

Guia Setorial de Responsabilidade Ambiental para a Armazenagem de Produtos Petrolíferos - Regiões Autónomas

Outubro 2012



Preparado para:



Preparado por:

URS

Título do Relatório	Guia Setorial de Responsabilidade Ambiental para a Armazenagem de Produtos Petrolíferos - Regiões Autónomas
Projeto nº:	44193352
Status:	Final
Cliente (Pessoa de contacto):	Eng.º José Alberto Oliveira
Cliente:	APETRO
Emitido por:	URS España Méndez Álvaro, 9, 2ª dcha. 28045 Madrid Tel.: +34 915 064 730 Fax: +34 914 683 953

Supervisão do Documento

Edição nº: 2	Nome	Data	Cargo
Preparado por	Joana Rocha - Lucyna Mocka - Alberto Carbajo - Carlos Herrarte,	Agosto 2012	Técnicos de Projeto
Verificado	César Asensio	Agosto 2012	Diretor de Projeto
Aprovado por	César Asensio	Agosto 2012	Diretor de Projeto

Revisões do Documento

Edição nº	Data	Detalhe das Revisões
1	Novembro 2011	Edição original
2	Agosto 2012	Edição revista

LIMITAÇÕES

Foram feitos todos os esforços para assegurar a exatidão da informação contida nesta publicação. Contudo, nem a APETRO nem o autor (URS) assumem qualquer tipo de responsabilidade por perdas ou danos ocasionados ou alegadamente ocasionados, em parte ou na íntegra, por qualquer ação ou omissão, da utilização dos conteúdos desta publicação.

DIREITOS DE AUTOR

© URS (United Research Services España S.L.U.) tem direitos de autor sobre o presente relatório.

ÍNDICE

Secção	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. LINHAS ORIENTADORAS PARA ANÁLISE DE UM ACIDENTE	2
2.1. Domínio Espécies e Habitats	4
2.2. Domínio Solo	6
2.3. Domínio Água.....	7
3. BREVE APRESENTAÇÃO DA ATIVIDADE.....	10
4. APLICABILIDADE DO DL 147/2008.....	16
5. CRITÉRIOS PARA A DEFINIÇÃO DO ESTADO INICIAL E POSTERIOR SEGUIMENTO	17
5.1. Antecedentes	17
5.2. Definição do Âmbito de Estudo.....	18
5.3. Caracterização Ambiental e Monitorização do Estado Inicial	18
5.4. Características Gerais da Envolvente	19
5.5. Usos do Solo	19
5.6. Identificação e Avaliação da Qualidade Ambiental dos Recetores Vulneráveis	20
6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL.....	35
6.1. Âmbito de Aplicação	35
6.2. Desenvolvimento da Metodologia	35
6.3. Descrição das Instalações	38
6.3.1. Características da Instalação	39
6.3.2. Operações e Processos Desenvolvidos	40
6.3.3. Medidas de Segurança e Controlo Instaladas	40
6.3.4. Produtos Armazenados/Manipulados	40
6.4. Análise do Histórico de Acidentes.....	42
6.4.1. Estatística dos Acidentes	44
6.4.2. Conclusões.....	55
6.5. Identificação de Perigos Potenciais	55
6.5.1. Perigos Potenciais Relacionados com os Equipamentos.....	58
6.5.2. Perigos Potenciais Relacionados com as Substâncias Armazenadas.....	59
6.5.3. Identificação Preliminar de Sequências Acidentais	60
6.6. Avaliação de Riscos	66
6.6.1. Análise Causal	66
6.6.2. Análise de Gravidade.....	72
6.6.3. Tomada de Decisão	76
6.6.4. Estimativa e Quantificação do Dano Ambiental	77
7. GARANTIA FINANCEIRA	79

GLOSSÁRIO

ANEXOS

Anexo I – Parques de Armazenagem e Terminais das Empresas Associadas da APETRO nas Regiões Autónomas

Anexo II – Escala Global de Gravidade de Consequências

Anexo III – Metodologias de Cálculo para a Quantificação do Volume e Extensão da Substância Libertada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Representação Esquemática Genérica de Ocorrência de Incidente/Acidente no âmbito do DL 147/2008	3
Figura 2 – Afetação de Espécies e Habitats Naturais Protegidos a partir de uma Descarga de Contaminantes (Fonte: US EPA, The Great Lakes)	5
Figura 3 – Vias de contacto/exposição do solo contaminado (Fonte: Ontario Ministry, 2007).....	6
Figura 4 – Afetação de Massas de Água (Superficial e Subterrânea) e seus Serviços a partir de uma Descarga de Contaminante (Fonte:Clean Air Task Force).....	8
Figura 5 – Fluxo da Produção do Petróleo desde a Extração até ao Consumo Final (Fonte: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 7, Novembro 2006)	10
Figura 6 – Distribuição dos Principais Terminais e Parques de Armazenagem e Refinarias em Portugal.....	15
Figura 7 – Representação Esquemática do Processo de Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos	37
Figura 8 – Análise Estatística de Acidentes em Depósitos de Produtos Petrolíferos, por Fase do Processo (Fonte: Base de Dados BARPI 1945-2009)	45
Figura 9 – Tratamento de Dados da Armazenagem Atmosférica.....	46
Figura 10 – Tratamento de Dados da Receção e Expedição	47
Figura 11 – Representação Esquemática do Processo de Identificação de Perigos Potenciais	56
Figura 12 – Representação Esquemática do Cálculo da Probabilidade Final de Ocorrência da Sequência de Acidente	67
Figura 13 – Árvore de Acontecimentos de Perda de Contenção num Tanque de Armazenagem de Gasolina	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de Tanques de Armazenagem de Produtos Petrolíferos	11
Tabela 2 – Relação dos Principais Produtos Petrolíferos Manuseados em Portugal.....	14
Tabela 3 – Características Gerais da Envolvente	19
Tabela 4 – Espécies Protegidas – Flora	25
Tabela 5 – Espécies Protegidas – Fauna	26
Tabela 6 – Habitats Naturais Protegidos.....	27
Tabela 7 – Espaços Naturais Protegidos	28
Tabela 8 – Águas	29
Tabela 9 – Solos.....	30
Tabela 10 – Serviços e Recursos Naturais	31
Tabela 11 – Glossário	32
Tabela 12 – Características de Perigosidade dos Produtos Armazenados.....	41
Tabela 13 – Propriedades Físico-Químicas dos Produtos Armazenados	41

Tabela 14 – Bases de Dados de Acidentes Industriais.....	43
Tabela 15 – Distribuição de Acidentes na Armazenagem, por Fase de Processo e Tipo de Acontecimento Inicializador	48
Tabela 16 – Distribuição de Acidentes na Armazenagem, por Fase de Processo e Tipo de Acontecimento Crítico	49
Tabela 17 – Distribuição de Acidentes na Armazenagem, por Fase de Processo e Tipo de Fenômeno Perigoso	49
Tabela 18 – Distribuição de Acidentes na Recepção e Expedição, por Fase de Processo e Tipo de Acontecimento Inicializador	52
Tabela 19 – Distribuição de Acidentes na Recepção e Expedição, por Fase de Processo e Acontecimento Crítico	53
Tabela 20 – Distribuição de Acidentes na Recepção e Expedição, por Fase de Processo e Fenômeno Perigoso	53
Tabela 21 – Principais Fontes de Perigo numa Instalação de Armazenagem de Produtos Petrolíferos.....	57
Tabela 22 – Principais Tipos de Acontecimentos Inicializadores.....	58
Tabela 23 – Sequências de Acidente Possíveis/Prováveis numa Instalação de Armazenagem de Produtos Petrolíferos	61
Tabela 24 – Identificação Preliminar de Perigos por Equipamento, Substância Armazenada e Sequência Acidental – Exemplos ¹	64
Tabela 25 – Escala Semiquantitativa de Probabilidades de Ocorrência	71
Tabela 26 – Escala Semiquantitativa de Gravidade de Consequências Ambientais	74
Tabela 27 – Matriz de Decisão.....	77
Tabela 28 – Aceitabilidade do Risco	77

1. INTRODUÇÃO

A Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas (APETRO), motivada pelos novos requisitos exigidos pelo Decreto-Lei nº 147/2008, de 29 de Julho (DL 147/2008), de Responsabilidade Ambiental, constituiu em Outubro de 2009 um grupo de trabalho com o objetivo de estabelecer mecanismos e procedimentos que permitam ao setor cumprir adequadamente com este novo requisito legal.

Neste contexto, a APETRO desenvolveu o projeto intitulado “Guia Setorial para Aplicação do Regime de Responsabilidade Ambiental às Atividades de Armazenagem, Distribuição e Comercialização de Produtos Petrolíferos”. O objetivo deste guia é o de proporcionar um documento orientador que foi oportunamente validado pelas autoridades competentes das Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, respetivamente a Secretaria Regional do Ambiente e do Mar (SRAM) e a Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais (SRA), quer para este setor como para outros setores, no que diz respeito às metodologias a aplicar para cumprimento dos requisitos desta legislação pelos operadores.

Assim, a APETRO contratou a URS para prestar apoio técnico e desenvolver este guia facilitando aos operadores o cumprimento dos requisitos fixados por este diploma, que transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2004/35/CE, de 21 de Abril, que aprovou, com base no princípio do “poluidor pagador”, o regime de responsabilidade ambiental aplicável à prevenção e reparação dos danos ambientais.

De acordo com a proposta da URS (referência 0911264MG) e com os Termos de Referência da APETRO, o projeto compõe-se das seguintes fases:

- 1ª Fase: Levantamento e *Benchmark* de metodologias, legislação e regulamentação existentes e aplicáveis ao setor;
- 2ª Fase: Elaboração de guias setoriais:
 - Guia de armazenagem de produtos petrolíferos;
 - Guia de distribuição de produtos petrolíferos; e
 - Guia de comercialização de produtos petrolíferos.
- 3ª Fase: Ações de divulgação do guia setorial.

O presente documento constitui o Guia de Armazenagem de produtos petrolíferos, que se desenvolve nos seguintes pontos:

- Linhas orientadoras para análise de um acidente, para eventual reporte de uma ameaça de dano ambiental ou dano ambiental, no âmbito do DL 147/2008;
- Metodologia de avaliação de risco ambiental aplicável à atividade de armazenagem de produtos petrolíferos.

2. LINHAS ORIENTADORAS PARA ANÁLISE DE UM ACIDENTE

O DL 147/2008 determina, como obrigação legal do operador, a comunicação à autoridade competente, imediata ou num prazo de 24 horas, de uma ameaça iminente de dano ambiental ou ocorrência de dano ambiental, respetivamente.

É necessário portanto que o operador recolha informação que lhe permita:

- avaliar claramente se um acidente ocorrido poderá constituir ou não uma ameaça iminente de dano ou dano ambiental; e
- identificar o conteúdo da comunicação a fazer à autoridade competente.

O presente guia apresenta algumas linhas orientadoras para avaliação da ocorrência, nomeadamente no que se refere ao reporte de ameaça iminente de dano ambiental à autoridade competente. Em particular, o conjunto de orientações expostas de seguida poderá ser considerado pelo operador a fim de avaliar se uma ocorrência constitui uma ameaça iminente de dano ambiental nos diferentes domínios aplicáveis.

Refere-se ainda que o operador pode recorrer à consulta do Formulário de Reporte de Ameaça Iminente de Dano Ambiental e Ocorrência de Dano Ambiental¹, publicado pela Agência Portuguesa do Ambiente em Julho de 2010 no âmbito do Regime de Responsabilidade Ambiental. Ainda que não seja aplicável às regiões autónomas, este documento pode ser consultado como orientação na informação a recolher por parte do operador aquando do reporte à autoridade competente.

Como ponto de partida e, numa abordagem genérica, poder-se-á visualizar esquematicamente a questão da forma que se apresenta na Figura 1, em seguida.

1

http://www.apambiente.pt/zdata/Instrumentos/Responsabilidade%20Ambiental/Formulrio%20Reporte%20RA_final_2.xls

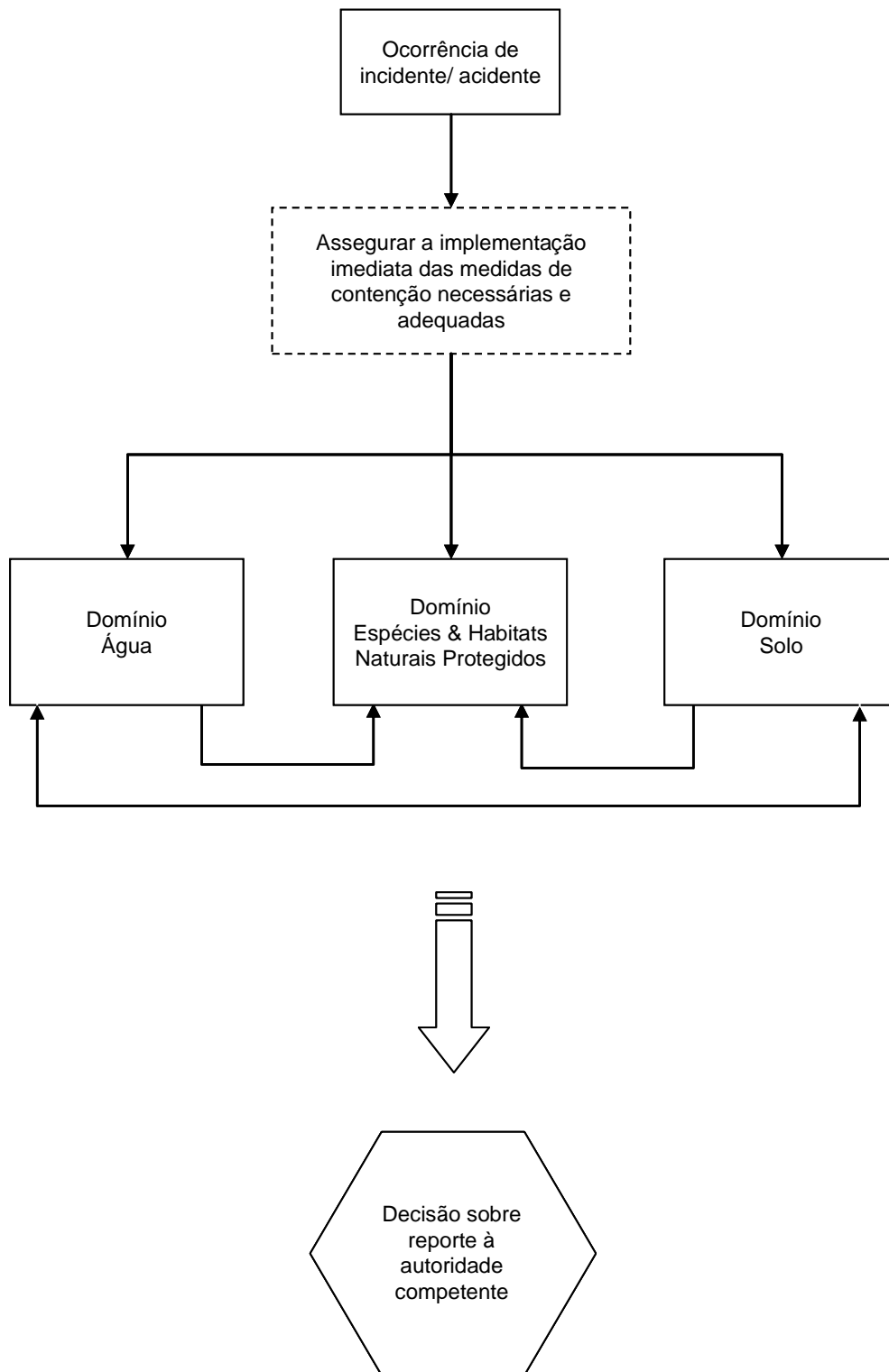


Figura 1 – Representação Esquemática Genérica de Ocorrência de Incidente/Acidente no âmbito do DL 147/2008

Importa ressaltar que a constatação de uma ameaça iminente de dano ambiental não acontece necessariamente imediatamente após a ocorrência do incidente, visto que pode ser necessário obter informação adicional do mesmo e das suas potenciais consequências.

Em primeira instância há que assegurar a implementação imediata das medidas de contenção necessárias e adequadas. Posteriormente, será necessário avaliar as consequências ambientais e a persistência das mesmas (i.e., o impacto ambiental efetivo) de uma determinada ocorrência.

Importa destacar ainda que, apesar da avaliação apresentada nos capítulos que se seguem se encontrar organizada por domínios, é preciso não esquecer que uma ocorrência poderá provocar consequências (direta ou indiretamente) num ou mais domínios em simultâneo, tal como se representa na Figura 1, pelo que o operador deverá analisar a ocorrência, transversalmente e de forma integrada, para os diferentes domínios apresentados e abrangidos pela legislação.

Caso não seja possível obter informação suficiente ou subsistam dúvidas concretas, o operador deve contactar as entidades competentes para verificar a necessidade de reporte do incidente.

2.1. Domínio Espécies e Habitats

Para avaliar as consequências ambientais neste domínio, há que analisar, por um lado, se a ocorrência atingiu diretamente as espécies ou habitats naturais protegidos e, por outro, se existe possibilidade de espécies ou habitats naturais protegidos serem atingidos indiretamente (através de um vetor como cursos de água, solo, etc.). Para auxílio à avaliação deste ponto, o operador poderá consultar a Figura 2.

Fluxograma de Espécies Protegidas e Habitats Naturais (cont.)

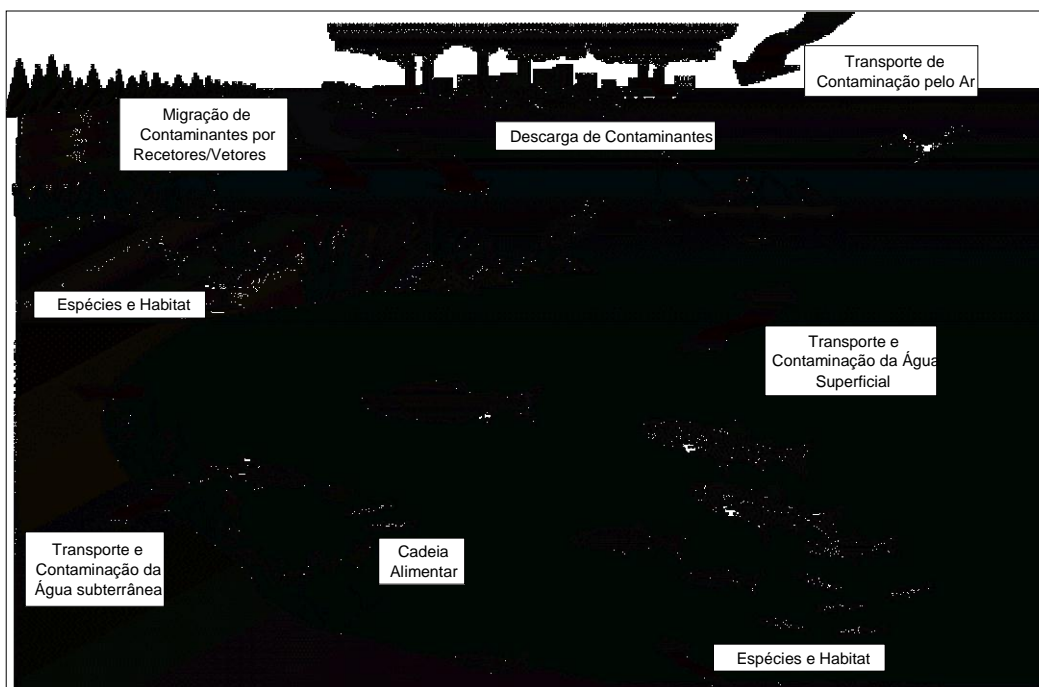


Figura 2 – Afetação de Espécies e Habitats Naturais Protegidos a partir de uma Descarga de Contaminantes (Fonte: US EPA, The Great Lakes)

Para avaliar a possibilidade de espécies ou habitats naturais protegidos serem atingidos indiretamente, o operador deverá colocar-se as seguintes questões, entre outras que considere pertinentes:

- A orientação predominante dos ventos (rosa dos ventos) dirige-se a uma zona com espécies ou habitats naturais protegidos?
- O caudal das águas subterrâneas e superficiais permite o transporte do contaminante até as zonas referidas?
- Qual o volume derramado?
- Qual a perigosidade da substância?

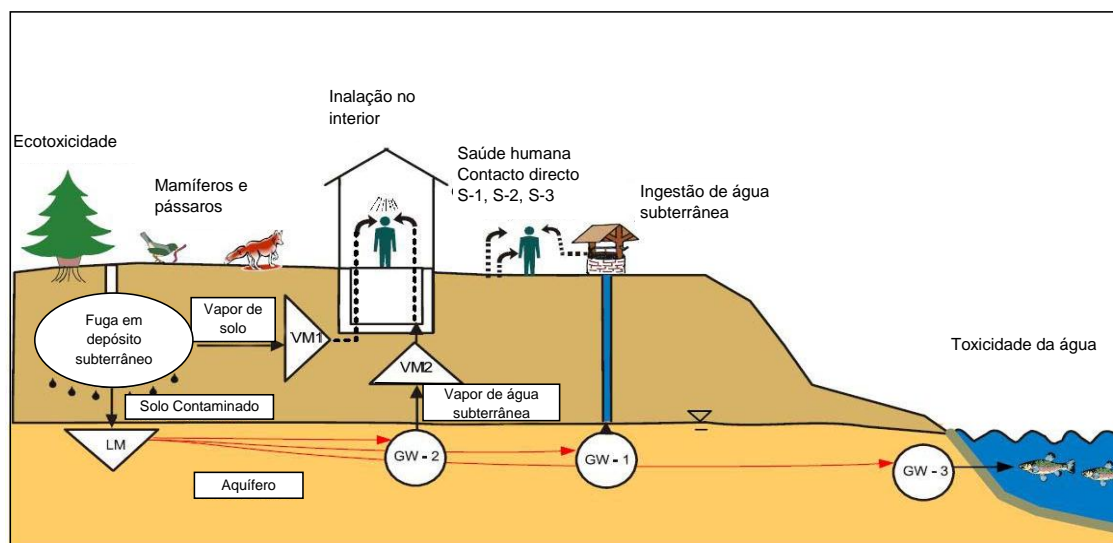
Esta avaliação poderá ser suportada tendo por base documentação já existente, como por exemplo, o relatório de Estado Inicial, caso a instalação disponha do mesmo, documentos públicos, estudos de impacte ambiental, planos de emergência internos, relatórios de segurança, fichas de dados de segurança dos produtos e resultados da avaliação de riscos – modelizações e soluções analíticas.

2.2. Domínio Solo

Para avaliar as consequências ambientais no domínio solo, há que verificar se houve libertação de uma substância perigosa para o mesmo. Para avaliar esta situação, o operador deverá analisar as seguintes questões, entre outras que considere pertinentes:

- O solo é impermeabilizado?
- O solo é natural?
- O solo é permeável (arenoso ou argiloso)?
- Qual o volume derramado?
- Quais as propriedades do solo e da substância?

Cumulativamente e, caso se confirme que houve libertação de uma substância perigosa para o solo, há também necessidade de avaliar se existem vias de contacto/exposição do solo afetado com as pessoas. Para auxílio à avaliação deste ponto, o operador poderá consultar a Figura 3.



Legenda: S1, S2 e S3: vias de inalação, ingestão e contacto cutâneo

**Figura 3 – Vias de contacto/exposição do solo contaminado
(Fonte: Ontario Ministry, 2007)**

Nestas circunstâncias, o operador deverá analisar as seguintes questões, entre outras que considere pertinentes:

- Qual a profundidade da água subterrânea?
- Existem massas de água superficial próximas?

- Devem ter-se em conta os dados já recolhidos de propriedades do solo e da substância bem como de permeabilidade do solo;
- Existe a possibilidade de inalação, em espaços abertos ou fechados, de ingestão e/ou de contacto cutâneo? (Será útil consultar a Figura 3, que representa as vias possíveis de contacto/exposição que poderão estar presentes, dada uma libertação de uma substância no solo);
- Verifica-se excedência dos valores de referência de concentração no solo (conforme o seu uso) para efeitos de proteção da saúde humana? (Neste ponto em particular, o operador deverá desencadear um "Tier 1"² no qual se comparem os valores de concentração nas amostras de solo recolhidas com os valores genéricos de referência. Enquanto não existir em Portugal legislação que estabeleça valores de referência para o solo, poderá consultar-se a lista de valores de referência de contaminação para solos na Página 9).

Consideram-se como elementos de suporte para a obtenção de informação relevante para esta avaliação os seguintes: o relatório de estado inicial ambiental, caso a instalação disponha do mesmo, documentos públicos, estudos de impacte ambiental, planos de emergência interna, relatórios de segurança, fichas de dados de segurança dos produtos e resultados da avaliação de riscos – modelizações e soluções analíticas.

2.3. Domínio Água

Para avaliar as consequências ambientais no domínio água, há que analisar se a ocorrência afetou ou se existe a possibilidade de afetar uma massa de água superficial e/ou subterrânea. Para auxílio à avaliação deste ponto, o operador poderá consultar a Figura 4.

² Entende-se por "Tier 1" a análise de primeiro nível.

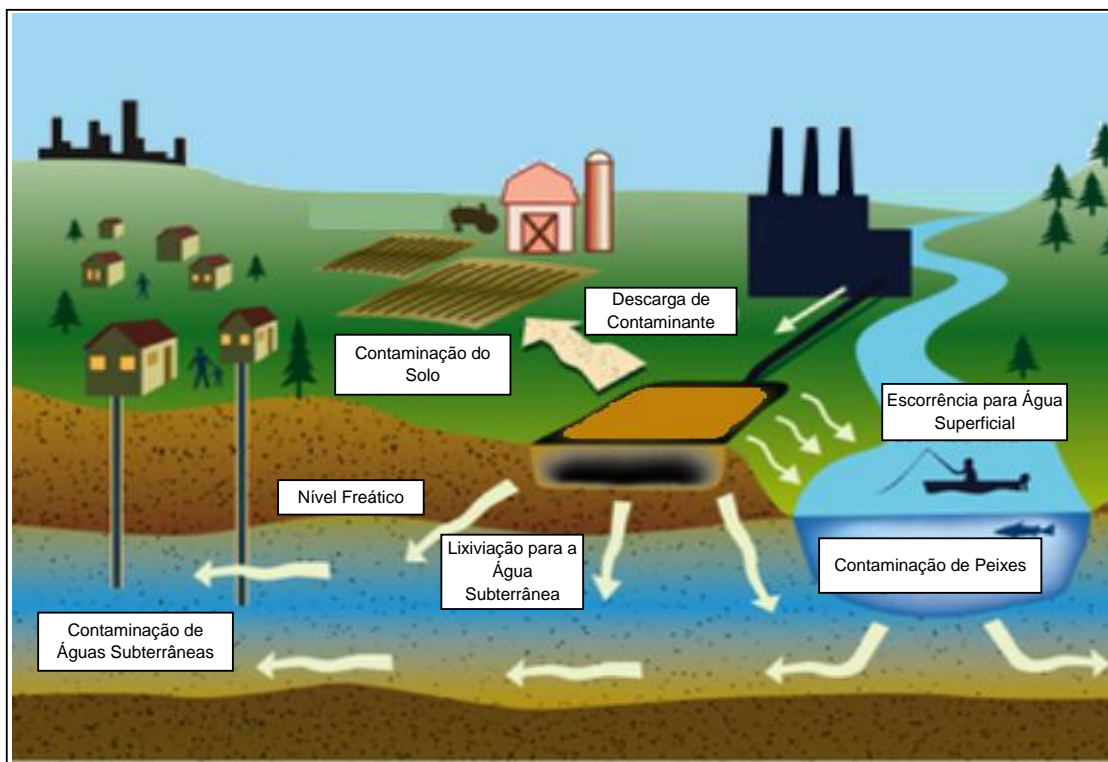


Figura 4 – Afetação de Massas de Água (Superficial e Subterrânea) e seus Serviços a partir de uma Descarga de Contaminante (Fonte:Clean Air Task Force)

No âmbito desta avaliação, o operador deverá colocar-se as seguintes questões, entre outras que considere pertinentes:

- Quais as propriedades da substância?
- Qual a persistência da substância?
- Qual o volume derramado?
- Qual a capacidade de diluição e degradação no meio?

Consideram-se como elementos de suporte para a obtenção de informação relevante para esta avaliação os seguintes: relatório de estado Inicial, caso a instalação disponha do mesmo, documentos públicos, estudos de impacto ambiental, planos de emergência interna, relatórios de segurança, fichas de dados de segurança dos produtos e resultados da avaliação de riscos – modelizações e soluções analíticas.

Lista de Referências de Contaminação para Solos**ONTARIO**

Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use under Part XV.1 of the Environmental Protection Act
Ministry of the Environment, July 27, 2009, <http://www.ene.gov.on.ca/publications/7382e.pdf>
<http://www.ene.gov.on.ca/envision/land/decomm/condition.htm>

HOLANDA

Soil Remediation Circular 2009
Intervention Values for Soil and Groundwater, Annex 1, Table 1
<http://international.vrom.nl/Docs/internationaal/ENGELSE%20versie%20circulaire%20Bodemsanering%202009.pdf>

FLANDRES

Decree of 27 October 2006 on Soil Remediation and Soil Protection
VLAREBO Order of the Flemish Government of 14 December 2007 establishing the Flemish Soil Remediation and Protection Regulations
Appendix IV. Article 1. Soil Remediation Standards
(Unsubmerged Land and Groundwater Remediation Standards)
<http://navigator.emis.vito.be/milnav-consult/consultatieLink?wettekstd=23580&appLang=en&wettekstLang=en>

ESPAÑA

Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

Anexo V - Listado de contaminantes y niveles genéricos de referencia para protección de la salud humana en función del uso del suelo.

Para compostos inorgánicos, cada comunidade deverá propor os valores adequados, por exemplo:

Comunidade Autónoma do País Basco

Ley 1/2005, de 4 de febrero, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo.

Anexo I, Valores Indicativos de Evaluación A (VIE-A)

Comunidade Autónoma de Madrid

Orden 761/2007, de 2 de abril, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se modifica la Orden 2770/2006, de 11 de agosto, por la que se establecen niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos de traza de suelos contaminados de la Comunidad de Madrid.

Orden 2770/2006, de 11 de agosto, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se procede al establecimiento de niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos contaminados de la Comunidad de Madrid.

Comunidade Autónoma da Catalunha

Valors dels NGR per metalls i metalloides i protecció de la salut humana aplicables a Catalunya

http://www.gencat.cat/index_cas.htm

ESTADOS UNIDOS

Cada estado tem o poder de determinar os seus próprios níveis. De seguida, apresentam-se, como exemplo, os estabelecidos pela região 9 da U.S. EPA

U.S. EPA Region 9 Superfund: Regional Screening Levels (Formerly PRGs)

<http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/>

3. BREVE APRESENTAÇÃO DA ATIVIDADE

De forma genérica, a exploração do petróleo tem início, como se vê na Figura 5, na extração do crude, à qual se segue o seu transporte até às refinarias, onde é transformado nos seus vários derivados (gasolinas, gasóleos, GPL – propano e butano, betumes e emulsões betuminosas, produtos químicos, etc.). Destas, por transporte diverso (rodoviário, ferroviário, marítimo e *pipeline*), é feita a sua distribuição para os parques de armazenagem, as indústrias petroquímicas, as estações de serviço ou o consumidor final, sendo que esta ordem de ações pode variar em função do destino do produto.

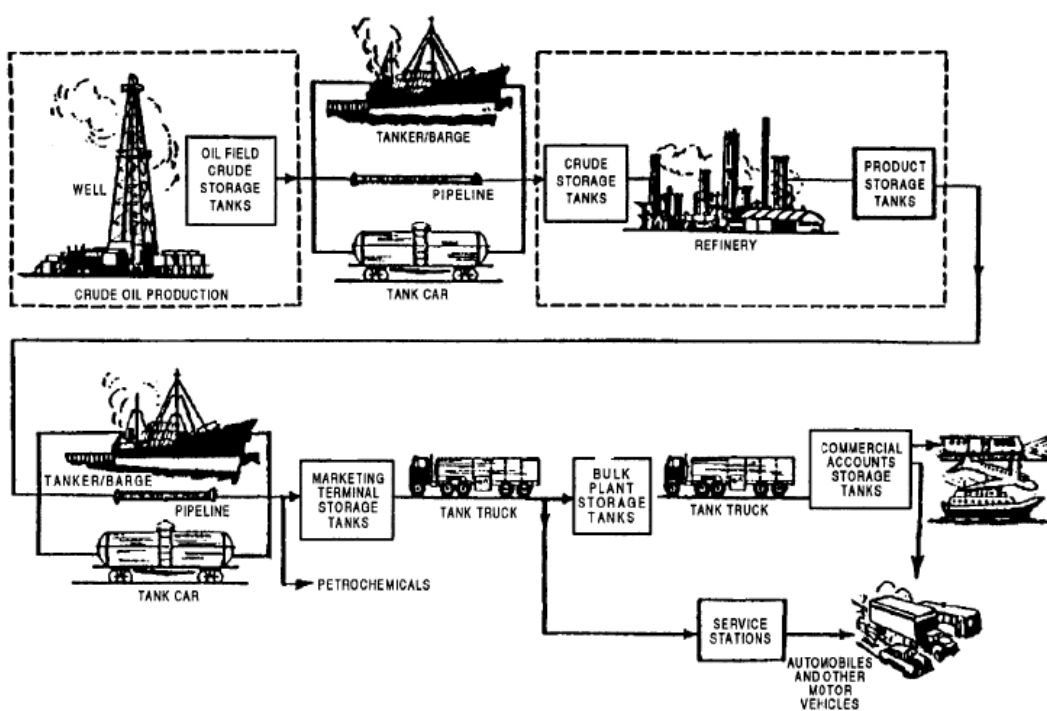


Figura 5 – Fluxo da Produção do Petróleo desde a Extração até ao Consumo Final
 (Fonte: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 7, Novembro 2006)

Neste contexto, e tendo em vista o âmbito deste projeto, um parque de armazenagem de produtos petrolíferos é tipicamente uma instalação com o objetivo de assegurar a logística destes produtos, isto é, a gestão das quantidades armazenadas bem como das expedidas de forma a garantir e otimizar o fornecimento em função das zonas a abastecer, distâncias a percorrer, tipos e quantidade de produto a expedir e transportes mais adequados até ao cliente (estações de serviço, clientes finais, etc.).

De acordo com as características de cada produto, tanto a sua armazenagem como os meios para a carga e descarga podem alterar-se, incluindo esferas, tanques ou garrafas

para a armazenagem e, tambores, cisternas ou garrafas para o transporte. Na Tabela 1, que se segue, apresenta-se uma relação dos principais tipos de tanques de armazenagem de combustíveis líquidos e gasosos.

Tabela 1 – Tipos de Tanques de Armazenagem de Produtos Petrolíferos

Produto Armazenado	Tipo de Tanque	Aspetto Típico
Produtos de Petróleo Líquidos	Teto Fixo	
	Teto Flutuante Externo (tipo pontão)	

Tabela 1 – Tipos de Tanques de Armazenagem de Produtos Petrolíferos

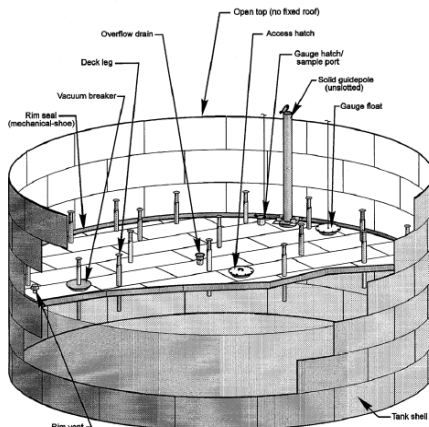
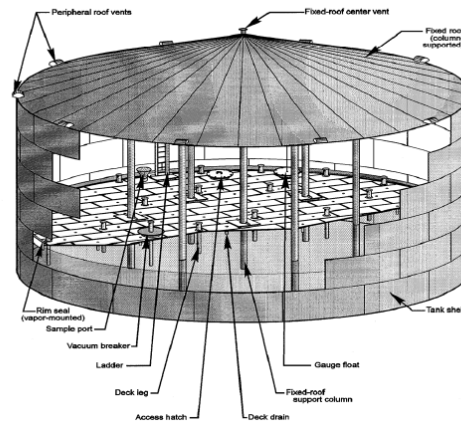
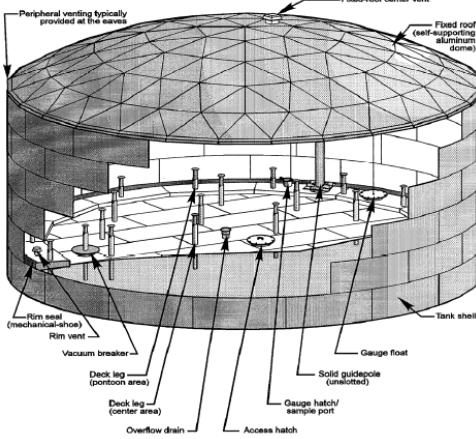
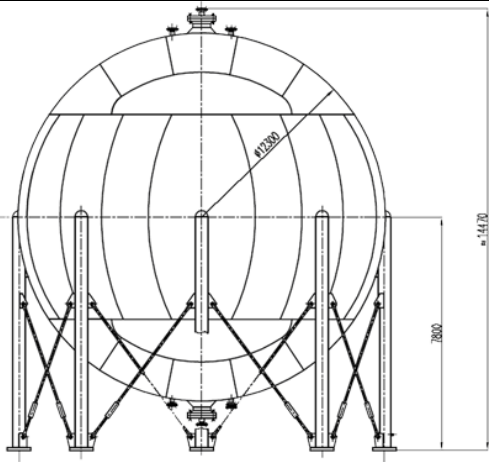
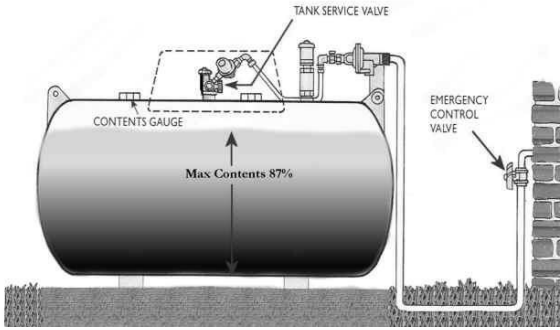
Produto Armazenado	Tipo de Tanque	Aspetto Típico
Produtos de Petróleo Líquidos	Teto Flutuante Externo (duplo deck)	
	Teto Fixo com Ecrã Flutuante Interno	
	Teto Fixo em Abóboda com Ecrã Flutuante Interno	

Tabela 1 – Tipos de Tanques de Armazenagem de Produtos Petrolíferos

Produto Armazenado	Tipo de Tanque	Aspetto Típico
Gases de Petróleo Liquefeitos	Esfera	
	Tanque Horizontal	

Fonte:
 AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 7, Novembro 2006

Na Tabela 2 apresenta-se uma relação de alguns dos principais produtos abrangidos por este estudo, o tipo de armazenagem e de que forma pode ser feito o seu transporte, em função das características do produto.

Tabela 2 – Relação dos Principais Produtos Petrolíferos Manuseados em Portugal

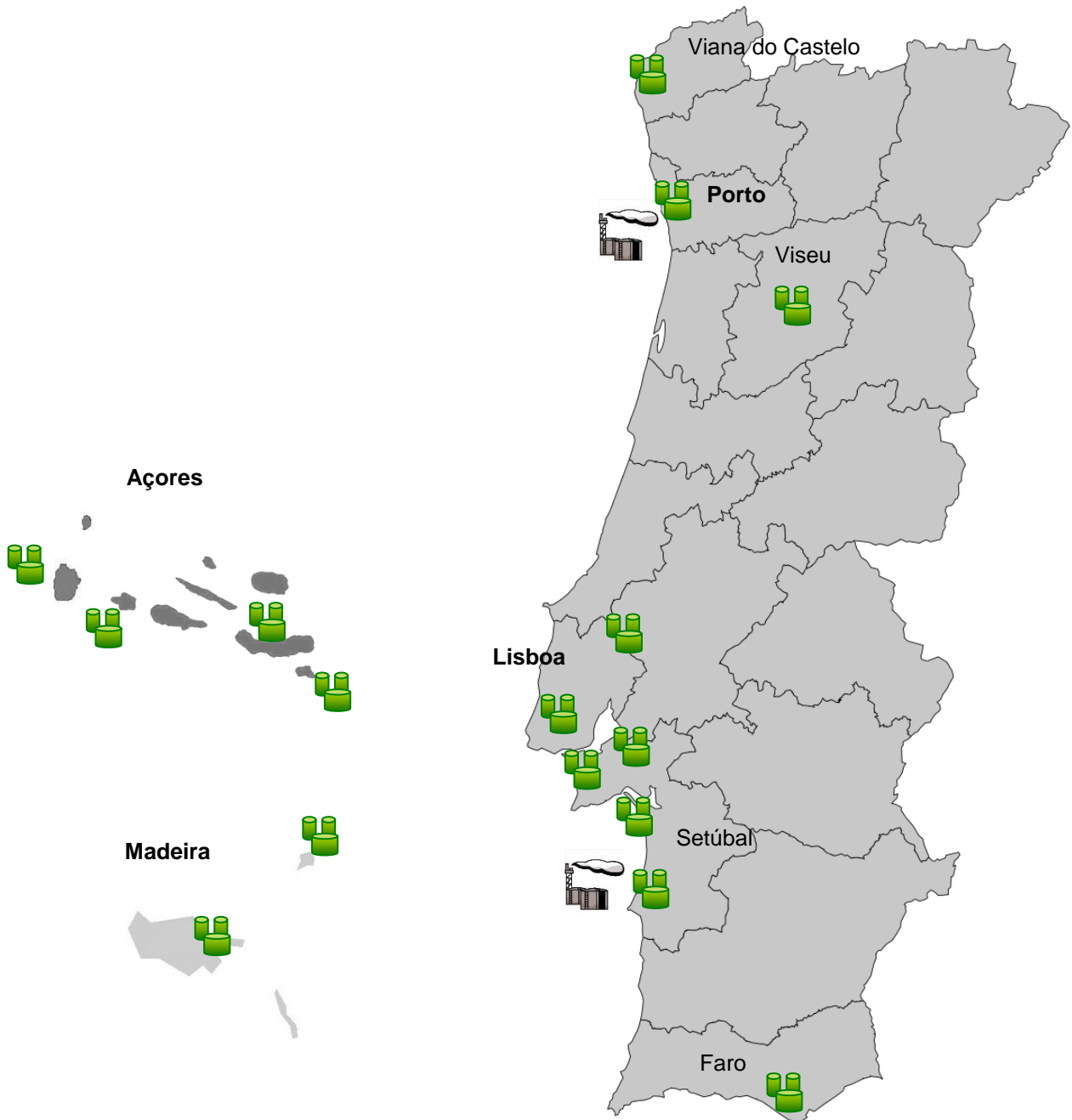
Produto Petrolífero	Tipo de Armazenagem	Tipo de Transporte
Betumes e emulsões betuminosas	Tanques Tambores	Rodoviário (granel e embalado) Marítimo (granel e embalado) <i>Pipeline</i>
GPL - propano - butano	Esferas Garrafas Tanques ¹	Rodoviário (granel e embalado) <i>Pipeline</i>
Produtos brancos - gasolinas - gasóleos - jet A1	Tanques	Rodoviário (granel) Ferroviário (granel) Marítimo (granel)
Produtos pretos - fuelóleo	Tanques	Rodoviário (granel) Marítimo (granel)

Legenda:

1. Existe também em Portugal um tipo de armazenagem de propano, por caverna subterrânea, que se optou por excluir do âmbito do guia por não se considerar representativo.

As empresas petrolíferas associadas da APETRO (BP, CEPSA, GALP e REPSOL) detêm um total de 36 Parques, Terminais de Armazenagem e Aeroinstalações no território nacional, dos quais 14 se localizam nas regiões autónomas, geridos individualmente ou em conjunto. Existem ainda parques geridos por empresas de capital partilhado, como é o caso da CLCM – Companhia Logística de Combustíveis da Madeira, que gere o Parque do Caniçal.

Tipicamente, os parques são abastecidos quer pelas duas refinarias existentes (Sines e Porto), quer por importações, especialmente via marítima através dos principais portos. Relativamente às expedições, tipicamente também, cada parque alimenta um perímetro determinado na sua área de influência. Na Figura 6 pode ver-se uma representação da distribuição das instalações no território. A tabela incluída no Anexo I apresenta um resumo da informação relevante relativa a cada um dos parques existentes nas Regiões Autónomas pertencentes às empresas petrolíferas associadas da APETRO, nomeadamente os produtos armazenados, a sua localização e capacidade total de armazenagem.



Legenda

Parques e Terminais de Armazenagem



Refinarias



Nota: O número de parques e terminais representados no mapa não corresponde ao número real existente no país. Este é apenas indicativo da sua localização.

Figura 6 – Distribuição dos Principais Terminais e Parques de Armazenagem e Refinarias em Portugal

4. APLICABILIDADE DO DL 147/2008

O DL 147/2008 aplica-se aos danos ambientais causados em resultado do exercício da atividade do setor petrolífero, nomeadamente à armazenagem de produtos petrolíferos, bem como à ameaça iminente desses danos, visto a que esta atividade em particular se enquadra no nº 7, alínea a) e b) do Anexo III do diploma. Neste anexo são listadas as atividades e, conseqüentemente, os operadores a que se aplica a responsabilidade ambiental objetiva, isto é, aquela que, independentemente da existência de dolo ou culpa, imputa ao operador a obrigação da adoção de medidas de prevenção e/ou reparação dos danos ou ameaças causadas.

5. CRITÉRIOS PARA A DEFINIÇÃO DO ESTADO INICIAL E POSTERIOR SEGUIMENTO

5.1. Antecedentes

O conhecimento do estado inicial do meio ambiente é importante tanto para prever a extensão e significância do dano ambiental que uma instalação industrial pode gerar, como para estabelecer o quadro de referência de um cenário hipotético de reparação.

De acordo com o DL 147/2008, é necessário caracterizar o estado inicial de uma instalação, sendo que este estado se define como a situação no momento da ocorrência do dano causado aos recursos naturais e aos serviços, que se verificaria se o dano causado ao ambiente não tivesse ocorrido, avaliada com base na melhor informação disponível.

Entende-se por dano ambiental:

- Os danos a **espécies e habitats naturais protegidos**, ou seja, quaisquer danos com efeitos significativos adversos para a consecução ou a manutenção do estado de conservação favorável desses *habitats* ou espécies, cuja avaliação tem que ter por base o estado inicial, nos termos dos critérios constantes no anexo IV ao presente decreto-lei, do qual faz parte integrante, com exceção dos efeitos adversos previamente identificados que resultem de um ato de um operador expressamente autorizado pelas autoridades competentes, nos termos da legislação aplicável;
- Os danos às **águas**, isto é, quaisquer danos que afetem adversa e significativamente, nos termos da legislação aplicável, o estado ecológico ou o estado químico das águas de superfície, o potencial ecológico ou o estado químico das massas de água artificiais ou fortemente modificadas, ou o estado quantitativo ou o estado químico das águas subterrâneas (conforme alteração pelo Decreto-Lei nº 245/2009);
- Os danos ao **solo**, isto é, qualquer contaminação do solo que crie um risco significativo para a saúde humana devido à introdução, direta ou indireta, no solo ou à sua superfície, de substâncias, preparações, organismos ou microrganismos.

Adicionalmente, um dano ambiental pode conduzir à perda de **serviços e serviços de recursos naturais**, que são as funções desempenhadas por um recurso natural em benefício de outro recurso natural ou do público.

5.2. Definição do Âmbito de Estudo

A primeira fase da caracterização do estado inicial é a definição do âmbito de estudo, isto é, do âmbito territorial que poderia ver-se afetado em consequência de um incidente na instalação.

Para definição do âmbito de estudo é necessário analisar:

- A localização das instalações e os seus potenciais focos de contaminação;
- Os distintos recetores considerados: solo, águas subterrâneas, águas superficiais e espécies e habitats naturais protegidos;
- Os vetores de transporte para os contaminantes potenciais: solo, águas subterrâneas, águas superficiais, ar;
- A presença de barreiras naturais à migração dos possíveis contaminantes: materiais geológicos, relevos, etc.
- A localização de elementos ambientais chave na envolvente

A partir destes dados, cada instalação deverá avaliar o âmbito de estudo a levar a cabo, de modo a garantir a proteção da envolvente suscetível a danos.

5.3. Caracterização Ambiental e Monitorização do Estado Inicial

Uma vez definido o âmbito de estudo, proceder-se-á à caracterização ambiental do meio físico e biótico. Esta caracterização deverá realizar-se de modo a permitir um acompanhamento/monitorização posterior, tendo em consideração:

- *Características gerais da envolvente e dos usos do solo* (uso industrial, residencial, agrícola ou natural) para que se identifiquem os elementos chave suscetíveis de serem abrangidos pelo DL 147/2008;
- *Identificação dos recetores vulneráveis* (solo, águas, espécies e habitats naturais protegidos). De acordo com a sensibilidade da zona, será necessário realizar estudos bibliográficos (inventários, catálogos, publicações) e/ou de campo (por exemplo: reconhecimento de habitats, identificação de espécies em perigo de extinção). Será igualmente necessário identificar os serviços dos recursos naturais em benefício de outro recurso natural ou do público em geral;
- *Avaliação da qualidade ambiental* dos pontos mencionados. Poderão utilizar-se diferentes métodos para atribuir valores quantitativos e/ou qualitativos (indicadores ambientais) aos recetores vulneráveis identificados. A avaliação da qualidade ambiental pode variar desde simples (por exemplo a observação periódica por fotografia aérea das zonas verdes circundantes) até complexa (por exemplo o

índice de macrófitos de um rio), em função da sensibilidade e do grau de proteção do recetor.

De seguida, desenvolvem-se os componentes dos diferentes recetores ambientais e serviços abrangidos pelo DL 147/2008.

5.4. Características Gerais da Envolvente

As características gerais da envolvente englobam os componentes ambientais de tipo físico que interferem no transporte e dispersão de contaminantes, e que por isso são determinantes na previsão da potencial extensão do dano. Na Tabela 3 apresenta-se um resumo das mais representativas.

Tabela 3 – Características Gerais da Envolvente

<u>Características Climáticas e Meteorológicas¹</u> <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura - Humidade - Precipitação - Índice de termicidade - Classificação fitoclimática de Allué - Vento dominante (velocidade e direção) - Estabilidade atmosférica segundo Pasquill 	<u>Características Oceanográficas e Fluviais¹</u> <ul style="list-style-type: none"> - Barometria - Correntes superficiais - Caudal e regime hidrológico - Geometria dos leitos
<u>Características hidrogeológicas e geomorfológicas</u> <ul style="list-style-type: none"> - Nível freático - Águas superficiais (caudal, classificação das massas de água em função da Diretiva 2000/60/CE) - Gradiente hidráulico das águas subterrâneas - Permeabilidade - Porosidade - Topografia 	<u>Características geológicas e edafológicas</u> <ul style="list-style-type: none"> - Materiais e idades geológicas - Classificação dos solos de acordo com a Food and Agriculture Organization, FAO

Legenda:

1 Avaliar no mínimo os últimos 5 anos

5.5. Usos do Solo

Os distintos usos do solo são relevantes tanto na identificação dos serviços e serviços dos recursos naturais existentes como na quantificação do dano ambiental.

Para a sua determinação aconselha-se recorrer à classificação estabelecida nos Planos Diretores Municipais, de ordenamento do território, de acordo com o Decreto-Lei nº 46/2009, os quais podem ser consultados junto das Direções Regionais do Ambiente das Regiões Autónomas.

Neste sistema, a qualificação do solo regulamenta o seu aproveitamento em função da utilização dominante que nele pode ser instalada ou desenvolvida, fixando os respetivos usos e, quando admissível, a sua edificabilidade. Assim divide-se em:

- Solo rural, aquele para o qual é reconhecida vocação para as atividades agrícolas, pecuárias, florestais ou minerais, assim como o que integra os espaços naturais de proteção ou de lazer, ou que seja ocupado por infraestruturas que não lhe confirmem o estatuto de solo urbano;
- Solo urbano, aquele para o qual é reconhecida vocação para o processo de urbanização e de edificação, nele se compreendendo os terrenos urbanizados ou cuja urbanização seja programada, constituindo o seu todo o perímetro urbano.

A qualificação do solo urbano processa-se através da integração em categorias que atribuem a suscetibilidade de urbanização ou de edificação.

Por sua vez, solo rural pode ser qualificado de acordo com uma das seguintes categorias:

- Espaços agrícolas ou florestais afetos à produção ou à conservação;
- Espaços de exploração mineira;
- Espaços afetos a atividades industriais diretamente ligadas às utilizações referidas nas alíneas anteriores;
- Espaços naturais;
- Espaços destinados a infraestruturas ou a outros tipos de ocupação humana que não impliquem a classificação como solo urbano, designadamente permitindo usos múltiplos em atividades compatíveis com espaços agrícolas, florestais ou naturais.

5.6. Identificação e Avaliação da Qualidade Ambiental dos Recetores Vulneráveis

Como indicado na secção 5.3, a caracterização do estado inicial implica, por um lado a identificação do recetores sensíveis e a avaliação da sua qualidade ambiental e, por outro lado, o estabelecimento de mecanismos que permitam ao operador realizar um acompanhamento/monitorização da evolução dessa qualidade ambiental ao longo do tempo.

No que se refere às espécies e habitats protegidos, o DL 147/2008 refere-se aos danos ambientais e às ameaças iminentes desses danos causados aos habitats naturais e espécies da flora e da fauna com estatuto de proteção, conferido pelo Decreto-Lei n.º 140/99, de 24 de Abril, com a nova redação do Decreto-Lei n.º 49/2005, de 24 de

Fevereiro (que transpõe para a ordem jurídica interna as Diretivas nº 79/409/CEE, de 2 de Abril (Diretiva Aves) e n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de Maio (Diretiva Habitats).

Assim, uma das primeiras tarefas a desenvolver consiste na identificação dos espaços naturais protegidos dentro do âmbito de estudo.

Atualmente, os espaços naturais protegidos estão regulamentados pelo Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade, estabelecido pelo Decreto-Lei nº 142/2008, de 24 de Julho. Através deste regime foi criada a Rede Fundamental de Conservação da Natureza (RFCN), a qual é composta pelo Sistema Nacional de Áreas Classificadas (SNAC), que por sua vez integra as seguintes áreas de conservação:

- A **Rede Natura 2000** é uma rede ecológica para o espaço Comunitário da União Europeia resultante da aplicação das Diretivas nº 79/409/CEE (Diretiva Aves) e nº 92/43/CEE (Diretiva Habitats) e tem por objetivo “contribuir para assegurar a biodiversidade através da conservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens no território europeu dos Estados-membros em que o Tratado é aplicável”. Esta rede é formada por:
 - Zonas de Proteção Especial (ZPE), estabelecidas ao abrigo da Diretiva Aves, que se destinam essencialmente a garantir a conservação das espécies de aves, e seus habitats, listadas no seu anexo I, e das espécies de aves migratórias não referidas no anexo I e cuja ocorrência seja regular;
 - Zonas Especiais de Conservação (ZEC), criadas ao abrigo da Diretiva Habitats, com o objetivo expresso de "contribuir para assegurar a Biodiversidade, através da conservação dos habitats naturais (anexo I) e dos habitats de espécies da flora e da fauna selvagens (anexo II), considerados ameaçados no espaço da União Europeia".
- **Rede Nacional de Áreas Protegidas** – RNAP (parque nacional, natural, reserva natural, paisagem protegida ou monumento natural);
 - Um Parque Nacional é uma área com ecossistemas pouco alterados pelo homem, amostras de regiões naturais características, paisagens naturais ou humanizadas, locais geomorfológicos ou habitats de espécies com interesse ecológico, científico e educacional;
 - Um Parque Natural é uma área que se caracteriza por conter paisagens naturais, seminaturais e humanizadas, de interesse nacional, sendo exemplo de integração harmoniosa da atividade humana e da Natureza e que apresenta amostras de um bioma ou região natural;
 - Uma Reserva Natural é “uma área destinada à proteção da flora e da fauna”. As reservas integrais são zonas de proteção integral demarcadas no interior de Áreas Protegidas “destinadas a manter os processos naturais em estado imperturbável” enquanto as reservas marinhas constituem áreas demarcadas

nas Áreas Protegidas que abrangem meio marinho destinadas a assegurar a biodiversidade marinha.

- Uma Paisagem Protegida (PP) segundo o Decreto-Lei nº613/76, de 27 de Julho, “corresponde ao que por vezes se tem designado por reserva de paisagem; com efeito, propõe-se salvaguardar áreas rurais ou urbanas onde subsistem aspetos característicos na cultura e hábitos dos povos, bem como nas construções e na conceção dos espaços, promovendo-se a continuação de determinadas atividades (agricultura, pastoreio, artesanato, etc.), apoiadas num recreio controlado e orientado para a promoção social, cultural e económica das populações residentes e em que estas participam ativa e conscientemente”.
- Um Monumento Natural é “uma ocorrência natural contendo um ou mais aspetos que, pela sua singularidade, raridade ou representatividade em termos ecológicos, estéticos, científicos e culturais, exigem a sua conservação e a manutenção da sua integridade”.
- **Outras Áreas Classificadas** ao abrigo de acordos/compromissos internacionais assumidos pelo Estado Português (áreas protegidas transfronteiriças ou outras, como por exemplo, as enquadradas na Convenção de Ramsar).

Não obstante o atrás referido, clarifica-se que o DL 147/2008 aplica-se às seguintes espécies e habitats:

- Espécies de flora e fauna listadas nos anexos BII, BIV e BV do Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril, republicado pelo Decreto-Lei n.º 49/2005 de 24 de Fevereiro;
- Todas as espécies de aves que ocorrem naturalmente no estado selvagem no território nacional, incluindo as espécies migratórias;
- Habitats naturais e seminaturais constantes do anexo B-I do Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril, republicado pelo Decreto-Lei n.º 49/2005 de 24 de Fevereiro, com ocorrência comprovada em Portugal;
- Habitats de espécies incluídas nos anexos A-I, B-II e B-IV do Decreto-Lei n.º 140/99, de 24 de Abril, com a nova redação do Decreto-Lei n.º 49/2005, de 24 de Fevereiro que apresentem relevância para essas espécies.

Neste sentido, na caracterização do estado inicial deverão ser consideradas todas as espécies e habitats protegidos, i.e., que estejam integrados no Sistema Nacional de Áreas Classificadas (SNAC) e/ou noutras áreas não abrangidas por um estatuto de proteção específico, mas que reúnem populações significativas de espécies protegidas ou se consideram relevantes para a reprodução e repouso dessas espécies.

Cabe referir, no que respeita à rede nacional de áreas protegidas e às áreas de continuidade Reserva Agrícola Nacional e Reserva Ecológica Nacional, que estas não

constituem habitats naturais protegidos nos termos da lei. No entanto, inclui-se a sua referência visto ser relevante para o conhecimento alargado e integrado do risco das instalações por parte do operador, assegurando assim o princípio básico subjacente ao Regime de Responsabilidade Ambiental, de prevenção e gestão do risco:

- **Áreas de Continuidade:**
 - Reserva Ecológica Nacional (REN);
 - Reserva Agrícola Nacional (RAN);
 - Domínio público hídrico (DPH).

De forma a verificar a localização do estabelecimento em causa sobre áreas integradas no SNAC (RNAP e RN2000), poderá consultar-se, para os Açores, a Direção Regional do Ambiente, do SRAM, que dispõe de um portal de conservação da natureza (<http://www.azores.gov.pt/GRA/sram-natureza>), e para a Madeira, a Direção Regional de Florestas e Conservação da Natureza da SRA (<http://www.sra.pt/df/>).

Para analisar a localização do estabelecimento em áreas da REN ou da RAN, devem consultar-se os respetivos Planos Diretores Municipais (PDM) em vigor (plantas de condicionantes), os quais se podem encontrar nos sítios das Câmaras Municipais ou nos organismos competentes em cada região autónoma: para os Açores, a Direção Regional do Ambiente, do SRAM, que dispõe de um portal de ordenamento do território (<http://www.azores.gov.pt/gra/sram-drotrh>), e para a Madeira, a Direção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, da SRA, (<http://dramb.gov-madeira.pt/berilio/berwpag0.home>).

De acordo com a classificação final dos espaços naturais protegidos presentes no âmbito de estudo, será definido o tipo e a periodicidade da monitorização a realizar, os quais terão de ser definidos caso a caso.

Após identificar os espaços naturais protegidos, será possível fazer uma primeira aproximação da sensibilidade dos recetores ambientais do âmbito de estudo, e uma identificação dos indicadores ambientais mais apropriados a cada caso específico, os quais forneçam critérios objetivos para avaliar a qualidade dos recursos naturais e conhecer a sua evolução temporal.

Nas secções que se seguem, desenvolver-se-ão alguns possíveis indicadores ambientais. Partindo do amplo leque de indicadores aplicável aos ecossistemas a estudar, as opções propostas foram selecionadas com base nos seguintes critérios:

- a representatividade do indicador para o ecossistema considerado;
- a simplicidade da sua obtenção e interpretação;
- a disponibilidade de dados prévios;

Em seguida define-se o tipo de recetores objeto de estudo de acordo com a legislação aplicável, o tipo de reconhecimento de campo que, caso necessário, seja mais

apropriado, e os possíveis indicadores ambientais que permitirão a sua avaliação e monitorização (ver as Tabela 4 a Tabela 10).

O seguimento da evolução dos indicadores ambientais deverá ser feito combinando, sempre que necessário, o trabalho de pesquisa documental em gabinete (por exemplo, fotointerpretação) com o reconhecimento de campo. A necessidade do reconhecimento de campo é variável, de acordo com as características de cada instalação.

Por outro lado, importa referir que os possíveis indicadores ambientais poderão ser modificados ou adaptados a distintos âmbitos de estudo, em função das suas características bióticas e abióticas, de acordo com um critério específico previamente acordado com a autoridade competente.

Na Tabela 11 resumem-se os conceitos e definições associados.

Tabela 4 – Espécies Protegidas – Flora

Legislação Aplicável e Normas de Referência ¹	Reconhecimento de Campo ²	Possíveis Indicadores Ambientais ³
<ul style="list-style-type: none"> - Anexo B-II e B-IV do Decreto-Lei nº 140/99 de 24 de Abril, que revê a transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva n.º 79/409/CEE, do Conselho, de 2 de Abril (relativa à conservação das aves selvagens), e da Diretiva n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de Maio (relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens). Revoga os Decretos-Lei nº 75/91, de 14 de Fevereiro, 224/93, de 18 de Junho, e 226/97, de 27 de Agosto. - Anexo B-II e B-IV Decreto-Lei n.º 49/2005 de 24 de Fevereiro. Primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril, que procedeu à transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva n.º 79/409/CEE, do Conselho, de 2 de Abril, relativa à conservação das aves selvagens (diretiva aves) e da Diretiva n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de Maio, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens (diretiva habitats). - Decreto-Lei n.º 423/89, de 4 de Dezembro, Regime de proteção do azevinho espontâneo. - Decreto-Lei n.º 169/2001, de 25 de Maio, Estabelece medidas de proteção ao sobreiro e à azinheira. 	<ul style="list-style-type: none"> - Referenciação das espécies de flora e fauna de interesse especial, e que previamente terão sido identificadas por estudo bibliográfico. - Presença de espécies de flora de especial interesse na zona. - Compilação fotográfica de campo da informação recolhida no estudo bibliográfico e fotointerpretação. - Verificação da validade dos indicadores ambientais propostos no presente documento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diferenças entre a vegetação atual presente na zona de estudo e a vegetação fitoclimática (potencial) definida por <i>Rivas Martínez</i> (1987) e <i>Allué</i> (1990). - Estado foliar de árvores e arbustos (estado vegetativo). - Número de árvores singulares⁴ e/ou monumentais. - Densidade de vegetação ou cobertura vegetal das espécies dominantes ou indicadoras de vegetação. - Densidade de plântulas⁵ de espécies dominantes ou indicadoras. - Índice de diversidade estrutural vegetal; - Produção biológica (por exemplo produção primária e secundária). - Abundância, diversidade e composição de espécies indicadoras. - Diversidade e estado fitossanitário de líquenes e fungos.

Legenda:

1 Legislação aplicável ou normas de referência – legislação ou normas de referência que recolhem listas de espécies protegidas a ter em conta no âmbito da responsabilidade ambiental.

2 Reconhecimento de campo – de acordo com as características de cada instalação esta tarefa poderá ou não ser necessária. A ser necessária, considera-se preferível a sua realização durante a primavera, época em que é mais simples identificar as diferentes espécies vegetais.

3 Possíveis indicadores ambientais – modificáveis ou adaptáveis aos distintos âmbitos de estudo em função das duas características bióticas e abióticas, ou outros indicados pela autoridade competente.

4. Cujo abate esteja regulamentado por legislação local.

5. Herbáceas e espécies de menor porte.

Tabela 5 – Espécies Protegidas – Fauna

Legislação Aplicável e Normas de Referência ¹	Reconhecimento de Campo ²	Possíveis Indicadores Ambientais ³
<ul style="list-style-type: none"> - “Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal” de acordo com a <i>International Union for Conservation of Nature</i> (UICN), classificadas como: (1) extinto (EX) e regionalmente extinto (RE); (2) extinto na natureza (EW); (3) criticamente em perigo (CR); (4) em perigo (EN); (5) vulnerável (VU) (6) quase ameaçado (NT); (7) pouco preocupante (LC); (8) informação insuficiente (DD); (9) não aplicável (NA) e (10) não avaliado (NE). - Anexos A-I, A-II, A-III, B-II e B-IV do Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril, que revê a transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva n.º 79/409/CEE, do Conselho, de 2 de Abril (relativa à conservação das aves selvagens), e da Diretiva n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de Maio (relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens). Revoga os Decretos-Lei n.º 75/91, de 14 de Fevereiro, 224/93, de 18 de Junho, e 226/97, de 27 de Agosto. - Anexos A-I, A-II, A-III, B-II e B-IV do Decreto-Lei n.º 49/2005 de 24 de Fevereiro. Primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril, que procedeu à transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva n.º 79/409/CEE, do Conselho, de 2 de Abril, relativa à conservação das aves selvagens (diretiva aves) e da Diretiva n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de Maio, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens (Diretiva Habitats). - Anexo I do Decreto n.º 103/80 de 9 de Maio, para a conservação das espécies migradoras de fauna selvagem. - Lei n.º 90/1988 de 13 de Agosto, da Proteção do Lobo Ibérico. - Despacho n.º 12697/2008 de 6 de Maio, Plano de Ação para a Conservação do Lince Ibérico. - ASTM E2205 / E2205M - 02(2009)e1 <i>Standard Guide for Risk-Based Corrective Action for Protection of Ecological Resources</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Presença na zona de espécies faunísticas de grande interesse. - Compilação fotográfica de campo da informação recolhida no estudo bibliográfico e fotointerpretação. - Verificação da validade dos indicadores ambientais propostos no presente documento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Número de espécies e indivíduos. - Abundância, densidade, diversidade e composição de espécies. - Taxa de reprodução. - Índices de integridade da população, tais como o índice de masculinidade, idade, distribuição de grupos por idade e biomassa. - Populações, distribuição e abundância (presença/ausência) de espécies indicadoras (aves, insetos, etc.).

Legenda:

1 Legislação aplicável ou normas de referência – legislação ou normas de referência que recolhem listas de espécies protegidas a ter em conta no âmbito da responsabilidade ambiental.

2 Reconhecimento de campo – de acordo com as características de cada instalação esta tarefa poderá ou não ser necessária. A ser necessária, considera-se preferível a sua realização durante a primavera, época em que é mais simples identificar as diferentes espécies vegetais.

3 Possíveis indicadores ambientais – modificáveis ou adaptáveis aos distintos âmbitos de estudo em função das duas características bióticas e abióticas, ou outros indicados pela autoridade competente.

Tabela 6 – Habitats Naturais Protegidos

Legislação Aplicável ou Normas de Referência ¹	Trabalho de Gabinete	Possíveis Indicadores Ambientais ²
<ul style="list-style-type: none"> - Anexo B-I do Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril, que revê a transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva n.º 79/409/CEE, do Conselho, de 2 de Abril (relativa à conservação das aves selvagens), e da Diretiva n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de Maio (relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens). Revoga os Decretos-Lei n.ºs 75/91, de 14 de Fevereiro, 224/93, de 18 de Junho, e 226/97, de 27 de Agosto. - Anexo B-I do Decreto-Lei n.º 49/2005 de 24 de Fevereiro. Primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril, que procedeu à transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva n.º 79/409/CEE, do Conselho, de 2 de Abril, relativa à conservação das aves selvagens (diretiva aves) e da Diretiva n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de Maio, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens (diretiva habitats). - Standard Guide for Risk-Based Corrective Action for Protection of Ecological Resources”, ASTM E2205 / E2205M - 02(2009)e1 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação dos dados obtidos previamente em gabinete mediante foto interpretação. - Verificação do estado de conservação. - Compilação fotográfica de campo da informação recolhida no estudo bibliográfico e fotointerpretação. - Verificação da validade dos indicadores ambientais propostos no presente documento. - Número e superfície de Habitats de Interesse Comunitário (HIC). 	<ul style="list-style-type: none"> - Número ou percentagem de superfície de um determinado habitat no âmbito de estudo. - Extensão dos distintos habitats protegidos. - Comunicação dos habitats. - Fragmentação dos habitats. - Naturalidade (vegetação potencial). - Índice de qualidade dos habitats com base no estado de conservação. - Dias de uso de um habitat (por exemplo no caso de um incidente que reduza a disponibilidade de um habitat ou o número de organismos que podem ocupá-lo).

Legenda:

1 Legislação aplicável ou normas de referência – legislação ou normas de referência no âmbito da responsabilidade ambiental.

2 Possíveis indicadores ambientais – modificáveis ou adaptáveis aos distintos âmbitos de estudo em função das duas características bióticas e abióticas, ou outros indicados pela autoridade competente.

Tabela 7 – Espaços Naturais Protegidos

Legislação Aplicável ou Normas de Referência ¹	Trabalho de Gabinete	Possíveis Indicadores Ambientais ²
<ul style="list-style-type: none"> - Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho, estabelece o regime jurídico da conservação da natureza e da biodiversidade e revoga os Decretos-Lei n.º 264/79, de 1 de Agosto, e 19/93, de 23 de Janeiro. - Diretivas n.º 79/409/CEE (Diretiva Aves) e n.º 92/43/CEE (Diretiva Habitats). - Decreto-Lei n.º 613/76 de 27 de Julho, revoga a Lei n.º 9/70 de 19 de Junho, e promulga o novo regime de proteção à Natureza e criação de parques nacionais. - Standard Guide for Risk-Based Corrective Action for Protection of Ecological Resources”, ASTM E2205 / E2205M - 02(2009)e1 	<ul style="list-style-type: none"> - Referenciação das distintas áreas protegidas presentes no âmbito de estudo mediante consulta dos sistemas de informação geográfica disponíveis. - Não se considera necessário reconhecimento de campo para o recetor espaços naturais protegidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Número ou percentagem de superfície de um determinado espaço natural protegido no âmbito de estudo. - Extensão dos distintos espaços naturais protegidos.

Legenda:

1 Legislação aplicável ou normas de referência – legislação ou normas de referência no âmbito da responsabilidade ambiental.

2 Possíveis indicadores ambientais – modificáveis ou adaptáveis aos distintos âmbitos de estudo em função das duas características bióticas e abióticas, ou outros indicados pela autoridade competente.

Tabela 8 – Águas

Legislação Aplicável ou Normas de Referência ¹	Trabalho de Gabinete	Possíveis Indicadores Ambientais ²
<ul style="list-style-type: none"> - Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto, que estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. - Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. - Decreto-Lei nº 208/2008, de 28 de Outubro, que estabelece o regime de proteção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/118/CE. - Decreto Legislativo Regional nº18/2009/A, de 19 de Outubro, regula a recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbanas e o tratamento e descarga de águas residuais de determinados setores industriais. - Diretiva nº 2008/115/CE relativa às normas de qualidade ambiental no âmbito da política de águas. - Diretiva nº 2006/118/CE relativa à proteção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração. - Diretiva nº 2000/60/CE que estabelece um quadro comunitário de atuação no âmbito da política de águas: <ul style="list-style-type: none"> - Estado químico - Estado ecológico 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação de todos os cursos de água incluídos no âmbito de estudo; - Definição das características mais importantes de cada curso de água, considerando a sua sazonalidade, caudal, profundidade, distância à instalação, etc. <p>Nota: Deve assegurar-se a aplicação de normas e métricas existentes para as especificidades das regiões autónomas.</p>	<p>ÁGUAS SUPERFICIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Longitude de rio com determinadas características (por exemplo, estado ecológico); - Volume de água para abastecimento humano; - Indicadores físico-químicos (oxigénio dissolvido, condutividade, temperatura, pH, NH₄); - Indicadores hidromorfológicos (índices IHF e QBR); - Indicadores biológicos (por exemplo, população, abundância e distribuição de ictiofauna e macro invertebrados indicadores); - Índices de qualidade biológica (<i>Iberian Biological Monitoring Working Party, Index Iberian Average Score per Taxon</i>); - Níveis de estado ecológico estabelecidos pela Lei da Água. <p>ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Níveis de estado quantitativo e estado químico das águas subterrâneas estabelecidos pela Lei da Água. - Indicadores físico-químicos (oxigénio dissolvido, condutividade, temperatura, pH, NH₄). <p>Nota: Deve assegurar-se a aplicação de normas e métricas existentes para as especificidades das regiões autónomas.</p>

Legenda:

Entendendo-se águas superficiais como águas continentais, exceto as subterrâneas, as de transição e as costeiras, e, no que se refere ao estado químico, também as águas territoriais.

1 Legislação aplicável ou normas de referência – legislação ou normas de referência no âmbito da responsabilidade ambiental.

2 Possíveis indicadores ambientais – modificáveis ou adaptáveis aos distintos âmbitos de estudo em função das duas características bióticas e abióticas, ou outros indicados pela autoridade competente.

Tabela 9 – Solos

Legislação Aplicável ou Normas de Referência ¹	Trabalho de Gabinete	Possíveis Indicadores Ambientais ²
<ul style="list-style-type: none"> - “European Oil Industry Guideline for Risk-Based Assessment of Contaminated Sites (revised)”, Concawe, 2003. - “A Guide to the Assessment and Remediation of Underground Petroleum Releases”, American Petroleum Institute, 1996. - “Code of Practice for the Investigation and Mitigation of Possible Petroleum-Based Land Contamination”, Institute of Petroleum, 1993. - “Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Volume I – Human Health Evaluation Manual”, US EPA 1991. - “Soil Screening Guidance”, US EPA 1996 & 2002. - “Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites”, ASTM E 1739-95. - “Standard Guide for Risk-Based Corrective Action for Protection of Ecological Resources”, ASTM E2205 / E2205M - 02(2009)e1 - Guidance on Site Specific Risk Assessment for Use at Contaminated Sites in Ontario, 1996. - Guias metodológicos do projeto “Risk in Relation to Soil Quality” do Ministério da Vivenda, Planificação Espacial e Ambiente holandês (VROM), entre outras: <ul style="list-style-type: none"> - “Avaliação Técnica dos Valores de Intervenção para Solos/Sedimentos e Água Subterrânea”, RIVM 711701023, - Relatório RIVM nº 711701023 “Avaliação Técnica dos Valores de Intervenção para Solos/Sedimentos e Água Subterrânea”, Fevereiro 2001 - Relatório RIVM nº 711701054/2007 “CSOIL 2000: an exposure model for human risk assessment of soil contamination”, 2007. 	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterização inicial de solos no âmbito de estudo. - Compilação de um histórico (derrames, fugas, manchas, afetações a terceiros, etc.) de dados interiores e exteriores à instalação. - Compilação de documentação de investigação do solo, subsolo e projetos de remediação (se disponível) 	<ul style="list-style-type: none"> - Se as instalações têm uma rede de poços de amostragem, utilizar a água subterrânea como indicador ambiental (parâmetros físico-químicos e compostos químicos armazenados nas instalações), recolhendo amostras e analisando-as em laboratório. - Registo de derrames e fugas, manchas, denúncias por terceiros, etc.

Legenda:

1 Legislação aplicável ou normas de referência – legislação ou normas de referência no âmbito da responsabilidade ambiental. Existem numerosas referências para a avaliação do risco para a saúde humana associado à contaminação do solo. As referências indicadas acima são as mais comumente aceites a nível internacional.

2 Possíveis indicadores ambientais – modificáveis ou adaptáveis aos distintos âmbitos de estudo em função das duas características bióticas e abióticas, ou outros indicados pela autoridade competente.

Tabela 10 – Serviços e Recursos Naturais

Legislação Aplicável ou Normas de Referência ¹	Trabalho de Gabinete	Possíveis Indicadores Ambientais ²
<ul style="list-style-type: none"> - Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. - Decreto-Lei n.º 142/2008 de 24 de Julho, que estabelece o regime jurídico da conservação da natureza e da biodiversidade. - Guia “Millennium Ecosystem Assessment” (UNEP, 2005) 	<p>De acordo com este guia, os serviços ambientais identificados dever-se-ão agrupar em 4 grandes grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Serviços de base</u>: serviços necessários à produção dos demais serviços dos ecossistemas (por exemplo: ciclo de nutrientes, formação de solo, produção primária); - <u>Serviços de aprovisionamento</u>: produtos que se obtêm dos ecossistemas (por exemplo: alimento, fibra, combustível, recursos genéticos, produtos bioquímicos, medicinas naturais, produtos farmacêuticos e água doce); - <u>Serviços de regulação</u>: benefícios que se obtêm da regulação dos processos dos ecossistemas (por exemplo: regulação da qualidade do ar, regulação do clima, regulação da água, regulação da erosão, purificação da água e tratamento de águas residuais, regulação de doenças, regulação de pestes, polinização, regulação de desastres naturais); - <u>Serviços culturais</u>: benefícios intangíveis que se obtêm dos ecossistemas, por exemplo: valores espirituais e religiosos, valores estéticos, recreação e eco turismo, educacionais) 	<ul style="list-style-type: none"> - Dias de uso ou serviço de um recurso natural (por exemplo no caso de um incidente que reduza a disponibilidade de um habitat ou o número de organismos que podem ocupá-lo). - Categorias de perda de serviço devido a valores de toxicidade superiores aos valores limite estabelecidos (por exemplo, a partir de dados específicos sobre estudos de dose-resposta, estimar a perda de um serviço em função do aumento de concentração de contaminantes no solo, sedimentos, água superficial ou subterrânea ou tecidos biológicos).

Legenda:

1 Legislação aplicável ou normas de referência – legislação ou normas de referência no âmbito da responsabilidade ambiental. A aplicação do guia “*Millennium Ecosystem Assessment*” é recomendada pela legislação espanhola, no Real Decreto 2090/2008, Anexo I

2 Possíveis indicadores ambientais – modificáveis ou adaptáveis aos distintos âmbitos de estudo em função das duas características bióticas e abióticas, ou outros indicados pela autoridade competente.

Tabela 11 – Glossário

Termo	Definição	Fontes/Referências
Classificação fitoclimática de Allué	A classificação de Allué é uma classificação da vegetação potencial baseada em climodiagramas nos quais, para além da pluviosidade e a temperatura mensais, se consideram as variáveis hídricas de evapotranspiração e a atividade vegetativa das plantas, ou seja, tem em conta a chuva aparente (quantidade de água disponível para a vegetação).	Allué Andrade, "Atlas Fitoclimático de Espanha. Taxonomias"(1990) Com base na classificação de Walter-Lieth, particularizada para as condições da Península Ibérica
Classificação fitoclimática de Rivas Martínez	A classificação de Rivas Martínez baseia-se em patamares bioclimáticos de vegetação potencial, que são cada um dos tipos termoclimáticos que se sucedem numa série vegetal longitudinal ou latitudinal. Delimitam-se em função dos ecossistemas que apresentem correlações evidentes com determinados intervalos termoclimáticos.	Rivas-Martínez, S, "Memória do mapa de Séries de Vegetação de Espanha" (1987).
Estado foliar (estado vegetativo)	Estado dos tecidos das folhas e florações das espécies a analisar.	<i>Centro de Datos del Servicio de Protección contra Agentes Nocivos (CENDANA).</i> Ministério do Ambiente, Meio Rural e Marinho espanhol
Biomassa	Massa de organismos vivos numa determinada área ou ecossistema num dado momento. A biomassa inclui microrganismos, plantas e animais. Pode expressar-se em unidades de massa por área ou massa total na comunidade.	Julie A. Hambrook Berkman and Michael G. Canova "Algal biomass indicator" (2007) J. Rodríguez, J. Ruiz, "Conservación y protección de ecosistemas marinos: conceptos, herramientas y ejemplos de actuaciones" (2010).
Plântulas	Etapa do desenvolvimento das plantas vasculares que tem início quando a semente germina e termina quando a planta desenvolve a suas primeiras folhas cotiledonares.	Laura Ramírez, Alfredo Alvarado, Rosendo Pujol, Antonio McHugh, Luis Guillermo Brenes "Indicadores para estimar la sostenibilidad agrícola de la cuenca media del río Reventado", Cartago, Costa Rica (2008). "Composición florística, la ecología, la estructura y la dinámica de los restos de sabinas en Canarias y, al mismo tiempo, profundizar en la ecología de las poblaciones de <i>Juniperus turbinata</i> ssp. <i>Canariensis</i> " (2008) Cabildo Insular de Tenerife
Índice de diversidade estrutural	Este índice representa a proporção de indivíduos de uma determinada espécie em relação ao total de indivíduos. Este índice contempla a quantidade de espécies presentes na área de estudo (riqueza de espécies), e a quantidade relativa de indivíduos de cada uma dessas espécies (abundância). (Existem numerosos autores, por exemplo, índice de Shannon-Wiener).	Desenvolvido por Claude E. Shannon e Norbert Wiener, publicado em 1949 por Shannon and Warren Weaver

Tabela 11 – Glossário

Termo	Definição	Fontes/Referências
Produção biológica	Percentagem de geração de biomassa num ecossistema dos organismos autotróficos, como plantas (produção primária), e dos organismos heterotróficos, como animais (produção secundária).	McGraw-Hill Concise Encyclopedia of Bioscience (2002)
Índice de masculinidade (<i>sex-ratio</i>)	Também chamado razão de sexo, expressa a razão de indivíduos de sexo masculino de determinada espécie face ao sexo feminino, em determinado território, em percentagem.	A. Montiel Bueno y R. Moreno Vázquez. "Metodología utilizada en España para la realización de estudios bio-ecológicos sobre las poblaciones naturales del <i>Dacus oleae</i> (Gmel.). Resultados provisionales obtenidos en dos años de trabajo" Ch. P. Blanc, G.U. Caravello, S.G. Conard "Mediterránea Serie de Estudios biológicos" (2005) Época II Nº 18.
Espécie indicadora	Espécie biológica que define um aspeto característico do ambiente. As espécies indicadoras são as espécies mais sensíveis de uma região e em geral atuam como sinal de alarme para detetar alterações nas condições ambientais.	Índices sobre evolução de populações de espécies de fauna e flora para o indicador de biodiversidade e paisagem da Comunidade Autónoma do País Basco. IKT. José Maria Fernández, Dirección de Biodiversidade do Departamento de Ordenamento do Território e Ambiente do Governo Basco (2003)
Comunicação de habitats	É a capacidade de comunicação entre ecossistemas similares ou habitats em paisagens fragmentadas. Esta comunicação realiza-se mediante corredores ecológicos (por exemplo: bosque, rio, montanha, etc.)	A fragmentação de habitats e a conservação de espécies, conferência do Bioeventos 2010 em celebração do Ano Internacional da Biodiversidade. Organização pelo Museu Nacional de História Natural, Centro de Biología Ambiental e Fundação Calouste Gulbenkian (Setembro 2010)
Fragmentação de habitats	É a quantidade de descontinuidades no habitat ou ecossistema objeto de estudo. Meios muito fragmentados, com amplas descontinuidades limitam o desenvolvimento das espécies.	
Naturalidade de um habitat (vegetação potencial)	Grau ou percentagem de semelhança entre o estado atual de conservação de um habitat e o habitat potencial.	Johnson, D.L., S.H. Ambrose, T.J. Bassett, M.L. Bowen, D.E. Crummey, J.S. Isaacson, D.N. Johnson, P. Lamb, M. Saul, e A.E. Winter-Nelson. "Meanings of environmental terms." Journal of Environmental Quality 26 (1997)
Índice de qualidade de habitats	Grau de conservação de um habitat.	Martinho, A., Varandas, S. e Cortes, R.M.V., Pesca Desportiva numa Área Protegida. Como Conciliá-la com os Princípios Conservacionistas: O Caso do Rio Olo, Congresso Ibérico sobre gestão e planeamento da água" celebrado em Victoria-Gasteiz, Espanha (2008).

Tabela 11 – Glossário

Termo	Definição	Fontes/Referências
Índice IHF	Índice de habitabilidade fluvial. Avalia a heterogeneidade de componentes naturais presentes no leito.	Pardo I., Álvarez M., Casas J. " <i>El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat</i> " (2002). (Projeto GUADALMED)
Índice QBR	Índice de qualidade do bosque ribeirinho, que avalia a sua estrutura. Permite quantificar a sua qualidade ambiental, sintetizando a informação de distintas características e atributos dos mesmos, como a comunicação ecológica, a diversidade de espécies ou a presença de espécies introduzidas.	Munné, A., C. Sola & N. Prat., " <i>QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los bosques de ribera</i> " Tecnología del agua 175 (1998)
Índices de qualidade biológica	Permitem a avaliação do estado ecológico de um ecossistema aquático afetado por um processo de contaminação. Por exemplo, a <i>Biological Monitoring Working Party (BMWP)</i> baseia-se na atribuição de valores de tolerância às famílias de macroinvertebrados aquáticos.	Alba-Tercedor, J. e Sánchez-Ortega, A., "Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado em el de Hellawell (1978)". (1988) <i>Limnética</i> , vol. 4,
Fração de cobertura vegetal	Percentagem de cobertura de um determinado tipo ou espécie arbórea num ecossistema.	Direção de Biodiversidade do Departamento de Ordenamento do Território e Ambiente do Governo Basco (2003)

Nota: Os termos aqui apresentados são genéricos e refletem apenas alguns dos conceitos mais típicos no âmbito da caracterização e monitorização dos descritores ambientais espécies e habitats naturais protegidos, águas superficiais e subterrâneas e solo, dada a experiência da URS em trabalhos na Península Ibérica. Estes podem ser alvo de alterações conforme terminologia e referências emanadas pelas autoridades competentes.

6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL

6.1. Âmbito de Aplicação

Os conteúdos que de seguida se desenvolvem pretendem, de uma forma pragmática, orientar o operador na implementação da metodologia que se propõe. Assim, ainda que esta seja apresentada de forma genérica, em alguns dos passos que a compõem são concretizados exemplos de modo a facilitar a compreensão e clarificar o método.

É neste contexto que são feitas algumas das simplificações utilizadas ao longo do guia, em particular no que diz respeito à seleção de alguns produtos, acontecimentos iniciadores e cenários de acidente. Especificamente em relação aos produtos, a seleção teve por objetivo abranger 3 produtos de características distintas, representativos da tipologia dos produtos petrolíferos, isto é, um hidrocarboneto leve (gasolina), um hidrocarboneto pesado (fuelóleo) e um gás (propano). Em relação aos exemplos de acontecimentos iniciadores, críticos, causas e cenários de acidente desenvolvidos, estes foram selecionados com base tanto na análise histórica de acidentes realizada, como na bibliografia consultada.

Assim, aquando da aplicação concreta dos passos preconizados ao longo do guia a uma instalação real, o operador deve garantir que todos os dados obtidos estão de acordo com as particularidades da sua atividade, a envolvente da sua instalação e os produtos que manipula, de forma que disponha de toda a informação que lhe permita tomar as decisões aplicáveis ao seu caso específico.

6.2. Desenvolvimento da Metodologia

Os objetivos e resultados de uma avaliação de risco ambiental no âmbito do DL 147/2008 são os de identificar exaustivamente todos os potenciais acidentes e consequências na envolvente da instalação, de forma a destacar aqueles que possam causar um dano ambiental.

Dado não terem sido identificados, à data de publicação deste documento, desenvolvimentos metodológicos específicos no âmbito da Responsabilidade Ambiental e dado as metodologias de avaliação de riscos industriais no âmbito da Prevenção de Acidentes Graves (Seveso II) se encontrarem já bastante consolidadas e aplicadas, propõe-se a utilização de uma metodologia tradicional “ad hoc” de avaliação de riscos industriais, suficientemente complexa de forma a representar a heterogeneidade das instalações envolvidas, mas também já familiar ao operador, de forma que a avaliação de riscos no âmbito da Responsabilidade Ambiental não seja mais do que ampliar a avaliação de riscos para todos os cenários de acidente (incluindo aqueles que não são considerados no âmbito de Seveso II) os quais, dados os novos recetores (no âmbito do DL 147/2008), possam originar uma ameaça iminente de dano ou dano ambiental.

De facto, para as instalações classificadas no âmbito da Diretiva Seveso II, o processo de avaliação sistemática de riscos industriais que cada operador deve levar a cabo será inicialmente coincidente com a Responsabilidade Ambiental devendo, a partir de um dado momento do processo, separar-se em duas avaliações distintas, dados os diferentes recetores num e noutro caso, como se aprofundará mais adiante.

Assim, em cada passo da metodologia, o guia proporcionará as orientações claras para que o operador seja capaz de complementar a avaliação de riscos já desenvolvida no âmbito de Seveso II com a incorporação dos cenários ambientais no âmbito da Responsabilidade Ambiental.

Desta forma permite-se ao operador minimizar esforços e erros na aquisição e desenvolvimento de novas metodologias cuja robustez dos resultados pode ser incerta bem como homogeneizar os critérios de avaliação nos distintos enquadramentos legais.

Igualmente este guia permitirá àqueles estabelecimentos que não são Seveso II ou se encontram no limiar inferior de Seveso II e não estão obrigado à elaboração de um Plano de Emergência Interno, implementar uma metodologia de avaliação de riscos, introduzindo procedimentos que lhes facultarão ferramentas úteis à gestão do risco das suas instalações. Com esta abordagem, pretende-se fomentar a implementação de práticas de avaliação e gestão de riscos em instalações não abrangidas pelo regime supracitado.

Importa referir que este guia não tem como objetivo prescrever uma metodologia de avaliação de riscos de aplicação obrigatória, mas sim desenvolver os procedimentos necessários que permitam a cada operador, de acordo com a sua realidade, realizar a avaliação de riscos no âmbito do DL 147/2008 de forma autónoma, aplicando esta ou outras metodologias equivalentes. Em consequência, o guia não irá constituir a avaliação de riscos dos terminais e parques de armazenagem das empresas associadas da APETRO, sendo antes um documento que poderá ser aplicado por qualquer operador do setor.

Visto que a aplicação de uma metodologia de avaliação de riscos implica o conhecimento prévio e profundo das características intrínsecas a cada instalação, o processo deverá decorrer através de etapas sequenciais (ver Figura 7) como se desenvolve nas secções que se seguem.

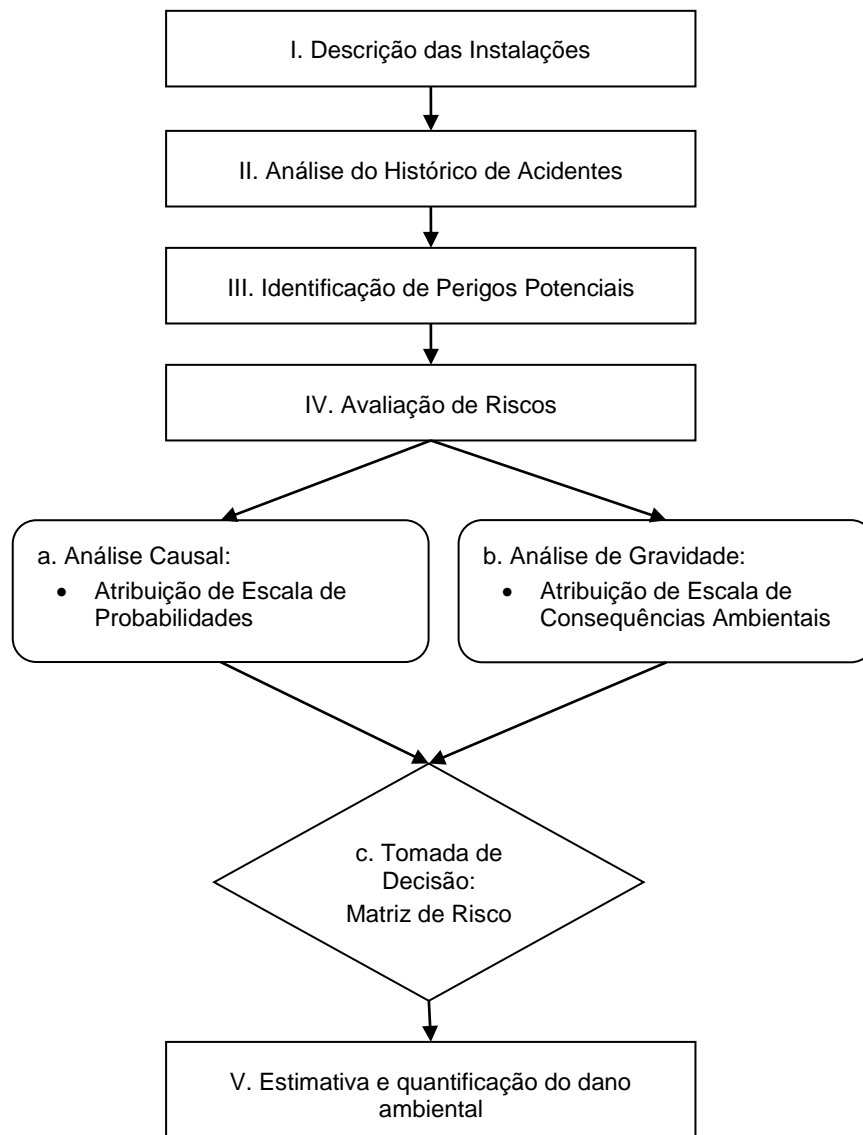


Figura 7 – Representação Esquemática do Processo de Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos

6.3. Descrição das Instalações

O primeiro passo, prévio ao processo de avaliação de riscos em si, deverá ser o da compilação sistematizada e exaustiva da informação sobre o estabelecimento, nomeadamente os seus processos e instalações. Deste passo deverá resultar a informação organizada de tal forma que seja possível ao operador efetuar uma primeira triagem das instalações e processos com maior potencial de impacto.

Neste ponto, sempre que aplicável, as informações já existentes, compiladas no âmbito de outra legislação como a Seveso II, poderão ser de grande utilidade. De referir no entanto que, ainda que seja bastante útil considerar dados já compilados, é necessário verificar se o seu âmbito e abrangência são compatíveis com o âmbito da Responsabilidade Ambiental, sendo que podem existir instalações e/ou processos que não sejam relevantes no âmbito de outros enquadramentos legais mas que poderão ter que ser incluídos no âmbito desta legislação.

O operador deverá sempre avaliar criticamente a informação de que dispõe e alargar a sua abrangência sempre que verifique que esta exclui operações, infraestruturas, produtos ou outras características da instalação que devem ser consideradas para avaliar os riscos em termos de dano ambiental.

À partida, a legislação de Responsabilidade Ambiental **não exclui nenhum tipo de fonte ou de perigo, nem limita o dano a determinados elementos contaminantes, ou quantidades dos mesmos**, isto é, exige a avaliação de uma instalação no seu conjunto, com o objetivo último de proteger os recetores sensíveis da sua envolvente³.

De uma maneira geral e para um parque de armazenagem típico, dever-se-ão obter os dados que permitam uma descrição exaustiva de, pelo menos:

- a) Características da Instalação;
- b) Operações e Processos Desenvolvidos;
- c) Medidas de Prevenção Instaladas; e
- d) Produtos Armazenados/Manipulados.

Os pontos acima descritos constituem uma lista exemplificativa, não devendo ser tomados como lista de verificação para a elaboração deste passo mas sim como lista de orientação. Cada operador deverá fazer a sua própria descrição, de acordo com as particularidades da sua instalação.

³ Entendendo-se como recetores a água, espécies e habitats naturais protegidos e os solos, de acordo com a sua definição no DL 147/2008.

6.3.1. Características da Instalação

Neste ponto importa fazer uma primeira descrição geral do parque, no que respeita a área ocupada, instalações adjacentes, acessos, capacidade máxima de armazenagem, distribuição de zonas de armazenagem, linhas de transporte, edifícios administrativos, armazéns auxiliares, grupos de bombagem e compressores, serviços gerais (utilidades), sistemas de drenagem e tratamento de efluentes existentes, etc. Estas zonas, em particular as áreas de armazenagem e as linhas de transporte, onde é mais provável a ocorrência de um acidente, deverão depois ser alvo de uma descrição detalhada, como se mostra de seguida.

Armazenagem:

Dever-se-ão descrever com detalhe as características dos reservatórios e bacias de retenção, destacando-se, entre outras características específicas de cada instalação, as seguintes características gerais:

- Reservatórios:
 - Distribuição por zonas e localização em planta;
 - Código de identificação;
 - Especificações (tipo de reservatório, dimensões, tipo de teto, tipo de parede, material, etc.);
 - Capacidade nominal;
 - Produtos armazenados; e
 - Condições de operação (pressão, temperatura, caudal, etc.); etc.
- Bacias de retenção:
 - Características (tipo de impermeabilização, capacidade, etc.); e
 - Disponibilidade de bacias secundárias em tanques de armazenagem, ilhas de enchimento, etc.

Linhas de transporte:

Neste ponto dever-se-ão descrever as linhas e grupos de bombagem e compressores existentes e sua localização em planta bem como as zonas e métodos de expedição e receção de produtos, etc.

6.3.2. Operações e Processos Desenvolvidos

Dever-se-ão descrever com detalhe os processos de receção e expedição dos diferentes produtos por via marítima e/ou terrestre (por exemplo, pontes-cais, ilhas de enchimento de veículos cisterna, carrosséis de enchimento de garrafas de GPL, etc.), o seu circuito de movimentação bem como os equipamentos associados, identificando as linhas de transporte de acordo com as suas características (nome, produto transportado, diâmetro, temperatura e pressão de funcionamento, etc.), os procedimentos de operação (volumes máximos, número de trasfegas anuais, etc.) e os dados de processo (temperatura, pressão, etc.).

6.3.3. Medidas de Segurança e Controlo Instaladas

Neste ponto deverão ser descritos os dispositivos, equipamentos ou procedimentos implementados e existentes cuja função é garantir a segurança da instalação. Poderão ser descritos neste ponto os procedimentos de manutenção e controlo implementados, os sistemas de instrumentação e alarme existentes (pressão, temperatura, nível, densidade, etc.), os sistemas de deteção, os sistemas de contenção de derrames (disponibilidade de bacias de contenção secundárias e outras medidas preventivas em áreas de risco de derrames de tanques de armazenagem, ilhas de enchimento, etc.) e outros existentes, assim como os sistemas de combate a incêndios.

6.3.4. Produtos Armazenados/Manipulados

Dever-se-ão inventariar todas as matérias-primas, substâncias finais e intermédias armazenadas e/ou manipuladas, sendo importante recolher informação sobre as quantidades armazenadas, as características de perigosidade e as suas propriedades físico-químicas. Poder-se-á, de forma a sistematizar a informação, construir tabelas com os dados recolhidos, como se apresenta nas Tabela 12 e Tabela 13, que se seguem.

Estas encontram-se preenchidas, em forma de exemplo, para algumas substâncias mais comuns nos parques de armazenagem objeto deste documento. A informação necessária para o preenchimento dos campos pode ser obtida em bases de dados específicas ou nas Fichas de Dados de Segurança de cada produto.

Tabela 12 – Características de Perigosidade dos Produtos Armazenados

Produto	Quantidade Armazenada	Estado Físico (P _{atm} , T _{atm})	Cor / Cheiro	Inflamabilidade (S/N)	Símbolos Rotulagem ⁽¹⁾	Frases de Risco para o Ambiente ⁽²⁾
Gasolina	--	Líquido	Violeta/ característico	S	T, F ⁺ , N, Xn	R51/53
Fuelóleo	--	Líquido	Castanho-escuro / característico	N	T	R52/53
Butano	--	Líquido	Incolor/ característico	S	T, F ⁺	--

Legenda:

(1) Elementos de rotulagem, de acordo com o Regulamento (CE) n.º 1272/2008 (CLP) para substâncias perigosas e o Decreto-Lei n.º 82/2003, de 23 de Abril, alterado pelo Decreto-Lei n.º 63/2008 de 2 de Abril, para misturas perigosas: F⁺: extremamente inflamável, F: facilmente inflamável; T⁺: muito tóxico; T: tóxico; N: perigoso para o ambiente; Xn: nocivo; Xi: irritante

(2) Frases de Risco R de perigo para o ambiente, de acordo com o a Diretiva 1999/45/CE e suas emendas:

Meio aquático

- R50: Muito tóxico para os organismos aquáticos
- R51: Tóxico para os organismos aquáticos
- R52: Nocivo para os organismos aquáticos
- R53: Pode causar efeitos negativos a longo prazo no ambiente aquático

Meio não aquático

- R54: Tóxico para a flora.
- R55: Tóxico para a fauna.
- R56: Tóxico para os organismos do solo.
- R57: Tóxico para as abelhas.
- R58: Pode causar efeitos negativos a longo prazo no ambiente.
- R59: Perigoso para a camada de ozono.

Tabela 13 – Propriedades Físico-Químicas dos Produtos Armazenados

Produto	Densidade (g/cm ³)	Pressão de Vapor (kPa)	Densidade do Vapor (15°C, 1 atm)	Ponto de Inflamação (°C)	Temperatura de AutoInflamação (°C)	Viscosidade (mm ² /s)	Solubilidade em Água (g/L)	Limite de Inflamabilidade Inferior – Superior (%)
Gasolina	0,720-0,775	45-90 (a 37,8°C)	3	<-40	> 250	<1	Praticamente imiscível	1,4-7,6 (v/v)
Fuelóleo	0,983–0,987	n.d.	n.d.	65	220 - 300	40 (max)	Praticamente imiscível	1-6 (v/v)
Butano	0,578 (líquido)	520 (a 40°C)	2	-60	400	n.d.	0,04 g/l	1,1 – 9,1 (v/v)

Legenda:

n.d. – não disponível

6.4. Análise do Histórico de Acidentes

A análise do histórico de acidentes ocorridos em instalações similares ou comparáveis às que são objeto de estudo permite identificar os perigos potencialmente presentes nas instalações, relacionados com os produtos manipulados e as atividades desenvolvidas, bem como avaliar as consequências de um acidente.

Com o tratamento estatístico destes dados, é também possível pôr em evidência sequências acidentais. Adicionalmente, a recolha desta informação permite ao operador afinar as suas medidas de prevenção (procedimentos, organização, dispositivos de prevenção) e de segurança (proteção contra incêndio, planos de emergência, etc.), através dos conhecimentos adquiridos com experiências prévias.

Em termos práticos, os dados obtidos da análise do histórico de acidentes são uma ferramenta fundamental de apoio ao estabelecimento das hipóteses/causas dos acidentes na fase de avaliação de perigos potenciais, que permitem a prossecução da avaliação de riscos.

A pesquisa pode ser efetuada por substâncias, atividades, processos ou uma combinação das mesmas. O resultado deverá ser um conjunto de registos com diversos campos, entre os quais podem estar o tipo de acidente, o tipo de acontecimento iniciador e o tipo de causa.

Para a pesquisa histórica de acidentes, para distintas atividades, processos ou produtos, existem diversas bases de dados disponíveis e fiáveis que o utilizador poderá consultar, entre as quais, as que se seguem na Tabela 14.

Importa referir que, caso o operador disponha de dados internos relativos a acidentes/incidentes ocorridos na empresa, a sua incorporação nesta análise é da maior relevância, visto que, ainda que possam não ser representativos estatisticamente (no caso de existirem poucos registos), são os que caracterizam de forma mais precisa a realidade da instalação.

Tabela 14 – Bases de Dados de Acidentes Industriais

Nome	Gestão	Acesso	Consulta Pública	Última Atualização
ARIA "Analyse, Recherche et Information sur les Accidents"	Ministério da Ecologia, Energia, Desenvolvimento Sustentável e Ordenamento do Território França	http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/barpi_stats.gnc	Sim	2010
ARIP "Accidental Release Information Program"	Environmental Protection Agency, EPA Estados Unidos	http://www.fedcenter.gov/Bookmarks/index.cfm?id=1060&pge_prg_id=8689&pge_id=1868	Sim	1999
FACTS "Failure and Accidents Technical Information System"	TNO Knowledge for Business Holanda	http://www.tno.nl	Não	--
eMARS "Major Accident Report System"	MAHB, Major Accident Hazards Bureau Comissão Europeia	http://mahb-srv.jrc.it/index.php?id=4	Sim	2010
MHIDAS "Major Hazard Incident Data Service"	AEA Technology para o UK Health and Safety Executive Reino Unido	http://www.hse.gov.uk	Não	--
National Response Center Database	Centro Federal de Comunicações Estados Unidos	http://www.nrc.uscg.mil/insum.html	Sim	2010
SONATA	TEMA/ENI Itália	--	Não	--
ZEMA	Agência Ambiental Federal Alemanha	http://www.infosis.uba.de/	Sim	2006

Neste guia foi conduzida uma pesquisa detalhada do histórico de acidentes ocorridos em instalações idênticas ou comparáveis aos parques e terminais de armazenagem, tendo sido consultada a base de dados ARIA.

A análise histórica de acidentes realizada para este guia não engloba todos os possíveis produtos, atividades, equipamentos e processos existentes num parque ou terminal de armazenagem de produtos petrolíferos, sendo antes um estudo genérico, que pretende orientar o operador na seleção dos dados a recolher e no tipo de análise a efetuar para obter a sua própria análise histórica de acidentes, dadas as suas condições específicas. Desta forma, os operadores deverão, em função da especificidade de cada instalação, completar ou reduzir o estudo genérico apresentado.

Este estudo incidiu sobre dois códigos de atividade industrial:

- Refinarias de petróleo (especificamente os processos relacionados com a armazenagem); e
- Comércio a granel de produtos de petróleo,

de forma a poder obter um conhecimento mais abrangente relativamente aos tipos de acidentes e acontecimentos iniciadores possíveis. Cabe referir que, dado não ter sido encontrado, na base de dados utilizada, um código de atividade específico para os parques de armazenagem de produtos petrolíferos, foram selecionados estes dois códigos visto incluírem processos idênticos aos que são objeto deste estudo.

Assim, nestas duas atividades pesquisaram-se dois processos, por um lado a armazenagem de produtos de petróleo e por outro, as operações logísticas de receção e expedição (carga e descarga).

De seguida, apresentam-se os resultados estatísticos dos dados obtidos.

6.4.1. Estatística dos Acidentes

Foi recolhida informação de um total de 162 acidentes, todos ocorridos entre 1945 e 2009, distribuídos da seguinte forma:

- 115 acidentes em tanques atmosféricos de armazenagem de produtos petrolíferos líquidos;
- 47 acidentes em operações logísticas de receção e expedição, dos quais:
 - 11 acidentes em operações de carga e descarga marítima,
 - 6 acidentes em operações de carga e descarga ferroviária,
 - 13 operações em operações de carga e descarga rodoviária, e
 - 17 acidentes não classificados na base de dados.

Estes acidentes distribuem-se, no que diz respeito à fase do processo na qual ocorrem, em:

- Fase de operação, que inclui a armazenagem e as operações logísticas associadas;
- Fase de manutenção, que inclui as operações de manutenção e reparação dos tanques, válvulas, tubagens, instrumentação, etc., e
- Fase de transição, que inclui as operações de arranque e paragem.

Uma primeira análise estatística dos dados mostra a seguinte distribuição, relativamente à fase do processo em que ocorrem os acidentes recolhidos:

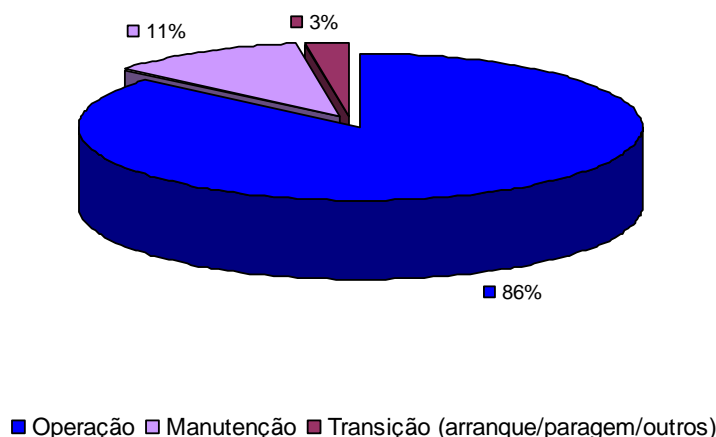


Figura 8 – Análise Estatística de Acidentes em Depósitos de Produtos Petrolíferos, por Fase do Processo (Fonte: Base de Dados BARPI 1945-2009)

Como se pode ver na Figura 8, a grande maioria dos acidentes recolhidos (86%) ocorre durante a fase de operação, sendo que apenas uma pequena percentagem dos acidentes se verifica durante operações de manutenção (11%) e de transição (3%).

Far-se-á de seguida, para cada uma destas fases, uma análise estatística detalhada dos acidentes, como se esquematiza nas Figura 9 e Figura 10, que se seguem. Importa referir que nem sempre será possível realizar um tratamento detalhado dos dados, visto se dispor de uma amostra pouco representativa de acidentes, como se verá mais adiante.

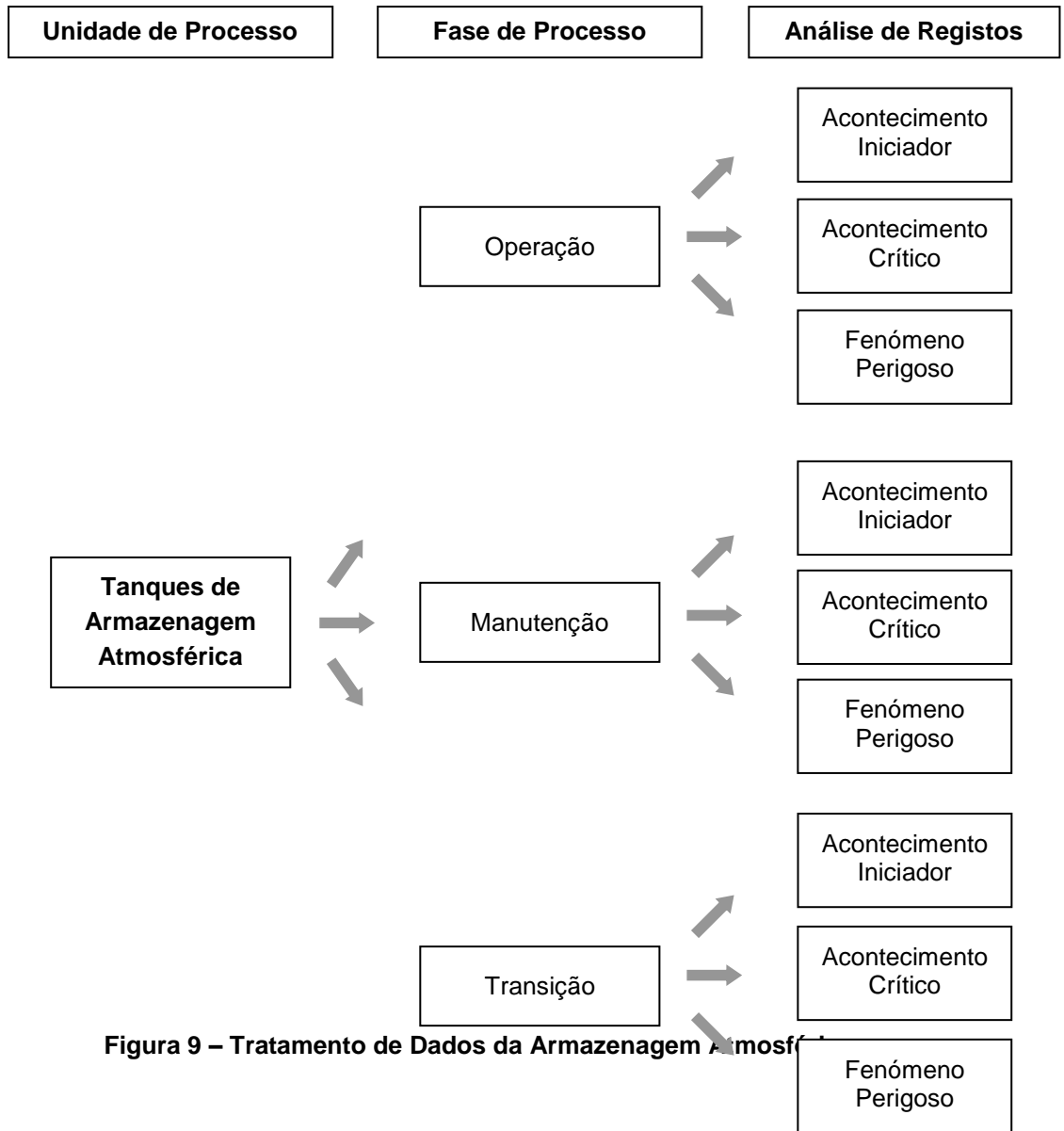


Figura 9 – Tratamento de Dados da Armazenagem Atmosférica

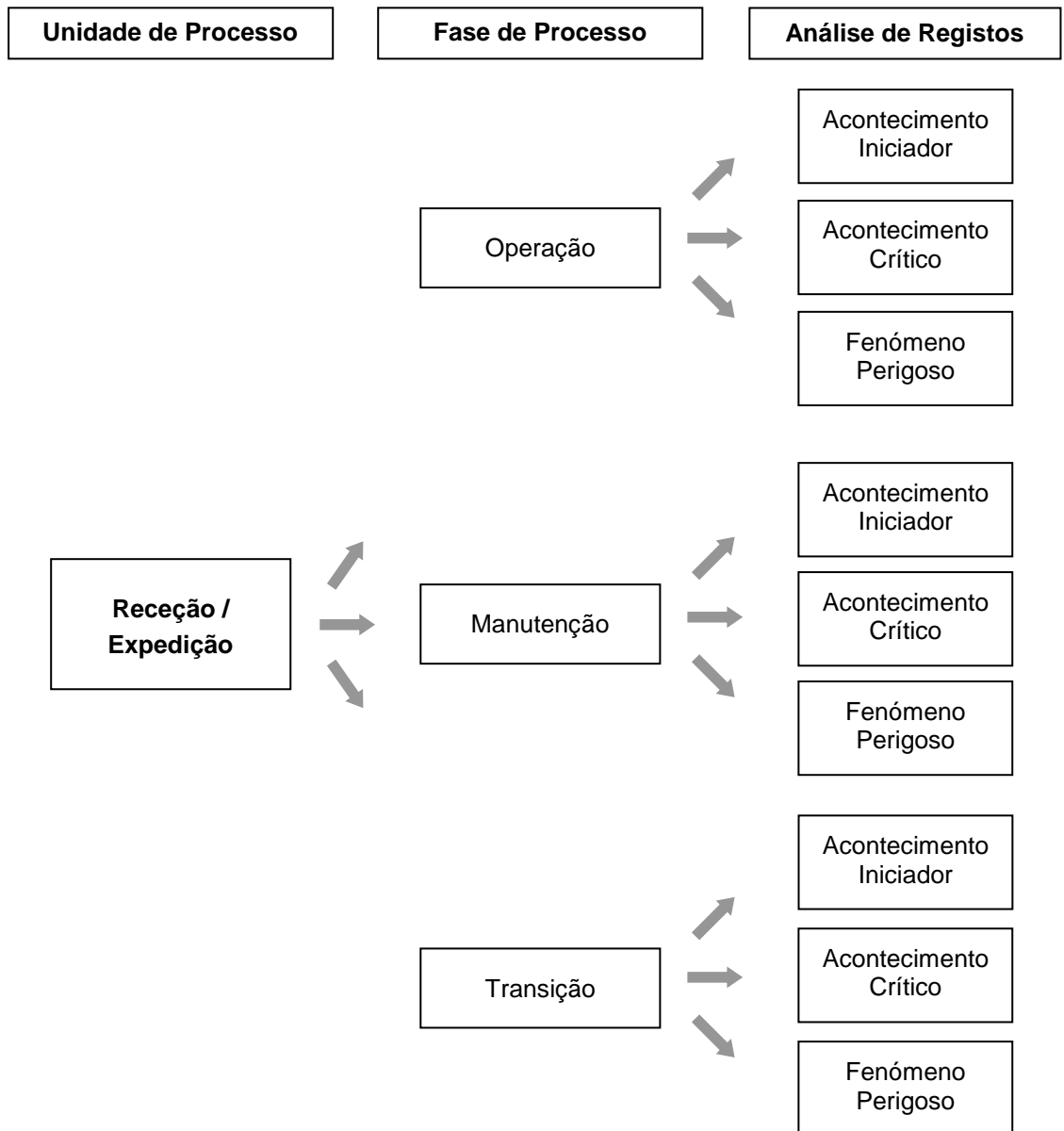


Figura 10 – Tratamento de Dados da Recepção e Expedição

6.4.1.1. Armazenagem Atmosférica de Combustíveis Líquidos

Desenvolver-se-á de seguida uma análise dos registos para as fases de operação, manutenção e transição, detalhando os acidentes por:

- Tipo de acontecimento iniciador (ver Tabela 15),
- Tipo de acontecimento crítico (ver Tabela 16); e
- Tipo de fenómeno perigoso (ver Tabela 17).

De seguida apresentam-se os resultados obtidos.

Tabela 15 – Distribuição de Acidentes na Armazenagem, por Fase de Processo e Tipo de Acontecimento Iniciador

Tipo de Acontecimento Iniciador	Fase Operação		Fase Manutenção		Fase Transição	
	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes
Indeterminado	33	33	-	-	-	-
Riscos Naturais	17	17	-	-	-	-
Erros Humanos	12	12	2	15	-	-
Corrosão / Erosão	10	10	-	-	-	-
Falha de Órgãos Operatórios	7	7	-	-	-	-
Falha de Sistemas de Controlo / Medição	6	6	-	-	-	-
Procedimentos Não Respeitados	3	3	2	15	1	*
Entradas de Ar	2	2	-	-	-	-
Vandalismo	2	2	-	-	-	-
Sobrepresão	2	2	1	8	-	-
Trabalhos nas Proximidades	2	2	3	23	-	-
Eletricidade Estática	1	1	-	-	-	-
Má Conceção	1	1	-	-	2	*
Perda de Utilidades (eletricidade, vapor, ar, azoto, água arrefecimento, etc.)	1	1	-	-	-	-
Procedimento Não Adaptado	1	1	1	8	-	-
Sobreaquecimento	1	1	-	-	-	-
Fonte de Ignição	-	-	1	8	-	-
Total	101	100	13	100	3	*

Legenda

* Em fase de transição apenas se recolheram três acidentes na armazenagem. Por este motivo, apenas se apresentam dados absolutos, e não percentuais dos dados recolhidos, visto que estes não têm representatividade.

Fonte:

Base de Dados BARPI 1945-2009

Tabela 16 – Distribuição de Acidentes na Armazenagem, por Fase de Processo e Tipo de Acontecimento Crítico

Tipo de Acontecimento Crítico	Fase Operação		Fase Manutenção		Fase Transição	
	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes
Sobreenchimento de tanque	20	20	-	-	-	-
Incêndio em tanque	18	18	1	8	-	-
Perfuração de tanque	13	13	1	8	-	-
Indeterminado	11	11	1	8	-	-
Explosão em tanque	8	8	6	46	-	-
Rotura de tanque	8	8	-	-	2	*
Perda de contenção de válvula / junta / flange	7	7	2	15	-	-
Perda de teto flutuante (por calor)	6	6	-	-	-	-
Perda de contenção da purga	4	4	-	-	1	*
Perfuração/fissura em tubagens	3	3	-	-	-	-
Erro de mistura	1	1	-	-	-	-
Fissuração em junta/equipamento	1	1	1	8	-	-
Proliferação bacteriana	1	1	-	-	-	-
Rotura de teto de tanque			1	8	-	-
Total	101	100	13	100	3	*

Legenda

* Em fase de transição apenas se recolheram três acidentes na armazenagem. Por este motivo, apenas se apresentam dados absolutos, e não percentuais dos dados recolhidos, visto que estes não têm representatividade.

Fonte:

Base de Dados BARPI 1945-2009

Tabela 17 – Distribuição de Acidentes na Armazenagem, por Fase de Processo e Tipo de Fenómeno Perigoso

Tipo de Fenómeno Perigoso	Fase Operação		Fase Manutenção		Fase Transição	
	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes
Fuga de líquido inflamável (confinado à instalação)	36	36	2	15	1	*
Incêndio de dimensão e consequências limitadas	16	16	3	23	-	-
Incêndio de grande dimensão	16	16	1	8	-	-
Poliuição aquática	10	10	-	-	1	*
Incêndio e explosão combinados	7	7	4	31	-	-
Outros	4	4	-	-	1	*

Tabela 17 – Distribuição de Acidentes na Armazenagem, por Fase de Processo e Tipo de Fenómeno Perigoso

Tipo de Fenómeno Perigoso	Fase Operação		Fase Manutenção		Fase Transição	
	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes
Explosão de nuvem de gás	3	3	2	15	-	-
Fuga de gás inflamável	3	3	-	-	-	-
<i>Boil over</i>	2	2	1	8	-	-
Fuga de gás tóxico	2	2	-	-	-	-
Poluição atmosférica	1	1	-	-	-	-
Poluição do solo	1	1	-	-	-	-
Total	101	100	13	100	3	*

Legenda

* Em fase de transição apenas se recolheram três acidentes na armazenagem. Por este motivo, apenas se apresentam dados absolutos, e não percentuais dos dados recolhidos, visto que estes não têm representatividade.

Fonte:

Base de Dados BARPI 1945-2009

No que diz respeito à fase de operação da armazenagem atmosférica de combustíveis líquidos, verifica-se o seguinte:

- Tipos de acontecimento iniciador: é evidente a dispersão num grande número de acontecimentos com pequenas percentagens de contribuição para a totalidade dos acidentes. No entanto, é possível destacar os seguintes:
 - na maioria dos acidentes registados, 33%, o acontecimento iniciador é desconhecido;
 - os riscos naturais surgem a seguir com 17%. Contribuem de forma significativa para a ocorrência de acidentes em tanques de armazenagem, no entanto o DL 147/2008 estabelece no seu artigo 2º, número 2.a.ii, que o capítulo III (responsabilidade administrativa pela prevenção e reparação de danos ambientais) do mesmo não se aplica aos danos nem ameaças iminentes de dano ambiental causados por fenómenos naturais de carácter totalmente excecional imprevisível ou que, ainda que previstos, sejam inevitáveis;
 - em terceiro lugar, encontram-se os erros humanos, com 12% dos registos,
 - em quarto lugar, encontra-se a corrosão/erosão com 10% dos registos;
 - analisando com mais detalhe, pode concluir-se que os erros humanos se caracterizam habitualmente pelo incumprimento das regras de segurança, o que pode implicar a geração de fontes de ignição. Adicionalmente, as falhas nos sistemas de controlo/medição conduzem geralmente ao sobreenchimento de um tanque ou à ocorrência de sobrepressão no mesmo.

- Tipos de acontecimento crítico:
 - com maior percentagem no universo analisado surge o sobreenchimento de tanques, com 20% dos registos;
 - segue-se o incêndio em tanques, com 18%;
 - em terceiro lugar, verifica-se a perfuração de tanques com 13%;
- Tipos de fenómeno perigoso: raramente são independentes, relacionando-se entre si na maior parte das vezes através de uma mesma sequência de acidente por exemplo, uma fuga de líquido é seguida de uma fuga de produto no meio e uma explosão é seguida de um incêndio, ou vice-versa. Os que mais contribuem para os registos recolhidos são os seguintes:
 - surgem em primeiro lugar, com 36%, as fugas de líquidos inflamável confinadas à instalação;
 - em seguida, verificam-se com 16%, os incêndios de dimensão e consequências limitadas, e os incêndios de grandes dimensões.

No que diz respeito à fase de manutenção da armazenagem atmosférica de combustíveis líquidos, verifica-se o seguinte:

- Tipos de acontecimento iniciador:
 - com maior frequência surge a existência de trabalhos nas proximidades, com 23%;
 - seguem-se os erros humanos e o desrespeito de procedimento com 15% cada um;
- Tipos de acontecimento crítico:
 - com maior percentagem de casos surge a explosão em tanque, com 46%,
 - em seguida, com 15%, surgem as perdas de contenção de válvulas, juntas ou *flanges*.
- Tipos de fenómeno perigoso:
 - com 31% surge o incêndio e explosão combinados;
 - em seguida encontram-se, com 23%, os incêndios de dimensão e consequências limitadas;
 - em terceiro lugar, com 15%, surgem as explosões de nuvens de gás.

Em relação à fase de transição, não se fará uma análise dos dados, visto terem sido recolhidos muito poucos registos nesta fase.

6.4.1.2. Receção e Expedição

Da mesma forma, para a receção e expedição desenvolver-se-á de seguida uma análise dos registos para as fases de operação, manutenção e transição, detalhando os acidentes por:

- Tipo de acontecimento iniciador (ver Tabela 18),
- Tipo de acontecimento crítico (ver Tabela 19); e
- Tipo de fenómeno perigoso (ver Tabela 20).

De seguida apresentam-se os resultados obtidos.

Tabela 18 – Distribuição de Acidentes na Receção e Expedição, por Fase de Processo e Tipo de Acontecimento Iniciador

Tipo de Acontecimento Iniciador	Fase Operação		Fase Manutenção		Fase Transição	
	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes
Indeterminado	17	40	2	*	-	-
Corrosão / Erosão	7	17	-	-	-	-
Erros Humanos	5	12	-	-	-	-
Falha de Órgãos Operatórios	2	5	-	-	-	-
Falha de Sistemas de Controlo / Medição	2	5	-	-	-	-
Electricidade Estática	2	5	-	-	-	-
Procedimentos Não Respeitados	2	5	-	-	-	-
Vandalismo	1	2	-	-	-	-
Procedimento não adaptado	1	2	-	-	-	-
Fonte de ignição	1	2	-	-	-	-
Sobreaquecimento	1	2	-	-	-	-
Sobrepessão	1	2	-	-	-	-
Total	42	100	2	*	0	*

Legenda

* Em fase de manutenção apenas se recolheram dois acidentes na carga e descarga. Por este motivo, apenas se apresentam dados absolutos, e não percentuais dos dados recolhidos, visto que estes não têm representatividade. Não foram recolhidos acidentes de carga e descarga em fase de transição.

Fonte:

Base de Dados BARPI 1945-2009

Tabela 19 – Distribuição de Acidentes na Receção e Expedição, por Fase de Processo e Acontecimento Crítico

Tipo de Acontecimento Crítico	Fase Operação		Fase Manutenção		Fase Transição	
	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes
Perfuração/fissura em tubagens	14	33	-	-	-	-
Indeterminado	7	17	2	*	-	-
Fuga/Rotura de flexível ou braço de carga	6	14	-	-	-	-
Perda de contenção de válvula/junta/flange	6	14	-	-	-	-
Falha na estanqueidade do revestimento de bomba	3	7	-	-	-	-
Sobreenchimento de embarcações	1	2	-	-	-	-
Fuga/rotura de flexível	1	2	-	-	-	-
Purga do flexível	1	2	-	-	-	-
Capotamento de cisterna	1	2	-	-	-	-
Rotura de cisterna	1	2	-	-	-	-
Sobreenchimento de tanque	1	2	-	-	-	-
Total	42	100	2	*	0	*

Legenda

* Em fase de manutenção apenas se recolheram dois acidentes na carga e descarga. Por este motivo, apenas se apresentam dados absolutos, e não percentuais dos dados recolhidos, visto que estes não têm representatividade. Não foram recolhidos acidentes de carga e descarga em fase de transição.

Fonte:

Base de Dados BARPI 1945-2009

Tabela 20 – Distribuição de Acidentes na Receção e Expedição, por Fase de Processo e Fenómeno Perigoso

Tipo de Fenómeno Perigoso	Fase Operação		Fase Manutenção		Fase Transição	
	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes	Nº Acidentes	% Acidentes
Poluição aquática	12	29	-	-	-	-
Fuga de líquido inflamável (confinada à instalação)	10	24	-	-	-	-
Poluição do solo	5	12	-	-	-	-
Outros	4	10	-	-	-	-
Incêndio de dimensão e consequências limitadas	4	10	-	-	-	-
Incêndio e explosão combinados	3	7	-	-	-	-
Incêndio de grandes dimensões	2	5	1	*	-	-
Explosão de nuvem de gás	1	2	-	-	-	-

Tabela 20 – Distribuição de Acidentes na Receção e Expedição, por Fase de Processo e Fenómeno Perigoso

Tipo de Fenómeno Perigoso	Fase Operação		Fase Manutenção		Fase Transição	
	1	2				
Fuga de gás tóxico	1	2	-	-	-	-
Fuga de gás inflamável			1	*	-	-
Total	42	100	2	*	0	*

Legenda

* Em fase de manutenção apenas se recolheram dois acidentes na carga e descarga. Por este motivo, apenas se apresentam dados absolutos, e não percentuais dos dados recolhidos, visto que estes não têm representatividade. Não foram recolhidos acidentes de carga e descarga em fase de transição.

Fonte:

Base de Dados BARPI 1945-2009

No que diz respeito à fase de operação da receção e expedição de combustíveis líquidos, verifica-se o seguinte:

- Tipos de acontecimento iniciador:
 - na maioria dos acidentes registados, 40%, o acontecimento iniciador é desconhecido;
 - a corrosão/erosão surgem em segundo lugar, com 17% dos casos;
 - em terceiro lugar, encontram-se os erros humanos, com 12% dos registos,
- Tipos de acontecimento crítico:
 - com maior percentagem no universo analisado surgem as perfurações/fissuras em tubagens, com 33 % dos registos;
 - em segundo lugar, em 17% dos casos, não foi registado o acontecimento crítico do acidente;
 - em terceiro lugar surgem as fugas/roturas de flexível e braços de carga bem como as perdas de contenção de válvulas, juntas e *flanges*, com 14% cada um.
- Tipos de fenómeno perigoso:
 - surge em primeiro lugar, com 29%, a poluição da água;
 - em seguida, verificam-se, com 24%, as fugas de líquido inflamável confinadas à instalação;
 - em terceiro lugar, com 12% dos registos, verifica-se a poluição do solo.

No que diz respeito às fases de manutenção e transição da receção e expedição de combustíveis líquidos, verificaram-se dois e zero registos respetivamente, pelo que não se fará uma análise detalhada dos dados.

6.4.2. Conclusões

Da análise apresentada, é possível resumir as seguintes conclusões:

- A esmagadora maioria dos registos recolhidos (86%) refere-se a acidentes ocorridos em fase de operação;
- Na fase de operação:
 - os principais acontecimentos iniciadores (excluindo os casos indeterminados) são os riscos naturais (17%) e os erros humanos (12%) na armazenagem e a corrosão/erosão (17%) e os erros humanos (12%) na receção e expedição;
 - os acontecimentos críticos mais frequentes (excluindo os casos indeterminados) são os sobreenchimentos de tanques (20%) e os incêndios em tanques (18%) na armazenagem e as perfurações/fissuras em tubagens (33%) e fugas/roturas de flexíveis ou braços de carga (14%) na receção e expedição;
 - os fenómenos perigosos mais frequentes são as fugas de líquidos inflamáveis confinadas à instalação (36%) e os incêndios de dimensão e consequências limitadas (16%) na armazenagem e a contaminação da água (29%) e as fugas de líquido inflamável confinadas à instalação (24%) na receção e expedição.
- Na fase de manutenção:
 - os principais acontecimentos iniciadores na armazenagem são os trabalhos nas proximidades (23%), o desrespeito de procedimentos (15%) e os erros humanos (15%);
 - os acontecimentos críticos mais frequentes na armazenagem são as explosões em tanques (46%) e a perda de contenção de válvula, junta ou *flange* (15%);
 - os fenómenos perigosos mais frequentes na armazenagem são os incêndios combinados com explosão (31%), os incêndios de dimensão e consequências limitadas (23%) e a explosão de nuvens de gás (15%).

6.5. Identificação de Perigos Potenciais

A etapa anterior à avaliação de riscos pretende efetuar, de uma forma, metodológica e macroscópica, uma identificação preliminar de possíveis acontecimentos iniciadores e sequências acidentais associadas ao estabelecimento concreto objeto de estudo. Esta avaliação será feita com base na informação recolhida até aqui, relativa à instalação e à análise histórica de acidentes.

Por outro lado, dada a descrição feita da instalação no que diz respeito a equipamentos, processos e produtos, a análise histórica permite prever o tipo de seqüências de acidente que poderão ocorrer, isto é, as falhas possíveis associadas, os acontecimentos iniciadores e críticos consequentes, os fenómenos perigosos resultantes e ainda o tipo de recetores previsivelmente afetados pelo acidente.

O fluxograma que se segue apresenta uma esquematização das entradas e saídas que o operador deverá obter nesta fase.

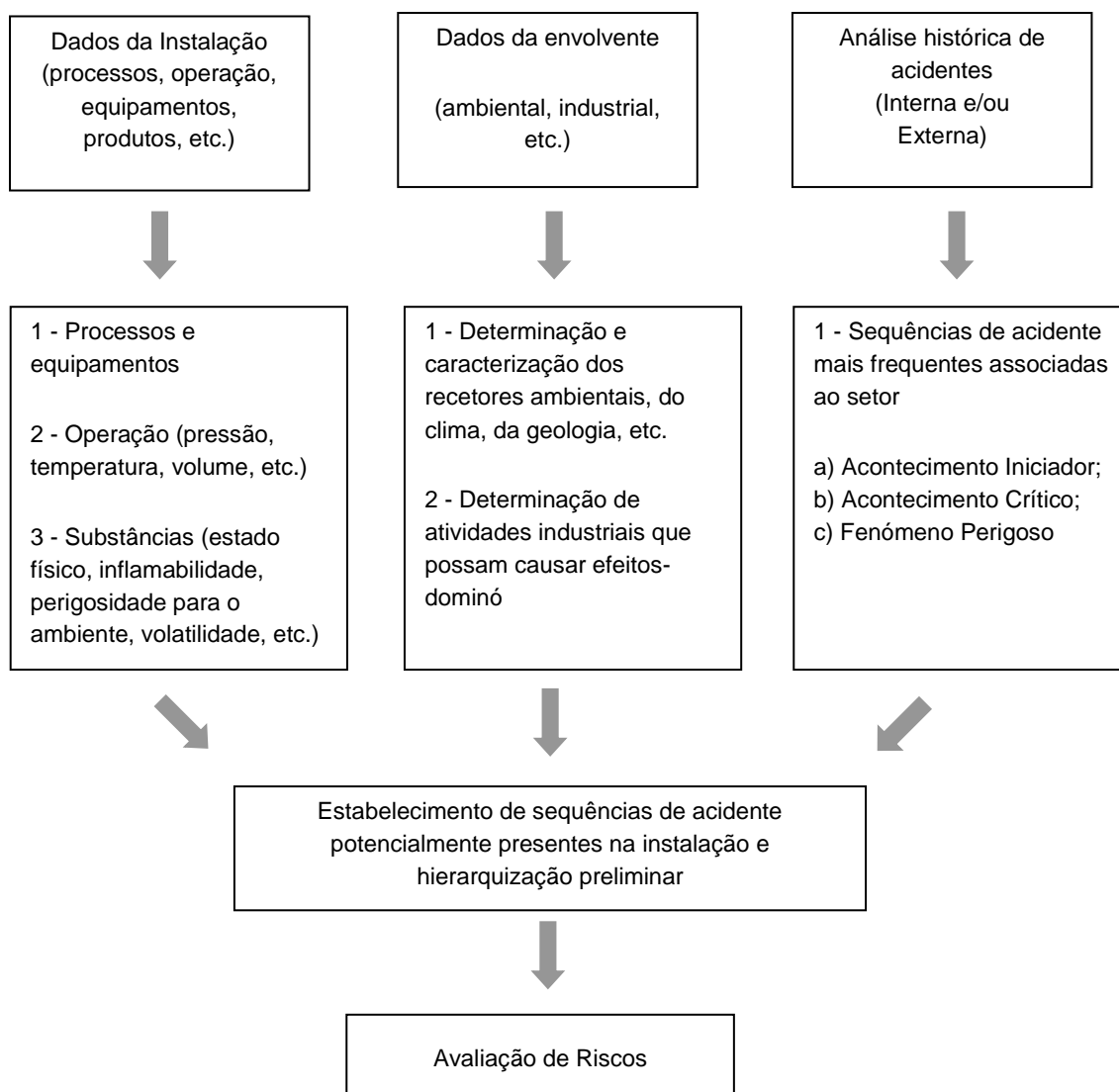


Figura 11 – Representação Esquemática do Processo de Identificação de Perigos Potenciais

Dada a diversidade de informação que o operador terá que apreciar nesta fase bem como a importância de interpretar corretamente os dados analisados, nesta secção detalhar-se-ão de forma genérica alguns dos dados mais relevantes que o operador deve analisar, de forma a auxiliar a sua interpretação e o estabelecimento das seqüências acidentais potencialmente presentes na instalação.

O conhecimento das fontes de perigo potenciais numa instalação é fundamental neste passo, pelo que de seguida se apresenta na Tabela 21 uma listagem não exaustiva de algumas das principais fontes de perigo potenciais numa instalação do tipo das que são objeto deste documento, às quais o operador deverá dar particular atenção aquando do desenvolvimento desta etapa.

Estas fontes encontram-se agrupadas em 3 grandes temas: fatores humanos, atividades e instalações e elementos externos à instalação.

Tabela 21 – Principais Fontes de Perigo numa Instalação de Armazenagem de Produtos Petrolíferos

Fatores Humanos	
Organização	Estrutura
	Sistemas de Gestão
	Cultura de prevenção
	Procedimentos
	Comunicações
	Condições ambientais do posto de trabalho
	Clima laboral
Pessoal	Formação
	Erros humanos
Atividades e Instalações	
Armazenagem	Substâncias armazenadas (matéria prima, produtos intermédios e produtos finais)
	Condições de armazenagem: pressão, temperatura, estado físico das substâncias
	Elementos de segurança: válvulas, bacias, sistemas de deteção
Processo produtivo e logístico	Equipamentos
	Transferência e manuseamento de substâncias
	Medidas de segurança e prevenção
	Condições da envolvente
	Condições do processo
	Gestão da manutenção

Tabela 21 – Principais Fontes de Perigo numa Instalação de Armazenagem de Produtos Petrolíferos

Atividades e Instalações	
Processos e instalações auxiliares	Instalações de tratamento: <ul style="list-style-type: none"> • Tratamento de águas residuais • Tratamento de emissões atmosféricas¹ • Armazenagem e tratamento de resíduos
Elementos Externos à Instalação	
Infraestruturas e serviços auxiliares	Vias de acesso
	Abastecimento de água, energia, gás.
Condições da envolvente	Caracterização da envolvente
Instalações vizinhas	Caracterização das instalações vizinhas

Legenda:

1 Considera-se que o ar, ainda que não seja um recetor considerado no DL 147/2008, pode ser um vetor de transferência.

Fonte: Federação Regional de Distribuidores de Gasóleo de Castilla e León

6.5.1. Perigos Potenciais Relacionados com os Equipamentos

Tal como se pode ver na Figura 11, é necessário determinar, do inventário exaustivo feito anteriormente sobre os processos, equipamentos e dados de operação, quais as condições que podem representar um perigo potencial (por exemplo, perda de contenção de válvulas, juntas, tubagens, reservatórios, bombas, etc.).

A partir das especificidades de cada instalação (equipamentos, características operacionais e produtos manipulados), cada operador deve ser capaz de relacionar os equipamentos com a informação recolhida na análise histórica de acidentes e estabelecer quais as fontes de perigo potenciais em cada um, determinando as relações de acontecimentos iniciadores prováveis, acontecimentos críticos associados e possíveis fenómenos perigosos resultantes.

Como informação auxiliar a este passo, poder-se-á consultar a Tabela 22, onde se listam, a título exemplificativo, alguns dos principais acontecimentos iniciadores.

Tabela 22 – Principais Tipos de Acontecimentos Iniciadores

Tipos de Causa	Acontecimentos Iniciadores
Manutenção deficiente	Falha de instrumentação/sistema controlo
	Formação de orifícios/fissuras nas tubagens e <i>flanges</i>
	Formação de orifícios/fissuras nos tanques e cisternas

Tabela 22 – Principais Tipos de Acontecimentos Iniciadores

Tipos de Causa		Acontecimentos Iniciadores
		Falha da válvula de fecho e de segurança
		Falha de ligações (falha nas <i>flanges</i> e juntas)
		Falha no fecho do depósito de produtos do veículo
		Falha no fecho de tanques e cisternas (falhas em válvulas)
Manutenção deficiente (cont.)		Falha no separador de hidrocarbonetos
		Ignição provocada por máquinas ou veículos auxiliares
		Falhas associadas à estação de tratamento de águas residuais (instrumentação, fissuras nos equipamentos, etc.)
Má conceção/ Erro de desenho e construção		Falha de dimensionamento/ conceção de equipamentos (ex.: válvula de fecho e de segurança, etc.)
		Falha de sistemas (ex.: sistema de bombagem, etc.)
		Falha na seleção do tipo de material dos equipamentos
		Formação de orifícios/fissuras nos tanques e cisternas
Erros humanos	Logística (manobras de veículos)	Formação de orifícios/fissuras nos tanques e cisternas
	Procedimentos operacionais	Falha da válvula de fecho e de segurança
		Falha do sistema de bombagem
		Falha de ligações
		Falha no fecho de tanques
		Formação de orifícios/fissuras nos tanques e cisternas
		Falha nos procedimentos de armazenamento de resíduos

Fonte: Federação Regional de Distribuidores de Gasóleo de Castilla e León

6.5.2. Perigos Potenciais Relacionados com as Substâncias Armazenadas

Com a informação relativa às características de perigosidade e propriedades físico-químicas das substâncias armazenadas, feita na secção 6.3.4, deverá ser possível ao operador fazer, nesta fase, uma avaliação preliminar das substâncias em termos de consequências ambientais, relacionando as características referidas e a quantidade armazenada de cada uma das mesmas.

De seguida apresentam-se, em forma de exemplo, algumas orientações para a realização desta avaliação.

Gasolina

A gasolina é um produto classificado como perigoso para o ambiente e tóxico para os organismos aquáticos, podendo causar efeitos negativos a longo prazo no ambiente aquático.

Por outro lado é um produto classificado como extremamente inflamável e a sua densidade de vapor é superior à do ar, o que implica que os seus vapores se possam acumular junto ao solo, pelo que, em caso de fuga e na presença de uma fonte de ignição, poderá facilmente iniciar fenómenos de incêndio.

Assim, este produto deverá ser incluído no processo de avaliação de riscos.

Fuelóleo

O fuelóleo evidencia características de nocividade para os organismos aquáticos, podendo causar efeitos negativos a longo prazo no ambiente aquático.

Dado que o seu ponto de inflamação é relativamente alto, não é classificado como inflamável pelo que não é expectável que, perante uma fonte de ignição, sem a presença de outros fatores, possa gerar fenómenos de incêndio/explosão.

Deverá ser considerado na avaliação de riscos.

Butano (GPL)

O butano não evidencia características de perigosidade para o ambiente. Por outro lado, a sua pressão de vapor é bastante alta, pelo que se volatiliza muito facilmente no ambiente, não sendo provável que possa causar diretamente danos ao solo ou às águas. No entanto, dada a sua elevada inflamabilidade, poderá gerar, em caso de fuga e presença de fonte de ignição, fenómenos de incêndio/explosão, que podem ter consequências importantes a nível ambiental.

Da mesma forma, é necessário avaliar a armazenagem e manipulação deste produto em termos de consequências ambientais.

6.5.3. Identificação Preliminar de Sequências Acidentais

Após a identificação das principais fontes de perigo associadas aos equipamentos e os acontecimentos iniciadores que se podem verificar, importa relacioná-los com os acontecimentos críticos possíveis e as substâncias envolvidas.

A Tabela 23 que se segue relaciona, de forma genérica e com base nas fontes já referidas (análise histórica realizada, recolha bibliográfica e experiência dos operadores do setor), exemplos de acontecimentos iniciadores comuns no tipo de instalação em análise, bem como as sequências acidentais mais frequentes. Com esta lista pretende-se proporcionar ao operador informação adicional que lhe permita refletir sobre a sua própria instalação.

Esta tabela não inclui as substâncias envolvidas na sequência acidental nem medidas de prevenção existentes que possam originar distintas sequências, visto que se trata de uma lista genérica e macroscópica. No entanto, o operador deverá ter presente que estes dados são imprescindíveis no estabelecimento preliminar das sequências de acidente.

Tabela 23 – Sequências de Acidente Possíveis/Prováveis numa Instalação de Armazenagem de Produtos Petrolíferos

Fenómeno Perigoso	Acontecimento Crítico	Acontecimento Iniciador/Causas
Derrame de combustível no meio proveniente de tanques	Rotura/Perfuração por orifícios e fissuras	Manutenção deficiente Erros de desenho ou construção Erros humanos no procedimento operacional Aumento de pressão
	Sobreenchimento	Erros humanos no procedimento operacional Falha nas válvulas de segurança/fecho
	Rotura de válvulas de segurança/fecho	Erros de desenho ou construção Manutenção defeituosa
Derrame de combustível no meio proveniente de braço de carga	Rotura/Perfuração por orifícios e fissuras	Manutenção deficiente Erros de desenho ou construção Erros humanos Aumento de pressão
	Rotura das válvulas de segurança/fecho	Erros de desenho ou construção Erros humanos no procedimento operacional Manutenção defeituosa
	Sobreenchimento	Erros humanos no procedimento operacional Falha nas válvulas de segurança/fecho
Derrame de combustível no meio proveniente de mangueiras	Rotura de mangueiras	Manutenção deficiente Erros de desenho ou construção Erros humanos no procedimento operacional Aumento de pressão
Derrame de combustível no meio proveniente de sistemas de bombagem	Rotura do sistema de bombagem	Manutenção deficiente Erros de desenho ou construção Erros humanos no procedimento operacional Aumento de pressão
Derrame de combustível no meio proveniente de válvulas de operação	Rotura das válvulas de operação	Manutenção deficiente Erros de desenho ou construção Erros humanos no procedimento operacional Aumento de pressão
Incêndio de substância inflamável	Rotura de tubagem	Incêndio em trabalhos próximos (efeito-dominó)

Fonte: Federação Regional de Distribuidores de Gasóleo de Castilla e León

No fim deste passo, o operador deverá dispor da seguinte informação:

- a partir dos acontecimentos iniciadores possíveis identificados, uma descrição das potenciais sequências de acidente, relacionadas com os equipamentos, processos, substâncias existentes na instalação;

- lista de acontecimentos críticos e fenómenos perigosos possíveis de ocorrerem na instalação; e
- lista de medidas preventivas e corretivas existentes ou necessárias a cada sequência de acidente identificada.

Com estes dados, será possível ao operador efetuar uma primeira hierarquização, empírica, dos cenários de acidente e, a partir da mesma, selecionar quais as sequências acidentais que exigirão uma análise posterior mais aprofundada.

Por exemplo, perante os seguintes dados genéricos sobre a sua instalação:

1. tanque de armazenagem A com capacidade de $x \text{ m}^3$, com 20 anos de idade, sem bacia de contenção secundária e contendo um produto perigoso para o ambiente,
 2. tanque de armazenagem B com a mesma capacidade, com 5 anos de idade, bacia de contenção secundária e contendo o mesmo produto perigoso para o ambiente,
- o operador deverá ser capaz de estabelecer uma hierarquização preliminar estabelecendo que o equipamento A tem um maior potencial de perigo, dadas as suas características intrínsecas e operacionais (idade, inexistência de contenção secundária), o que exigirá um cuidado adicional na análise das sequências acidentais que se estabeleçam para o mesmo.

Adicionalmente, estes dados permitem ao operador fazer uma avaliação preliminar das medidas preventivas e corretivas de que dispõe para cada sequência de acidente e decidir sobre a necessidade de implementar melhorias que lhe permitam eliminar ou minimizar situações perigosas até aqui não identificadas.

Na Tabela 24 que se segue detalha-se, a título de exemplo, de que forma o operador poderá compilar e tratar os dados recolhidos no fim desta fase. Importa referir que a tabela apresentada pretende exemplificar o resultado a obter, não se tratando de uma análise preliminar de perigos real. Incluíram-se apenas alguns dos equipamentos e produtos mais representativos existentes num parque de armazenagem de produtos petrolíferos.

Ainda que nesta fase não seja possível ao operador dispor de informação relativa à gravidade potencial das consequências ambientais dos fenómenos perigosos, a tabela já inclui referências ao meio potencialmente afetado. Esta informação tem como objetivo a análise preliminar e macroscópica da influência da envolvente no perigo potencial de cada sequência acidental, bem como uma primeira reflexão sobre os meios de segurança existentes ou necessários. No entanto, o facto de nesta fase se poderem identificar recetores como potencialmente atingidos em cada tipo de acidente não implica que, perante tal acidente, estes sejam efetivamente afetados. Este facto dependerá de inúmeros fatores, como rapidez de atuação de medidas de emergência, características da envolvente à instalação, etc. Assim, esta informação deverá ser encarada como indicativa e não como efetiva de dano ambiental.

Isto é, por exemplo, dados dois tanques de armazenagem numa mesma instalação localizados em extremos opostos, e um deles se encontra a montante de uma linha de

água superficial enquanto o outro tanque não tem na sua envolvente imediata qualquer massa de água superficial, este facto deverá ser tido em conta, tanto na sua compreensão como um incremento do perigo potencial do primeiro tanque, como na reflexão sobre a necessidade da implementação de medidas preventivas no mesmo que poderão não ser necessárias no segundo.

Tabela 24 – Identificação Preliminar de Perigos por Equipamento, Substância Armazenada e Sequência Acidental – Exemplos ¹

Processo	Tipo de equipamento	Tipo de Substância Armazenada ₂	Tipo de Acontecimento Iniciador	Tipo de Acontecimento Crítico	Tipo de Fenómeno Perigoso	Medidas Preventivas e Corretivas Existentes/ Necessárias	Meio Potencialmente Atingido ³			
							Águas		Solo	E&H
							ASt	ASp		
Armazenagem	Tanques atmosféricos	Fuelóleo	Corrosão/erosão	Perda de ecrã flutuante	Fuga de líquido inflamável (confinado à instalação)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
					Fuga de gás inflamável			<input checked="" type="checkbox"/>		
				Perfuração de tanque	Fuga de líquido inflamável (confinado à instalação)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
				Rotura total de tanque	Fuga de líquido inflamável (confinado à instalação)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Gasolina	Falha sistema de controlo / medição	Sobreenchimento tanque	Fuga de líquido inflamável (confinado à instalação)	Medidor de nível com alarme		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		Nafta			Incêndio e explosão combinados	Medidor de nível com alarme Instalação elétrica antideflagrante			<input checked="" type="checkbox"/>	
		Gasolina	Sobrepresão (por exemplo, por obstrução das bocas de ventilação)	Rotura total de tanque	Incêndio de grandes dimensões	Instalação elétrica antideflagrante Boca de ventilação suficiente para evacuar vapores gerados no incêndio Limitação de vaporização por ecrã flutuante interno Respiros com tapa chamas ou controlos visuais para detetar possíveis obstruções		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		Flange / válvula/ junta					Fuelóleo	Erro Humano	Perda de contenção de flange/ válvula/ junta	Fuga de produto no meio aquático

Tabela 24 – Identificação Preliminar de Perigos por Equipamento, Substância Armazenada e Sequência Acidental – Exemplos ¹

Processo	Tipo de equipamento	Tipo de Substância Armazenada ²	Tipo de Acontecimento Iniciador	Tipo de Acontecimento Crítico	Tipo de Fenómeno Perigoso	Medidas Preventivas e Corretivas Existentes/ Necessárias	Meio Potencialmente Atingido ³			
							Águas		Solo	E&H
							ASt	ASp		
Receção / Expedição	Tubagens	Gasolina	Corrosão/erosão	Rotura tubagem	Poluição do solo	Válvulas manuais de fecho	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<i>Flange / válvula/ junta</i>	Fuelóleo	Falha sistema de controlo / medição	Perda de contenção de <i>flange/ válvula/ junta</i>	Poluição aquática	Válvulas manuais de fecho		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Legenda

1 com base na informação da base de dados BARPI 1945-2009

2 As propriedades das substâncias deverão ter sido compiladas na fase de caracterização da instalação e de Perigos Potenciais relacionados com as Substâncias.

3 ASt: Águas Subterrâneas; ASp: Águas Superficiais; E&H: Espécies e habitats naturais protegidos.

Nota: Os recetores indicados como potencialmente atingidos em cada tipo de acidente deverão ser entendidos como indicativos, não implicando que, dada a ocorrência de tal acidente, estes sejam afetados. Este facto dependerá de inúmeros fatores, como rapidez de atuação de medidas de emergência, características da envolvente à instalação, etc. Assim, esta informação deverá ser encarada como indicativa e não como efetiva de dano ambiental.

6.6. Avaliação de Riscos

O objetivo final do processo que se segue é o de classificar cada sequência acidental identificada em função do risco ambiental associado, sendo que o risco ambiental é obtido através de uma matriz de decisão da probabilidade de ocorrência de cada cenário pelas consequências ambientais potenciais associadas. Esta classificação permitirá, com base na definição de dano ambiental, decidir sobre a aceitabilidade do risco associado a cada sequência acidental e ponderá-lo economicamente.

O processo desenvolve-se em 3 passos essenciais, como se segue:

- a) Análise causal – atribuição de escala de probabilidades
- b) Análise de gravidade – atribuição de escala de consequências ambientais
- c) Tomada de decisão – matriz de risco

Estes passos detalham-se nas secções seguintes.

6.6.1. Análise Causal

Esta fase tem como objetivo a atribuição da probabilidade final de ocorrência da sequência acidental, de acordo com uma escala adequada, de todos os cenários identificados na fase anterior.

Para estimar a probabilidade final de cada um dos cenários, é necessário obter preliminarmente a probabilidade (ou frequência) de ocorrência do acontecimento iniciador, em seguida do acontecimento crítico (considerando a ação das barreiras de segurança) e finalmente, do fenómeno perigoso (considerando a natureza do produto envolvido e as barreiras de segurança existentes).

Esquematizando o processo, a estimativa da probabilidade final de ocorrência obedece aos passos que se estabelecem de seguida.

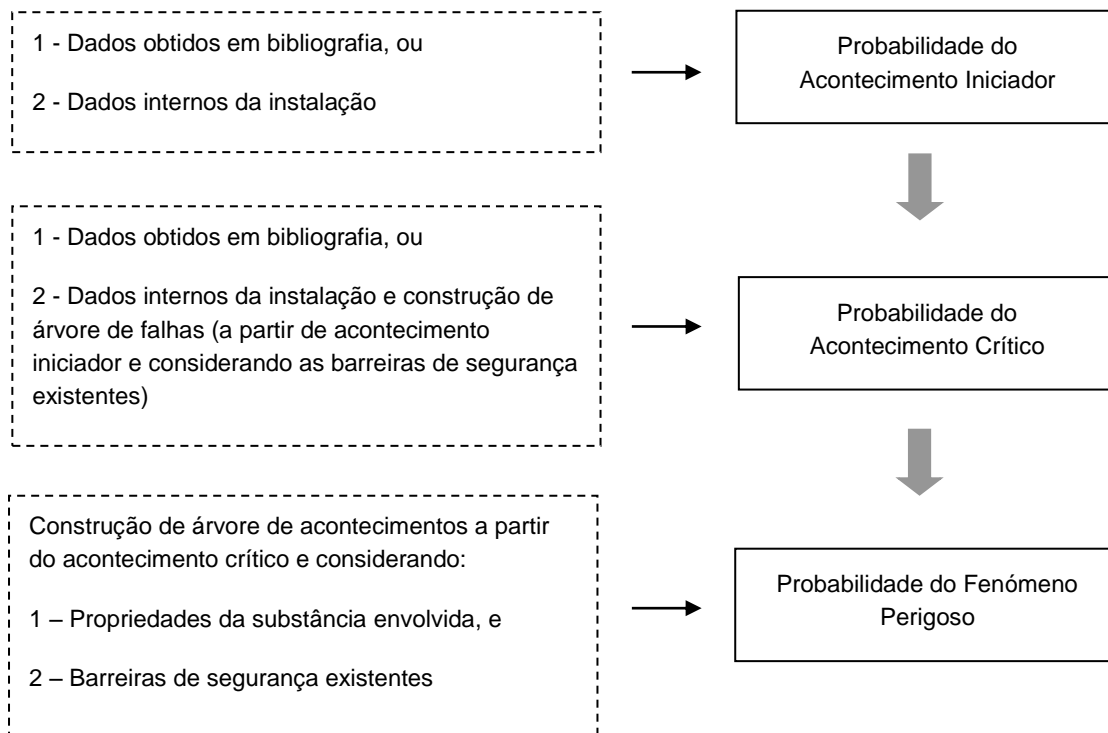


Figura 12 – Representação Esquemática do Cálculo da Probabilidade Final de Ocorrência da Sequência de Acidente

Como se vê na figura, o operador poderá obter as probabilidades dos diferentes acontecimentos críticos de duas formas distintas:

- a partir das frequências unitárias dos acontecimentos iniciadores, ou
- a partir de bases de dados genéricas de probabilidades de ocorrência de acontecimentos críticos.

No primeiro caso, será necessário construir uma árvore de falhas na qual se represente a informação seguinte:

- Frequências unitárias de acontecimentos iniciadores;
- Barreiras de segurança existentes em cada sequência.

No segundo caso, o operador poderá obter as probabilidades dos acontecimentos críticos a partir de bases de dados genéricas disponíveis em bibliografia especializada.

Qualquer que seja a opção que o operador tome para a obtenção dos dados de probabilidades, esta será válida desde que corretamente justificada.

No entanto, importa referir que se o operador dispuser de dados internos da instalação, deverá usá-los preferencialmente na sua análise. Ainda que possam não ser representativos estatisticamente caso existam poucos registos, estes dados refletem de forma mais precisa a realidade e especificidades da instalação.

No caso de o operador recorrer a bases de dados de probabilidades de ocorrência de acontecimentos críticos, deve ter presente que estes não representam o seu processo com a mesma precisão que representariam caso estas fossem calculadas, visto que neste último caso pode-se ter em linha de conta a influência dos sistemas de segurança realmente implementados na instalação, o que não acontece nos dados obtidos em bases de dados genéricas.

Algumas das fontes de maior relevância a nível internacional para a obtenção dos dados de probabilidades de ocorrência (ou frequências) são as seguintes bases de dados:

- EAT-DRA34 Integração da Dimensão Probabilística na Análise de Riscos (INERIS 2005);
- "Guidelines for Quantitative Risk Assessment" conhecido como "Purple Book" de TNO, Comité de Prevenção de Acidentes (1ª edição – 1999);
- "Methods for Determining and Processing Probabilities" conhecido como "Red Book" de TNO, Comité de Prevenção de Acidentes (2ª edição – 1997);
- "Layer of Protection Analysis – Simplified Process Risk Assessment" do Center for Chemical Process Safety, do American Institute of Chemical Engineers (AIChE);
- CONCAWE, Organização de Companhias Europeias de Petróleo para o Ambiente, Saúde e Segurança, compilou nos últimos anos informação sobre derrames em pipelines internacionais. Considera-se que esta base é a mais idónea para fugas em pipelines;
- "ARAMIS Final technical report of the Methodology for the Identification of Major Accident Hazards (MIMAH) and the Methodology for the Identification of Reference Accident Scenarios (MIRAS), taking into account the feedback of test cases", do Major Hazard Accidents Bureau da Comissão Europeia (2005);
- EIReDA: esta base de dados está relacionada com falhas críticas em componentes de segurança em instalações nucleares. A EIReDA dispõe de dados de equipamento elétrico, mecânico e eletromecânico aplicável a qualquer indústria.

Finalmente, para a atribuição de valores de probabilidade ao fenómeno perigoso, será necessário desenvolver árvores de acontecimentos nas quais se deverá representar a seguinte informação:

- Probabilidade do acontecimento crítico previamente calculada ou obtida;
- Características do produto envolvido no acidente (toxicidade, inflamabilidade, explosividade, etc.);
- Existência de barreiras de segurança ao longo da sequência de acidente.

A título de exemplo, desenvolvem-se na Figura 13, através de uma árvore de acontecimentos, as sequências de acidente a partir de uma perda de contenção num

tanque de armazenagem. Este exemplo refere-se à armazenagem da gasolina⁴, selecionada na análise feita na secção 6.3.4, por ter maior potencial de risco para o ambiente, dados os produtos analisados. Importa referir que sendo esta árvore exemplificativa, ainda que os “ramos” apresentados correspondam qualitativamente aos cenários que se pretende exemplificar, os mesmos podem não corresponder de forma quantitativa às probabilidades correspondentes a cada um dos mesmos.

No desenvolvimento real deste tipo de estudos, o operador deverá estabelecer as árvores de acontecimentos que representam a sua instalação e atribuir a informação quantitativa de transmissão de probabilidades de ocorrência dos fatores associados a cada dado dos “ramos” da árvore, isto é, a influência da natureza da substância envolvida e das barreiras de segurança existentes.

As probabilidades finais de ocorrência das sequências acidentais calcular-se-ão através da combinação da probabilidade do acontecimento crítico com as probabilidades de transmissão deste até aos distintos fenómenos perigosos, associadas às barreiras de segurança existentes ou possíveis (dispositivos de deteção, de fecho, de contenção, etc.) e à natureza da substância envolvida (por exemplo, probabilidade de ignição imediata ou explosão de nuvem de vapor).

Numa análise preliminar da árvore genérica de acontecimentos apresentada na Figura 13, fica evidente que quantas menos barreiras de segurança existirem ou estiverem em funcionamento, maior é a possibilidade de ocorrerem consequências ambientais face ao fenómeno perigoso previsto.

⁴ Considera-se que, dada a classificação com o símbolo de rotulagem N e a frase de risco R51/53, a gasolina é o produto com maior potencial de dano ao ambiente, de entre os 3 exemplos analisados.

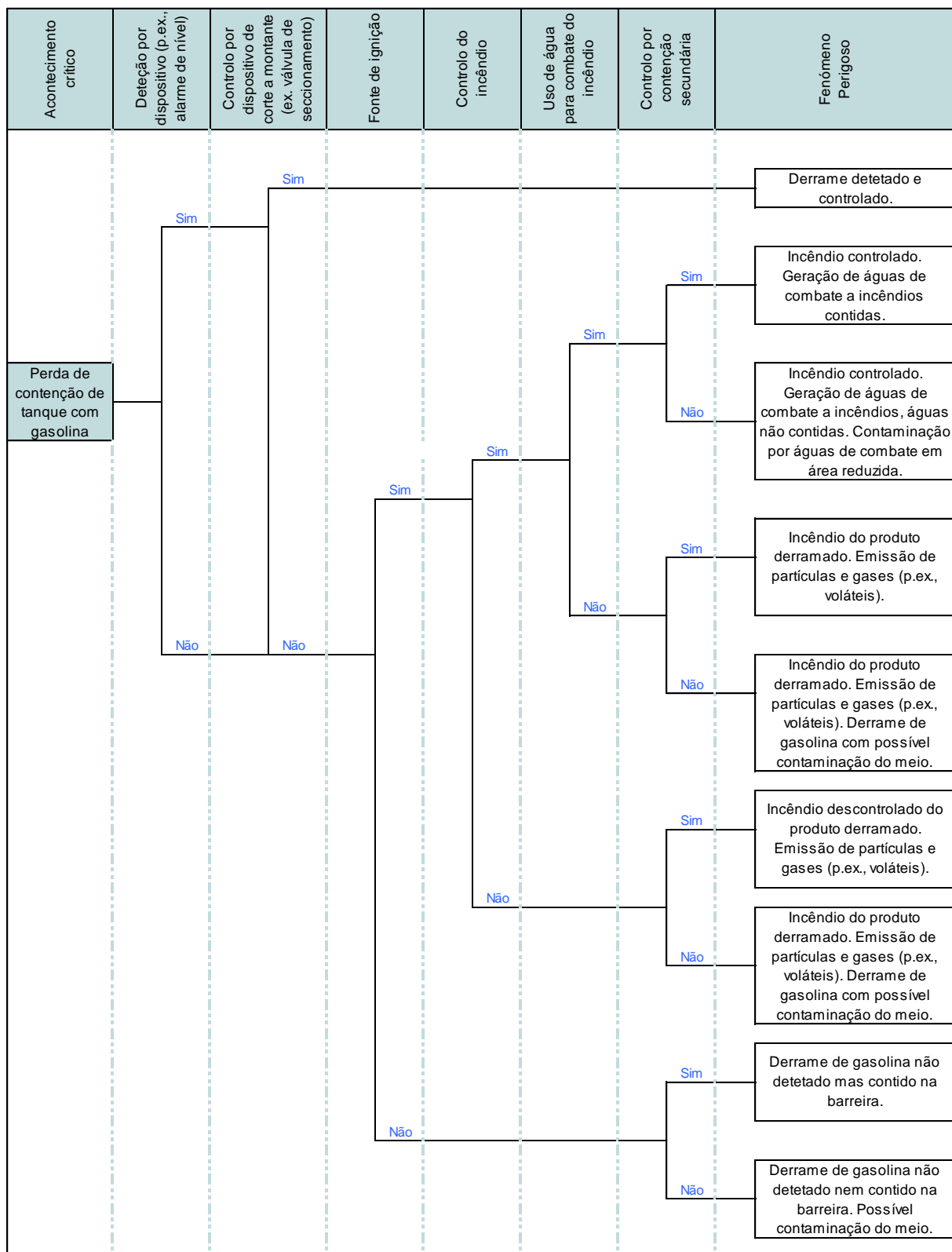


Figura 13 – Árvore de Acontecimentos de Perda de Contenção num Tanque de Armazenagem de Gasolina

6.6.1.1. Escala de Probabilidades

De forma a poder obter uma classificação qualitativa do risco (a partir da probabilidade de ocorrência e da gravidade das consequências ambientais de cada cenário), será necessário dispor de uma escala semiquantitativa de probabilidades que seja adequada, e que será um dos eixos da matriz de risco que se estabelecerá mais adiante.

Na Tabela 25, abaixo, inclui-se uma escala de probabilidades que o operador poderá aplicar aquando da realização da avaliação de riscos da sua instalação.

Esta escala foi desenvolvida cruzando as escalas disponíveis na bibliografia internacionalmente reconhecida no âmbito da avaliação de riscos industriais com a experiência dos operadores do setor no desenvolvimento destas avaliações nos Relatórios de Segurança Seveso II.

Com o desenvolvimento da escala que agora se apresenta, pretendeu-se por um lado representar a realidade genérica das instalações do setor e por outro lado, limitar o número de categorias possíveis da mesma ao mínimo razoável, tendo-se obtido finalmente quatro categorias. A existência de muitas categorias tem normalmente como consequência uma maior subjetividade e heterogeneidade na aplicação de critérios de enquadramento de operador para operador, sendo mais difícil a comparação e repetibilidade de resultados.

No entanto, o operador deverá ajustar os limites da escala aos seus cenários concretos, caso verifique que estes não se refletem corretamente na escala apresentada.

Tabela 25 – Escala Semiquantitativa de Probabilidades de Ocorrência

Categoria	Descrição		Índice de Matriz
	Qualitativa	Quantitativa (Ocorrências/ano)	
Muito Improvável/ Remoto	Conceptualmente possível, mas não há registo de ocorrência.	$X \leq 10^{-4}$	A
Possível	Não é expectável que ocorra na instalação, mas não é impossível.	$10^{-4} < X \leq 10^{-3}$	B
Provável	Há registo de ter acontecido pelo menos uma vez na vida útil em instalações de outras empresas no mesmo setor.	$10^{-3} < X \leq 10^{-2}$	C
Frequente	Aconteceu uma ou mais vezes durante a vida útil da instalação.	$10^{-2} < X < 1$	D

6.6.2. Análise de Gravidade

A análise de gravidade tem por objetivo determinar a natureza do impacto associado ao acidente ou incidente.

Como já indicado anteriormente, o DL 147/2008 estabelece que a gravidade das consequências deve ser avaliada em função do dano sobre as espécies e habitats naturais protegidos, as águas e os solos. No entanto, não define, de forma quantitativa, o que se entende por dano ambiental, devendo ser feita uma avaliação caso a caso. Adicionalmente, aquando da decisão sobre a gravidade de um dado cenário, poderá acontecer que não se conheçam todos os dados necessários para tal, pelo que será necessário assumir alguns pressupostos. Neste caso, estes deverão ser devidamente justificados, com base em referências bibliográficas, experiência do setor e/ou critério de técnicos especialistas.

6.6.2.1. Escala de Consequências Ambientais

O objetivo da escala de consequências ambientais é o de permitir a tomada de decisão sobre a gravidade de cada cenário, de forma a poder estabelecer, no final do processo, uma hierarquização de riscos.

É necessário que esta escala seja tão genérica quanto possível, para que possa incluir as consequências resultantes de qualquer cenário de acidente em qualquer envolvente mas, simultaneamente, seja suficientemente detalhada, de forma a minimizar as ambiguidades que surgem habitualmente de escalas demasiado abrangentes ou fragmentadas em muitas categorias, com diferenças entre as mesmas muitas vezes subjetivas.

Na Tabela 26 mais adiante, apresenta-se a escala relativa à gravidade de consequências no âmbito da Responsabilidade Ambiental. Para o desenvolvimento da mesma, considerou-se fundamental detalhar descrições específicas tanto para cada categoria de gravidade como por cada recetor abrangido pelo DL 147/2008 (espécies e habitats naturais protegidos, águas e solo).

Cabe, neste âmbito, referir que a escala desenvolvida é o resultado de diversos saberes, quer a informação recolhida na primeira fase de *benchmark* deste projeto, quer a vasta experiência dos operadores do setor tanto em avaliações de risco industriais como ambientais. Destacam-se em particular os seguintes documentos relevantes consultados, resultantes do *benchmark*:

- Anexo I do Decreto Governamental nº. 91/2007 Húngaro (desenvolvimento legal posterior à transposição para o direito interno da Diretiva 2004/35/CE), que desenvolve considerações para o estabelecimento de ocorrência de alterações significativas no estado de conservação da natureza.

- Anexo II do *Review of the Environmental Impact Assessment Process in Western Australia*, da Environmental Protection Authority da Austrália Ocidental, de Março de 2009, no qual esta autoridade estabelece uma escala de gravidade de consequências focalizada em distintos recetores ambientais, para aplicação no âmbito dos processos de Avaliação de Impacte Ambiental.
- Escala Europeia dos Acidentes Industriais, desenvolvida em 1994 pelo Comité das Autoridades Competentes dos Estados membros para aplicação da Diretiva Seveso II e sua apresentação gráfica desenvolvida pelo Ministério do Ambiente francês. Nesta escala, focalizada para as avaliações de risco Seveso II, estabelecem-se categorias de gravidade detalhadas por recetores, entre eles, ambientais.

Desta forma, a escala obtida estabelece critérios detalhados e semiquantitativos que podem auxiliar o operador a ultrapassar as indefinições deste regime legal relativamente à definição de dano ambiental.

No Anexo II inclui-se uma escala global de consequências, na qual são compilados todos os recetores e descritos os respetivos intervalos de forma suficientemente detalhada para que seja possível aplicá-los a distintos enquadramentos legais, como é o caso das instalações Seveso II. Esta escala inclui não apenas as consequências ambientais no âmbito da Responsabilidade Ambiental mas também outros componentes, nomeadamente os que são objeto de salvaguarda pela legislação Seveso II, permitindo desta forma ao operador dispor de uma ferramenta base de avaliação de riscos de aplicação genérica, que lhe permitirá, por um lado, minimizar esforços no desenvolvimento de metodologias adicionais, dada a existência de diferentes recetores e por outro, homogeneizar os critérios aplicados por distintos operadores para um mesmo objetivo.

Aquando da aplicação desta escala às consequências dos cenários de acidente concretos de uma instalação, o operador poderá, como auxílio no enquadramento da categoria adequada de gravidade de consequências, socorrer-se dos seguintes dados, de que nesta fase já dispõe:

- características de perigosidade das substâncias envolvidas no acidente;
- tipo de fuga e estimativa do tempo necessário ao isolamento da mesma;
- quantidade de substância potencialmente libertada;
- potencial de dispersão da contaminação
- características da envolvente (recetores sensíveis, dados meteorológicos e hidrogeológicos, etc.)
- distância aos recetores sensíveis; e
- viabilidade de recuperação do meio.

Tabela 26 – Escala Semiquantitativa de Gravidade de Consequências Ambientais

Categoria	Índice Matriz	Descrição Qualitativa		
		Recetores Ambientais		
		Biodiversidade (Espécies e Habitats Naturais Protegidos)	Danos à Água (superficial e subterrânea) e Solo	Danos a Serviços e/ou serviços de recursos naturais
Reduzido	I	Não há afetação de espécies ou habitats protegidos.	Compartimento ambiental afetado, mas <u>sem consequências/impacte negativo</u> . Não se verificam excedências de Valores Limite estabelecidos ou de referência, para a qualidade da água e solo	A afetação não provoca uma diminuição na qualidade e/ou quantidade dos serviços ambientais ou esta <u>não é apreciável</u> . Poderá ser necessário estudar a implementação de medidas de prevenção.
Moderado ^[1]	II	Espécies ou habitats protegidos afetados de forma <u>não significativa</u> (o ecossistema recupera de forma natural a curto prazo), na envolvente imediata da instalação.	Compartimento ambiental afetado, mas <u>sem consequências/impacte negativo</u> . Valores Limite estabelecidos ou de referência poderão ser pontualmente excedidos (valores de qualidade da água e solo ou valores objetivo de risco) ^[2] .	Serviços ou serviços de recursos naturais afetados de forma <u>não significativa</u> mas apreciável (as perdas de serviços são de curta duração). Os serviços e/ou serviços de recursos naturais recuperam de forma natural o seu estado inicial num curto período de tempo. Pode ser necessário adotar medidas de prevenção.
Elevado	III	<ul style="list-style-type: none"> Envolvente imediata da instalação: espécies ou habitats protegidos afetados de forma <u>significativa</u> (o ecossistema recupera de forma natural a médio/longo prazo) e/ou Zona de influência da instalação: espécies ou habitats protegidos afetados de forma <u>não significativa</u> (o ecossistema recupera de forma natural a curto prazo) Danos causados a habitats de uma qualquer zona, de acordo com o n.º 3 do Anexo VII do DL 254/2007 ^[3]. <p>É necessário aplicar medidas de reparação.</p>	<p>Compartimento ambiental contaminado, com:</p> <ul style="list-style-type: none"> consequências negativas na qualidade da água e solo; ou caso sejam ultrapassados os valores de alerta de risco (valores objetivos de risco); ou danos causados a um aquífero ou águas subterrâneas, de acordo com o n.º 3 do Anexo VII do DL 254/2007 de 12 de Julho ^[3]. <p>Verificam-se <u>excedências de Valores Limite</u> estabelecidos ou de referência.</p>	Serviços ou serviços de recursos naturais afetados de forma <u>significativa</u> (há perda de serviços de longa duração). É necessário implementar medidas de reparação para recuperar os serviços e/ou serviços de recursos naturais a curto/médio prazo.
Catastrófico	IV	<ul style="list-style-type: none"> Envolvente imediata da instalação: danos <u>irreversíveis</u> às espécies e habitats (o ecossistema não pode ser recuperado ao estado inicial) e/ou Zona de influência da instalação: afetação <u>significativa</u> (o ecossistema recupera de forma natural a médio/longo prazo) <p>É necessário implementar medidas de reparação, complementares e compensatórias.</p>	Compartimento ambiental contaminado, com <u>perda de funções</u> de uma componente ambiental (ex.: elevado grau de contaminação na água e solo que impossibilita a sua utilização para os fins a que estavam destinados).	Serviços ou serviços de recursos naturais afetados de forma <u>irreversível</u> (há perdas não recuperáveis de serviços). É necessário implementar medidas de reparação, inclusivamente medidas compensatórias, já que não é possível alcançar o estado inicial.

Legenda na página seguinte

Tabela 26 – Escala Semiquantitativa de Gravidade de Consequências AmbientaisLegenda:

[1] Assume-se que a partir deste nível de severidade – nível “Moderado” – poderá ser aplicável o reporte do incidente às Entidades Competentes, conforme exigido pela lei (ex.: reporte de incidentes no âmbito do DL 254/2007; DL 147/2008, etc.).

[2] Valores objetivo de risco definidos por exemplo para águas subterrâneas e qualidade dos solos.

[3] Prejuízos imediatos no ambiente, descritos no n.º 3 do Anexo VII do DL 254/2007 de 12 de Julho (aplicável apenas a instalações Seveso II):

Danos permanentes ou a longo prazo causados a habitats terrestres:

0,5 ha ou mais de um habitat importante do ponto de vista do ambiente ou de conservação da natureza, protegido por lei;

10 ha ou mais de um habitat mais amplo, incluindo terrenos agrícolas;

Danos significativos ou a longo prazo causados a habitats marinhos ou de água de superfície:

10 km ou mais de um rio, canal ou ribeiro;

1 ha ou mais de um lago ou lagoa;

2 ha ou mais de um delta;

2 ha ou mais de uma zona costeira ou do mar;

Danos significativos causados a um aquífero ou a águas subterrâneas:

1 ha ou mais.

6.6.3. Tomada de Decisão

O objetivo desta fase é analisar e validar os cenários identificados nas fases de análise de causas e consequências, aos quais se atribuíram categorias de probabilidade e gravidade, de acordo com as escalas estabelecidas. Adicionalmente, pretende-se identificar quais os cenários críticos e que exigem ou a adoção de medidas de minimização ou a realização de estudos mais detalhados, necessários a uma melhor compreensão do risco associado.

Nesta fase o operador deverá também identificar quais os cenários que, ainda que aceitáveis, podem estar associados a efeitos dominó (situações em que os efeitos físicos gerados no acidente são capazes de atingir equipamentos ou instalações próximas, produzindo novas fugas e efeitos adversos incrementando assim os efeitos do acidente inicial) e cujo risco potencial de causar um dano ambiental significativo pode ser superior ao resultado obtido da matriz.

Tendo como dados de entrada as probabilidades de ocorrência e a gravidade das consequências dos cenários analisados, importa agora validar a informação obtida até aqui. Para isso, o operador deverá realizar reuniões de trabalho do tipo HAZID⁵, “*brainstorming*” ou similar, cujo objetivo é o de, dados os valores de probabilidade e gravidade de consequências obtidos, estes se possam ainda avaliar criticamente, gerando valores finais ajustados. Nestas reuniões, é essencial a presença não só de elementos da engenharia de processo e produção, mas também dos processos de suporte, como é o caso da manutenção, instrumentação, técnicos de ambiente e de segurança, saúde e higiene no trabalho.

Obtidos os valores finais de probabilidade e gravidade, proceder-se-á ao cálculo dos índices de risco existentes na instalação, obtidos cruzando, numa matriz de decisão (matriz de risco) a probabilidade pela gravidade de consequências.

Esta operação permitirá hierarquizar os cenários, agrupá-los por índices de risco e decidir sobre quais as medidas a tomar em cada categoria de valores.

Nas Tabela 27 e Tabela 28, que se seguem, apresentam-se a matriz de decisão proposta e as categorias de aceitabilidade do risco. Trata-se de uma matriz, tal como já referido para o desenvolvimento das escalas de probabilidade e gravidade, desenvolvida especificamente para o regime de responsabilidade ambiental, e resulta do cruzamento do *benchmark* realizado numa primeira fase deste projeto com a experiência dos operadores do setor associados da APETRO e dos técnicos especialistas em diferentes áreas da URS envolvidos.

Importa referir que após a aplicação desta metodologia a um universo alargado de instalações no âmbito do regime de responsabilidade ambiental, esta matriz poderá vir a sofrer ajustes de forma a assegurar que representa um universo o mais alargado

⁵ HAZID – *Hazard Identification*

possível de instalações. O operador deverá portanto verificar a adequabilidade da mesma à sua realidade e estabelecer os ajustes que considere necessários.

Tabela 27 – Matriz de Decisão

Gravidade das Conseqüências		Probabilidade			
		Frequência Anual			
		$X \leq 10^{-4}$	$10^{-3} < X \leq 10^{-3}$	$10^{-3} < X \leq 10^{-2}$	$10^{-2} < X < 1$
		A	B	C	D
		Muito Improvável / Remoto	Possível	Provável	Frequente
1	Reduzido	I	I	I	II
2	Moderado	I	I	II	III
3	Elevado	II	II	III	IV
4	Catastrófico	II	III	IV	IV

Tabela 28 – Aceitabilidade do Risco

Categoria Risco		Aceitabilidade
I	Risco Tolerável	Aceitável
II	Risco Tolerável com controlos	
III	Risco Indesejável	Não Aceitável (Cenários Críticos)
IV	Risco Intolerável	

6.6.4. Estimativa e Quantificação do Dano Ambiental

No âmbito do DL 147/2008, a estimativa e quantificação do dano ambiental associados aos distintos cenários de acidente requer uma análise detalhada da extensão, da intensidade e da significância do dano, de forma a estabelecer o grau de exposição por parte dos recetores afetados ao agente causador do dano e que efeitos esta exposição produz sobre eles.

Para o caso dos cenários críticos, dos quais resulta um risco indesejável ou intolerável, no passo anterior, e dos cenários que poderão ter sido avaliados como aceitáveis mas que se verifica poderem estar associados a efeitos dominó (situações em que os efeitos

físicos gerados no acidente são capazes de atingir equipamentos ou instalações próximas, produzindo novas fugas e efeitos adversos incrementados assim os efeitos do acidente inicial) e que têm um potencial de causar um dano ambiental, a determinação da extensão do dano ambiental é essencial de forma a poder estimar a quantia necessária para a contratação da garantia financeira, que permita assegurar a disponibilidade dos meios económicos necessários e suficientes por parte do operador, à reparação das consequências dos acidentes potenciais.

Para a obtenção desta estimativa é necessária a prossecução do estudo através, por exemplo, da aplicação de equações termodinâmicas para o cálculo do volume de substância libertada ou, para alguns casos mais complexos, o recurso a modelos de dispersão no meio, entre outros. No Anexo III incluem-se algumas referências auxiliares ao operador para o desenvolvimento do cálculo do volume e estimativa da dispersão no meio da substância libertada.

Importa referir, no entanto, que, em função da avaliação de risco de cada instalação, poderá ser necessário incluir nesta fase outros cenários para além do derrame, como por exemplo a explosão e o incêndio, mais comuns no regime legal de Seveso II, caso se verifique que estes constituem cenários críticos de dano ambiental no âmbito dos recetores do regime de responsabilidade ambiental.

7. GARANTIA FINANCEIRA

O DL 147/2008 estabelece, na secção III do capítulo III, a constituição obrigatória de uma ou mais garantias financeiras para as atividades ocupacionais abrangidas pelo Anexo III do mesmo diploma.

O diploma estabelece ainda que o operador pode constituir a garantia através de diversos instrumentos financeiros, entre os quais se incluem a subscrição de apólices de seguro, garantias bancárias, participação em fundos ambientais ou constituição de fundos próprios para o efeito. Esta garantia deverá cobrir os custos de medidas de prevenção e reparação (primária, complementar e compensatória).

No Relatório de *Benchmark* Legal e Metodológico, emitido em Maio de 2010, poder-se-ão encontrar os desenvolvimentos mais importantes, tanto a nível europeu, como concretamente a nível nacional relativamente a este tema, nomeadamente instrumentos financeiros disponíveis, prazos legais de implementação, etc.

Para o estabelecimento da garantia financeira o operador necessita de uma metodologia que lhe permita quantificar o seu potencial risco ambiental, e assim transferir o risco à entidade seguradora, através dos instrumentos já referidos acima.

O presente Guia Setorial constitui uma metodologia de avaliação de risco ambiental, que possibilita a qualquer operador do setor de armazenagem de produtos petrolíferos, conhecer e quantificar o seu potencial risco ambiental, tendo por base critérios técnicos e assim, posteriormente, negociar a sua garantia financeira.

GLOSSÁRIO

Acontecimento iniciador – Evento inicial que dá origem, numa sequência de acidente, a um acontecimento crítico. Primeiro acontecimento da árvore de falhas.

Acontecimento crítico – Consequência indesejável de uma combinação de falhas ou defeitos do sistema. Geralmente definido como perda de contenção (*Loss Of Containment, LOC*). Evento desenvolvido na construção de árvores de acontecimentos.

Armazenagem atmosférica – Armazenagem nas condições de temperatura e pressão atmosféricas, contendo substâncias em estado líquido.

Armazenagem sob pressão – Armazenagem em condições de temperatura ambiente e pressão inferior a 1 bar (pressão exercida pela substância, eventualmente na presença de um gás inerte). A substância armazenada pode ser um gás liquefeito sob pressão (equilíbrio de duas fases) ou um gás sob pressão (uma fase).

Árvore de acontecimentos – Técnica para avaliar as consequências de um acidente potencial, resultante do acontecimento crítico. Os resultados da análise de árvores de acontecimentos são sequências de acidentes, isto é, um conjunto cronológico a partir dos acontecimentos críticos ou perdas de contenção, que culminam num fenómeno perigoso, sendo que estes resultados descrevem a consequência do possível acidente. A construção destas árvores permite, a partir da probabilidade de ocorrência do acontecimento crítico (obtido quer pela construção de árvores de falhas, quer pelo uso de valores tabelados), calcular a probabilidade de ocorrência do cenário de acidente (sendo este o acontecimento crítico seguido do fenómeno perigoso).

Árvore de falhas – Técnica dedutiva que a partir de um dado acontecimento crítico, determina, em “marcha-atrás”, as causas e os acontecimentos iniciadores que o originaram. A construção de árvores de falhas permite, a partir do conhecimento de frequências unitárias de eventos disponíveis em vasta bibliografia de referência ou dados internos das instalações, calcular a probabilidade de ocorrência de um dado acontecimento crítico.

Avaliação do risco – Processo global de estimativa da grandeza do risco e de decisão sobre a sua aceitabilidade.

Barreira de segurança – Sistemas físicos de engenharia ou ações humanas baseadas em procedimentos específicos ou controlos administrativos, com funções diretas na segurança.

Boilover – Fenómeno perigoso geralmente consequência de um incêndio num tanque. O fenómeno boilover é a erupção imediata e violenta de líquido inflamado para fora de um tanque atmosférico de armazenagem em fogo. Resulta da transformação a vapor, de água líquida contida no fundo do tanque. Uma armazenagem atmosférica pode levar a um fenómeno de boilover nas seguintes circunstâncias:

- presença de água no fundo do tanque;

- formação de onda de calor que atinge a lâmina de água por baixo da massa de hidrocarbonetos;
- hidrocarbonetos suficientemente viscosos que impeçam que o vapor de água possa atravessar facilmente o tanque;
- etc.

Cenário de Acidente – combinação do acontecimento crítico com o fenómeno perigoso, sendo este cenário a entrada para a matriz de avaliação de risco.

Efeitos Dominó - situações em que os efeitos físicos gerados num acidente numa dada instalação são capazes de atingir equipamentos ou instalações próximas, produzindo novas fugas e efeitos adversos incrementados assim os efeitos do acidente inicial.

Estado Inicial de uma Instalação – A situação, na envolvente da instalação, no momento da ocorrência do dano causado aos recursos naturais e aos serviços, que se verificaria se o dano causado ao ambiente não tivesse ocorrido, avaliada com base na melhor informação disponível.

Explosão – Acontecimento envolvendo substâncias com frases de risco R específicas. Corresponde a uma alteração do estado físico da substância pela ação de uma fonte de energia/calor ou por ação de uma fonte química (incompatibilidade), devido a uma reação violenta espontânea.

Fenómeno Perigoso – Acontecimento final da árvore de acontecimentos (por exemplo: incêndio e explosão combinados, boilover, etc.)

Incêndio – Processo de combustão caracterizado por calor, fumo ou chama ou uma combinação dos três.

Limites Superior e Inferior de Inflamabilidade – Proporção de vapores de hidrocarbonetos no ar, acima e abaixo da qual não ocorre combustão.

Perfuração (fase gasosa) – Acontecimento que consiste num orifício de um dado diâmetro na camisa de um equipamento, em fase gasosa (acima do nível de líquido, caso exista fase líquida), originando uma fuga contínua, de uma armazenagem. Este orifício pode ser causado por stress mecânico originado por causas externas ou internas, uma deterioração das propriedades mecânicas da estrutura, etc.

Perfuração (fase líquida) – Acontecimento que consiste num orifício de um dado diâmetro na camisa de um equipamento, em fase líquida (abaixo do nível de líquido), originando uma fuga contínua, de uma armazenagem. Este orifício pode ser causado por stress mecânico originado por causas externas ou internas, uma deterioração das propriedades mecânicas da estrutura, etc.

Perigo – Propriedade intrínseca de uma substância perigosa ou de uma situação física suscetível de provocar danos à saúde humana, ao ambiente ou às instalações.

Risco – Combinação da probabilidade de ocorrência de um efeito específico e sua consequência dentro de um período determinado ou em circunstâncias determinadas.

Rotura total – Falha completa de um equipamento originando a libertação total e instantânea da substância armazenada. Dependendo das circunstâncias, uma rotura total pode originar sobrepressão e ejeção de projéteis.

Sequência accidental – Cenário que se pode desencadear a partir de um determinado acontecimento iniciador.

Substâncias perigosas – de acordo com o DL 147/2008, definidas no artigo 3.º da Portaria n.º 732 -A/98, de 11 de Dezembro.

(Nota: caso a atividade esteja classificada no âmbito do DL 254/2007, deve ser também considerada a definição seguinte: as substâncias, misturas ou preparações enumeradas na parte 1 do Anexo I do DL 254/2007 ou que satisfaçam os critérios fixados na parte 2 do mesmo anexo e presentes ou previstas sob a forma de matérias-primas, produtos, subprodutos, resíduos ou produtos intermédios, incluindo aquelas para as quais é legítimo supor que se produzem em caso de acidente).

Anexo I
Parques e Terminais de Armazenagem das
Empresas Associadas da APETRO nas
Regiões Autónomas

Tabela A – Parques, Terminais de Armazenagem e Aeroinstalações nas Regiões Autónomas ¹

Nome do Estabelecimento	Companhia	Localização	Produtos manipulados	Capacidade Máxima Aproximada Armazenagem	Tipo de Armazenagem	Receção dos produtos	Expedição dos produtos	Instalação Seveso II NS/NI
Nordela	BP	São Miguel - Açores	Gasóleos, gasolinhas, Jet A1 e Petróleo	27.000 m ³ tanques	Tanques	Via pipeline a partir do porto de Ponta Delgada	Via marítima, via rodoviária por veículos cisterna e pipeline (aeroporto)	--
BETA	CEPSA	Canical - Madeira	Betumes	2.759 m ³	Tanques	Via marítima	Via rodoviária por veículos cisterna	--
Canical	CLCM - Companhia Logística de Combustíveis da Madeira	Canical - Madeira	Produtos brancos, fuelóleo, GPL	56.000 m ³ produtos brancos e pretos 3.000 m ³ GPL	Tanques, esferas (GPL), garrafas (GPL)	Via pipeline por descarga marítima	Via rodoviária por veículos cisterna e garrafas GPL e via pipeline (fuelóleo)	--
Aeroinstalação das Lajes	PETROGAL, SA	Lajes – Ilha Terceira	Jet-A1 (****)	165.000 - litros(*)	<i>Refuellers</i>	Veículo -Cisterna	<i>Refuellers</i>	--
Aeroinstalação de Porto Santo	Pool PETROGAL e REPSOL	Madeira	Jet A-1	500.000 – litros 36.000 - litros(*)	Reservatórios <i>Refuellers</i>	<i>Pipeline</i>	<i>Refuellers</i>	--
Aeroinstalação de Santa Maria	Pool PETROGAL GCP REPSOL	Santa Maria - Açores	Jet A-1 Gasóleo AVGAS	11.300.000 – litros 50.000 - litros(*) 7.500.000 – litros(**) 8.000 – litros(***)	Reservatórios <i>Refuellers</i> Reservatórios Tambores	Navio-tanque	<i>Pipeline - Refuellers</i> Veículos – Cisterna (**)	NI
Pontinha	REPSOL	Funchal	Fuel Óleo e Gasóleo	2470 m ³	Tanques aéreos de 16 a 60m ³	Via rodoviária por veículos cisterna	Via rodoviária por veículos cisterna Pipeline	--
Aeroinstalação da Horta	SAAGA, SA (Propriedade Petrogal, SA)	Aeroporto da Horta, Castelo Branco, Ilha do Faial – Açores	Jet-A1	Sem armazenagem fixa	Não aplicável	Camião cisterna	<i>Refuellers</i> (into-plane)	--
Aeroinstalação de Ponta Delgada	SAAGA, SA (Propriedade Petrogal, SA)	Aeroporto João Paulo II, Ilha de São Miguel – Açores	Jet-A1	Sem armazenagem fixa	Não aplicável	Camião cisterna e pipeline (da Instalação BP Nordela, para a placa Norte)	<i>Refuellers</i> (into-plane)	--

Tabela A – Parques, Terminais de Armazenagem e Aeroinstalações nas Regiões Autónomas ¹

Nome do Estabelecimento	Companhia	Localização	Produtos manipulados	Capacidade Máxima Aproximada Armazenagem	Tipo de Armazenagem	Receção dos produtos	Expedição dos produtos	Instalação Seveso II NS/NI
Flores - CL	SAAGA, SA (Propriedade Petrogal, SA)	Lages das Flores, Ilha das Flores – Açores	- Gasóleos - Gasolinas	800 m ³	Tanques desde 50 a 300 m ³	Via pipeline a partir do terminal marítimo (Porto comercial das Lages das Flores)	- Via rodoviária por veículos cisterna - Em contentores cisterna (ilha do Corvo)	--
Horta - CL	SAAGA, SA (Propriedade Petrogal, SA)	Horta, Ilha do Faial – Açores	- Gasóleos - Gasolinas - Jet-A1.	- 2.100 m ³ (GO) - 430 m ³ (Gasolina) - 600 m ³ (Jet)	Tanques desde 50 a 1.050 m ³	Via pipeline a partir do terminal marítimo (Porto Comercial da Horta)	- Via rodoviária por veículos cisterna - Abastecimento de bancas marítimas por veículos cisterna e por pipeline	NI
Horta - GPL	SAAGA, SA (Propriedade Petrogal, SA)	Horta, Ilha do Faial – Açores	- Butano	750 m ³	- Cilíndricos horizontais aéreos - Garrafas de GPL	Via pipeline a partir do terminal marítimo (Porto Comercial da Horta)	Garrafas GPL por via rodoviária, em veículos	NS
Nordela (GPL)	SAAGA, SA	Ponta Delgada, Ilha de São Miguel – Açores	- Butano	2.450 m ³	- Esferas aéreas - Garrafas de GPL	Via pipeline a partir do terminal marítimo (Porto Comercial de Ponta Delgada)	- Garrafas GPL por via rodoviária, em veículos - A granel, em veículos cisterna	NS
Parque de Combustíveis da Praia da Vitória	SAAGA, SA (GPL e Brancos) Bencom, SA (Pretos) (Propriedade de - Terparque, Lda (GPL e Brancos) - Bencom, SA (Pretos)	Praia da Vitória – Ilha Terceira – Açores	- Butano - Gasóleos - Gasolinas - Jet A1 - Fuel Oil - Asfalto	- 2.000 m ³ (GPL) - 7.000 m ³ (GO) - 4.000 m ³ (Gasolina) - 4.500 m ³ (Jet) - 15.200 m ³ (Fuel) - 1.000 m ³ (Asfalto)	- Cilíndricos horizontais recobertos (GPL) - Garrafas de GPL - Tanques desde 200 a 3000 m ³ (CL)	Via pipeline a partir do terminal marítimo (Porto Comercial da Praia da Vitória)	GPL: - Garrafas GPL por via rodoviária, em veículos - A granel, em veículos cisterna CL: - Via rodoviária por veículos cisterna - Abastecimento de bancas marítimas por veículos cisterna e por pipeline	NS

Legenda

1 - referente apenas às empresas petrolíferas associadas da APETRO

NS – Estabelecimento Seveso II Nível Superior de Perigosidade

NI – Estabelecimento Seveso II Nível Inferior de Perigosidade

n.d. – não disponível

Tabela A – Parques, Terminais de Armazenagem e Aeroinstalações nas Regiões Autónomas ¹

Nome do Estabelecimento	Companhia	Localização	Produtos manipulados	Capacidade Máxima Aproximada Armazenagem	Tipo de Armazenagem	Receção dos produtos	Expedição dos produtos	Instalação Seveso II NS/NI
-------------------------	-----------	-------------	----------------------	--	---------------------	----------------------	------------------------	----------------------------

(*) Armazenagem móvel

(**) Distribuição para rodovia - responsabilidade partilhada com a Galp Ilhas

(***) Comercialização única – Repsol

(****) Transporte entre o Parque da CLC e o Aeroporto

(*****) Transporte entre o Parque da Terparque e o Aeroporto

Anexo II

Escala de Gravidade de Consequências

Tabela B – Escala de Gravidade de Consequências

Componentes		Categorias Gravidade das Consequências			
		Reduzido	Moderado ^[1]	Elevado	Catastrófico
		I	II	III	IV
Pessoas	Trabalhadores da Organização ou Prestadores de Serviço	Sem ferimentos ou efeitos na saúde.	Lesões sem baixa (Acidente com Tratamento Médico, ou Primeiro Socorro ou Acidente com Restrição de Trabalho), ou efeitos reversíveis na saúde. Doença profissional com efeitos controláveis e/ou reversíveis na saúde, sem incapacidade temporária, sem baixa.	Lesão com baixa ou múltiplos acidentados com lesão (número de vítimas maior ou igual a 5). Doença profissional grave e/ou irreversível, com incapacidade temporária, com baixa.	Morte (uma ou mais fatalidades) ou efeitos irreversíveis na saúde; Lesões/doença profissional com incapacidade permanente.
	Em visita ou pessoa da comunidade	Sem ferimentos ou efeitos na saúde.	Ferimentos ligeiros ou efeitos reversíveis na saúde, e que não requeiram internamento hospitalar.	Ferimentos ligeiros ou efeitos reversíveis na saúde que requeiram internamento hospitalar. Ferimentos ou efeitos reversíveis na saúde que não requeiram internamento hospitalar em múltiplos acidentados (número de vítimas maior ou igual a 5).	Morte ou efeitos irreversíveis na saúde; Ferimentos ou efeitos reversíveis na saúde que requeiram internamento hospitalar em múltiplos acidentados.
Ativos da Empresa/ Operação	Instalações	Danos reduzidos em equipamentos sem comprometer a continuidade da operação.	Danos reduzidos em Sistemas / Equipamentos.	Danos significativos em Sistemas. Instalação só parcialmente utilizável. Necessita de reparações significativas.	Danos muito graves em sistemas com longo período de reparação e possível perda da instalação.
Imagem da Empresa	Imagem	Impacto não significativo (nenhuma ou pouca publicidade local)	Impacto Local (Publicidade local)	Impacto Regional (Publicidade com dimensão regional)	Impacto Nacional / Internacional. (Publicidade nacional e internacional; Protestos públicos)

Tabela B – Escala de Gravidade de Consequências

Componentes		Categorias Gravidade das Consequências			
		Reduzido	Moderado ^[1]	Elevado	Catastrófico
		I	II	III	IV
Ambiente	Biodiversidade (Espécies e Habitats Naturais Protegidos)	Não há afetação de espécies ou habitats protegidos.	Espécies ou habitats protegidos afetados de forma <u>não significativa</u> (o ecossistema recupera de forma natural a curto prazo), na envolvente imediata da instalação.	<ul style="list-style-type: none"> Envolvente imediata da instalação: espécies ou habitats protegidos afetados de forma <u>significativa</u> (o ecossistema recupera de forma natural a médio/longo prazo) e/ou Zona de influência da instalação: espécies ou habitats protegidos afetados de forma <u>não significativa</u> (o ecossistema recupera de forma natural a curto prazo) Danos causados a habitats de uma qualquer zona, de acordo com o nº 3 do Anexo VII do DL 254/2007. <p>É necessário aplicar medidas de reparação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Envolvente imediata da instalação: danos <u>irreversíveis</u> às espécies e habitats (o ecossistema não pode ser recuperado ao estado inicial) e/ou Zona de influência da instalação: afetação <u>significativa</u> (o ecossistema recupera de forma natural a médio/longo prazo) <p>É necessário implementar medidas de reparação, complementares e compensatórias</p>
	Água (superficial e subterrânea) e Solo	Compartimento ambiental afetado, mas <u>sem consequências/ impacte negativo</u> . Não se verificam excedências de Valores Limite estabelecidos ou de referência, para a qualidade da água e solo	Compartimento ambiental afetado, mas <u>sem consequências/impacte negativo</u> . Valores Limite estabelecidos ou de referência poderão ser pontualmente excedidos (valores de qualidade da água e solo ou valores objetivo de risco) ^[2] .	<p>Compartimento ambiental contaminado, com:</p> <ul style="list-style-type: none"> consequências negativas na qualidade da água e solo; ou caso sejam ultrapassados os valores de alerta de risco (valores objetivos de risco); ou danos causados a um aquífero ou águas subterrâneas, de acordo com o n.º 3 do Anexo VII do DL 254/2007 de 12 de Julho ^[3]. <p>Verificam-se <u>excedências de Valores Limite</u> estabelecidos ou de referência.</p>	Compartimento ambiental contaminado , com <u>perda de funções</u> de uma componente ambiental (ex.: elevado grau de contaminação na água, solo e ar que impossibilita a sua utilização para os fins a que estavam destinados).
	Serviços e/ou serviços de recursos naturais	A afetação não provoca uma diminuição na qualidade e/ou quantidade dos serviços ambientais ou esta <u>não é apreciável</u> . Poderá ser necessário estudar a implementação de medidas de prevenção.	Serviços ou serviços de recursos naturais afetados de forma <u>não significativa</u> mas apreciável (as perdas de serviços são de curta duração). Os serviços e/ou serviços de recursos naturais recuperam de forma natural o seu estado inicial num curto período de tempo. Pode ser necessário adotar medidas de prevenção.	Serviços ou serviços de recursos naturais afetados de forma <u>significativa</u> (há perda de serviços de longa duração). É necessário implementar medidas de reparação para recuperar os serviços e/ou serviços de recursos naturais a curto/médio prazo.	Serviços ou serviços de recursos naturais afetados de forma <u>irreversível</u> (há perdas não recuperáveis de serviços). É necessário implementar medidas de reparação, inclusivamente medidas compensatórias, já que não é possível alcançar o estado inicial.

Tabela B – Escala de Gravidade de Consequências

Componentes	Categorias Gravidade das Consequências			
	Reduzido	Moderado ^[1]	Elevado	Catastrófico
	I	II	III	IV

Legenda:

[1] Assume-se que a partir deste nível de severidade – nível “Moderado” – poderá ser aplicável o reporte do incidente às Entidades Competentes, conforme exigido pela lei (ex.: reporte de incidentes no âmbito do DL 254/2007; DL 147/2008, etc.).

[2] Valores objetivo de risco definidos por exemplo para águas subterrâneas e qualidade dos solos.

[3] Prejuízos imediatos no ambiente, descritos no n.º 3 do Anexo VII do DL 254/2007 de 12 de Julho (aplicável apenas a instalações Seveso II):

Danos permanentes ou a longo prazo causados a habitats terrestres:

0,5 ha ou mais de um habitat importante do ponto de vista do ambiente ou de conservação da natureza, protegido por lei;

10 ha ou mais de um habitat mais amplo, incluindo terrenos agrícolas;

Danos significativos ou a longo prazo causados a habitats marinhos ou de água de superfície:

10 km ou mais de um rio, canal ou ribeiro;

1 ha ou mais de um lago ou lagoa;

2 ha ou mais de um delta;

2 ha ou mais de uma zona costeira ou do mar;

Danos significativos causados a um aquífero ou a águas subterrâneas:

1 ha ou mais.

Anexo III

Metodologias de Cálculo para a Quantificação do Volume e Extensão da Substância Libertada

Cálculo do Volume de Substância Libertada

O volume que pode ser potencialmente libertado num cenário de acidente depende do tipo de rotura, do caudal de fuga, da secção da conduta, da natureza do produto, etc.

Existem alguns modelos de simulação complexos disponíveis no mercado, como o PHAST®, que avaliam o volume perdido de contaminantes através de uma perda de contenção, independentemente das condições do contaminante.

No entanto, alguns destes modelos não são capazes de tratar corretamente produtos de petróleo como os gasóleos e as gasolinas, pelo que se torna necessário desenvolver um conjunto de modelos que permitam avaliar o débito em qualquer dos cenários possíveis identificados e que se adaptem adequadamente às propriedades dos fluidos em estudo.

Assim, recolheu-se informação de distintas fontes de forma a não restringir os modelos apresentados, permitindo uma melhor adaptação aos produtos em estudo. Entre as fontes de referência mais comuns e idóneas, selecionaram-se as seguintes:

- Folhas de cálculo desenvolvidas pela UFIP (União Francesa da Indústria do Petróleo);
- *Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment & Control*, editado por Sam Mannan, 3ª edição, 2005;
- *Methods for Calculation of Physical Effects*, conhecido como "Yellow Book" da TNO, Comité de Prevenção de Acidentes, 3ª edição revista, 2005;
- Modelo de simulação PHAST®.

Os 3 modelos de base que se podem aplicar de forma independente ou combinada são os seguintes:

- Cálculo de perdas de carga em condutas;
- Cálculo do caudal através de um orifício formado por uma fissura; e
- Cálculo do caudal após a fissura.

Seleção dos Modelos Termodinâmicos e Físicos

Para cada um dos 3 modelos de base, é necessário calcular a composição real da fase líquida e da fase gasosa eventualmente formada por vaporização instantânea.

De forma a obter dados válidos de propriedades físicas, a composição de cada produto deve ser avaliada através de modelos termodinâmicos adaptados à mistura e às condições operatórias. Na ausência de interações elétricas entre moléculas, os modelos usados são do tipo "equação de estado" e permitem calcular o equilíbrio gás-líquido de acordo com as leis de Henry.

Para os produtos petrolíferos:

- os modelos termodinâmicos de equações de estado que melhor se adaptam à previsão das propriedades termodinâmicas de uma mistura, da fase gasosa ou da fase líquida em equilíbrio são tipicamente as “Peng Robinson” (PR) e “Soave-Redlich-Kwong” (SRK);
- uma vez conhecida a composição de cada fase, as propriedades físicas da fase gasosa podem ser calculadas por equações de estado, associadas ao modelo correspondente, PR ou SRK;
- o volume molar e a densidade do líquido são calculadas a partir de um dos seguintes modelos: Lee-Kesler-Plöcker (LKP), Rackett ou Gunn-Yamada;
- as propriedades de transferência são estimadas pelo modelo de Ely-Hanley.

O modelo de equação de estado tipicamente aplicado é o SRK. Relativamente à densidade do líquido, o modelo Rackett proporciona bons resultados.

Modelos de Base

a) Cálculo de perdas de carga em condutas

Esta etapa permite modelizar um escoamento em regime permanente numa conduta.

Para simplificar o cálculo, considera-se que as variáveis típicas de um escoamento correspondem a uma dada secção da tubagem, assumindo-se que o escoamento se dá em condições adiabáticas (sem trocas de calor com o exterior).

Assim, a modelização das perdas de carga numa conduta requer a resolução, em cada ponto z da mesma, do sistema de equações diferenciais que se segue:

- conservação de massa

$$[1] \quad \frac{1}{v} \frac{dw}{dz} - \frac{w}{v^2} \frac{dv}{dz} = -\frac{1}{A} \frac{w}{v} \frac{dA}{dz}$$

- conservação da quantidade de movimento

$$[2] \quad \frac{w}{v} \frac{dw}{dz} + \frac{dp}{dz} = -\tau - \frac{g \cos \theta}{v}$$

- conservação da energia (entalpia)

$$[3] \quad w \frac{dw}{dz} + \frac{dh}{dz} = -g \cos \theta$$

onde:

z, a distância desde o início da conduta até um dado ponto da mesma

w, a velocidade ao longo da secção da conduta nesse ponto ;

p e T respetivamente, a pressão estática média e a temperatura média nessa secção,

v, o volume mássico médio da mistura bifásica, em z (isto é, à p e T),

h, a entalpia mássica média da mistura bifásica em z (isto é, à p e T),).

Constrói-se assim o seguinte sistema de equações

$$[4] \quad \begin{bmatrix} -\frac{w}{v^2} \frac{\partial v}{\partial p} \Big|_T & -\frac{w}{v^2} \frac{\partial v}{\partial T} \Big|_p & \frac{1}{v} \\ 1 & 0 & \frac{w}{v} \\ \frac{\partial h}{\partial p} \Big|_T & \frac{\partial h}{\partial T} \Big|_p & w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dp}{dz} \\ \frac{dT}{dz} \\ \frac{dw}{dz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{A} \frac{w}{v} \frac{dA}{dz} \\ -\tau - \frac{g \cos \theta}{v} \\ -g \cos \theta \end{bmatrix}$$

A integração deste sistema de equações diferenciais obtém-se pelo método de Runge-Kutta, de 4ª ordem, adaptando o valor de dz em função da precisão exigida às variáveis do escoamento.

O atrito é representado por τ , sendo utilizado um modelo do tipo homogéneo, bem adaptado à mistura de hidrocarbonetos, com uma viscosidade pouco elevada, para o seu cálculo.

A perda de pressão pelo atrito nas paredes é avaliada pela adaptação da correlação habitualmente utilizada em escoamentos monofásicos:

$$[5] \quad \tau = \lambda \rho \frac{u^2}{2d_h}$$

onde:

ρ - massa volúmica do fluido;

u - velocidade média do escoamento;

d_h - diâmetro hidráulico da conduta ;

λ - coeficiente de perda de carga.

b) Cálculo do caudal de fuga através de um orifício formado por uma fissura

O modelo apresentado corresponde à expansão de uma mistura bifásica a partir das condições de estagnação (pressão e temperatura) até à velocidade mássica crítica. Assume-se que as fases líquida e gás/vapor se encontram em equilíbrio termodinâmico.

O modelo baseia-se nas seguintes relações:

- conservação de energia (transformação adiabática)

$$[6] \quad h_{stag} = h + \frac{u^2}{2}$$

- expansão isentrópica (sem atrito)

$$[7] \quad Tds = dh - vdp = 0$$

A partir destas duas equações, pode obter-se:

$$[8] \quad G_n = \rho_n \left(-2 \int_{P_1}^{P_n} \frac{dP}{\rho} \right)^{1/2}$$

onde $G = \rho u = \frac{u}{v}$ é a velocidade mássica em kg/m²/s.

O integral densidade-pressão pode ser calculado numericamente pelo método de Simpson.

As propriedades (temperatura, pressão) do fluido são calculadas através dos modelos selecionados (SRK, Rackett e Ely-Hanley).

De forma a determinar a velocidade mássica crítica, esta é sucessivamente avaliada para as expansões isentrópicas (P1-Pn) crescentes. Constatam-se duas possibilidades:

1. G_n começa por aumentar com o aumento da expansão, atinge um valor máximo, e após este pico, começa a decair (devido à descida rápida da densidade média ρ); quando o valor é máximo, o caudal denomina-se crítico e a velocidade de escoamento é igual à velocidade do som no fluido;
2. G_n aumenta com o aumento da expansão, até ao momento em que Pn é igual à pressão a jusante do orifício (geralmente a pressão atmosférica); nestas circunstâncias, o caudal é subcrítico.

c) Expansão à pressão atmosférica, após fissura

O modelo de expansão atmosférica calcula as condições finais quando termina a expansão, a partir das condições iniciais. As condições finais após a expansão

representam-se pelo conjunto de incógnitas que se segue: ar A_f , velocidade u_f , temperatura T_f , fração líquida fL_f , volume específico, $v_f (= 1 / \text{densidade} = 1 / \rho_f)$, e entalpia específica h_f .

No seio do volume representado pelo cone de despressurização para um escoamento monodimensional homogéneo (mas não forçosamente monofásico), em equilíbrio termodinâmico, a conservação de massa, da quantidade de movimento e de energia traduzem-se pelo seguinte sistema de equações:

$$[9] \quad m_f = m_o$$

$$[10] \quad m_f u_f = m_o u_o + (P_o - P_f) A_o$$

$$[11] \quad m_f \left[h_f + \frac{1}{2} u_f^2 \right] = m_o \left[h_o + \frac{1}{2} u_o^2 \right]$$

onde, m_o , u_o , h_o , P_o , A_o et m_f , u_f , h_f , P_f , A_f são respetivamente os caudais mássicos (em kg/s), a entalpia específica (em J/kg), a velocidade (em m/s), a pressão (em Pa), e o ar (em m²) antes e após a expansão.

P_f é a pressão no fim da inflamação e conseqüentemente P_f é igual à pressão atmosférica.

P_o é a pressão ao nível do orifício.

O conjunto de dados no fim estado final, após expansão (à atmosfera) podem ser determinados como se segue :

1. calcular o débito mássico m_f após expansão a partir da equação [9]
2. calcular a velocidade u_f após expansão a partir da equação [10]
3. calcular a entalpia específica h_f após expansão a partir da equação [11]
4. a fração líquida fL_f após expansão pode agora ser avaliada a partir da equação entálpica $h_f = fL_f hL (Pa, Tb) + (1 - fL_f) hv (Pa, Tb)$, onde hL é a entalpia específica do líquido e hv é a entalpia específica do vapor.
5. deduzir a massa volúmica após expansão $\rho_f = \rho_f (Pa, Tb, fL_f)$
6. finalmente, calcular o ar atravessado pelo jacto, por: $A_f = m_f / (u_f \rho_f)$.

Cálculo do caudal de fuga a partir de fissura, sem conduta

Na ausência de conduta, a libertação pela fissura obtém-se pela aplicação de uma sequência dos modelos de base, como se segue:

- cálculo do caudal através do orifício, obtendo a pressão no mesmo, P_o , a temperatura, T_o , e a composição de gás e líquido formados na expansão, bem como as suas propriedades físicas; e

- expansão à pressão atmosférica, após a fissura (de P_o à P_a , pressão atmosférica)

Cálculo do caudal de fuga através de fissura a jusante de uma conduta

Apresentam-se dois casos distintos: por um lado, (a) a secção do orifício é inferior à secção da conduta, por outro lado, (b) a secção do orifício é igual à secção da conduta. Assim, temos que:

- a) no primeiro caso, o caudal de produto que sai pela fissura obtém-se pela conjugação dos modelos de base, como se segue:
 - a. cálculo do caudal através do orifício na ausência de conduta. O resultado obtido será o dado de entrada do processo iterativo de cálculo que se segue ($G_{i-1} = G_{init}$);
 - b. inicialização com $G_{max} = 0$;
 - c. com G_{i-1} , calculam-se as perdas de carga na conduta obtendo ainda as condições de pressão e temperatura à saída desta;
 - d. cálculo do débito G_i através do orifício, com as condições de pressão e temperatura a montante da fissura iguais às calculadas à saída da conduta;
 - e. se $G_i > G_{max}$, então $G_{max} = G_i$;
 - f. se o valor absoluto de $G_{i-1} - G_i >$ intervalo mínimo (1, por exemplo), $G_{i-1} = G_i$ e regressa-se ao passo c;
 - g. caso contrário, a expansão ocorre à pressão atmosférica, após a fissura (com P_o , correspondente a G_{max} , a P_a , pressão atmosférica).
- b) No segundo caso, e na ausência de estrangulamentos ao longo da conduta, o fluido atinge a sua máxima velocidade após entrar na mesma. A fuga de produto obtém-se pela conjugação dos modelos de base, como se segue:
 - a. cálculo do caudal através do orifício, sem conduta. O caudal é obtido a partir da inicialização do cálculo iterativo que se segue ($G_{max} = G_{init}$) ; inicialização com G_{min} a 0;
 - b. seleção de uma velocidade mássica $G = (G_{max} + G_{min}) / 2$;
 - c. com G , calculam-se as perdas de carga na conduta, obtendo adicionalmente as condições de pressão e temperatura à saída desta. As condições a montante da tubagem, de pressão e temperatura, correspondem às

- condições de estagnação; as condições à entrada da tubagem correspondem ao escoamento crítico;
- d. decisão relativamente ao tipo de escoamento dentro da tubagem: caso a pressão à saída seja inferior à pressão atmosférica, o escoamento é impossível, caso contrário, pode acontecer;
 - e. se o escoamento é impossível, então $G_{max} = G$; caso contrário, $G_{min} = G$;
 - f. aplicar teste de convergência por dicotomia a G : se o valor absoluto de $(G_{max} - G_{min}) >$ intervalo mínimo, voltar à etapa b;.
 - g. caso contrário, a expansão ocorre à pressão atmosférica, após a fissura (com P_o , correspondente a G_{max} , a P_a , pressão atmosférica).

Estimativa da Dispersão Máxima no Ambiente

Uma vez estimado o volume que pode libertar-se, é necessário saber de que forma o produto se dispersará no ambiente, através dos distintos vetores de transporte. Esta estimativa pode ter vários níveis de complexidade, em função do grau de incerteza aceitável em cada caso.

Assim, no caso de se ter identificado uma envolvente muito sensível, pode ser necessário obter uma aproximação muito complexa, ao passo que em envolventes de menor sensibilidade ambiental, o erro associado à estimativa pode ser maior, podendo aplicar-se com resultados aceitáveis metodologias mais simples.

Desta forma, propõe-se uma aproximação para desenvolver esta etapa por fases, o que permite uma adaptação mais flexível e versátil às diferentes condições de cada estabelecimento, conseguindo assim aproximações cada vez mais precisas em função das necessidades.

Primeira Fase – Aplicação de Soluções Analíticas

A aplicação de soluções analíticas permite estimar rapidamente as dimensões máximas do impacto em cada um dos vetores de transporte identificados.

Estes modelos analíticos baseiam-se em equações genéricas, que consideram habitualmente condições de equilíbrio, meios homogêneos e isotropos, inexistência de processos de atenuação, etc. A sua aplicação é praticamente imediata, já que apenas requerem a definição de um pequeno número de variáveis. Há que ter em conta, no entanto, as suas limitações bem como o grau de erro associado às estimativas.

No âmbito da responsabilidade ambiental, a utilização de soluções analíticas será aplicável à resolução do transporte em:

- zona não saturada – transporte ao aquífero;
- zona saturada – transporte em água subterrânea; e
- águas superficiais.

Em seguida resumem-se algumas das aproximações mais comuns.

Transporte em Zona não Saturada

Os modelos de transporte na zona não saturada preveem a dispersão de um contaminante libertado na superfície até ao aquífero. Existem diversas aproximações possíveis que, em geral, requerem a entrada dos seguintes dados de partida:

- condições de recarga;
- propriedades físico-químicas do contaminante;
- geometria da fonte;
- concentração na fonte; e
- propriedades físicas do solo.

Estes dados permitem obter, através da aplicação de tais modelos, a informação relativa ao fator de lixiviação e à concentração em profundidade à chegada à zona saturada.

De seguida resumem-se algumas das soluções mais tipicamente utilizadas para um e outro caso nas **Tabelas C-1, C-2 e C-3**.

Tabela C-1 – Lixiviação de Contaminantes	
Descrição	
<p>Equação para cálculo do fator de lixiviação para a zona não saturada, desenvolvida pela U.S. EPA para o <i>Superfund Exposure Assessement Manual</i>.</p>	
$LF_{sw} \left[\frac{(mg / L - H_2O)}{(mg / kg - soil)} \right] = \frac{\rho_s}{[\theta_{ws} + K_s \rho_s + H \theta_{as}] \left(1 + \frac{U_{gw} \delta_{gw}}{IW} \right)} \times 10^0 \frac{cm^3 - kg}{L - g}$	
Principais Parâmetros de Entrada	
<p>ρ_s – densidade do solo, em g solo/cm³ solo U_{gw} – velocidade de Darcy da água subterrânea, em cm/ano δ_{gw} – espessura da zona de mistura da água subterrânea, em cm θ_{as} – conteúdo volumétrico de ar na zona vadosa, em cm³ ar/cm³ solo</p>	
Aplicação	
<p>Esta ferramenta é aplicada no cálculo dos níveis de risco da zona não saturada, específicos da instalação (RBSL, Risk-Based Screening Level) que correspondem aos níveis objetivo de determinados contaminantes para as vias de exposição humana. O conhecimento destes valores permite saber a partir de que nível é necessário implementar ações corretivas.</p>	
Limitações	
<p>Concentração constante de contaminantes na zona não saturada. Partição em equilíbrio linear na matriz do solo, entre as fases de sorção, dissolução e de vapor, sendo que a partição é uma função de parâmetros químicos e específicos do solo constantes. A lixiviação estacionária da zona vadosa obtida é uma taxa de lixiviação constante. Não se consideram perdas de contaminantes à chegada ao aquífero, isto é, não é considerada biodegradação. O modelo considera uma dispersão estacionária homogénea do lixiviado na zona de mistura do aquífero.</p>	
Resultados	
<p>Informação relativa à lixiviação de contaminantes desde a zona não saturada até ao aquífero.</p>	

Fonte: ASTM E1739 - 95(2002): Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites

Tabela C-2 – SESOIL Seasonal Soil	
Descrição	
<p>Programa exploratório de transporte unidimensional para zona não saturada, desenvolvido para a U.S. EPA.</p> <p>Muito utilizado nas análises de exposição (análise quantitativa de risco).</p>	
Principais Parâmetros de Entrada	
<ul style="list-style-type: none"> • Dados climáticos mensais para o cálculo da evapotranspiração, infiltração, etc. • Dados médios do solo: permeabilidade intrínseca, densidade, etc.; • Dados químicos: solubilidade, coeficientes de difusão, adsorção, taxas de hidrólise, etc. • Cargas de contaminação (tipo, taxas, índice de volatilização, etc.) • Opção de lavagem superficial: granulometria, pendente, fator de erodibilidade; <p>O programa permite que lhe seja associada uma base de dados climáticos e uma de características de distintos tipos de solo.</p>	
Aplicação	
<p>Simula os processos de difusão, adsorção, volatilização, biodegradação, trocas catiónicas e hidrólise em zona não saturada</p> <p>Podem aplicar-se para o estabelecimento de níveis objetivo de limpeza.</p>	
Limitações	
<p>Só pode considerar um composto de cada vez.</p> <p>Considera que toda a vertical do solo é homogénea.</p>	
Resultados	
<p>Concentrações a diversos tempos e profundidades para a fase aquosa, sólida e vapor no solo.</p> <p>Taxas de migração até ao aquífero.</p> <p>Volatilização desde a superfície.</p> <p>Transporte por escorrência superficial e fenómenos de erosão.</p>	
Distribuição	
<p>Incluído em SEVIEW junto a AT123D, e BIOSCREEN, em IGEMS (com ISCLT, ISCST e AT123D), em programas de análise quantitativa de riscos (API DSS, RISKPRO), em UnSat Suite (com HELP)</p> <p>Também disponível de forma independente (última versão 6.3), à qual se podem associar bases climatológicas e de características de solos (SOILS-5).</p>	

Fonte: IHOBE, *Guía Técnica para la Aplicación de Modelos Informáticos para el Transporte y el Flujo de Contaminantes en el Agua Subterránea*, Sociedad Publica de Gestión Ambiental, Julho 2006 (URS)

Tabela C-3 – HSSM Hydrocarbon Spill Screening Model	
Descrição	
<p>Modelo analítico desenvolvido pela U.S. EPA em colaboração com a Universidade do Texas. Permite simular o impacto de uma libertação superficial de hidrocarbonetos na zona não saturada e saturada.</p> <p>Compõe-se de 3 módulos: KOPT, para a zona não saturada, OILLENS, para a interfase hidrocarboneto/água subterrânea, e TSGPLUME, para simular a evolução da pluma gerada pela dissolução dos contaminantes.</p>	
Principais Parâmetros de Entrada	
<p>Derrame:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tipo de combustível • volume / tempo • superfície de infiltração • viscosidade • densidade <p>Simulação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • localização dos recetores • período de simulação 	<p>Hidrogeologia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • profundidade do nível freático • condutividade hidráulica • densidade • dispersividade • saturação residual em hidrocarboneto • saturação residual em água
Aplicação	
<p>Simulação de impactos gerados por derrames de combustíveis ligeiros LNAPL (de menor densidade que a água). Determina a evolução do derrame na zona não saturada e a formação e evolução, quando aplicável, de uma lentícula de fase não aquosa sobre o nível freático. Permite ainda avaliar a geração de plumas de contaminação nas águas.</p>	
Limitações	
<p>Não considera processos de biodegradação, os quais têm particular influência nos resultados obtidos na simulação da evolução da pluma nas águas.</p> <p>Os resultados proporcionados devem ser encarados unicamente como orientativos de ordens de magnitude.</p>	
Resultados	
<p>Estabelece o tempo de chegada do hidrocarboneto ao nível freático e as dimensões máximas que a lentícula pode alcançar.</p> <p>Pode também avaliar-se a geração de uma pluma contaminante nas águas, e simular a chegada a recetores sensíveis situados a jusante do foco de contaminação.</p>	
Distribuição	
<p>Acesso gratuito em: http://www.epa.gov/ada/csmos/index.html#download</p> <p>Versões disponíveis para Windows (última versão 1.2.e, Setembro 1997) e DOS (última versão 1.1, Abril 1994)</p>	

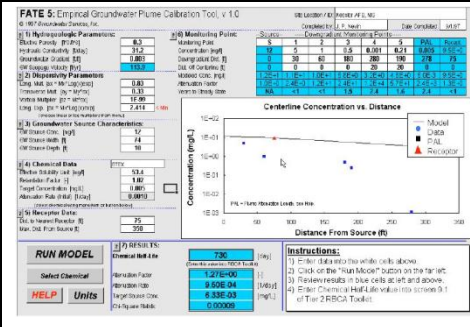
Fonte: IHOBE, *Guía Técnica para la Aplicación de Modelos Informáticos para el Transporte y el Flujo de Contaminantes en el Agua Subterránea*, Sociedad Publica de Gestión Ambiental, Julho 2006 (URS)

Transporte em Zona Saturada

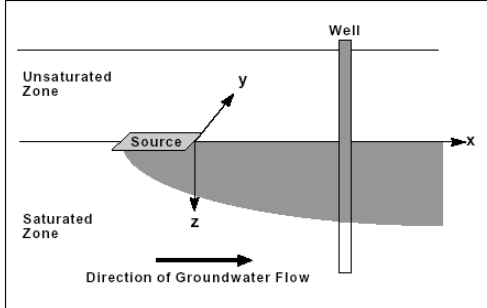
Os modelos de transporte na zona saturada preveem a dispersão de um contaminante no aquífero a partir dos seguintes dados de entrada:

- concentração do contaminante na água subterrânea;
- geometria do aquífero;
- propriedades hidráulicas do meio;
- geometria da fonte contaminante;
- dispersividade do meio;
- distância ao recetor sensível; e
- propriedades físico-químicas do contaminante.

Em particular alguns modelos têm como saída os dados relativos ao transporte genérico de contaminantes. De seguida, nas **Tabelas C-4 e C-5**, resumem-se algumas das soluções mais tipicamente utilizadas.

Tabela C-4 – FATE 5	
Descrição	
<p>Modelo desenvolvido pela Groundwater Services Inc. e Shell Development Company, a partir do modelo analítico de Domenico para transporte de contaminantes.</p> <p>Programado em Microsoft® Excel, permite calibrar o modelo de Domenico ajustando as taxas de degradação às concentrações observadas na instalação. Isto possibilita estabelecer, de forma realista, o efeito da atenuação natural na carga contaminante. O modelo tem em conta advecção, dispersão, absorção e degradação química.</p>	
Principais Parâmetros de Entrada	
<p>Hidrogeologia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Porosidade eficaz • Condutividade hidráulica • Gradiente hidráulico • Dispersividade <p>Características do foco:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concentração • Dimensões 	<p>Dados físico-químicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solubilidade • Fator de retardação • Taxas de degradação <p>Dados dos pontos de controlo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Distância • Concentração
Aplicação	
<p>Pode estabelecer-se o alcance máximo de uma pluma de contaminação na ausência de medidas de controlo ou saneamento. No entanto, a principal aplicação do FATE 5 é a de obter valores de degradação da carga contaminante específicos da instalação. Estes dados permitirão posteriormente realizar uma análise de riscos mais ajustada à realidade da instalação em estudo.</p>	
Limitações	
<p>Condições de fluxo simples e medidas homogêneas. Simula apenas regime estacionário. Não é aplicável quando existe fluxo vertical. Contempla apenas degradação de 1ª ordem. Os seus resultados são aproximados, pelo que não é um programa adequado quando se necessita de dados precisos para a tomada de decisões. Não considera a difusão (inadequado para aplicação em fluxos muito lentos).</p>	
Resultados	
<p>Este programa fornece os resultados através de um gráfico e uma pequena tabela. Podem obter-se os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • taxa de degradação ajustada às concentrações específicas da instalação • máximo alcance da pluma de contaminação • concentração na área fonte para não superar as concentrações especificadas pelo utilizador no ponto de exposição definido • grau de atenuação entre a área fonte e o ponto de exposição considerado • tempo para alcançar as máximas concentrações a diferentes distâncias. 	
Distribuição	
<p>Groundwater Services, Inc., Houston, Texas, EUA. www.gsi-net.com</p>	

Fonte: IHOBE, *Guía Técnica para la Aplicación de Modelos Informáticos para el Transporte y el Flujo de Contaminantes en el Agua Subterránea*, Sociedad Publica de Gestión Ambiental, Julho 2006 (URS)

Tabela C-5 – AT123D Analytical Transient 1-,2-,3-Dimensional simulation of waste transport in the aquifer system	
Descrição	
<p>Modelo analítico para 1, 2 ou 3 dimensões, de transporte de contaminantes em águas subterrâneas.</p> <p>Pode considerar advecção, dispersão, adsorção linear e degradação de 1ª ordem.</p> <p>Trabalha em base mensal.</p> <p>Muito utilizado em aplicações de análise quantitativa de riscos.</p>	
Principais Parâmetros de Entrada	
<p>Parâmetros de simulação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • período de simulação • intervalos de cálculo • posições de controlo <p>Configuração da fonte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • instantânea/continua • tipo (radioativa, química, calor) • pontual/linear • areal • finita/infinita 	<p>Propriedades do solo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • densidade • porosidade • condutividade hidráulica • gradiente • dispersividade <p>Propriedades do contaminante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • coeficientes de absorção e difusão • trocas de calor • relação de degradação de 1ª ordem
<p>Pode associar-se uma base de dados para as propriedades do solo.</p> <p>Em combinação com o SESOIL, utiliza as cargas de contaminantes calculadas por este como dados de entrada ao sistema.</p>	
Aplicação	
<p>Estimativa da concentração de contaminantes dissolvidos ao longo do tempo, a partir de fontes definidas ou resultado da simulação de transporte em zona não saturada.</p>	
Limitações	
<p>Assume que o aquífero é homogéneo e isotrópico, e que o fluxo é praticamente horizontal.</p> <p>As concentrações num ponto de observação (por ex., piezómetro) não têm em conta a diluição causada pela entrada de águas a jusante, o que reduziria a concentração observada.</p> <p>Considera condições de equilíbrio entre a fase líquida e sólida.</p>	
Resultados	
<p>Previsão de concentrações de contaminantes dissolvidos na posição e tempo especificados pelo utilizador.</p>	
Distribuição	
<p>Disponível como programa independente (última versão, 6.3). Tem associadas aplicações para a introdução e publicação processada de dados.</p> <p>Associado a SEVIEW (com SESOIL e BIOSCREEN) e utilidades de análise quantitativa de riscos (API DSS, RISKPRO).</p>	

Fonte: IHOBE, *Guia Técnica para la Aplicación de Modelos Informáticos para el Transporte y el Flujo de Contaminantes en el Agua Subterránea*, Sociedad Publica de Gestión Ambiental, Julho 2006 (URS)

Águas Superficiais

Os modelos analíticos tipicamente empregues no cálculo do transporte de um contaminante num meio superficial têm por base a aplicação de equações diferenciais de derivadas parciais, que traduzem a formulação matemática das leis de conservação de massa e quantidade de movimento.

Tipicamente estas soluções exigem a introdução dos seguintes dados de entrada:

- caudal da massa de água;
- coeficientes de difusão;
- concentrações do contaminante em pontos específicos da massa de água.

Na **Tabela C-6**, resume-se a solução tipicamente mais empregue neste caso.

Tabela C-6 – Equação de Advecção-Dispersão
Descrição
Também conhecida por equação do transporte de massa, exprime o escoamento da água, com densidade constante, num meio poroso saturado e conjuga a conservação do momento (equação de Darcy), e a lei da conservação de massa do fluido (equação da continuidade). Esta equação em sido aplicada da problemas reais desde os anos 70 por hidrogeólogos, tendo sido a sua validade comprovada em laboratório.
Equação tridimensional
$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + E_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - kC$
Principais Parâmetros de Entrada
<p>u = (u, v, w) - velocidade da corrente no rio. C – concentração do contaminante num dado ponto E (x, y, z) – coeficientes de difusão turbulenta anisotrópica, orientados segundo referencial cartesiano k – fator de degradação do contaminante (volatilidade, reatividade, etc).</p>
Aplicação
Quando é necessário conhecer a distribuição das concentrações de um dado contaminante ao longo de curso de água.
Limitações
<p>Esta equação baseia-se nos pressupostos de que o meio poroso é homogêneo, isotrópico, saturado com fluido e de que a lei de Darcy é válida. A aplicação da equação implica a necessidade de validar os seus pressupostos em pequenos volumes do conjunto poroso, aquilo que se designa por volume elementar representativo, ainda que a totalidade no meio não cumpra completamente os pressupostos de aplicação da equação. Por outro lado, no caso de existir interação do contaminante com os constituintes do meio poroso ou existam alterações químicas, a equação inicial deverá ser alterada. Adicionalmente, de forma a aplicar este modelo, é muitas vezes necessária a introdução de simplificações ao nível dimensional. No entanto, estas simplificações não são sempre aplicáveis e devem ser verificadas com dados experimentais. Com uma equação unidimensional, é possível, de forma simples, traduzir a concentração de uma substância num sistema em função do tempo e do espaço (na direção do escoamento) de forma simples.</p>
Resultados
Permite a determinação do grau de dispersão do contaminante e a verificação do regime de escoamento.
Distribuição
<p>Em bibliografia técnica especializada, por exemplo: Canter, J., 1985, <i>River Water Quality Monitoring</i>, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan Chapra, S.C., 1997, <i>Surface Water Quality Modeling</i>, McGraw-Hill, Nova Iorque Leendertse, J. J. 1970. A water quality simulation model for well mixed estuaries and coastal seas. Vol. I Rand Corporation, Memorandum RM-6230-RC, Santa Monica Fischer, H. B.; List, E. J.; Koh, R. C. Y.; Imberger, J; Brooks, N. H. 1979. <i>Mixing in inland and coastal waters</i>. Academic Press, Inc. California.</p>

Segunda Fase – Avaliação Detalhada

Quando for necessário um maior nível de precisão na estimativa dos danos, será necessária uma segunda fase, de avaliação detalhada. Este detalhe pode ser necessário quando, por exemplo, numa aproximação inicial com soluções analíticas, se preveja que o impacto possa atingir um recetor especialmente sensível (ex. o leito de um rio com alto valor ecológico, uma praia fluvial com elevado valor turístico, etc.).

Dado que a utilização de simuladores avançados, do tipo modelos numéricos, requer um grande esforço humano, de tempo e económico na entrada de dados, desde o processo de discretização do meio, a definição de limites, a atribuição de parâmetros, a seleção de condições estacionárias ou transitórias, etc., esta ferramenta deve ser utilizada sempre após uma primeira fase, de aplicação de soluções analíticas e por técnicos especializados. Isto permitirá identificar, caso existam, problemas de maior complexidade e previsível severidade de consequências, que exijam a aplicação de metodologias com maior precisão.

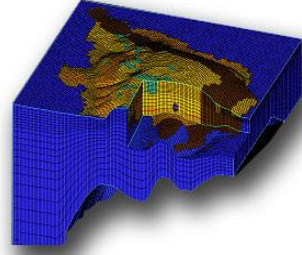
Proporcionam-se de seguida referências dos modelos numéricos mais comumente aplicados ao transporte de contaminantes em zona saturada. Dado que, em relação à zona não saturada, os modelos mais comuns exigem uma grande disponibilidade de recursos para a sua aplicação (tempo, dados, etc.) e que, por outro lado, o transporte de contaminantes nesta zona é habitualmente rápido, é preferível, no contexto deste guia, optar pela aplicação de modelos analíticos os quais, ainda que impliquem a obtenção de dados menos precisos, permitem dispor destes num período de tempo muito mais curto, pelo que não se apresentam modelos numéricos para a zona não saturada.

Transporte em Zona Saturada

Os modelos de transporte na zona saturada preveem a dispersão de um contaminante libertado na superfície até ao aquífero. Existem diversas aproximações possíveis que, em geral, requerem a entrada dos seguintes dados de partida:

- propriedades hidráulicas do aquífero;
- gradiente hidráulico;
- recarga;
- geometria do sistema de fluxo/limites.

Com estes dados de entrada, os modelos tipicamente utilizados, que se apresentam de seguida, permitem obter, como saída, os dados relativos ao potencial hidráulico, ao gradiente hidráulico, ao estado estacionário/transitório e ao fluxo de água.

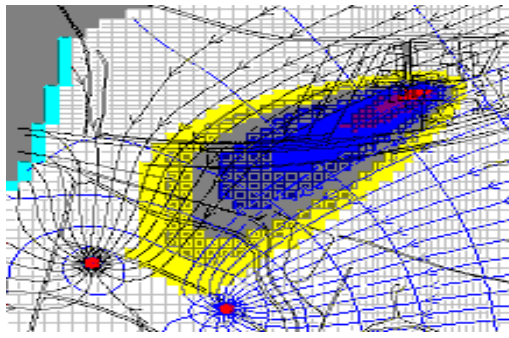
Tabela C-7 – MODFLOW Modular Three-Dimensional Groundwater Flow Model	
Descrição	
<p>Modelo 2D/3D de diferenças finitas para simulação de fluxo de água subterrânea, tanto em regime permanente como em transitório.</p> <p>Desenvolvido pela U.S. Geological Survey, é o modelo matemático de fluxo mais amplamente aplicado, devido à sua versatilidade, rigor e disponibilidade.</p> <p>Permite incluir várias capas de diferentes características horizontais e verticais, simulando as suas interações.</p> <p>Apresenta uma estrutura modular, que permite diferentes opções de modelização.</p>	
Principais Parâmetros de Entrada	
<ul style="list-style-type: none"> • Dados geométricos dos aquíferos (extensão, espessura) • Condições de contorno (zonas de nível constante, de fluxo subterrâneo, etc.) • Parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica, transmissividade, parâmetros de armazenamento, etc.) • Níveis piezométricos iniciais • Pressões ao sistema (localização e regime de extração de poços/drenos, recarga, evaporação, relação com águas superficiais). 	
Aplicação	
<p>O sistema a modelizar divide-se em células. Para cada uma delas, resolve-se a equação de fluxo, assumindo a área de modelização subdividida em grupos de características homogêneas.</p> <p>Permite simular meios estratificados com capas semipermeáveis (admite heterogeneidade e anisotropia).</p> <p>Ainda que desenvolvido para meios porosos, pode aplicar-se, com precaução, a meios fraturados assimiláveis.</p>	
Limitações	
<p>Simula apenas o fluxo de água subterrânea, não admite transporte.</p> <p>É necessário ter um conhecimento bastante preciso acerca do funcionamento do sistema.</p> <p>Requer ser utilizado por um hidrogeólogo experiente.</p> <p>A sua utilização sem pré e pós processadores é fastidiosa, pouco visual e permite facilmente a introdução de erros.</p>	
Resultados	
<p>Produz como dados de saída os níveis piezométricos (descidas, velocidades, etc.) de cada uma das células em que se divide o sistema a modelizar.</p> <p>As saídas originais do programa, bem como os dados de entrada, estruturam-se em ficheiros ASCII. Para facilitar a interpretação dos dados, empregam-se normalmente programas associados, habitualmente gráficos.</p> <p>Funciona normalmente associado a MODPATH (permite traçar o movimento de partículas, aplicável ao transporte advectivo).</p> <p>Conta ainda com o WATER BUDGET, aplicação de cálculo dos balanços de entradas e saídas de água do sistema.</p>	
Distribuição	
<p>Programa básico de distribuição livre. Pré e pós processador PMWIN também gratuito.</p> <p>Última versão MODFLOW-2000 Versão: 1.19.01, Março 2010. (disponível em http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow.html). Existem diversos programas comerciais que facilitam a introdução de dados e a visualização de resultados, e que podem incluir programas de estimativa de parâmetros. Os mais comuns são o VISUAL MODFLOW, o GMS (Groundwater Modeling System), o Groundwater Vistas e o Argus ONE.</p>	

Fonte: IHOBE, *Guía Técnica para la Aplicación de Modelos Informáticos para el Transporte y el Flujo de Contaminantes en el Agua Subterránea*, Sociedad Publica de Gestión Ambiental, Julho 2006 (URS)

Para a obtenção de dados relativos ao transporte do soluto (contaminantes), será necessário aplicar modelos que solicitam a entrada de dados adicionais àqueles já listados acima, como:

- Concentração na área fonte;
- Propriedades químicas do soluto;
- Geometria da fonte;
- Dispersividade do aquífero;
- Propriedades físicas do solo;
- Tempo desde a fuga.

Apresenta-se na **Tabela C-8** o modelo aplicável, habitualmente utilizado.

Tabela C-8 – MT3D Modular Three Dimensional Transport Model	
Descrição	
<p>Modelo 3D de transporte de solutos, para a simulação de processos de advecção, dispersão e reações químicas (lineares, não lineares, biodegradação) de contaminantes em zona saturada. Dispõe de uma estrutura modular que permite simular cada opção e composto de forma independente. Conta com um interface direto com MODFLOW, podendo ainda associar-se a qualquer outro modelo de fluxo de diferenças finitas. Este modelo inclui a opção de dupla porosidade, aplicável a meios fraturados.</p>	
Principais Parâmetros de Entrada	
<p>Dados hidrogeológicos do sistema (modelização prévia de fluxo para obter os níveis piezométricos e os fluxos):</p> <ul style="list-style-type: none"> • geometria do aquífero. • características hidráulicas. • pressões ao sistema (recargas, descargas). • dispersividade. 	<p>Dados químicos gerais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • constante de degradação, adsorção. • concentrações de partida. • número e distribuição de partículas.
Aplicação	
<p>A partir de uma discretização do sistema em células, obtém-se a evolução de plumas de contaminação de acordo com as condições de fluxo subterrâneo, considerando os principais processos associados ao transporte de solutos: advecção, dispersão e reações químicas. É um dos modelos mais utilizados e testados.</p>	
Limitações	
<p>O fluxo subterrâneo não é afetado pelas concentrações de compostos. Exige um conhecimento preciso do sistema e que seja utilizado por um técnico especialista. A sua utilização sem pré e pós processadores é fastidiosa, pouco visual e permite facilmente a introdução de erros. É importante seleccionar adequadamente o método de resolução (MOC, MMOC, HMOC).</p>	
Resultados	
<p>Distribuição espacial e temporal de concentrações no sistema e nos pontos seleccionados. Balanço mássico.</p>	
Distribuição	
<p>Acesso gratuito. Disponível em: http://www.epa.gov/ada/csamos/index.html#download Programa comercial. Última versão MT3D⁹⁹ 1.11, Janeiro 1992 Incorporado em pacotes de software com o MODFLOW (GMS, Groundwater Vistas, Visual MODFLOW).</p>	

Fonte: IHOBE, *Guía Técnica para la Aplicación de Modelos Informáticos para el Transporte y el Flujo de Contaminantes en el Agua Subterránea*, Sociedad Publica de Gestión Ambiental, Julho 2006 (URS)

Transporte em Águas Superficiais

Para as águas superficiais, tipicamente as águas costeiras, os modelos numéricos estimam a trajetória e o tempo mínimo de impacto de um derrame de um contaminante (hidrocarboneto), em função de distintas condições ambientais, através de algoritmos de distintas complexidades. Paralelamente, os modelos fornecem uma série de resultados relacionados com o processo de degradação que o contaminante pode sofrer em contacto com o ambiente.

Tipicamente, os modelos necessitam da introdução de informação relacionada com o contaminante, como se segue:

- data e hora do derrame;
- coordenadas geográficas do derrame;
- tipo de derrame: contínuo ou descontínuo;
- tipo de contaminante derramado;
- quantidade de contaminante derramado.

É necessário ainda fornecer informação sobre as condições ambientais:

- direção e velocidade das correntes na zona;
- padrão dos ventos na zona;
- temperatura da água e do ar.

Alguns modelos podem incorporar bases de dados de propriedades físico-químicas de contaminantes.

Uma vez introduzidos os dados de entrada, o modelo irá gerar uma série de *outputs* após realizar a simulação, como a trajetória mais provável do derrame, coordenadas geográficas da área suscetível de ser afetada, variação da quantidade de hidrocarboneto evaporado em função do tempo, variação da quantidade de hidrocarboneto na coluna de água em função do tempo, etc.

Apresentam-se nas **Tabelas C-9, C-10 e C-11**, alguns dos modelos mais tipicamente aplicados, sendo que o constante na **Tabela C-9**, MoHid, foi desenvolvido em Portugal e está adaptado ao território nacional.

Tabela C-9 – MoHid Water Modelling System	
Descrição	
<p>Trata-se de um sistema de modelação tridimensional para águas, desenvolvido pelo <i>Marine and Environmental Technology Center</i>, MARETEC, do Instituto Superior Técnico de Lisboa. Este sistema de modelação pode ser usado em distintas aplicações científicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • hidrodinâmica; • propagação de ondas pela ação do vento (modelo boussinesq) • processos de transporte • qualidade da água e ecologia • fluxo de água subterrânea • derrames de hidrocarbonetos <p>O sistema de modelação MoHid foi já aplicado a distintos estudos, tanto costeiros como estuarinos, bem como a processos oceânicos e albufeiras, tendo demonstrado a sua capacidade para simular características complexas dos fluxos.</p>	
Aplicação	
<p>O modelo prevê a evolução e comportamento dos processos de degradação associados a um derrame de hidrocarbonetos em zonas costeiras (transporte, dispersão e comportamento) e as propriedades do produto derramado. Também inclui referências a métodos de resposta à poluição.</p>	
Limitações	
<p>Para a previsão e simulação da trajetória e processos de degradação envolvidos no derrame, assume que o produto pode idealizar-se como um grande número de partículas que se movem independentemente na água. A maior parte dos processos e propriedades são assumidos pelo programa como uniformes, como as propriedades da água e condições atmosféricas, sendo consideradas iguais às existentes na origem do derrame.</p>	
Resultados	
<p>Proporciona uma animação com a trajetória do derrame no cenário introduzido.</p>	
Distribuição	
<p>Acesso disponível através de registo prévio em: http://www.mohid.com/</p>	

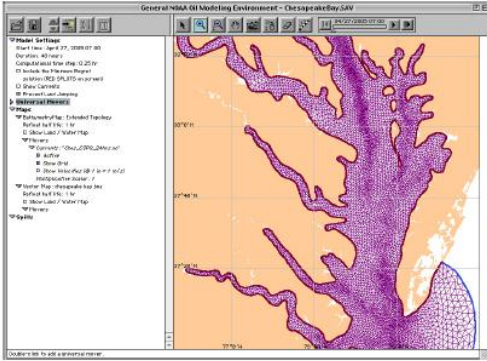
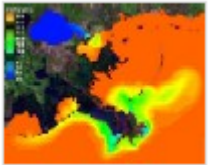
Tabela C-10 – GNOME General National Oceanic and Atmospheric Administration Oil Modeling Environment	
Descrição	
<p>Modelo de simulação desenvolvido pelo grupo de resposta a emergências e restauração da Administração Atmosférica e Oceânica dos EUA. Permite obter uma estimativa da trajetória do derrame e assim estimar o ponto de impacto dos hidrocarbonetos de forma aproximada.</p>	
Principais Parâmetros de Entrada	
<ul style="list-style-type: none"> • Identificação da localização do derrame numa carta de navegação do local; • Dados e previsões meteorológicas locais; • Descrição do cenário de derrame (onde, quando, quanto, tipo de contaminante); • Descrição do meio (ventos e correntes dominantes, tipo de costa, etc.) <p>Pode importar bases de dados de correntes oceânicas</p>	
Aplicação	
<p>O programa é aplicado para fornecer o seguinte tipo de informação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • prever de que forma o vento, as correntes e outros processos influenciam a localização e dispersão do derrame. • proporcionar informação relativa às incertezas introduzidas pelos dados climatológicos observados e previstos. • fornecer informação relativa à degradação do contaminante, química e fisicamente, enquanto se mantém à superfície da água. 	
Limitações	
<p>Exige um conhecimento preciso do sistema e que seja utilizado por um técnico especialista. Dado que o modelo trabalha com bases de dados informação geográfica para modelizar a trajetória do derrame, existe bastante informação para os EUA, inclusivamente inúmeras bases de dados disponíveis para execução do programa em cenário norte-americano. Para o resto do mundo, o utilizador terá que construir o seu próprio "location file".</p>	
Resultados	
<p>Proporciona uma animação com a trajetória do derrame no cenário introduzido.</p>	
Distribuição	
<p>Acesso gratuito, disponível em: http://response.restoration.noaa.gov/software/gnome/gnome.html Última versão: GNOME 1.3.1.</p>	

Tabela C-11 – Visual Plumes Model System	
Descrição	
<p>Aplicação informática suportada pelo Windows, que substitui o anterior DOS Plumes (Baumgartner, Frick e Roberts, 1994), combinando sistemas de modelização de zonas.</p> <p>Simula a submersão de plumas simples e combinadas num fluxo arbitrariamente estratificado, provenientes de descargas superficiais flutuantes.</p>	
Principais Parâmetros de Entrada	
<p>Requer os seguintes parâmetros da descarga:</p> <ul style="list-style-type: none"> • diâmetro da tubagem de descarga. • temperatura de descarga. • profundidade de descarga. • caudal do efluente/derrame. <p>E dos seguintes parâmetros do meio recetor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • direção e velocidade da corrente. • salinidade do meio recetor. • temperatura média da água. 	
Aplicação	
Tipicamente aplicável a descargas de efluentes líquidos num meio aquático recetor.	
Limitações	
Exige um conhecimento preciso do sistema e que seja utilizado por um técnico especialista.	
Resultados	
Avaliação da diluição do derrame em cada ponto, ao longo do meio recetor.	
Distribuição	
<p>Acesso gratuito, disponível em: http://www.epa.gov/ceampubl/swater/vplume/ Última versão: Visual Plumes 1.0, de Agosto 2001</p>	