiros socorros, se necessário, e só depois as operações de primeira intervenção. Caso não seja possível controlar a situação através da intervenção dos trabalhadores competentes para tal ajudados pelos equipamentos de combate a incêndio existentes no local (devem ser: extintores, acessórios de corte a arrombamento, hidrantes, mangueiras de incêndio e seus acessórios), deve ser declarada a situação de emergência, procedendo à evacuação dos trabalhadores do aterro e comunicação de imediato às forças e serviços necessários à intervenção e ao serviço de proteção civil.

Após o sinal de alarme, todos os trabalhadores devem deixar o seu local de trabalho imediatamente mas de forma ordenada e dirigirem-se ao exterior da vedação do aterro. É da responsabilidade do coordenador de emergência do aterro coordenar tanto a evacuação dos trabalhadores para o exterior do aterro, tal como contactar as seguintes entidades:

- ✓ Corpo de Bombeiros de Montemor-o-Velho e/ou Figueira da Foz, sendo que, os bombeiros de Montemor-o-Velho se encontram a uma distância de cerca de 8Km e demoram cerca de 11 minutos a chegar ao local, enquanto que os bombeiros mais próximos do concelho (Figueira da Foz) estão a cerca de 12Km e demoram cerca de 15 min a chegar ao local;
- ✓ Proteção Civil que tanto a de Montemor-o-Velho como a da Figueira da Foz se encontram mais ou menos à mesma distância e demoram o mesmo tempo dos bombeiros;
- ✓ Polícia, neste caso a mais próxima seria a GNR de Maiorca que se encontra a cerca de 2Km do local e demora cerca de 5 min a deslocar-se ao local.
- ✓ Hospital Distrital da Figueira da Foz que se encontra a cerca de 15 Km de distância do local do aterro que demorariam cerca de 17 min a serem percorridos pelos meios de transporte de emergência.

Após o final da situação de emergência, deve-se providenciar a limpeza do local e substituir todos os meios de combate a incêndio utilizados, tal como todo o material danificado. Deve também ser feito um relatório de emergência onde é feita a descrição detalhada dos acontecimentos, a identificação da origem e possíveis causas do incêndio, estimativa dos danos causados, avaliação da adequabilidade dos meios de segurança sugerindo medidas corretivas de segurança se assim for o caso.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Através do uso do *Software Effects*, realizou-se um estudo da simulação de uma libertação accidental de materiais perigosos e suas consequências físicas num aterro de resíduos industriais banais que se pretendia construir numa antiga pedreira em Maiorca, Figueira da Foz. Tratando-se de um aterro onde seriam depositados resíduos não inflamáveis, ou seja, resíduos não perigosos, este não comportaria um elevado risco de incêndio. Apesar do risco de incêndio ser bastante baixo se ele ocorrer, nem que seja acidentalmente, o facto das instalações do aterro serem ao ar livre auxilia e acelera a propagação do incêndio, quer na vertical, quer na horizontal permitindo que as suas consequências atinjam proporções consideravelmente preocupantes.

As condições iniciais tidas em conta no estudo foram, temperaturas e velocidade do vento elevadas, sendo propícias a uma boa dispersão atmosférica dos poluentes libertados durante um eventual incêndio no aterro, reduzindo de certa forma os impactes ambientes resultantes da emissão de fumos e gases. Para além da temperatura, velocidade e direção do vento, também foram tidas em contas as quantidades dos diferentes materiais depositados em aterro (madeira, metal, têxteis, plásticos, vidro, papel/cartão e bio-resíduos). Para o cálculo dessas quantidades, e visto que o *software* não permitia introduzir todos os diversos resíduos depositados no aterro, optou-se por calcular a massa de resíduos equivalente a metano, através das cargas térmicas.

Segundo os resultados obtidos através do *Software Effects*, pode-se verificar que se ocorresse um incêndio no aterro para uma área de superfície de incêndio mais comum de incêndios em aterros (1500m^2), as consequências em termos de queimaduras letais ocorriam num raio máximo de 192m a partir do centro do incêndio para a capacidade máxima de deposição de resíduos e para a maior velocidade do vento registada na zona de implantação do aterro. Isto significa que, mesmo que ocorresse um incêndio desta escala (área de superfície de 1500m^2) não atingiria nem a população mais próxima que se encontra a cerca de 450m do local, nem as espécies cujo habitat é o Baixo Mondego, em termos de queimaduras letais, exceto se esse incêndio se propagasse às instalações de apoio ao aterro que estavam previstas no projeto de execução, aí possivelmente as espécies existentes nos arrozais mais próximos, tal como as culturas seriam bastante afetadas por um incêndio desta escala.

Se o incêndio for de menores dimensões, cerca de 1000m^2 de área de superfície de incêndio então o raio de queimaduras letais ainda será menor, não evitando a propagação às instalações de apoio se o vento soprar de sudoeste, mas a duração do incêndio se não for extinto, essa será cerca do dobro do tempo. Se a área de superfície de incêndio for superior à mais comum neste tipo de incêndios, cerca de 2000m^2 por exemplo, não se espera queimaduras letais num raio superior a 196m, mas se o incêndio se alastrar a toda a área do aterro, então aí será preocupante, porque para além de poder afetar as instalações de apoio ao aterro, caso o vento seja de Sudoeste, afetará

também os animais e culturas dos arrozais mais próximos, visto que o raio de queimaduras letais atinge um máximo de 317m, que excede a proximidade de cerca de 250m dos arrozais mais próximos ao aterro.

Na análise dos impactes ambientais resultantes de um possível incêndio no aterro de resíduos industriais banais, apenas a afetação da saúde pública e da socio economia são considerados impactes muito significativos e prováveis, visto que: através da emissão de fumos, gases e/ou partículas pode haver problemas de saúde a nível respiratório; as temperaturas elevadas sentidas nas proximidades do incêndio e a libertação de gases tóxicos podem levar a perdas humanas; o derrame de substancias na água e nos solos pode provocar poluição dos solos e/ou hídrica, provocando problemas de saúde na população daí inerentes e; por fim a destruição das instalações do aterro que será uma perda económica bastante elevada.

Não só a saúde pública será afetada pela emissão de fumos, gases e partículas, mas também a qualidade do ar e a paisagem em geral, visto que esta poluição atmosférica provoca a degradação da qualidade do ar, depleção da camada de ozono, smog e redução da qualidade visual, sendo estes impactes considerados significativos e certos.

Todos os resultados obtidos e impactes ambientais identificados poderiam ser mais realistas se este estudo tivesse contado com a colaboração de uma ou várias entidades de gestão de resíduos, o que não foi possível devido a todas as propostas terem sido recusadas. A ausência dessa colaboração deve-se sobretudo aos aterros em Portugal estarem na sua maioria a cometer infrações, que perante uma avaliação deste tipo poderia trazer consequências para a entidade gestora do aterro.

Como desenvolvimentos e estudos futuros relativamente a risco de incêndio em aterros tanto de resíduos sólidos urbanos como resíduos industriais, pode-se sugerir o estudo de um aterro em exploração ou em fase de encerramento cuja entidade responsável esteja disposta a colaborar e a fornecer todos os dados necessários para um estudo mais aprofundado e realista. Pode ainda sugerir-se a realização da avaliação de risco de incêndio através de outros métodos, nomeadamente, árvore de falhas e árvore de acontecimentos com o acesso a relatórios de acontecimentos e informação da existência ou não de sistemas de prevenção ou deteção de incêndios. Pode-se também sugerir uma análise de risco de incêndio de um aterro juntamente com as respetivas instalações de apoio, ou seja, risco de incêndio de um efeito dominó.

Por fim, relativamente aos impactes ambientais de um incêndio num aterro, pode-se apontar para futuros estudos, a análise mais detalhadas dos poluentes emitidos, tanto poluentes atmosféricos como os poluentes presentes no lixiviado do aterro, um estudo relativo à estanquidade das telas de impermeabilização de aterros, bem como uma análise de fauna e flora mais detalhada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barroso, M. (1994). “Dimensionamento e Impacte Ambiental de Aterros Sanitários”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Braga, J. (2011). “Previsão da Produção de Biogás em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Bosch, C., Weterings, R. (2005). “Methods for the Calculation of Physical Effects – Yellow Book”. Netherland.
- Chrysikou, L., Gemenetzi, P., Kouras, A., Manoli, E., Terzi, E., Samara, C. (2008). “Distribution of Persistent Organic Pollutants, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Trace Elements in Soil and Vegetation Following a Large Scale Landfill Fire in Northern Greece”. *Environmental International*, Vol. 34, pp. 210-225. Greece.
- Couth, R., Trois, C. (2010). “Carbon Emissions Reduction Strategies in Africa from Improved Waste Management”. *Waste Management*, Vol. 30, pp. 2236-2346.
- Cram, S., Sommer, I., Morales, L., Oropeza, O., Carmona, E., Medrano, F. (2006). “Suitability of the Vegetation Types in Mexico’s Tamaulipas State for the Siting of Hazardous Waste Treatment Plants”. *Journal of Environmental Management*, Vol. 80, pp.13-24. Mexico.
- Curtat, M., Vandavelde, P., Naeyer, A., Streuve, E., Valente, J., Ventura, J., Neves, I., (2005). “FIRE-TECH WG7 - Fire Risk Evaluation to European Cultural Heritage”.
- “Decreto-Lei n.º 89/2002, de 9 de abril” (2002) Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território (República Portuguesa), relativo ao planeamento e recolha de resíduos industriais.
- “Decreto-Lei n.º152/2002, de 23 de maio.” (2002) Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional (República Portuguesa), transpões para o ordenamento jurídico interno a Diretiva n.º 1999/31/CE do Parlamento Europeu e do conselho, de 26 de abril, relativa à deposição de resíduos em aterro.
- “Decreto-Lei n.º85/2005, de 28 de abril.” (2005) Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional (República Portuguesa), que transpõe as Diretivas n.ºs 75/442/CEE, do Conselho, de 15 de Julho, e 91/156/CEE, do Conselho, de 18 d Março, relativas aos resíduos.
- “Decreto-Lei n.º197/2005, de 8 de novembro.” (2005) Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional (República Portuguesa), transpões para o ordenamento jurídico interno a Diretiva n.º 2003/35/CE do Parlamento Europeu e do conselho, de 26 de maio, aprova o regime jurídico da avaliação de impacte ambiental.

- “Decreto-Lei n.º178/2006, de 5 de setembro.” (2006) Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional (República Portuguesa), transpõe para o ordenamento jurídico interno a Diretiva n.º 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do conselho, de 5 de abril, sobre a regulamentação comunitária de resíduos.
- “Decreto-Lei n.º232/2007, de 10 de agosto.” (2007) Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional (República Portuguesa), transpões para o ordenamento jurídico interno a Diretiva n.º 2001/42/CE do Parlamento Europeu e do conselho, de 27 de junho, aprova o regime jurídico da avaliação de impacte ambiental.
- “Decreto-Lei n.º183/2009, de 10 de agosto.” (2009) Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional (República Portuguesa), transpões para o ordenamento jurídico interno a Diretiva n.º 1999/31/CE do Parlamento Europeu e do conselho, de 26 de abril, relativa à deposição de resíduos em aterro.
- “Decreto-Lei n.º73/2011, de 17 de junho.” (2011) Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional (República Portuguesa), transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do conselho, de 19 de novembro, relativa aos resíduos.
- Ferreira, E. (2010). “Avaliação de Risco de Incêndio em Estações de Tratamento de Resíduos Sólidos – O Caso da Estação da Meia Serra na Ilha da Madeira”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Ferreira, E., Rodrigues, J., Coelho, L. (2012). “Risco de Incêndio na sala de comando de uma Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos”. Revista Territorium, n.º 19, pp. 117-125. Portugal.
- Frid, V., Doudkinski, D., Liskevich, G., Shafran, E., Averbakh, A., Korostishevsky, N., Prihodko, L. (2010). “Geophysical – Geochemical Investigation of Fire – Prone Landfill”. Environ Earth Sci, Vol. 60, pp.787-798. Israel.
- IGAOT (2008). “Aterros Sanitários – Ponto da Situação 2005-2007”. Lisboa.
- Lemos, A., Neves, I. (2004). “Avaliação do Risco de Incêndio, Método de Cálculo”. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Martens, D., Balta- Brouma, k., Brotsack, R., Schramel, P., klimm, C., Henkelmann, B., Oxynos, K., Schramm, K., Diamadopoulos, E., Kettrup, A. (1998). “Chemical Impact of Uncontrolled Solid Waste Combustion to the Vicinity of the Kouroupitos Ravine, Crete, Greece”. Chemosphere, Vol. 36, No.14, pp. 2855-2866. Germany.
- Misgav, A., Perl, N., Avnimelech, Y. (2001). “Selecting a Compatible Open Space Use for a Closed Landfill Site”. Landscape and planning Vol. 55, pp.95-111.
- Oygaard, J., Mage, A., Gjengedal, E., Svane, T. (2005). “ Effect of an Uncontrolled Fire Fight on the Chemical Composition of Landfill Leachate”. Waste Management, Vol. 25, pp. 712-718. Norway.

- Pascoal, D. (2012). “Analysys of the Portuguese Municipal Solid Waste Management System”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Reis, M. (2001). “Projeto de Tratamento Ambiental e Paisagístico da Antiga Pedreira de Maiorca”. 1ª Fase- Aterro para RIB, Projeto de Execução. Agrupamento ENGIL SERURB-GESMAI, Lisboa.
- Rodrigues, J. (2008). “Árvores de Conceitos e Árvores de Falhas”. Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Ruokojarvi, P., Ettala, M., Rahkonen, P., Tarhanen, J., Ruuskanen, J.(1995). “Polychlorinated Dibenzo-P-Dioxins and furans (PCDDs and PCDFs) in Municipal Waste Landfill Fires”. Chemosphere, Vol. 30, No.9, pp. 1697-1708. Germany.
- Russo, M. (2003). “Tratamento de Resíduos Sólidos”. Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Sarsby, R. (2000). “Environmental Geotechnics”. Thomas telford publishing. pp. 272-324.
- Shimizu, Y., Wakakura, M., Arai, M. (2009). “Heat Accumulations and Fire Accidents of Waste Piles”. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 22, pp. 86-90. Japan.
- Smet, E. (1999). “F.R.A.M.E.- Handbook for the use of this Fire Risk Assessment Method for Engineering”.
- TNO Safety software EFFECTS user and reference manual - Version 9 (2012). Netherlands: TNO Built Environment & Geosciences, 2012.
- Vassiliadou, I., Papadopoulou, A., Costopoulou, D., Vasiliadou, S., Christoforou, S., Leondiadis, L. (2009).” Dioxin Contamination After na Accidental Fire in the Municipal Landfill of Tagarades, Thessaloniki, Greece”. Chemosphere, Vol. 74, pp. 879-884. Greece.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ELETRÓNICAS

- APA (2011a). “Caracterização da situação atual - 2010/2011”. Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em 03.10.12.
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=254&sub3ref=260>
- APA (2011b). “Lista de Aterros em Exploração em 2011”. Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em 03.10.12.
<http://sirapa.apambiente.pt/silogr.htm>
- APA (2011c). “Plano Estratégico para Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016”. Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em 03.10.12.
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=108&sub3ref=209>
- APA (2013a). “Protocolo de Quioto”. Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em 03.02.13.
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>.

- APA (2013b). “Protocolo de Montreal”. Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em 03.02.13. <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=83>.
- Camada de ozono (2013). [http://camada-de-ozonio.info/mos/view/Protocolo de Montreal](http://camada-de-ozonio.info/mos/view/Protocolo%20de%20Montreal). Acedido em 16.01.2013.
- Calor específico dos materiais (2013a). <https://www.google.pt/search?q=tabela+de+calor+espec%C3%ADfco+de+materiais&hl=pt-BR&tbo=u&tbm=isch&source=univ&sa=X&ei=GBEUUc6EGdKYhQeD94DgBA&ved=0CDMQsAQ&biw=1280&bih=664#imgrc=GguoxAgIvtkFHM%3A%3B7Gfht8RYh0oM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.alunosonline.com.br%252Fupload%252Fconteudo%252Fimag es%252Ftabela-de-caloree-especifico.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.alunosonline.com.br%252Ffisica%252Fcalor-especifico-uma-substancia.html%3B344%3B459>. Acedido em 30.01.2013.
- Calor específico dos materiais (2013b). <https://www.google.pt/search?q=tabela+de+calor+espec%C3%ADfco+de+materiais&hl=pt-BR&tbo=u&tbm=isch&source=univ&sa=X&ei=GBEUUc6EGdKYhQeD94DgBA&ved=0CDMQsAQ&biw=1280&bih=664#imgrc=nn7RLHpO-snO1M%3A%3BjqNoj6CWRtYBbM%3Bhttp%253A%252F%252Fcsparedexteriores.files.wordpress.com%252F2012%252F09%252Fcalor-especifico1.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fcsparedexteriores.wordpress.com%252F%3B675%3B515>. Acedido em 30.01.2013.
- Diário de Coimbra (2012). [http://www.diariocoimbra.pt/noticias/incendio-no-aterro sanitario-de vil-de-matos](http://www.diariocoimbra.pt/noticias/incendio-no-aterro-sanitario-de-vil-de-matos). Incêndio em aterro. Portugal. Acedido em 28.11.2012.
- Efeito de Estufa (2012). <http://www.rudzerhost.com/ambiente/estufa.htm>. Acedido em 07.03.2013.
- http://www.google.pt/imgres_/como-funciona-um-aterro-sanitario.html/. Constituição de um Aterro. Acedido em 3.10.2012
- Landfill Fire Control (2012). <http://www.landfillfire.com/index.html>. Providing a full range of landfill fire control and prevention services world wide, Canada. Acedido em 2.11.2012.
- Life &style Bem Estar (2013). <http://lifestyle.publico.pt/dicionario/299749-1-de-lampreia>. Acedido em 12.02.2013.
- Lipor (2009). “Guia para uma Gestão Sustentável dos Resíduos”. Lipor. Acedido em 20.09.2012. <http://pt.scribd.com/doc/37413536/guia-para-uma-gestao-sustentavel-dos-residuos>
- Neves, I. (2005). “Quantificação do risco de incêndio com recurso à árvore de acontecimentos”. Instituto Superior Técnico. <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/115122/1/Quantificacao%20do%20risco.pdf>. Acedido em 25.01.2013.
- Sapo Noticias (2011). <http://noticias.sapo.pt/infolocal/artigo/1185116>. Incêndio em aterro. Portugal. Acedido em 28.11.2012.
- Semanal Omirante (2010). <http://semanal.omirante.pt/noticia.asp?idEdicao=&id=66264&idSeccao=7123&Actio=noticia>. Jornal Semanal Omirante. Incêndio em aterro. Portugal. Acedido em 28.11.2012.

- TVI 24 (2010). <http://www.tvi24.iol.pt/sociedade/incendio-proteccao-civil-fogo-fronteira-portalegre-tvi24/1166552-3210.html>. Incêndio em aterro. Portugal. Acedido em 28.11.2012.
- SNIRH (2012). <http://snirh.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Portugal. Acedido em 22.12.2012.
- TSF (2003). http://www.tsf.pt/PaginaInicial/Vida/Interior.aspx?content_id=868624. Rádio Notícias. Incêndio em aterro. Portugal. Acedido em 28.11.2012.
- TSF(2008). http://www.tsf.pt/PaginaInicial/Vida/Interior.aspx?content_id=1022237&page=1. Rádio Notícias. Incêndio em aterro. Portugal. Acedido em 28.11.2012.
- Wikipédia (2013a). http://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Montreal. Acedido em 16.01.2013.
- Wikipédia (2013b). http://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_estufa. Acedido em 16.01.2013.
- Wikipédia (2013c). <http://pt.wikipedia.org/wiki/Pato-real>. Acedido em 12.02.2013.
- Wikipédia (2013d). <http://pt.wikipedia.org/wiki/Cegonha-branca>. Acedido em 12.02.2013.
- Wikipédia (2013e). <http://pt.wikipedia.org/wiki/Gaivota-prateada>. Acedido em 12.02.2013.
- Wikipédia (2013f). <http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A1vel>. Acedido em 12.02.2013.

ANEXO A- IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS DE UM INCÊNDIO NO ATERRO DE RIB EM ESTUDO

DESCRITOR AMBIENTAL	AÇÃO (ÕES) GERADORA (S) DE IMPACTE	DESCRIÇÃO DO IMPACTE	ÁREA DE OCORRÊNCIA	CARACTERÍSTICAS DO IMPACTE	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO/COMPENSAÇÃO
Qualidade do ar	Emissão de fumos, gases e partículas	Degradação da qualidade do ar; Depleção da camada de ozono; Smog; Suspensão de partículas no ar	Regional	Negativo; Média magnitude; Temporário; Significativo; Certo	Plano paisagístico adequado para que de alguma forma se compense a poluição atmosférica
	Global				
Solos	Infiltração de lixiviado no solo; Uso de solos para extinção do incêndio; Derrame de resíduos ou efluentes nos solos resultantes da extinção do incêndio	Contaminação dos solos; Perda de produtividade agrícola	Local	Negativo; Média magnitude; Temporário; Significativo; Pouco provável	Colocação de telas impermeáveis no aterro que sejam resistentes a altas temperaturas
Recursos Hídricos	Derrame de resíduos ou efluentes na água resultantes da extinção do incêndio	Contaminação das águas superficiais e/ou subterrâneas	Regional	Negativo; Média magnitude; Permanente; Significativo; Pouco provável	Colocação de telas impermeáveis no aterro que sejam resistentes a altas temperaturas
Recursos	Consumo de água para extinção do incêndio;	Depleção dos recursos fósseis; Depleção de água	Global	Negativo; Média magnitude; Permanente; Pouco Significativo; Provável	
Clima	Emissões de gases	Aquecimento global; Chuvas ácidas	Global	Negativo; Média magnitude; Permanente; Significativo; Pouco provável	Plano paisagístico adequado para que de alguma forma se compense a poluição atmosférica

DESCRIPTOR AMBIENTAL	AÇÃO (ÕES) GERADORA (S) DE IMPACTE	DESCRIÇÃO DO IMPACTE	ÁREA DE OCORRÊNCIA	CARACTERÍSTICAS DO IMPACTE	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO/COMPENSAÇÃO
Paisagem	Derrame de substâncias na água e/ou no solo	Afetação da paisagem	Local	Negativo; Média magnitude; Temporário; Significativo; Certo	Plano paisagístico adequado para que de alguma forma se compense a poluição atmosférica
	Emissão de fumos, gases e partículas	Redução temporária da qualidade visual			
Fauna e Flora	Temperaturas elevadas; Emissão de fumos; Derrame de substâncias na água e/ou no solo	Afetação da fauna e da flora	Local	Negativo; Média magnitude; Permanente; Significativo; Pouco provável	Proteção dos habitats relativamente ao derrame de substâncias
Saúde Pública	Emissão de fumos, gases e partículas	Problemas de saúde a nível respiratório; Alimentação com produtos contendo substâncias perigosas	Local	Negativo; Alta magnitude; Temporário; Muito significativo; Provável	Proteção dos trabalhadores e bombeiros por mascaras adequadas;
	Temperaturas elevadas; Libertação de gases tóxicos	Perdas humanas			
	Derrame de lixiviados e efluentes resultantes da extinção do incêndio na água e/ou solos	Consumos de águas e vegetais/cereais contaminados			
Socio Economia	Destruição da instalação;	Perdas económicas; Perda dos materiais de construção do aterro	Local	Negativo; Alta magnitude; Temporário; Muito significativo; Provável	Colocação de telas no aterro que sejam resistentes ao fogo
	Derrame de substâncias na água e/ou solos	Poluição hídrica; Poluição do solo			