

Anexo XI
Análise de Risco

- **Análise de Risco Ambiental**
- Estudo do Risco de Afecção do Sistema Aquífero de Sines
- Parecer Técnico Relativo à Alteração Substancial - Repsol Polímeros – Terminal Petroquímico
- Avaliação de Compatibilidade de Localização

XI.2 Análise de Risco Ambiental

2.1 Metodologia de Avaliação dos Riscos Ambientais

Identificação de perigos e definição de cenários de acidentes e respectivas probabilidades

A definição de cenários de acidentes e estimativa de probabilidades de ocorrência teve em consideração os dados definidos no ponto 1 do presente Anexo, relativo à análise dos riscos físicos, sendo considerados na presente secção os que são susceptíveis de produzir efeitos significativos nos compartimentos ambientais relevantes para a avaliação.

Para efeitos de integração no presente estudo, foi considerada a grelha de classificação e pontuação da norma UNE 150008:2008 – Análisis y Evaluación del Riesgo Ambiental, de Março de 2008, publicada pela UNE – Asociación Española de Normalización, adaptada à situação em análise (Quadro XI.1).

Quadro XI.1 – Probabilidades de cenários de acidentes (adaptado de UNE 150008:2008, AENOR)

Probabilidade	Norma UNE	
	Probabilidade (Frequência)	Pontuação
10^{-1} a 1	> 1 vez/mês (muito provável)	5
10^{-2} a 10^{-1}	1 vez/mês – 1 vez/ano (altamente provável)	4
10^{-3} a 10^{-2}	1 vez/ano – 1 vez/10 anos (provável)	3
10^{-4} a 10^{-3}	1 vez/10 anos – 1 vez/50 anos (possível)	2
$< 10^{-4}$	1 vez/50 anos (improvável)	1

Para a situação em análise, consideram-se as probabilidades dos eventos de acidente, tal como indicadas no Quadro XI.2.

Quadro XI.2 – Eventos iniciadores dos cenários de acidente com risco de dano ambiental

Cenário	Substância derramada	Volume derramado (m ³)	Concentração em Hidrocarbonetos (g/l)
3) Rotura de 10 mm do tanque de hexeno sobre bacia de contenção e contaminação do solo e das águas subterrâneas devido a rotura da tela de impermeabilização	1-hexeno	10	678 (solubilidade em água = 50 mg/l a 20 °C)
4) Rotura na linha de entrada/saída do tanque de hexeno (10 min)	1-hexeno	6	678 (solubilidade em água = 50 mg/l a 20 °C)

Avaliação das consequências e classificação da gravidade

As consequências para o ambiente dos acidentes possíveis são identificadas e escalonadas em função da gravidade de cada cenário, de forma a poder estabelecer uma hierarquização de riscos.

Para a estimativa da gravidade das consequências dos cenários de acidente será utilizada uma metodologia baseada na norma espanhola UNE 150008:2008, já referida.

A metodologia proposta por esta norma permite avaliar as consequências em relação a três factores ambientais, designadamente o Meio natural, o Meio humano e o Meio sócio-económico. O meio natural inclui a qualidade da água e dos solos, bem como as espécies e habitats naturais protegidos, o meio humano inclui as populações e o meio sócio-económico as actividades produtivas, infra-estruturas, habitações e património.

De forma a aproximar a metodologia da norma ao actual quadro legal, designadamente a Directiva Quadro da Água (DQA) e o diploma RA, procedeu-se à adaptação do factor “meio sócio-económico” ao conceito “serviço dos recursos naturais”, que pretende dar conta da existência e possibilidade de afectação de serviços prestados pelos ecossistemas, massas de água e solos. Por «serviços dos recursos naturais» entende-se como sendo “as funções desempenhadas por um recurso natural em benefício de outro recurso natural ou do público” (APA, 2011).

Igualmente optou-se por não considerar o meio humano, uma vez que os aspectos cobertos por esta categoria estão compreendidos na análise relativa à avaliação dos riscos físicos na instalação apresentada no ponto anterior.

A norma UNE 150008:2008 considera que a gravidade das consequências depende dos seguintes factores:

- Quantidade da substância libertada..... Q;
- Sensibilidade do meio envolvente da instalação..... M;
- Extensão da zona afectada E;
- Perigosidade da substância P;

sendo que:

$$\text{Gravidade} = Q + 2 \times P + E + M$$

Assim, para a classificação da gravidade relativa aos critérios ambientais indicados, são utilizadas as fórmulas apresentadas no Quadro XI.3.

Quadro XI.3 – Classificação da gravidade das consequências

Quantidade	+ 2 × Perigosidade	+ Extensão	+ Qualidade do Meio	= Gravidade sobre o Meio Natural
Quantidade	+ 2 × Perigosidade	+ Extensão	+ Serviços dos Recursos Naturais	= Gravidade sobre os Serviços dos Recursos Naturais

Por sua vez, a pontuação dos critérios, tal como definidos na norma UNE 150008:2008, vem indicada no Quadro XI.4.

Quadro XI.4 – Pontuação dos critérios “Quantidade”, “Perigosidade”, “Extensão”

Quantidade (toneladas)			Perigosidade		
4	Muito Elevada	> 500	4	Muito Perigosa	Partes 1 e 2 do DL 150/2015
3	Elevada	50 - 500	3	Perigosa	Não abrangido pelo DL 150/2015
2	Baixa	5 - 49	2	Pouco Perigosa	Combustíveis (biomassa e outros)
1	Muito Baixa	< 5	1	Não Perigosa	Danos ligeiros e reversíveis
Extensão					
4	Muito extenso	Raio > 1 km	4		
3	Extenso	Raio < 1 km	3		
2	Pouco extenso	Na instalação	2		
1	Pontual	Pontual na instalação	1		

No entanto, a metodologia de pontuação dos critérios da perigosidade das substâncias foi ligeiramente adaptada, de forma a utilizar o critério da classificação de perigos e das frases de risco, de acordo com o Decreto-Lei n.º 150/2015, de 5 de Agosto, que transpõe a Directiva n.º 2012/18/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Julho, de 2012 (Directiva Seveso III).

A norma UNE 150008:2008 não define a pontuação a atribuir aos restantes critérios, pelo que nestes casos utilizam-se indicadores adaptados dos documentos irlandeses “Guidance on assessing and costing environmental liabilities” (EPA, 2014), “Guidance on Financial Provision for Environmental Liabilities” (EPA, 2015)” e “EPA Approach to Environmental Liabilities and Financial Provision” (EPA, 2019), que se apresentam nos Quadros XI.5 e XI.6.

Assim, para cada cenário de acidente, serão atribuídas pontuações consoante a quantidade da substância envolvida e da sua perigosidade e a extensão do acidente (confinado à instalação ou com efeitos no exterior) e da sensibilidade do meio natural e dos recursos afectados.

Quadro XI.5 – Pontuação do critério “Meio Natural”

Classes	Métricas			
	Espécies e Habitats	Massas de água subterrânea	Massas de água superficial	Solos
4 Muito Elevada	Localização em áreas que integram o SNAC ⁽¹⁾	Localização em sistema aquífero com elevada produtividade de importância regional e vulnerabilidade elevada, ou Localização em sistema aquífero com ligação a Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas (EDAS), estando o ecossistema integrado em área SNAC	Cursos de água suportando usos sensíveis ⁽²⁾ a jusante, localizados a menos de 500 m Cursos de água influentes de massas de água subterrânea com usos sensíveis	Existência de solos de classe de capacidade de uso elevada, classificados na RAN, localizados imediatamente a jusante, na direcção da drenagem superficial
3 Elevada	Localização a distância inferior a 1 km de áreas SNAC, ou Localização a menos de 200 m de áreas onde ocorram espécies e habitats protegidos ao abrigo do DL 140/99, na sua actual redacção	Localização de sistema aquífero com elevada produtividade de importância regional e vulnerabilidade média, ou Localização em sistema aquífero com ligação a Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas (EDAS)	Cursos de água suportando usos sensíveis a jusante, localizados entre 500 m e 2 km Cursos de água influentes de massas de água subterrânea sem usos sensíveis	Existência de solos de classe de capacidade de uso elevada (A e B), localizados imediatamente a jusante, na direcção da drenagem superficial
2 Baixa	Localização a distância entre 1 km e 5 km de área SNAC, ou Localização entre 200 m e 500 m de áreas onde ocorram espécies e habitats protegidos ao abrigo do DL 140/99, na sua actual redacção	Localização em sistema aquífero de elevada produtividade de importância regional e vulnerabilidade baixa, ou Localização em sistema aquífero com moderada produtividade de importância local e vulnerabilidade moderada a elevada	Cursos de água suportando usos sensíveis a jusante, localizados entre 2 km e 5 km	Existência de solos de classe de capacidade de uso média, localizados imediatamente a jusante, na direcção da drenagem superficial
1 Muito Baixa	Localização a distância superior a 5 km de área SNAC, ou Localização a distância superior a 500 m de áreas onde ocorram espécies e habitats protegidos ao abrigo do DL 140/99, na sua actual redacção	Aquífero de baixa produtividade	Cursos de água suportando usos sensíveis a jusante, localizados a mais de 5 km	Existência de solos de classe de capacidade de baixa a muito baixa, localizados imediatamente a jusante, na direcção da drenagem superficial

(1) – Sistema Nacional de Áreas Classificadas (Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho), que inclui as áreas integradas na Rede de Áreas Protegidas, as áreas incluídas na Rede Natura 2000 e as áreas classificadas ao abrigo de compromissos internacionais (Projecto Ramsar, Projecto MaB da Unesco, Convenção OSPAR, outros)

(2) – Águas piscícolas, águas balneares, consumo humano, zonas sensíveis (Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, na sua actual redacção), zonas vulneráveis (Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de Setembro, na sua actual redacção), áreas classificadas sob o ponto de vista de conservação da natureza (SNAC)

Quadro XI.6 – Pontuação do critério “Serviços dos Recursos Naturais”

Classes	Métricas				
	Espécies e Habitats	Massas de água	Solos	Bens Patrimoniais	
4	Muito Elevada	Áreas classificadas suportando serviços de habitats e espécies, tal como definidos nos respectivos Planos de Ordenamento ou outras figuras de ordenamento territorial	Sistemas de captação de água superficial ou subterrânea para consumo humano, ou Instalações de produção de espécies aquáticas com interesse económico, ou Instalações de recreio/competição/prática balnear localizadas a jusante a menos de 500 m	Explorações agrícolas e florestais a distância < 50 m	Património cultural classificado a distância < 50 m, ou Casas de habitação, outras instalações e infra-estruturas a distância < 50 m, ou
3	Elevada	Áreas classificadas suportando serviços de habitats e espécies, tal como definidos nos respectivos Planos de Ordenamento ou outras figuras de ordenamento territorial, localizadas a menos de 1 km	Sistemas de captação de água superficial ou subterrânea para consumo humano Instalações de produção de espécies aquáticas com interesse económico, ou Instalações de recreio/competição/prática balnear localizadas a jusante entre 500 m e 1 km	Explorações agrícolas e florestais a distância entre 50 e 250 m	Património cultural classificado a distância entre 50 e 250 m, ou Casas de habitação, outras instalações e infra-estruturas a distância entre 50 e 250 m, ou
2	Baixa	Áreas classificadas suportando serviços de habitats e espécies, tal como definidos nos respectivos Planos de Ordenamento ou outras figuras de ordenamento territorial, localizadas entre 1 km e 5 km	Sistemas de captação de água superficial ou subterrânea para consumo humano Instalações de produção de espécies aquáticas com interesse económico, ou Instalações de recreio/competição aquático Localizadas a jusante entre 1 km e 5 km	Explorações agrícolas e florestais a distância entre 250 e 1 km	Património cultural classificado a distância entre 250 e 1 km, ou Casas de habitação, outras instalações e infra-estruturas a distância entre 250 e 1 km
1	Muito Baixa	Áreas classificadas suportando serviços de habitats e espécies, tal como definidos nos respectivos Planos de Ordenamento ou outras figuras de ordenamento territorial, localizadas a mais de 5 km	Sistemas de captação de água superficial ou subterrânea para consumo humano Instalações de produção de espécies aquáticas com interesse económico, ou Instalações de recreio/competição/prática balnear localizadas a jusante a mais de 5 km	Explorações agrícolas e florestais a distância a mais de 1 km	Património cultural classificado a mais de 1 km, ou Casas de habitação, outras instalações e infra-estruturas a mais de 1000 m

De acordo com os critérios e pontuações atribuídos, a classificação da gravidade das consequências será a indicada no Quadro XI.7.

Quadro XI.7 – Classificação da gravidade das consequências

Classificação	Pontuação	Valoração
Crítica	18 -32	5
Grave	15 - 17	4
Moderada	11 – 14	3
Leve	8 – 10	2
Não relevante	5 - 7	1

Avaliação e Hierarquização dos Riscos

O risco ambiental para cada um dos cenários considerados é calculado da seguinte forma:

$$\Rightarrow \text{Risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Gravidade das Consequências}$$

Para efeitos de hierarquização do risco, os cenários serão classificados em termos de probabilidade de ocorrência (1 a 5), já apresentada acima, e em termos de gravidade dos efeitos (1 a 5), consoante a severidade das consequências para os domínios em análise, de acordo com o Quadro XI.8.

Quadro XI.8 – Classificação dos riscos ambientais

Classificação	Pontuação
Muito Elevado	25
Elevado	16 - 20
Médio	12 - 15
Baixo	6 - 10
Muito baixo	< 6

Assim, a matriz dos riscos ambientais, para cada um dos critérios ambientais, está apresentada na Figura XI.1.

Figura XI.1 – Matriz geral dos riscos ambientais

Probabilidades	5						
	4						
	3						
	2						
	1						
		1	2	3	4	5	
Consequências							

2.2. Cálculos para a Situação em Análise

Nos quadros seguintes apresenta-se a aplicação da metodologia ao caso em análise.

Quadro XI.9 - Caracterização dos Cenários de Acidente

Cenário Nº	Substância/Mistura	Evento iniciador e Acidente que Causa o Dano	Efeitos no Interior da Instalação	Efeitos no Exterior da Instalação	Probabilidade	
					Classif.	Pontuação
1	Hexeno	Rotura de 10 mm do tanque de hexeno sobre bacia de contenção e contaminação do solo e das águas subterrâneas devido a rotura da tela de impermeabilização	Contaminação do solo e das águas subterrâneas	Contaminação das águas subterrâneas	< 1 vez / 50 anos (Improvável)	1
2	Hexeno	Rotura na linha de entrada/saída do tanque de hexeno (10 min)	Contaminação do solo e das águas subterrâneas	Contaminação das águas subterrâneas	< 1 vez / 50 anos (Improvável)	1

Quadro XI.10 – Pontuação quanto ao critério “Quantidade, Perigosidade e Extensão”

Cenário Nº	Quantidade de Substâncias		Perigosidade das Substâncias		Extensão	
	t	Pontuação	Classif.	Pontuação	Classif.	Pontuação
1	5 - 49	2	Muito Perigosa	4	Na instal.	2
2	< 5	1	Muito Perigosa	4	Na instal.	2

Quadro XI.11 – Pontuação quanto ao critério “Meio Natural”

Cenário Nº	Meio Natural - Espécies e habitats		Meio Natural – Massas de água subterrânea		Meio Natural – Massas de água superficial		Meio Natural - Solos	
	Classificação	Pontuação	Classif.	Pontuação	Classif.	Pontuação	Classif.	Pontuação
1	Localização a distância entre 1 km e 5 km de área SNAC, ou Localização entre 200 m e 500 m de áreas onde ocorram espécies e habitats protegidos ao abrigo do DL 140/99, na sua actual redacção	2	Localização de sistema aquífero com elevada produtividade e importância regional e vulnerabilidade média, ou Localização em sistema aquífero com ligação a Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas (EDAS)	3	Cursos de água suportando usos sensíveis a jusante, localizados entre 500 m e 5 km	3	Existência de solos de classe de capacidade de uso média, localizados imediatamente a jusante, na direcção da drenagem superficial	2
2	idem	2	idem	3	idem	3	idem	2

Quadro XI.12 – Pontuação quanto ao critério “Serviços dos Recursos”

Cenário Nº	Serviços dos Recursos - Espécies e habitats		Serviços dos Recursos - Massas de água		Serviços dos Recursos - Solos		Serviços dos Recursos/Bens patrimoniais	
	Classificação	Pontuação	Classif.	Pontuação	Classif.	Pontuação	Classif.	Pontuação
3	Áreas classificadas suportando serviços de habitats e espécies, tal como definidos nos respectivos Planos de Ordenamento ou outras figuras de ordenamento territorial, localizadas entre 1 km e 5 km	2	Captações entre 1 km e 5 km	2	Explorações agrícolas e florestais a distância entre 250 e 1 km	2	Património cultural classificado a distância entre 250 e 1 km, ou Casas de habitação, outras instalações e infra-estruturas a distância entre 250 e 1 km	2
4	idem	2	Captações entre 1 km e 5 km	2	idem	2	idem	2

No que diz respeito à pontuação do critério “Serviços dos Recursos”, tiveram-se em conta as dimensões indicadas no Quadro V.57.

Quadro XI.13 – Distâncias para pontuação do critério “Serviços dos Recursos”

Unidade	Espécies e Habitats	Massas de água	Solos	Bens Patrimoniais
Tanque de Hexeno	970 m do sítio Comporta/Galé	1130 m de furos de captação de água	1140 m de explorações agrícolas 500 m de explorações florestais	1000 m de casas de habitação
Linha de Hexeno	960 m do sítio Comporta/Galé	1080 m de furos de captação de água	1120 m de explorações agrícolas 470 m de explorações florestais	945 m de casas de habitação

A este critério foi também deduzido um ponto à valoração obtida, com base nos considerandos apresentados a propósito do critério “Meio natural”.

Quadro XI.14 – Risco dos cenários de acidente

Cenário Nº	Gravidade (meio natural)		Gravidade (serviços recursos)		Riscos (qual. do meio)		Riscos (serviços recursos)	
	Pontuação	Valoração	Pontuação	Valoração	Classif.	Pontuação	Classif.	Pontuação
3	22	5	20	5	Muito Baixo	5	Muito Baixo	5
4	22	5	20	5	Muito Baixo	5	Muito Baixo	5

- **Análise de Risco Ambiental**
- **Estudo do Risco de Afecção do Sistema Aquífero de Sines**
- **Parecer Técnico Relativo à Alteração Substancial - Repsol Polímeros – Terminal Petroquímico**
- **Avaliação de Compatibilidade de Localização**



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

TECNINVEST, S.A.



PROJECTO ALBA - PROJETO DE AMPLIAÇÃO DA REPSOL POLÍMEROS (SINES)

**ESTUDO DO RISCO DE AFETAÇÃO DO SISTEMA
AQUÍFERO DE SINES**

RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	2

ÍNDICE DO TEXTO

1.	INTRODUÇÃO.....	4
2.	ELEMENTOS DE REFERÊNCIA PARA A DEFINIÇÃO DO MODELO CONCEPTUAL	6
2.1	ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO	6
2.2	HIDRÁULICA SUBTERRÂNEA	9
2.2.1	Funcionamento hidráulico da massa de água subterrânea Sines (O32)	9
2.2.2	Condições no local de intervenção (Complexo Industrial de Sines).....	13
3.	CARACTERÍSTICAS DAS CAPTAÇÕES EXISTENTES NA ENVOLVENTE DO LOCAL DO PROJETO	22
4.	MODELO CONCEPTUAL.....	25
4.1	Modelo Conceptual do Sistema Aquífero	25
4.2	Modelo de Fluxo e Transporte de Massa Conceptual	30
5.	MODELAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ACIDENTE	33
5.1.	SIMULAÇÕES DE CENÁRIOS DE DERRAMES	36
5.1.1.	CENÁRIO 1	41
5.1.2.	CENÁRIO 2	43
6.	MEDIDAS DE MITIGAÇÃO QUE DEVERÃO SER IMPLEMENTADAS EM CASO DE ACIDENTE COM IMPACTO NA MASSA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	47
7.	NOTAS FINAIS.....	50
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Instalações da REPSOL POLÍMEROS, incluindo ampliação e da Plataforma Logística no Porto de Sines.	5
Figura 2 - Sistema Aquífero de Sines (Almeida <i>et al.</i> , 2000).	6
Figura 3 - Zonamento das diferentes áreas de conexão hidráulica no sistema aquífero de Sines. Fonte: http://sites.google.com/site/jppmonteiro/	10
Figura 4 - Padrão regional de fluxo para o aquífero superior (plio-miocénico) da massa de água subterrânea Sines (O32). Fonte: Fonte: Monteiro <i>et al.</i> , 2008	11
Figura 5 - Superfície piezométrica média na massa de água subterrânea Sines (O32) no ano hidrológico 2020/2021. Fonte: SNIRH, 2022.	12
Figura 6 - Superfície piezométrica na área do Complexo Industrial em 2009.	14
Figura 7 – Localização dos piezómetros no interior do perímetro fabril e na envolvente da REPSOL.	15
Figura 8 – Diagrama de extremos e quartis referentes aos piezómetros localizados no interior do perímetro fabril ou envolvente da REPSOL, com base nos valores de 2014 a 2021.	16



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	3

Figura 9 - Superfície piezométrica regional do aquífero superior e na área do Complexo Industrial, com base nos valores de 2014 a 2021, nos piezómetros indicados no Quadro 1.....	18
Figura 10 - Níveis piezométricos do aquífero inferior na área do Complexo Industrial, com base nos valores médios de maio de 2014 a dezembro de 2020 obtidos nos piezómetros da ZILS: PZ2 a sudoeste; PZ15 a norte e PZ16 a este.	19
Figura 11 - Localização das captações do campo de Monte Feio (EGC1, EGC2, EGC3, EGC4 e JKC1).	23
Figura 12 - Litologias que integram o sistema aquífero de Sines e área circundante, de acordo com Almeida et al. (2000). No canto superior direito representa-se o alinhamento que separa a área de ocorrência de artesianismo repuxante que coincide parcialmente com uma falha regional no interior do aquífero (adaptado de GGT).....	26
Figura 13 – Cota da base do aquífero superior.	27
Figura 14 – Espessura em metros do aquífero superior.....	28
Figura 15 - Corte geológico ilustrando a conexão hidráulica entre o aquífero superior detrítico livre e o aquífero carbonatado profundo no sector sul do sistema aquífero de Sines na área de implantação da ZILS. As setas representam a possibilidade de se verificar transferência de água e de contaminantes do aquífero superior para o inferior neste sector do aquífero, ao contrário do que acontece mais para Norte onde os dois reservatórios são independentes.	29
Figura 16 - Configuração das zonas de destino de poluentes hipoteticamente conduzidos para a zona saturada em duas áreas do sistema regional de escoamento inferior do sistema aquífero de Sines em regime natural (sem a influência de bombagens), delineadas utilizando o método de “forward advective particle tracking”, tendo em conta o campo de escoamento calculado pelo modelo em elementos finitos utilizado.....	32
Figura 17 – Malha e fronteiras do modelo numérico.....	35
Figura 18 – Configuração da piezometria sem bombagem na zona de estudo e nas condições de fronteira assumidas no Quadro 4.	36
Figura 19 – Localização das ocorrências associadas aos dois cenários simulados.	38
Figura 20 – Simulação do trajeto de partículas com o mesmo comportamento da água, introduzidas junto do tanque de Hexeno, sem bombagem. O espaço entre as marcas amarelas corresponde ao trajeto das partículas em 100 dias.....	40
Figura 21 – Posição da pluma e valores de concentração (mg/L) ao fim de 1000 dias, para o Cenário 1. A célula de injeção é coincidente com o limite inferior esquerdo do tanque de Hexeno. As posições C1.1 a C1.6 correspondem a pontos de observação.....	41
Figura 22 – Curvas de penetração do contaminante para o Cenário 1 (t = 1000 dias).	42
Figura 23 – Posição da pluma e valores de concentração (mg/L) ao fim de 1000 dias, para o Cenário 2. A célula de injeção é coincidente com centro do tanque de Hexeno. As posições C2.1 a C2.6 correspondem a pontos de observação.	44
Figura 24 – Curvas de penetração do contaminante para o Cenário 2 (t = 1000 dias).	45
Figura 25 – Localização esquemática da proposta dos piezómetros de monitorização a jusante do tanque de Hexeno (PzH1 e PzH2).	49



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	4

1. INTRODUÇÃO

É objetivo do presente relatório proceder ao Estudo do Risco de Afetação do Sistema Aquífero de Sines no âmbito do projeto ALBA.

A nível do projeto ALBA é considerado o seguinte conjunto de infraestruturas a instalar no Complexo Petroquímico da REPSOL em Sines, com potencial risco para as águas subterrâneas:

- Armazenagem:
 - um tanque com 1 700 m³ de volume útil para armazenamento de Hexeno;
- tubagens de entrada e saída:
 - tubagens de entrada e saída do tanque de armazenamento de Hexeno com diâmetro, respetivamente, de 3" e de 2";

Preconizaram-se dois cenários de acidentes com derrames e contaminação das águas subterrâneas do aquífero superficial que ocorre no local.

Para alcançar os objetivos foi seguida a seguinte metodologia:

- 1) Recolha de dados para definição do modelo conceptual hidrogeológico;
- 2) Construção do modelo numérico de fluxo e de transporte de massa.

Para a definição do modelo conceptual, o qual implica uma caracterização geológica e hidrodinâmica foi necessário proceder à:

- a) Consulta bibliográfica relativa a estudos já existentes sobre o local em apreço;
- b) Consulta de bases de dados oficiais;
- c) Análise dos dados fornecidos por sondagens, captações e piezómetros localizados nas instalações da REPSOL e suas proximidades.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	5

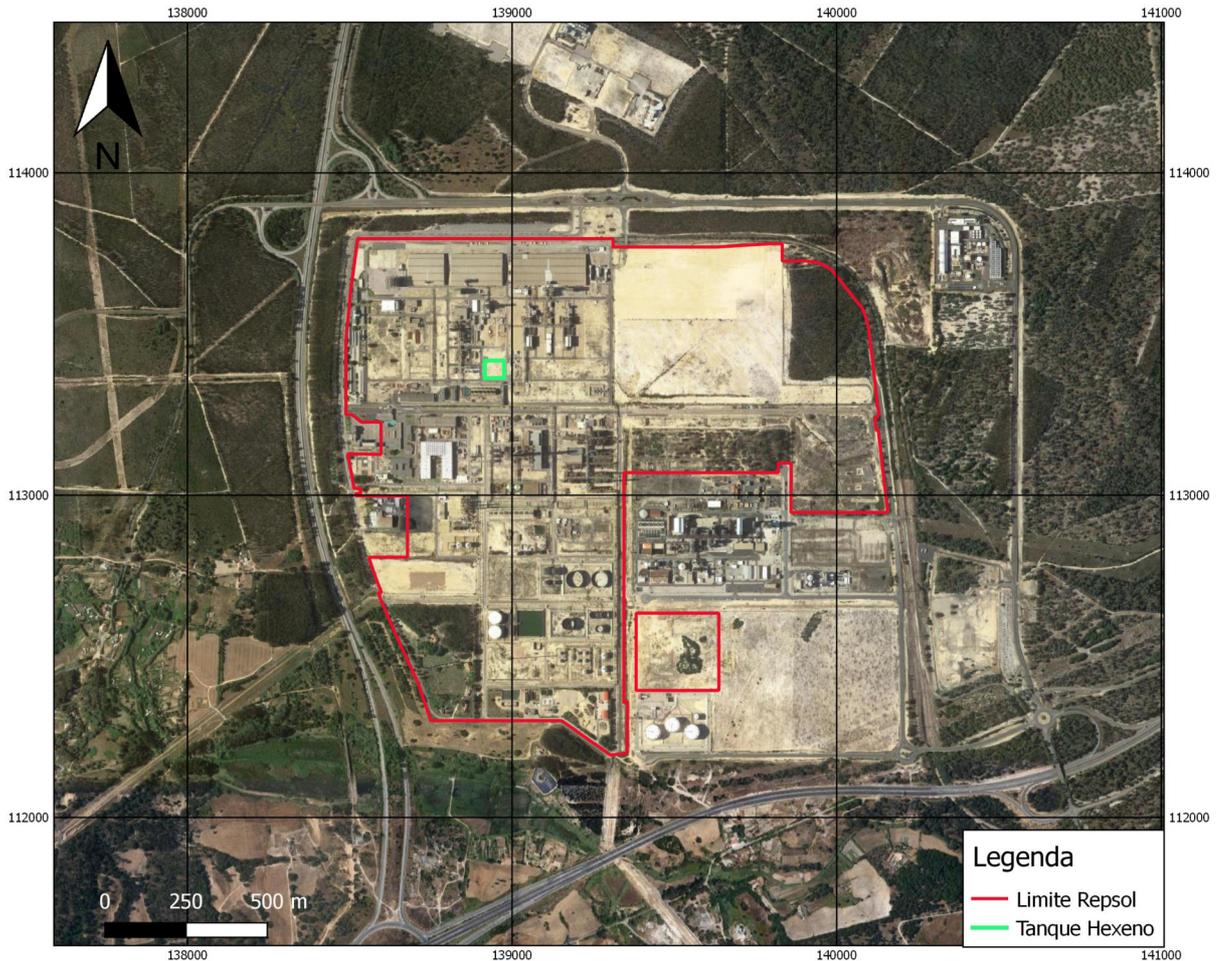


Figura 1 – Instalações da REPSOL POLÍMEROS.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	6

2. ELEMENTOS DE REFERÊNCIA PARA A DEFINIÇÃO DO MODELO CONCEPTUAL

2.1 ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO

O projeto em curso localiza-se na unidade hidrogeológica designada por Orla Ocidental, mais especificamente no sistema aquífero de Sines (O32), como se pode apreciar na **Figura 2**. Este sistema é constituído por vários aquíferos, sendo por isso designado de sistema multiaquífero (Almeida *et al.*, 2000).

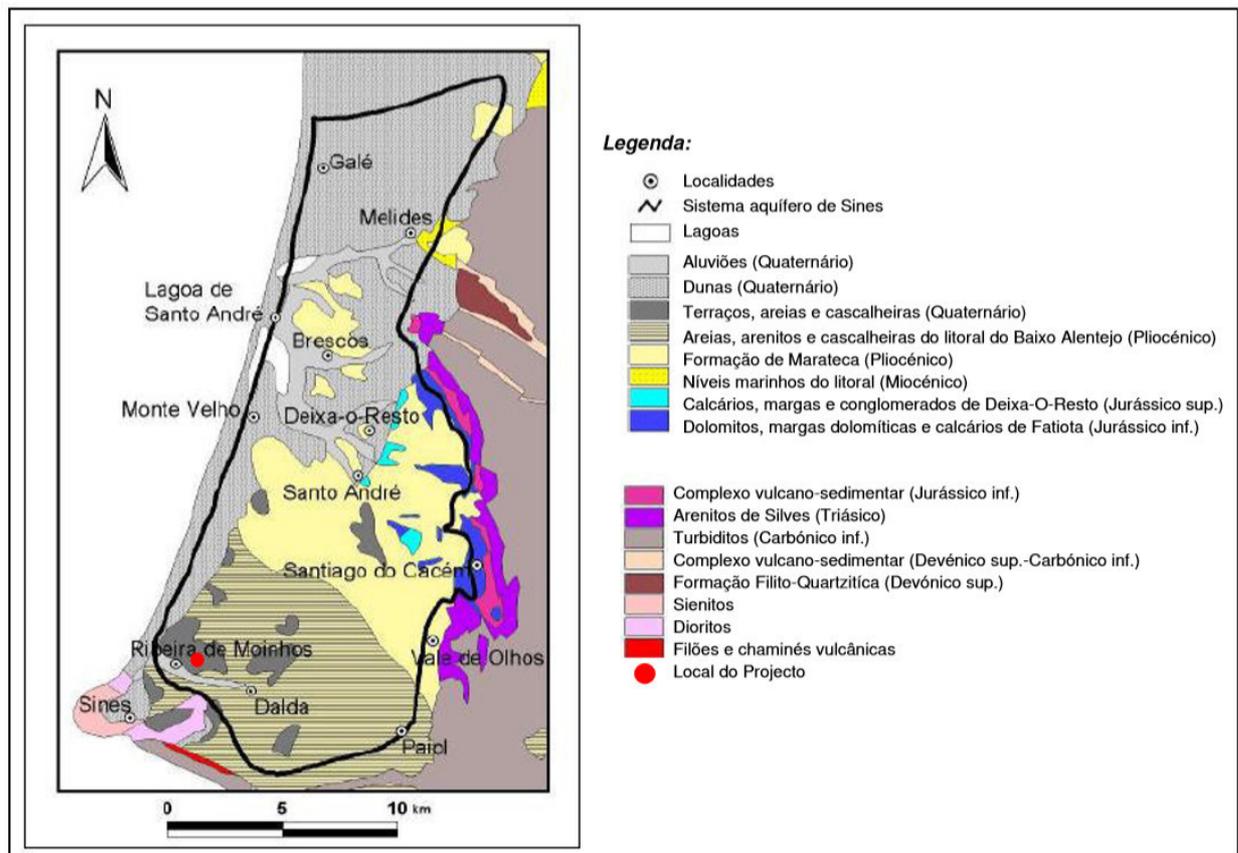


Figura 2 - Sistema Aquífero de Sines (Almeida *et al.*, 2000).

O projeto em análise localiza-se na massa de água PTO35 – Sines – Zona Sul (massa de água subterrânea identificada e delimitada no âmbito dos PGRH Sado e Mira, tendo em linha de conta os princípios orientadores da Diretiva Quadro da Água e do Guia n.º 2 “Identification of Water Bodies” (EC, 2003)). No primeiro ciclo de planeamento tinha sido delimitada, na RH6, a massa de água PTO32 (Sines). Por questões que se prendem com as



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	7

diferentes pressões da massa de água PTO32 (Sines) a sul e a norte, no 2º ciclo de planeamento a massa de água PTO32 (Sines), deu origem a duas novas massas de água: PTO34 (Sines - Zona Norte) e PTO35 (Sines- Zona Sul), sendo que a massa de água localizada a sul, e onde se enquadra a área em estudo, apresenta uma qualidade inferior.

A caracterização que se apresenta de seguida refere-se à totalidade das duas massas de água.

Diamantino (2001) fez uma descrição detalhada do comportamento hidrogeológico das formações, a partir das mais recentes, como se segue:

1. Aluviões – podem constituir aquíferos de razoável produtividade se localizados na zona baixa da região, onde têm maiores espessuras, em especial se situadas em cursos de água que drenam para a Lagoa de Santo André. São aquíferos muito vulneráveis e tradicionalmente explorados para a atividade agrícola;
2. Areias de duna – podem originar aquíferos suspensos no contacto com formações subjacentes menos permeáveis. Situam-se ao longo da zona costeira e só têm interesse à escala local;
3. Plio-Plistocénico e Miocénico – formam aquífero complexo multicamada, com níveis aquíferos livres, confinados e semiconfinados, limitados por aquíferos ou impermeáveis espessos. Almeida *et al.*, (2000) atribui-lhes uma produtividade reduzida, funcionando em regime livre com recarga direta da precipitação atmosférica;
4. Jurássico superior (Malm) – unidade aquífera do topo do sistema cársico, a sua carsificação, embora intensa, é no geral mais atenuada do que no Dogger. É, contudo, um carso juvenil, desenvolvido em profundidade, o que é indicado pelos grandes caudais e pressões hidrostáticas das captações, em especial a Oeste da falha de Santo André (Manuppella, 1983). Note-se que as formações do Malm foram intensamente erodidas, e os carsos foram depois total ou quase totalmente preenchidos por sedimentos arenosos e argilosos, sobretudo miocénicos, podendo estes preenchimentos atingirem por vezes mais de 10 m de espessura (Silva e Almeida, 1982). De produtividade muito variável devido à distribuição heterogénea da fracturação e carsificação, com áreas pouco produtivas e áreas produtivas, como a zona terminal da Ribeira dos Moinhos, há captações com boa produtividade, o que também se poderá dever à fracturação intensa associada ao maciço eruptivo de Sines (Rodrigues e Borges, 1984);



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	8

5. Jurássico médio (Dogger) – unidade aquífera do sistema cársico também com produtividade variável, são registadas captações com boa produtividade em Rodeado (JKp9) e captações fracas em Monte do Concelho e Casa da Madeira;
6. Jurássico inferior (Lias) – unidade aquífera do sistema cársico, cujas características são menos conhecidas, mas que pode atingir produtividades apreciáveis;
7. Triásico-hetangiano – pode ter interesse aquífero à escala local, quando a fraturação e a sua localização face às zonas de alimentação é favorável (Rodrigues e Borges, 1984).

A unidade jurássica aflora numa estreita faixa alongada na direção N-S no extremo Leste da bacia sedimentar que deu origem a esta massa de água. Na área restante, esta unidade está coberta pelas formações pós-mesozoicas.

As formações pós-mesozoicas apresentam-se sub-horizontais e afetadas por fraturação neotectónica.

As formações jurássicas apresentam dobramentos de grande raio de curvatura e dobras, fraturas e filões associados à instalação do maciço de Sines. Para além disso, as formações jurássicas estão ainda afetadas por numerosa fraturação, que dividiu estas formações em numerosos blocos. Esta fraturação condicionou o desenvolvimento das condutas cársicas nos vários níveis carbonatados jurássicos e condiciona a circulação dentro e entre os blocos, sendo geralmente zonas preferenciais de circulação, exceto quando estão argilificadas ou põem em contacto formações impermeáveis, passando então a funcionar como barreiras (Silva e Almeida, 1982). A fraturação condiciona igualmente as transferências de água entre o aquífero jurássico e o aquífero superficial detrítico pós-mesozoico.

Síntese:

Em termos hidrogeológicos, a área em análise insere-se na Unidade Hidrogeológica Orla Ocidental e no sistema aquífero de Sines (O32). Este sistema é multiaquífero.

Integra um aquífero multicamada mais profundo, tendo como suporte litológico as formações carbonatadas do jurássico - dolomitos, margas dolomíticas e calcários e um aquífero superficial, também multicamada, cujo suporte litológico é constituído por formações detríticas do miocénico e plio-pleistocénico.

Admite-se que o aquífero superior se trata de um aquífero livre, com espessura variável, com produtividade reduzida e recebe recarga direta da precipitação.

O aquífero inferior, de natureza carbonatada, é semiconfinado apresenta produtividade muito variável, com



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	9

áreas pouco produtivas e áreas muito produtivas, fruto das suas heterogeneidades próprias de sistema cársico. Recebe recarga direta da precipitação nos locais onde as formações carbonatadas afloram e através de drenância do aquífero superior, caso o seu potencial hidráulico seja mais baixo.

Na área em análise admite-se uma boa produtividade mercê da eventual fraturação intensa associada à instalação do maciço de Sines e como tal existência de maior carsificação das formações carbonatadas, aliás como diversas captações existentes na zona terminal da Ribeira de Moinhos o indicam, devido à sua elevada produtividade.

2.2 HIDRÁULICA SUBTERRÂNEA

2.2.1 Funcionamento hidráulico da massa de água subterrânea Sines (O32)

Chambel e Monteiro (2007) e Monteiro *et al.*, (2008) propõem um modelo conceptual de funcionamento hidráulico dos sistemas aquíferos jurássico e detrítico instalados na massa de água subterrânea Sines (O32).

De acordo com os primeiros, é possível definir um alinhamento, correspondente parcialmente à Falha de Deixa-o-Resto, a Poente do qual as captações instaladas no aquífero profundo carbonatado da massa de água subterrânea de Sines apresentam artesianismo repuxante. Mais a Sul, este limite tem direção Este-Oeste (**Figura 3**).

Presume-se a existência de uma área com cerca de 95 km², a Poente do referido alinhamento, na qual a recarga contribui para a alimentação do aquífero profundo. Na restante área da massa de água subterrânea (cerca de 155 km²), a recarga escoia exclusivamente no aquífero superior, cujo padrão regional de fluxo é controlado essencialmente através da conexão hidráulica que se estabelece com a rede hidrográfica.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	10

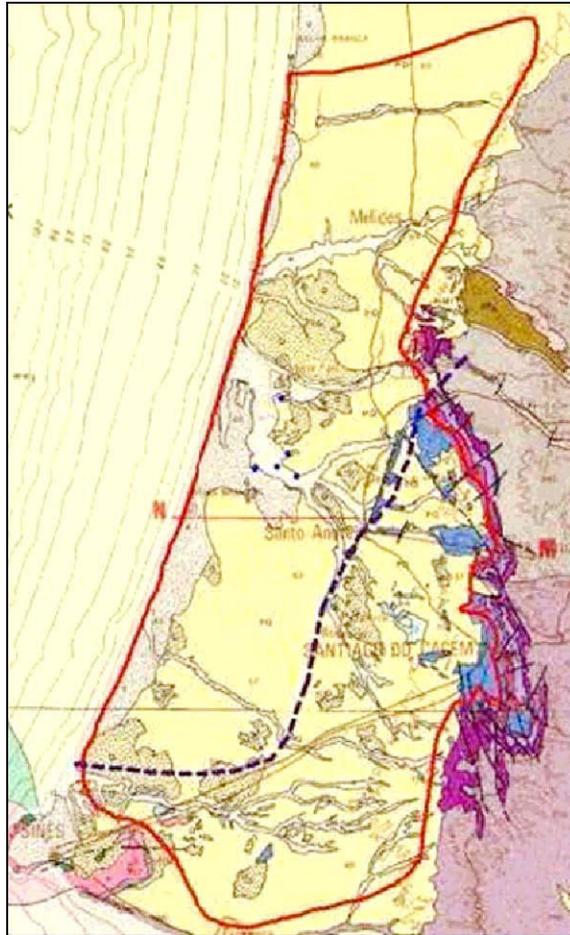


Figura 3 - Zonamento das diferentes áreas de conexão hidráulica no sistema aquífero de Sines. Fonte: <http://sites.google.com/site/jppmonteiro/>

Monteiro *et al.*, (2008) determinou as superfícies piezométricas para o aquífero superior, para dois valores de transmissividade, nas quais é possível ver-se expressos alguns exemplos da ligação entre a rede hidrográfica e o aquífero (**Figura 4**). Na mesma figura, o diagrama posicionado entre os dois mapas de isopiezas representa a separação dos domínios onde se processa a recarga do aquífero superior, que corresponde à área sombreada na região litoral Noroeste da massa de água subterrânea, de acordo com a figura anterior.



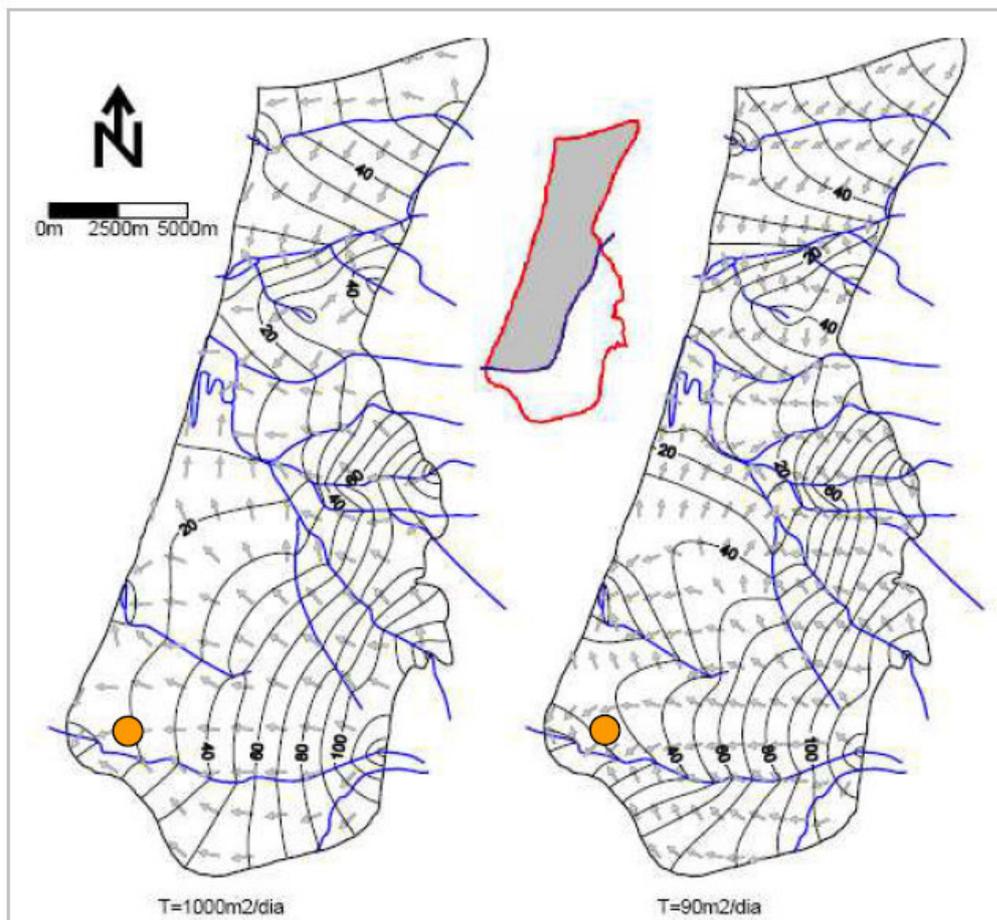
Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	11



Legenda:

● - Local do Projecto

Figura 4 - Padrão regional de fluxo para o aquífero superior (plio-miocénico) da massa de água subterrânea Sines (O32). Fonte: Monteiro *et al.*, 2008

Já as formações jurássicas suportam um sistema aquífero bastante heterogéneo, que não permite definir com rigor uma superfície piezométrica, apresentando nalguns casos níveis aquíferos com artesianismo positivo e outros que se encontram por vezes abaixo do nível do mar (Almeida *et al.*, 2000).

Na região da bacia de Santo André, os níveis piezométricos das formações jurássicas situam-se acima das formações miocénicas, havendo frequentemente artesianismo repuxante, como é o caso das captações de Porto Peixe, Galiza, Judia e Monte Velho (Lobo Ferreira *et al.*, 2000; Diamantino, 2001).



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	12

Esta última autora desenvolveu, a partir de dados de piezómetros não influenciados por captações, um conjunto de mapas que mostram uma inclinação geral da superfície piezométrica do interior para o litoral, admitindo-se que o escoamento se faça de Este para Oeste, em direção ao oceano e aproximadamente perpendicular à linha de costa.

Na **Figura 5** está representada a superfície piezométrica média na massa de água subterrânea Sines no ano hidrológico 2020/2021 e o sentido do escoamento.

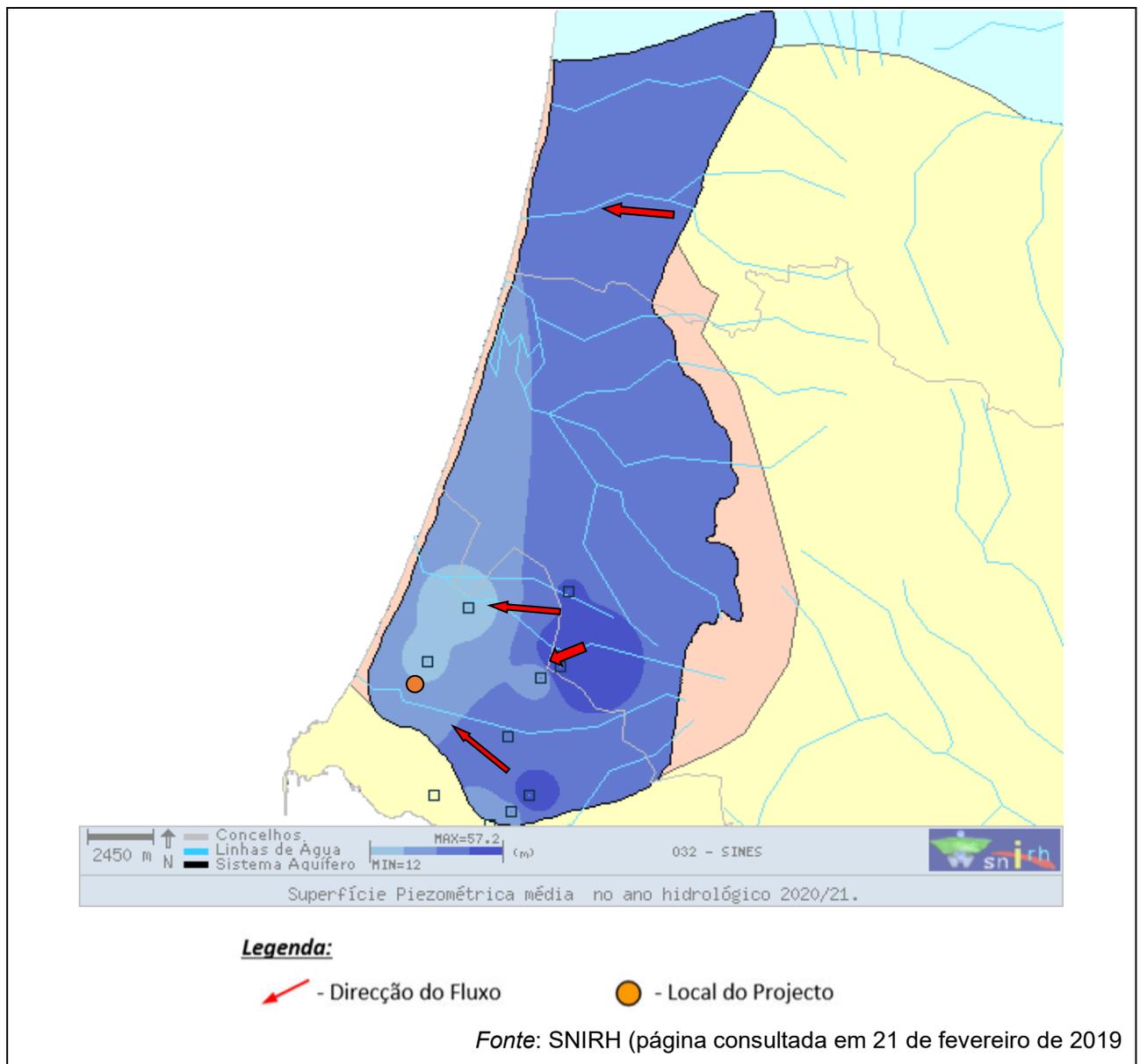


Figura 5 - Superfície piezométrica média na massa de água subterrânea Sines (O32) no ano hidrológico 2020/2021. Fonte: SNIRH, 2022.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	13

2.2.2 Condições no local de intervenção (Complexo Industrial de Sines)

Com base nos estudos realizados na área do Complexo Industrial de Sines, já anteriormente referenciados, as formações aqui ocorrentes pertencem ao Quaternário e Plio-Quaternário e recobrem as formações calco-arenosas do Terciário (Miocénico), que por sua vez assentam sobre as formações do Jurássico, o qual é atravessado por intrusões sieníticas, pertencentes ao complexo subvulcânico de Sines.

O Quaternário e Plio-Quaternário são caracterizados pela presença de areias de praia e areias de terraços fluviais, com poucas cascalheiras, com intercalações de níveis mais finos no caso do Plio-Quaternário.

O Terciário (Miocénico) é representado por uma camada de espessura variável de calcarenitos médios, com matriz arenosa e algum cimento carbonatado.

Estes depósitos encontram-se sobrejacentes ao substrato Jurássico, constituído pelos calcários, margas e conglomerados de Deixa-o-Resto. Trata-se de formações sedimentares, argilo-siltosas, localmente areno-silto-argilosos, geralmente incorporando níveis conglomeráticos.

Estas formações apresentam-se afetadas por fraturação subvertical bastante desenvolvida, precursora, em muitos casos, de zonas apresentando fenómenos de carsificação ou de brechificação. Os calcários apresentam-se atravessados por uma rede de filões alcalinos, geralmente constituídos por sienitos, muito alterados e fraturados, de idade cretácica, que lhes confere algum grau de metamorfismo, marcado pela recristalização, já citada, e pela presença de juntas de minerais ferromagnesianos e por zonas de argilas xistosas esverdeadas (Aecom, 2021).

Admite-se que em face do grau de alteração, da extensão da rede de fraturação e da possança das intrusões sieníticas estas poderão assumir, ou não, o comportamento de fronteira impermeável.

Na **Figura 6** pode apreciar-se as isopiezas para a área do Complexo Industrial, em 2009, donde se pode inferir um sentido de escoamento do fluxo subterrâneo para oeste, com pequenas variações locais para sudoeste.



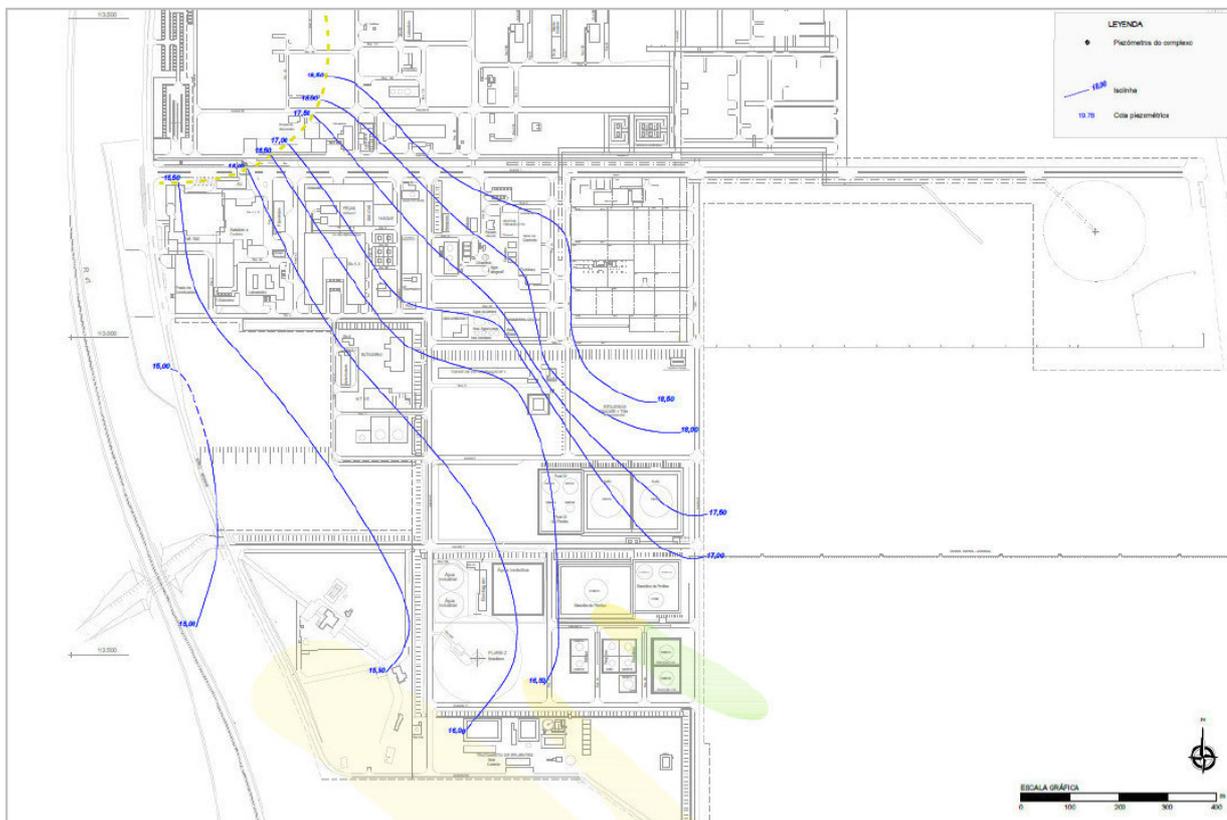
Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	14



Fonte: AECOM, 2018

Figura 6 - Superfície piezométrica na área do Complexo Industrial em 2018.

A análise dos valores do nível piezométrico obtido nos piezómetros da REPSOL de maio de 2014 a dezembro de 2021 e nos piezómetros da ZILS localizados nas imediações do perímetro da REPSOL: PZ8 de janeiro de 2015 a dezembro de 2019 e no PZ9 de janeiro de 2015 a junho de 2019, permitiu a obtenção das estatísticas que se apresentam para o aquífero superior. Apresenta-se na **Figura 7** a localização dos piezómetros que estiveram na base da análise efetuada e na **Figura 8** o diagrama de extremos e quartis referente aos piezómetros existentes no interior da REPSOL e na zona envolvente.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	15



Figura 7 – Localização dos piezómetros no interior do perímetro fabril e na envolvente da REPSOL.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	16

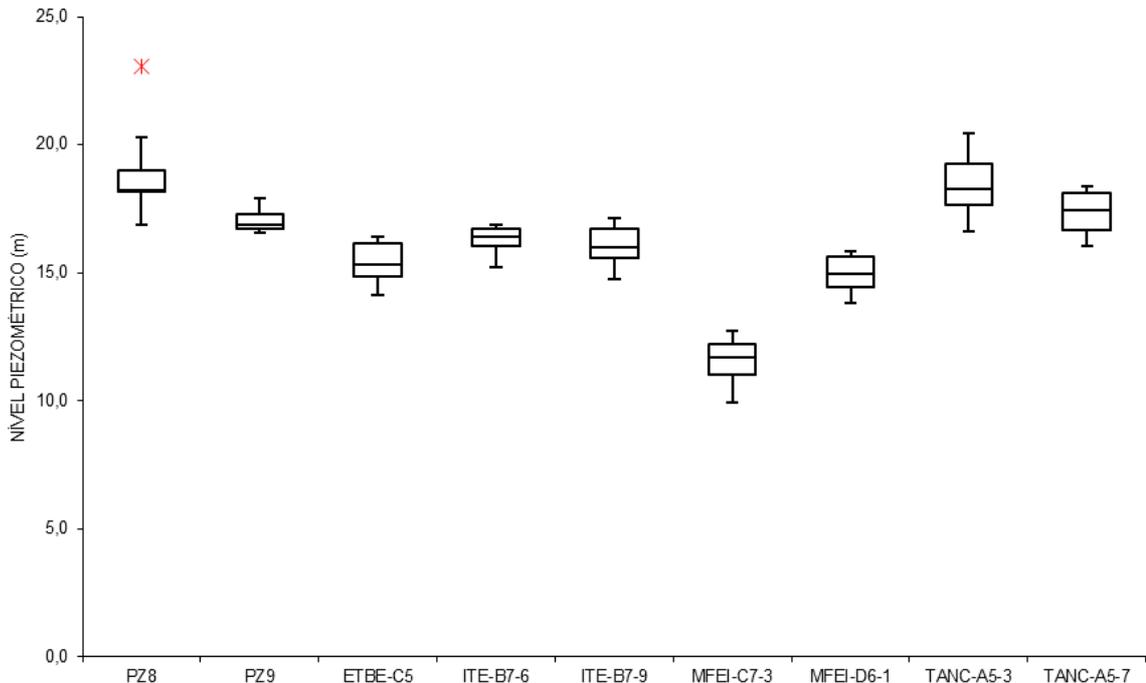


Figura 8 – Diagrama de extremos e quartis referentes aos piezómetros localizados no interior do perímetro fabril ou envolvente da REPSOL, com base nos valores de 2014 a 2021.

A profundidade do nível de água nas instalações da REPSOL e suas proximidades situa-se entre, aproximadamente, 7 e 17 metros (nas proximidades de MW3), o que denota uma zona vadosa com significado.

No **Quadro 1** indica-se o valor mínimo dos níveis observados nos piezómetros existentes no interior do perímetro fabril e na zona envolvente no período compreendido entre 2014 e 2021.

Quadro 1 – Níveis mínimos medidos nos piezómetros localizados mais próximo do local de implantação do projeto no período de 2014 a 2021.

Piezómetro	Profundidade nível freático – m (Valor mínimo obtido)
PZ8 (ZILS)	10,95
PZ9 (ZILS)	9,08
ETBE-C5	10,82
ITE-B7-6	7,24
ITE-B7-9	6,99
MFEI-C7-3	11,92
MFEI-D6-1	8,41



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	17

TANC-A5-3	6,75
TANC-A5-7	8,81
Esf-A6-1 *	11,64
Esf-A6-2 *	8,70
Esf-A6-3*	10,61
MW1*	16,44
MW3*	16,70
MW5*	13,11
MW6*	14,21
MW7*	13,69
MW8*	13,92
PROXIMIDADES TANQUE HEXENO	13,13

* Baseado numa leitura obtida em 2021.

O valor mínimo da profundidade da água estimado na zona prevista para implantação do tanque de Hexeno ronda os 13 metros.

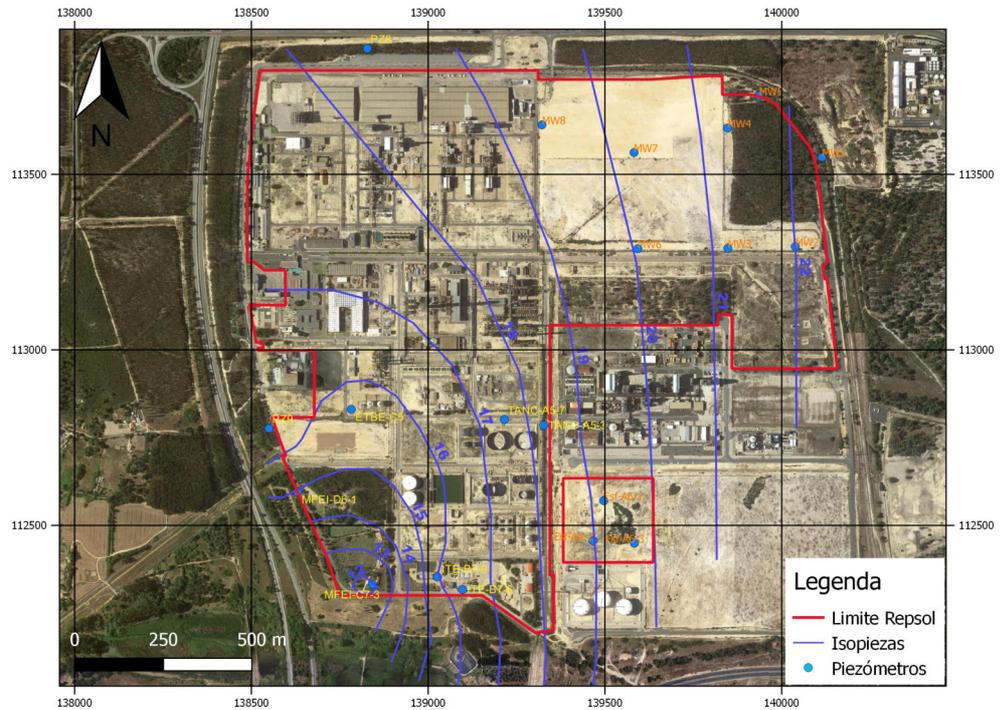
Com base nos valores médios do nível piezométrico obtido nos piezómetros da REPSOL desde 2014 até 2021 e nos piezómetros da ZILS de janeiro de 2015 a dezembro de 2020 obteve-se a superfície piezométrica regional que se apresenta na Figura 9a, para o aquífero superior (nesta análise não foram utilizados os valores dos piezómetros construídos em 2021, nas parcelas 2C1 e 2FM). Na **Figura 9b**, consta a piezometria tendo por base os valores médios medidos nos piezómetros da REPSOL em 2021 (foram utilizados os valores dos piezómetros construídos em 2021, nas parcelas 2C1 e 2FM).



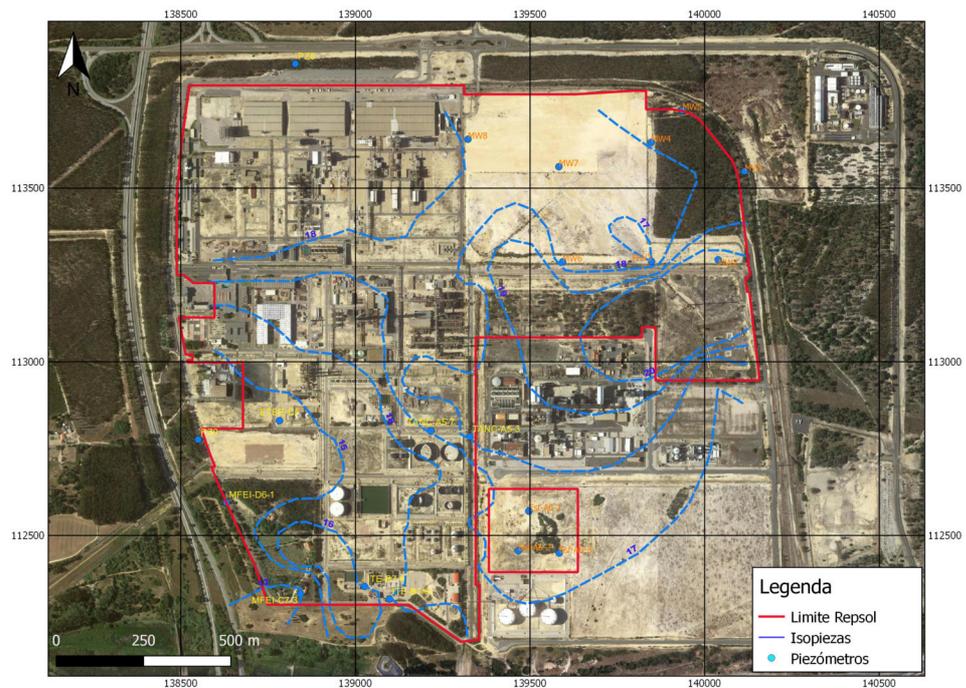
Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	18



(a)



(b)

Figura 9 - Superfície piezométrica na área do Complexo Industrial: **a)** com base nos valores de 2014 a 2021, nos piezómetros indicados no **Quadro 1**; **b)** com base nos valores piezométricos médios de 2021 de todos os piezómetros da REPSOL.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	19

Com os dados obtidos nos piezómetros representados na **Figura 9a** e correspondentes a 2014-21 constata-se um sentido de escoamento dominante E-W. No canto SW verifica-se um sentido de escoamento NE-SW. Depreende-se que o sentido NE-SW se deva ao campo de captações de Monte Feio, localizado próximo do extremo SW do complexo fabril. Contudo, considerando os valores obtidos em todos os piezómetros (Figura 10b) verifica-se uma superfície piezométrica muito irregular a qual evidencia a ocorrência de zonas de recarga e zonas de descarga do sistema aquífero.

Na **Figura 10** apresentam-se três valores do nível piezométrico para o aquífero inferior, os quais se referem aos valores médios obtidos nos piezómetros da ZILS: PZ2 a oeste, PZ15 a norte e PZ16 a este.



Figura 11 - Níveis piezométricos do aquífero inferior na área do Complexo Industrial, com base nos valores médios de maio de 2014 a dezembro de 2020 obtidos nos piezómetros da ZILS: PZ2 a sudoeste; PZ15 a norte e PZ16 a este.

No que diz respeito à piezometria do aquífero superior, constata-se um sentido geral de fluxo, na zona da área fabril da REPSOL de Este para Oeste. No interior do perímetro fabril ocorrem algumas zonas com um maior gradiente hidráulico, as quais se afastam da tendência em regime natural. A ocorrência de intrusões sieníticas nessa zona e, eventualmente, a extração de água e a recarga do aquífero, poderão justificar os desvios detetados.

Verifica-se, ainda, que os níveis piezométricos dos piezómetros PZ11, PZ12, PZ13 e PZ14 (os quais também monitorizam o aquífero superior) se afastam do padrão observado na área de intervenção, o que apoia a tese de



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	20

que a sul do Complexo Petroquímico da Repsol poderá localizar-se uma divisória de águas devido à presença dos sienitos que forçam a alteração da direção do fluxo a norte e a sul da referida divisória, por esse motivo, a superfície piezométrica apresentada na **Figura 9a**, não os contempla.

Quanto ao aquífero inferior, os pontos de observação disponíveis (PZ2, PZ15 e PZ16) permitem, com alguma incerteza, atribuir uma piezometria com sentido E-W. Presume-se que a Ribeira de Moinhos contribua, nas suas proximidades, para a mudança do sentido de fluxo.

Face às características dos dois aquíferos multicamada, reconhece-se ligação hidráulica entre o aquífero superior e o aquífero inferior, ainda que apresentando diferentes condutividades hidráulicas. As intrusões sieníticas podem atuar como barreiras hidráulicas, dependendo da sua extensão, do grau de alteração e da rede de fraturação.

A interpretação de ensaios de bombagem realizados nalguns piezómetros instalados nos terrenos da Repsol, no decorrer de estudos para avaliação do estado dos solos e das águas subterrâneas, indicou valores de condutividade hidráulica do sistema aquífero local muito variável. Observam-se zonas de maior permeabilidade nos piezómetros que intercetaram calcários muito fraturados. As zonas de menor permeabilidade coincidem com um maciço calcário mais são.

Para um dos piezómetros estimou-se uma condutividade hidráulica entre 2,03 e 5,52 m/dia, uma transmissividade entre 26,3 e 71,7 m²/dia e um coeficiente de armazenamento de 0,5.

Relevam-se, também, os parâmetros hidráulicos presentes no quadro IV.11 estimados por vários autores para os aquíferos da massa de água subterrânea de Sines (O32) e que constam da situação de referência do EIA. Os mesmos são apresentados a seguir.

Face à grande dispersividade de valores, que resultam, naturalmente das heterogeneidades geológicas e dos níveis ensaiados (que muitas vezes não representam a totalidade da espessura do aquífero), os valores representativos dos dois aquíferos serão aferidos, aquando da modelação numérica. Verificar-se-á os valores que permitirão um maior ajuste entre os valores de piezometria calculados pelo modelo e os valores de piezometria observados nos piezómetros.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	21

Quadro IV.11 – Parâmetros hidráulicos para a massa de água subterrânea Sines (O32)

Parâmetros	Aquífero detrítico plio-miocénico	Aquífero jurássico
Espessura (m)	40 ² ; 100 ⁵	100 ¹ ; 300 ³
Transmissividade (m ² /dia) ⁴	1000	44 - 1 118
Condutividade hidráulica ²	3,4x10 ⁻⁸ – 3,5x10 ⁻⁶ (m/s)	4,77 – 76,75 (m/dia)
Porosidade eficaz (%) ²	6 - 28	0 - 1
Coeficiente de armazenamento ⁵	0,0001	
Produtividade (l/s) ⁶	5 - 10	3 - 70
Caudais específicos (l/s.m) ⁷	0,07 a 1,2	0,01 – 26,6

³ Lobo Ferreira *et al.*, 2000

⁴ Nemos *et al.*, 2012

⁵ Almeida *et al.*, 2000 e Diamantino, 2001

⁶ Diamantino, 2001

⁷ Inverno *et al.*, 1993

⁸ Lavaredas e Silva, 1998

Síntese:

Na área do Complexo Industrial de Sines ocorrem formações que pertencem ao Quaternário e Plio-Quaternário (areias de praia e areias de terraços fluviais, com poucas cascalheiras, com intercalações de níveis mais finos) que por sua vez recobrem as formações calco-arenosas (calcarenitos médios, com matriz arenosa e algum cimento carbonatado) do Miocénico. Estas assentam sobre as formações do Jurássico (calcários, margas e conglomerados) afetadas por fraturação subvertical muito desenvolvida e que se encontrarão carsificados, o qual é atravessado por intrusões sieníticas muito alteradas e fraturadas, pertencentes ao complexo subvulcânico de Sines.

As formações jurássicas suportam um sistema aquífero heterogéneo que não permite definir com rigor uma superfície piezométrica. Face aos 3 piezómetros que monitorizam o aquífero profundo (carbonatado), admite-se um sentido de fluxo geral de E para W. Admite-se desvio para a Ribeira de Moinhos na zona sudoeste.

Em regime natural, os níveis piezométricos das formações jurássicas localizavam-se acima das formações terciárias. No momento atual, pressupõe-se a ausência de diferenças significativas.

O sentido geral do fluxo do aquífero superior é de Este para Oeste, com desvios para a Ribeira de Moinhos na zona terminal. Nas instalações da Repsol verificam-se desvios a este sentido de fluxo.

A profundidade do nível de água nas instalações da REPSOL situa-se entre, aproximadamente, 7 e 13 metros, o que denota uma zona vadosa com significado, rondando os 13 metros nas proximidades do tanque de Hexeno

Em virtude da grande variação de parâmetros hidrodinâmicos que caracterizam hidráulicamente os dois aquíferos estes serão aferidos aquando da modelação numérica.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	22

3. CARACTERÍSTICAS DAS CAPTAÇÕES EXISTENTES NA ENVOLVENTE DO LOCAL DO PROJETO

As captações que integram o Sistema de Abastecimento do Monte Feio (EGC1, EGC2, EGC3, EGC4 e JKC1), apresentam as características geométricas que se apresentam no **Quadro 2**, cuja localização se encontra assinalada na **Figura 11**.

Quadro 2 – Características Geométricas das Captações de Monte Feio.

Captação	Coordenadas		Z (m)	Profundidade (m)	Diâmetro do Entubamento (mm)	Ralos		Quantidade de Ralos (m)
	M (m)	P (m)				De (m)	A (m)	
EGC1	138434,13	112383,04	18	110,00	263	-	-	-
EGC2	138447,38	112370,08	18	110,00	263	-	-	-
EGC3	138391,69	112373,72	17	110,00	263	74,00	110,00	20
EGC4	138359,57	112444,16	21	110,00	263	74,00	110,00	20
JKC1	138849,73	111852,29	25	181,00	263	41,00	134,00	31

Em relatórios anteriores constam para as captações de Monte Feio os seguintes caudais anuais:

Quadro 3 – Caudais anuais das Captações de Monte Feio.

Captação	Q				
	(m³/ano)	(m³/dia)	(m³/h)	(L/s)	(m³/s)
EGC1	274728	752,679452	31,36	8,71	0,0087
EGC2	380392	1042,16986	43,42	12,06	0,0121
EGC3	274728	752,679452	31,36	8,71	0,0087
EGC4	-	-	-	-	-
JKC1	338126	926,372603	38,60	10,72	0,0107

Não se dispõem de dados atualizados relativos às características hidrodinâmicas nem do histórico de exploração das referidas captações.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	23

Admite-se, contudo, consumos nos meses de verão mais elevados, o que não é de descartar face ao facto de captações existentes na base de dados da GRANDEWATER, sitas na mesma área, possuírem caudais de exploração recomendados da ordem dos 20 aos 50 L/s.

Para a captação ECG4 foi admitido que o caudal de exploração se aproxima do das outras captações. O cálculo do caudal médio das outras captações forneceu um valor de aproximadamente 40 m³/hora.



Figura 12 - Localização das captações do campo de Monte Feio (EGC1, EGC2, EGC3, EGC4 e JKC1).



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	24

Síntese:

Considera-se um caudal de exploração para as captações de Monte Feio de:

Captação	Q					Caudal a considerar
	(m ³ /ano)	(m ³ /dia)	(m ³ /h)	(L/s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
EGC1	274728	752,7	31,36	8,71	0,0087	0,0174
EGC2	380392	1042,2	43,42	12,06	0,0121	0,0241
EGC3	274728	752,7	31,36	8,71	0,0087	0,0174
EGC4	350400	960,0	40,00	11,11	0,0111	0,0222
JKC1	338126	926,4	38,60	10,72	0,0107	0,0214

O caudal a considerar foi calculado, admitindo-se que nos meses de verão os consumos são superiores e, por esse, motivo, será efetuada a modelação com valores mais conservativos (o dobro).



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2019/12/13/01	2019-12-13	25

4. MODELO CONCEPTUAL

4.1 Modelo Conceptual do Sistema Aquífero

O modelo conceptual aceite para o sistema aquífero onde se encontra a Unidade da Repsol de Sines inclui a existência de dois reservatórios multicamada: aquífero superior, livre detrítico e aquífero inferior e semiconfinado a confinado carbonatado. O aquífero superior é suportado pelas litologias mais recentes, com uma espessura variável. Dada a proximidade da unidade dos afloramentos jurássicos e sieníticos, há locais onde a espessura pode ser zero ou próximo de zero.

O aquífero superior é constituído por biocalcarenitos, arenitos finos miocénicos e areias com seixos da planície litoral plioplístocénica.

O aquífero profundo é suportado por formações carbonatadas jurássicas, cujas espessuras somam mais de 300 m, estando estas em conexão hidráulica com as formações do aquífero superior.

Note-se que no setor Oeste e Norte (**Figura 12**) deste Sistema aquífero os dois reservatórios encontram-se separados, em parte importante da sua extensão, por depósitos argilosos e margosos e o aquífero superior pode atingir várias dezenas de metros de espessura, o que já não acontece na zona de intervenção onde ambos os reservatórios estão presentes e em conexão hidráulica.

É, ainda, reconhecido um terceiro setor, existente próximo do limite sul da zona de intervenção, onde as rochas carbonatadas que suportam o sistema aquífero profundo afloram e são atravessadas por intrusões sieníticas alteradas e fraturadas ou a cobertura detrítica é descontínua ou pouco importante.

Define-se assim um sistema multicamada, com um aquífero superior detrítico, predominantemente livre com setores em que se pode verificar, localmente, algum grau de confinamento ou semiconfinamento e um aquífero carbonatado profundo, semiconfinado a confinado em parte importante da sua extensão.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	26

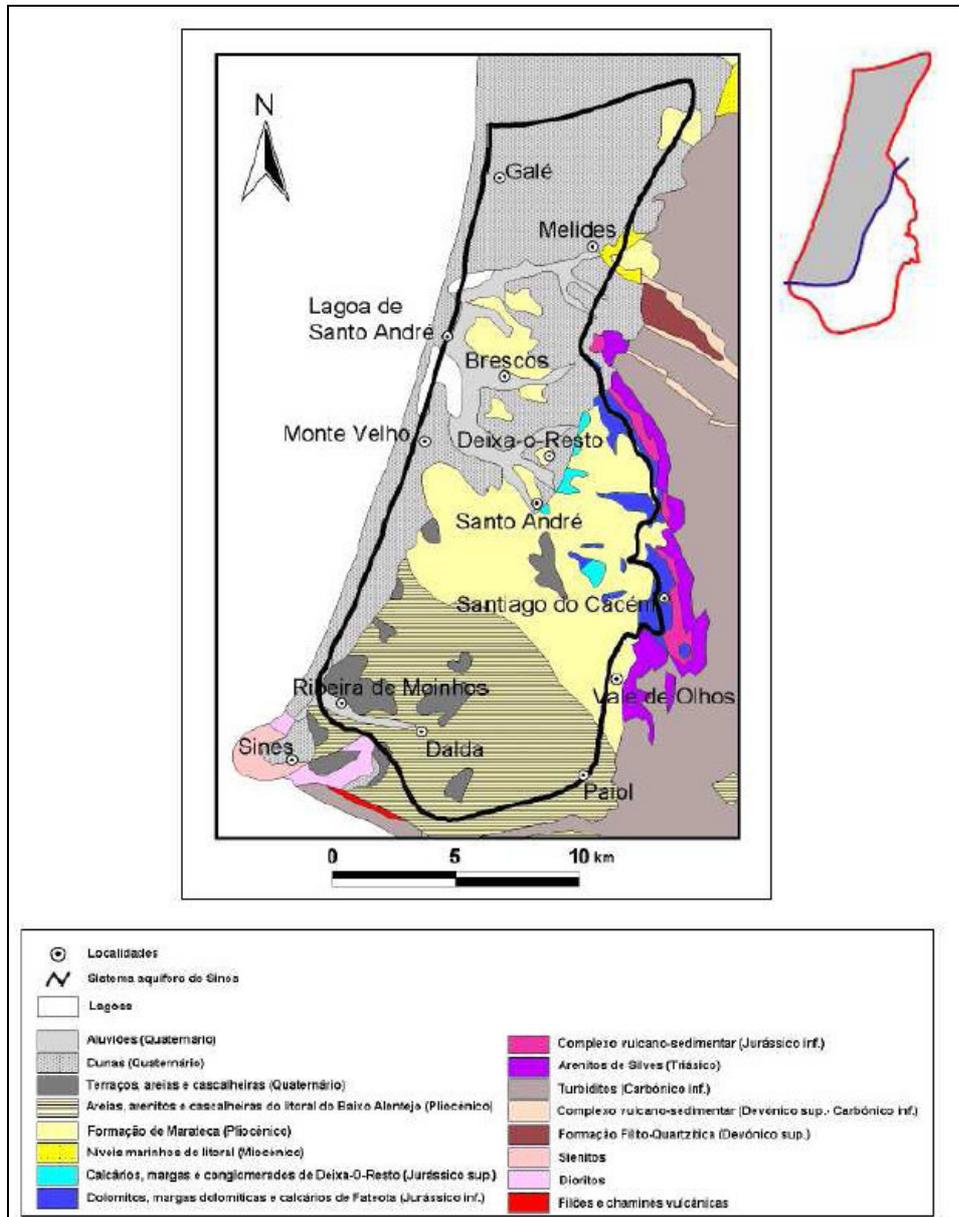


Figura 13 - Litologias que integram o sistema aquífero de Sines e área circundante, de acordo com Almeida et al. (2000). No canto superior direito representa-se o alinhamento que separa a área de ocorrência de artesianismo repuxante que coincide parcialmente com uma falha regional no interior do aquífero (adaptado de GGT).

Tendo por base a informação litológica dos piezómetros da Zona Industrial e Logística de Sines (ZILs), foi obtida a configuração aproximada, da base do aquífero superior e a da sua espessura (Figuras 13 e 14).



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	27

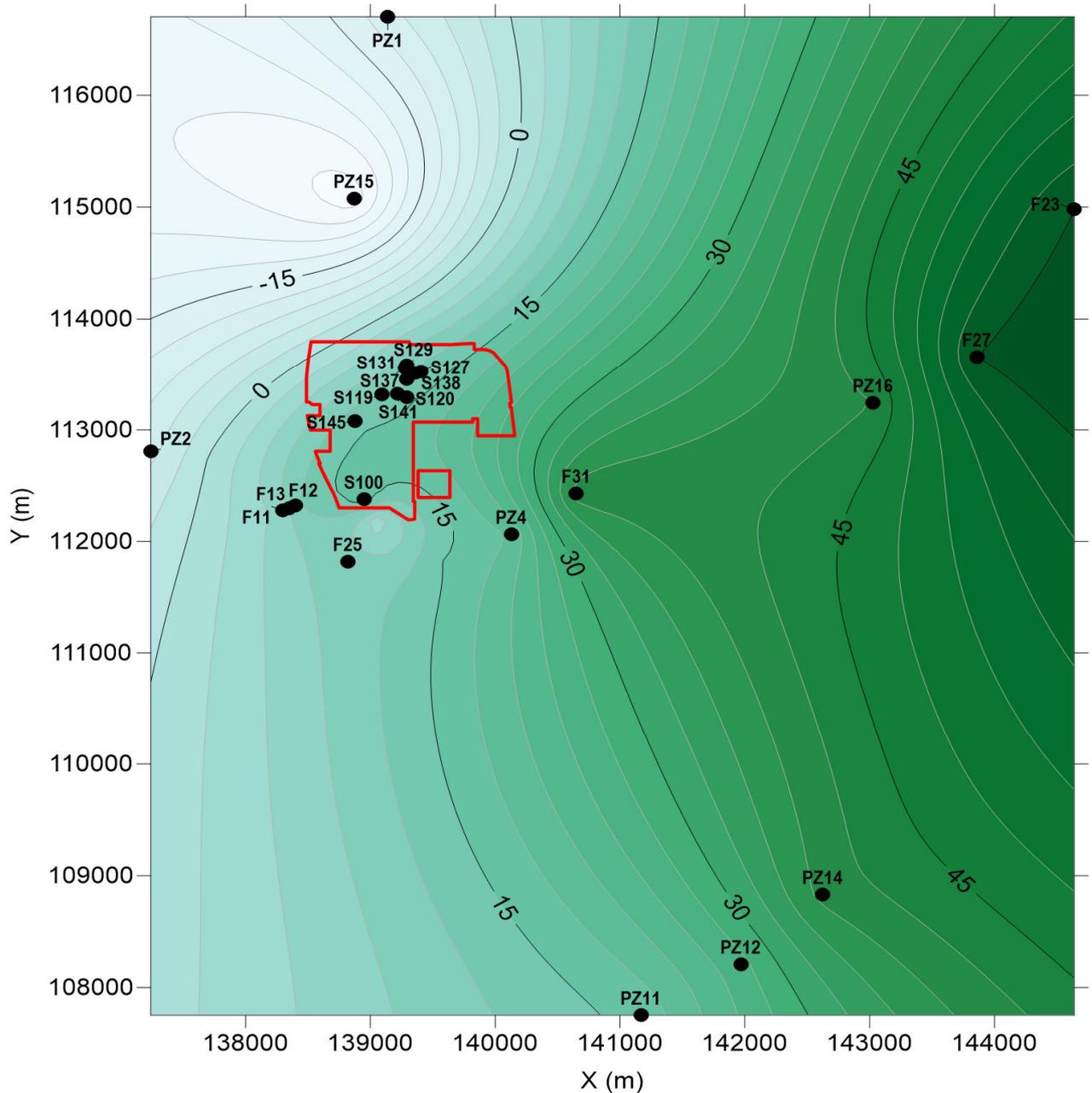


Figura 14 – Cota da base do aquífero superior.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	28

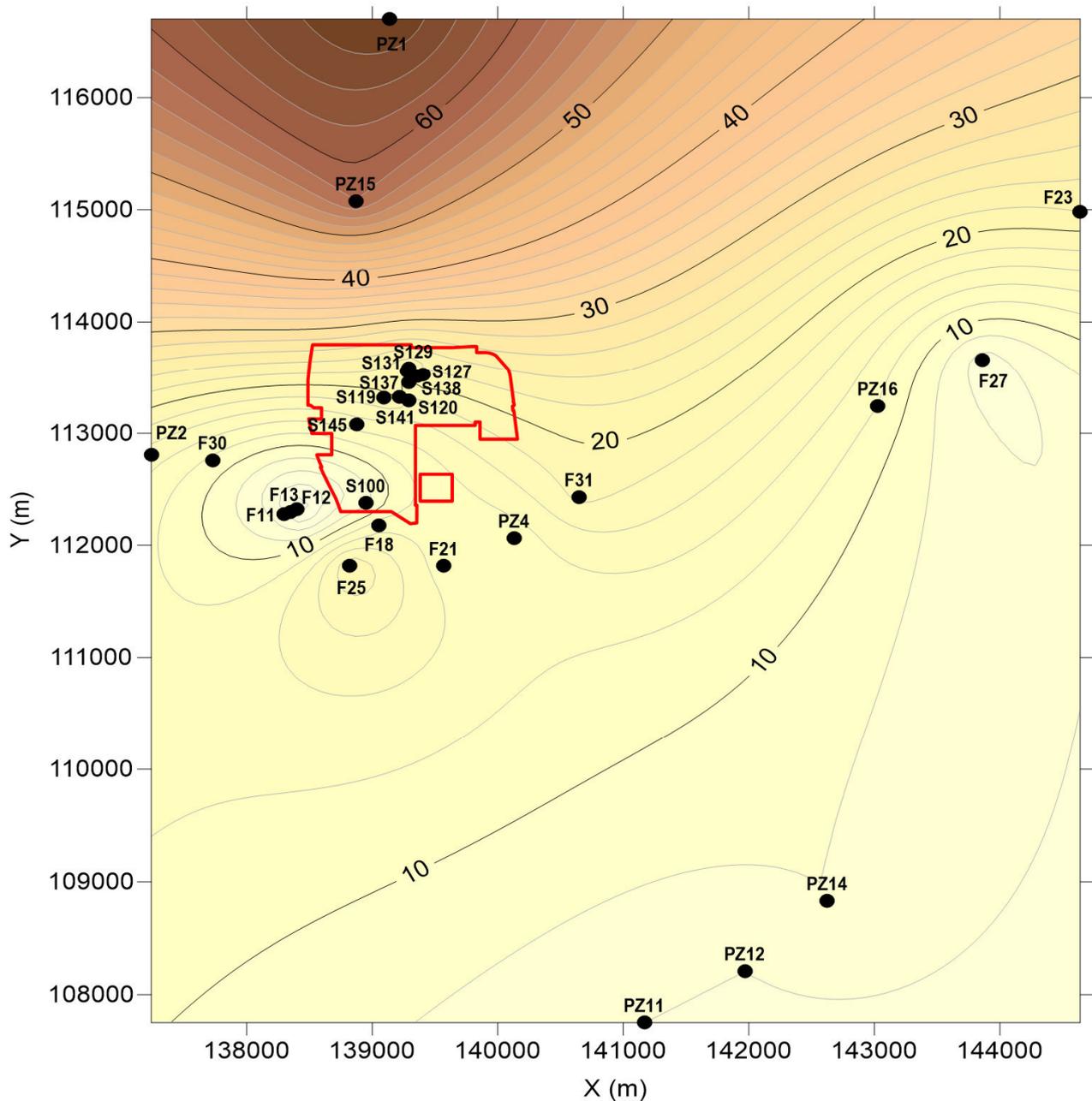


Figura 15 – Espessura em metros do aquífero superior.

A Figura 14 evidencia uma espessura do aquífero superior mais baixa no setor sul, onde assenta a unidade industrial da REPSOL e mais profundo no setor norte, pelo que se admite um abatimento do bloco a norte.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	29

Na zona do Complexo Industrial da REPSOL, constata-se uma espessura média da ordem dos 20 metros, observando-se a espessura mais baixa no extremo Sul.

No que diz respeito ao aquífero inferior, embora se reconheça que nalguns locais este atinja uma espessura de cerca de três centenas de metros, nas captações municipais de Monte Feio, as formações produtivas atingem somente cerca de 100 a 134 metros de espessura. Abaixo dessa profundidade constata-se a existência de formações com uma fração margosa mais pronunciada e que funcionam como aquitardo.

Um corte geológico esquemático do setor sul do sistema aquífero de Sines é apresentado na **Figura 15** onde se ilustra a conexão hidráulica entre o aquífero superior detrítico livre e o aquífero carbonatado profundo na área de implantação da ZILS.

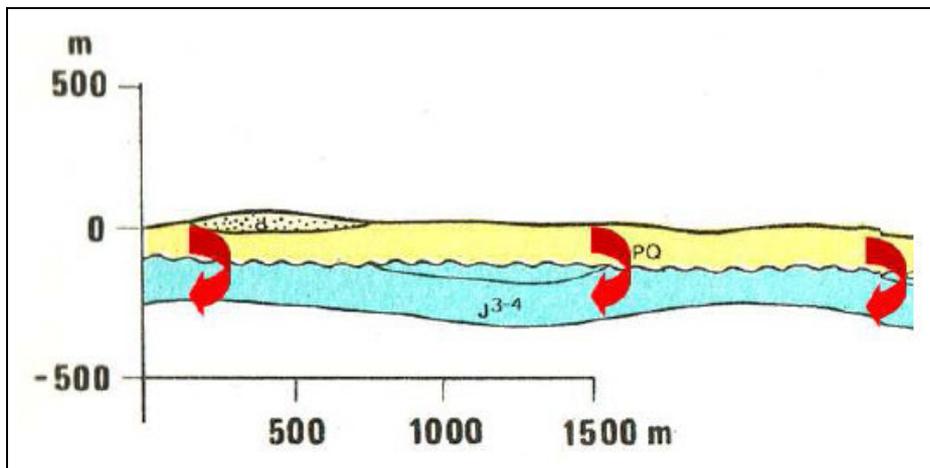


Figura 16 - Corte geológico ilustrando a conexão hidráulica entre o aquífero superior detrítico livre e o aquífero carbonatado profundo no sector sul do sistema aquífero de Sines na área de implantação da ZILS. As setas representam a possibilidade de se verificar transferência de água e de contaminantes do aquífero superior para o inferior neste sector do aquífero, ao contrário do que acontece mais para Norte onde os dois reservatórios são independentes.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	30

4.2 Modelo de Fluxo e Transporte de Massa Conceptual

A análise da informação disponível permitiu o reconhecimento de dois aquíferos multicamada em conexão hidráulica, com características hidráulicas distintas.

Admite-se descarga do aquífero inferior e superior para o troço final da Ribeira de Moinhos (troço de orientação aproximada Este-Oeste) e para o oceano (aquífero superior), a norte da Ribeira de Moinhos.

Os dados da piezometria inicial de alguns dos furos construídos nos anos 70, revelam que, em regime natural, o aquífero profundo apresentava um potencial hidráulico superior ao potencial do aquífero superior detrítico.

A exploração do aquífero profundo carbonatado terá provocado uma redução do seu potencial hidráulico. Admite-se que os rebaixamentos provocados pela extração, tenham provocado um gradiente descendente, do aquífero superior para o aquífero inferior, o que terá, portanto, provocado a inversão do sentido do gradiente que ocorreria em regime natural.

Ainda que possa haver uma camada de menor permeabilidade entre o aquífero superior e o aquífero inferior, a potencial ocorrência de mau isolamento no espaço anular dos furos em funcionamento poderá permitir que a água do aquífero superior (com ou sem poluentes) possa atingir a zona dos ralos.

Reconhece-se que o sentido de fluxo seja condicionado pelos limites físicos do sistema aquífero de Sines, pela eventual ocorrência de formações de permeabilidade mais reduzida a sul do Complexo Industrial da REPSOL e pela existência de bombagens efetuadas por diferentes utilizadores, nomeadamente a Refinaria de Sines (GALP) e a Câmara Municipal de Sines. Estas bombagens alterarão o padrão regional de escoamento, na parte sul da área de intervenção, principalmente, do sistema do aquífero carbonatado, dado que é neste que se encontrarão os tubos ralos das captações existentes.

A existência de bombagens, influencia, igualmente o trajeto seguido por substâncias químicas que, eventualmente, sejam introduzidas no sistema. Quanto mais a sul do Complexo Industrial ocorrerem eventuais derrames de substâncias, maior será a probabilidade de estas poderem vir a ser capturadas pelos furos de bombagem referidos.

Nas simulações levadas a efeito pela equipa de técnicos da Universidade do Algarve e da Universidade de Évora identificaram-se as áreas com maior probabilidade de serem afetadas pela movimentação de contaminantes que sejam conduzidos para a zona saturada, quer no sistema local de escoamento associado ao aquífero detrítico superior, quer



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	31

ao sistema regional de escoamento profundo predominantemente constituído por rochas carbonatadas, onde se comprova que os furos do sistema de captação de Monte Feio se localizam na zona de passagem das linhas de escoamento e transporte advectivo de partículas (poluição hipotética) com origem a montante na ZILS (**Figura 16**).

Neste caso estamos perante uma resposta do sistema simulando o seu funcionamento em regime natural, ou seja, com total ausência de bombeamento nos furos existentes na zona: captações da Câmara Municipal de Sines e captações da Refinaria da GALP.

De acordo com os dados de piezometria inicial, em regime natural, encontrava-se estabelecido um transporte de massa (poluição), através do aquífero superior que não atingia o aquífero profundo, mercê do seu potencial hidráulico mais elevado. Pelo facto das captações existentes conhecidas, captarem no aquífero profundo carbonatado, o que, muito provavelmente, incrementou a ocorrência de uma inversão relativa do potencial hidráulico entre o aquífero superior e o aquífero inferior, terá deixado de ocorrer uma proteção natural do aquífero inferior, pelo que poderão, eventualmente, haver poluentes que alcancem as captações, caso a posição destas, o regime de exploração e as características do poluente sejam favoráveis.

A exploração do aquífero inferior pelas diversas captações também poderá vir a aumentar o gradiente hidráulico, o que faria aumentar a velocidade de propagação do(s) poluente(s) e reduzir o tempo útil para que pudesse ocorrer uma bioatenuação natural e, por outro lado, as transferências do aquífero detrítico de cobertura (aquífero superior) para o aquífero carbonatado seriam mais rápidas.

Localmente, o fluxo subterrâneo poderá, ainda, ser influenciado pela presença de corpos sieníticos com comportamento de barreira ao escoamento regional natural instalado, embora se reconheça, que as intrusões sieníticas se encontrem muito fraturadas e alteradas.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	32

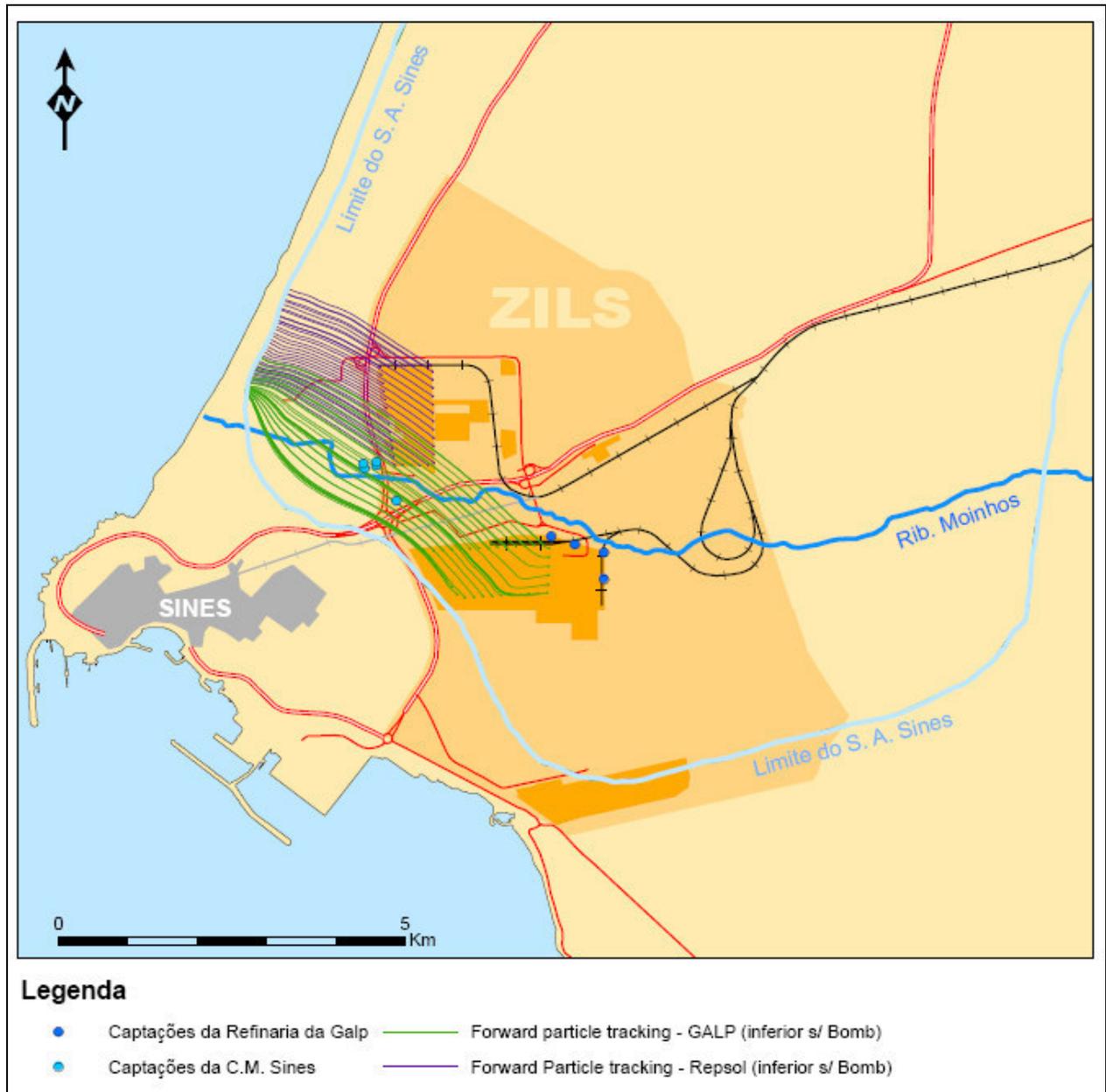


Figura 17 - Configuração das zonas de destino de poluentes hipoteticamente conduzidos para a zona saturada em duas áreas do sistema regional de escoamento inferior do sistema aquífero de Sines em regime natural (sem a influência de bombagens), delineadas utilizando o método de “forward advective particle tracking”, tendo em conta o campo de escoamento calculado pelo modelo em elementos finitos utilizado.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	33

5. MODELAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ACIDENTE

A modelação do impacto dos cenários de acidente foi efetuada através do módulo de transporte de massa MT3DMS (Zheng, et al., 1999). O MT3DMS é um modelo modular de transporte de multiespécies, tridimensional, que permite a simulação dos processos de transporte de solutos.

Dado que o transporte de poluentes e a sua evolução no solo e subsolo é determinado por três comportamentos do aquífero: hidrodinâmico, hidroquímico e hidrobiológico, a simulação do transporte de massa implicou, em primeiro lugar, a construção do modelo de fluxo MODFLOW a partir do modelo conceptual apresentado no capítulo anterior. Para o transporte de massa foram considerados fenómenos de advecção, mecanismos de dispersão, adsorção e decaimento associado à biodegradação natural.

Uma modelação matemática com credibilidade está intimamente dependente de um modelo conceptual que traduza o mais fielmente possível as condições reais, o qual depende da quantidade e qualidade dos dados disponíveis.

A utilização dos dados quantitativos referentes aos piezómetros da REPSOL e da ZILS foi, pois, muito importante na construção e calibração do modelo de fluxo.

Os valores de entrada necessários para a construção do modelo e as condições de fronteira admitidas para o Sistema Aquífero de Sines encontram-se resumidos no **Quadro 4**, tendo sido assumidas as condições mais conservativas de modo a poder simular-se a situação mais gravosa.

Quadro 4 – Valores de entrada do modelo numérico.

	1ª camada	2ª camada
Nº de Colunas do Modelo	100	100
Nº de Linhas do Modelo	80	80
Dimensões das Células	50m x 50m	50m x 50m
Aquífero	Superior	Inferior
Conductividade Hidráulica Horizontal (m/s)	$8,88 \times 10^{-4}$	$5,79 \times 10^{-5}$



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	34

	1ª camada	2ª camada	
Condutividade Hidráulica Vertical (m/s)	8,88 x 10 ⁻⁵	5,79 x 10 ⁻⁶	
Recarga (mm/ano)	250	-	
Porosidade eficaz (%)	20	5	
Cota topo aquífero (m)	+30	-10	
Cota base do aquífero (m)	-10	-110	
Fronteiras a potencial constante	Equipotenciais localizadas a W e a E da área modelada		
Caudal furos em bombagem	Captação	Q	Q
		(L/s)	(m³/s)
	EGC1	17,4231	0,0174
	EGC2	24,1243	0,0241
	EGC3	17,4231	0,0174
	EGC4	22,2222	0,0222
JKC1	21,4438	0,0214	

Na simulação efetuada foram admitidas as condições que não inviabilizam a progressão dos contaminantes para jusante em caso de derrame, pelo que se considerou a inexistência de quaisquer sistemas de remediação hidráulica eventualmente já existentes nas instalações da REPSOL POLÍMEROS.

É de notar que alguns dos valores mencionados no **Quadro 4**, nomeadamente os valores de condutividade hidráulica, resultaram da calibração do modelo de fluxo. Os valores utilizados estão em sintonia com os valores utilizados por Monteiro et al., 2008, na modelação regional de fluxo para o aquífero superior (plio-miocénico) da massa de água subterrânea Sines (O32) (**Figura 4**).

No local dos afloramentos das formações jurássicas e dos sienitos, foi considerada uma condutividade hidráulica de 5,79 x 10⁻⁵ m/s.

Na **Figura 17** apresenta-se a malha e as fronteiras do modelo numérico. A piezometria em regime sem bombagem encontra-se expressa na **Figura 18**. Para a localização das fronteiras e distribuição dos parâmetros hidráulicos médios assumidos para o modelo, em particular a condutividade hidráulica, levou-se em linha de conta (1) o tipo de formações que ocorrem na área do modelo, (2) o limite físico do sistema aquífero e (3) o traçado da Ribeira de Moinhos. A



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	35

ocorrência de formações de menor condutividade, como os sienitos que ocorrem a sul e sudoeste do perímetro Fabril da REPSOL, é responsável pela configuração da piezometria na zona sudoeste da área modelada, como se pode constatar na **Figura 18**.

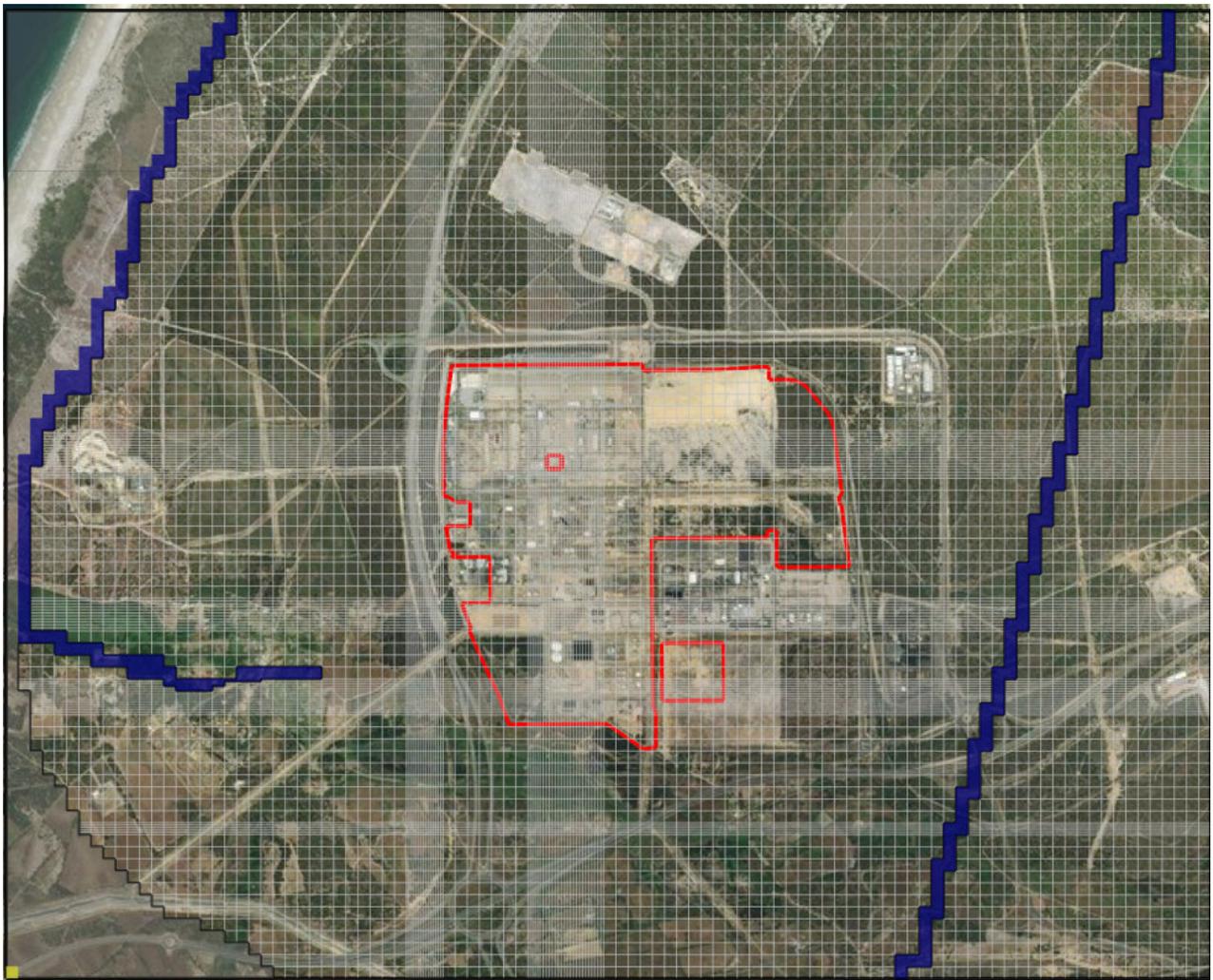


Figura 18 – Malha e fronteiras do modelo numérico.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	36

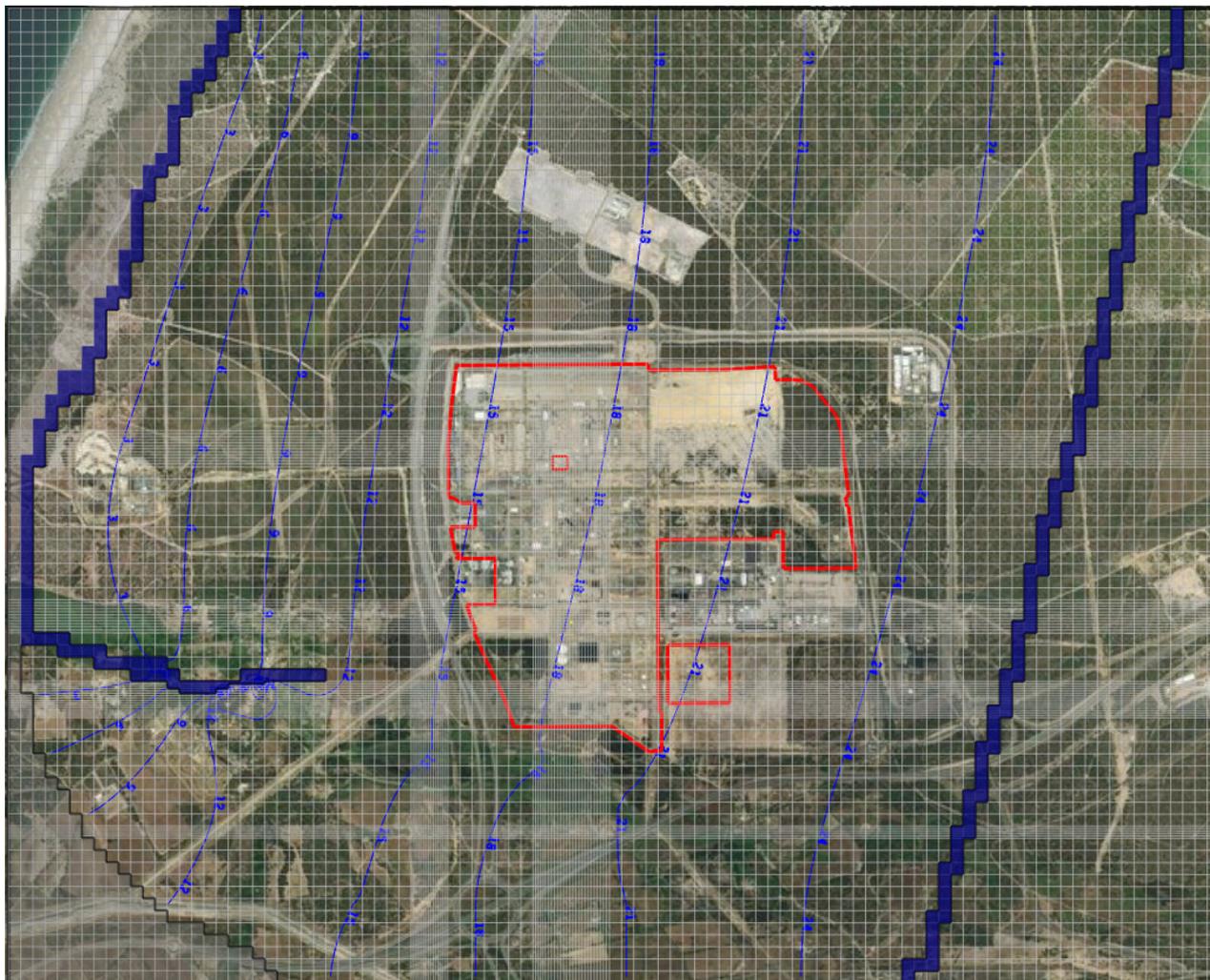


Figura 19 – Configuração da piezometria sem bombagem na zona de estudo e nas condições de fronteira assumidas no Quadro 4.

5.1. SIMULAÇÕES DE CENÁRIOS DE DERRAMES

Com o objetivo de avaliar o potencial impacto do Projeto ALBA sobre a massa de água subterrânea e sobre as captações de abastecimento de água para consumo humano resultante de eventuais derrames nos locais da armazenagem de Hexeno, foram efetuadas simulações para dois cenários de derrames, em pontos assinalados na **Figura 19**, cujas características principais constam no **Quadro 5**. Para avaliar a propagação da pluma de contaminação posicionou-se, na simulação de cada cenário, um conjunto de pontos de controlo (pontos de observação).



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	37

Quadro 5 – Cenários de acidentes objeto de simulação numérica.

Cenário	Descrição
1	Rotura de 10 mm do tanque de Hexeno sobre bacia de contenção e contaminação do solo e das águas subterrâneas devido a rotura na tela de impermeabilização com um volume de derrame de 10 m ³ (concentração de hidrocarbonetos – 678 g/L);
2	Rotura na linha de entrada/saída do tanque Hexeno durante 10 minutos, sem atuar o sistema de deteção de fugas, com o derrame de 6 m ³ (concentração de hidrocarbonetos – 678 g/l); A linha de entrada tem um diâmetro de 3” e a linha de saída um diâmetro de 2”.

As simulações foram feitas pelo método do percurso aleatório (“random walk”). Entre outras considerações, neste método de cálculo, a taxa de contaminação é repartida por partículas localizadas inicialmente nas células que integram os pontos dos derrames acidentais em cada cenário (**Figura 19**).

As simulações foram feitas em regime transitório, com injeção instantânea do contaminante. Dessa forma consideraram-se nos cenários prováveis simulados os dados de entrada expostos no **Quadro 6**. No **Quadro 7** apresentam-se as concentrações consideradas na célula de entrada em cada cenário.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	38

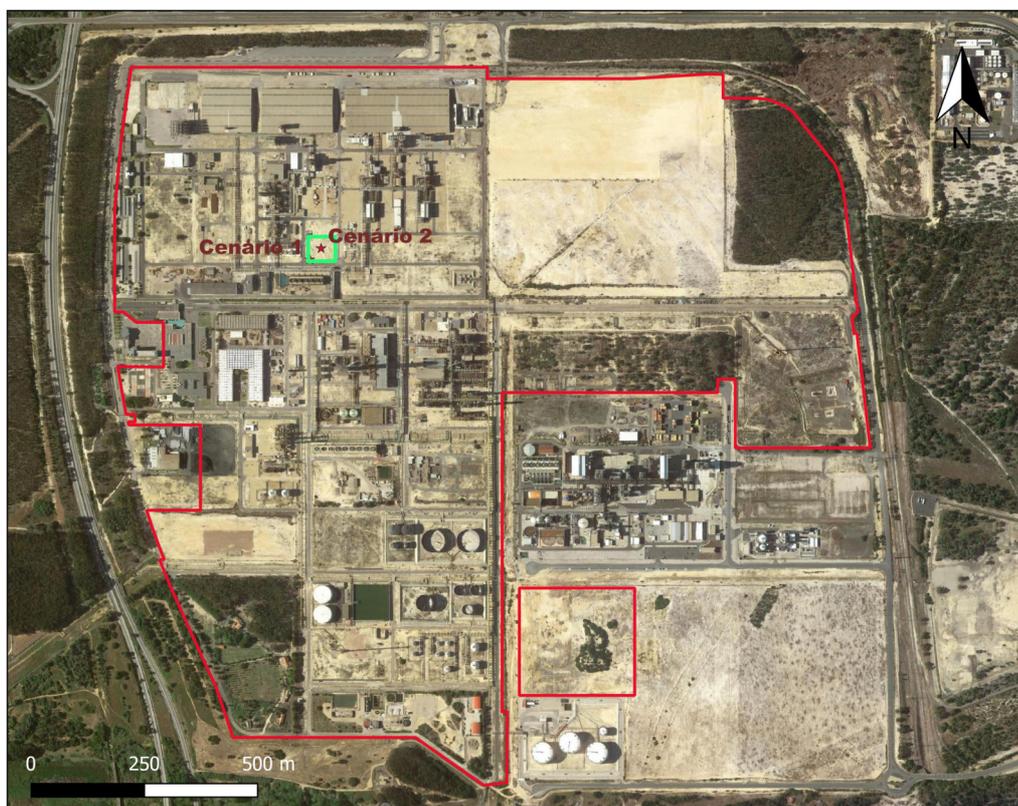


Figura 20 – Localização das ocorrências associadas aos dois cenários simulados.

Quadro 6 – Parâmetros considerados no modelo de transporte de massa.

Cenário	Parâmetro	Descrição
1	DESCRIÇÃO	Rotura de 10 mm do tanque de Hexeno sobre a bacia de contenção e contaminação do solo e das águas subterrâneas devido a rotura na tela de impermeabilização com um volume de derrame de 10 m ³ (concentração de hidrocarbonetos – 678 g/L)
	Concentração inicial no aquífero	0 g/L
	Concentração de Hidrocarbonetos	678 g/L (678000 g/m ³) Numa célula de dimensões 12,5 m x 12,5 m x 40 m, com uma porosidade de 20%, após entrarem 678000 g/m ³ x 10m ³ de soluto a concentração resultante é de 5424 g/m ³
	Dispersividade horizontal	10 m
	Dispersividade vertical	1 m
	Taxa de decaimento	6,9 x 10 ⁻⁸ s ⁻¹
	foc - fração de carbono orgânico no solo	0,001



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	39

Cenário	Parâmetro	Descrição	
	koc		Hexeno (Butil etileno)
		cm ³ /g	1660
		m ³ /g	0,00166
	Coeficiente de distribuição kd (kd=foc.koc)		Hexeno (Butil etileno)
		cm ³ /g	1,66
		m ³ /g	1,66 x 10 ⁻⁶
Densidade aparente do solo (bulk density)	1,4 g/cm ³ = 1400 kg/m ³ = 1400000 g/m ³		
2	DESCRIÇÃO	Rotura na linha de entrada/saída do tanque de Hexeno durante 10 minutos, sem atuar o sistema de deteção de fugas, com o derrame de 6 m ³ (concentração de hidrocarbonetos – 678 g/l); A linha de entrada tem um diâmetro de 10" e a linha de saída um diâmetro de 2".	
	Concentração inicial no aquífero	0 g/L	
	Concentração de Hidrocarbonetos	678 g/L (678000 g/m ³) Numa célula de dimensões 12,5 m x 12,5 m x 40 m, com uma porosidade de 20%, após entrarem 678000 g/m ³ x 6m ³ de soluto a concentração resultante é de 3254,4 g/m ³	
	Dispersividade horizontal	10m	
	Dispersividade vertical	1m	
	Taxa de decaimento	6,9 x 10 ⁻⁸ s ⁻¹	
	foc - fração de carbono orgânico no solo	0,001	
	koc		Hexeno (Butil etileno)
		cm ³ /g	1660
		m ³ /g	0,00166
	Coeficiente de distribuição kd (kd=foc.koc)		Hexeno (Butil etileno)
		cm ³ /g	1,66
m ³ /g		1,66 x 10 ⁻⁶	
Densidade aparente do solo (bulk density)	1,4 g/cm ³ = 1400 kg/m ³ = 1400000 g/m ³		

Quadro 7 – Concentrações consideradas na célula de entrada de cada cenário.

Cenários	Concentração do contaminante (g/L)	Concentração do contaminante (g/m ³)	Volume instantâneo de entrada (m ³)	Volume da célula de entrada (m ³)	Volume de água na célula de entrada (m ³)	Concentração do contaminante na célula de entrada (g/m ³)
1	678	678000	10	6250	1250	5424
2	678	678000	6	6250	1250	3254,4



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	40

No sentido de se averiguar o trajeto e a velocidade de propagação de partículas que apresentem o mesmo comportamento da água, assumiu-se um transporte **sem retardamento**, e foram inseridas partículas nos pontos assinalados na **Figura 20**. Verifica-se que, as partículas percorrem cerca de 240 metros em 100 dias.

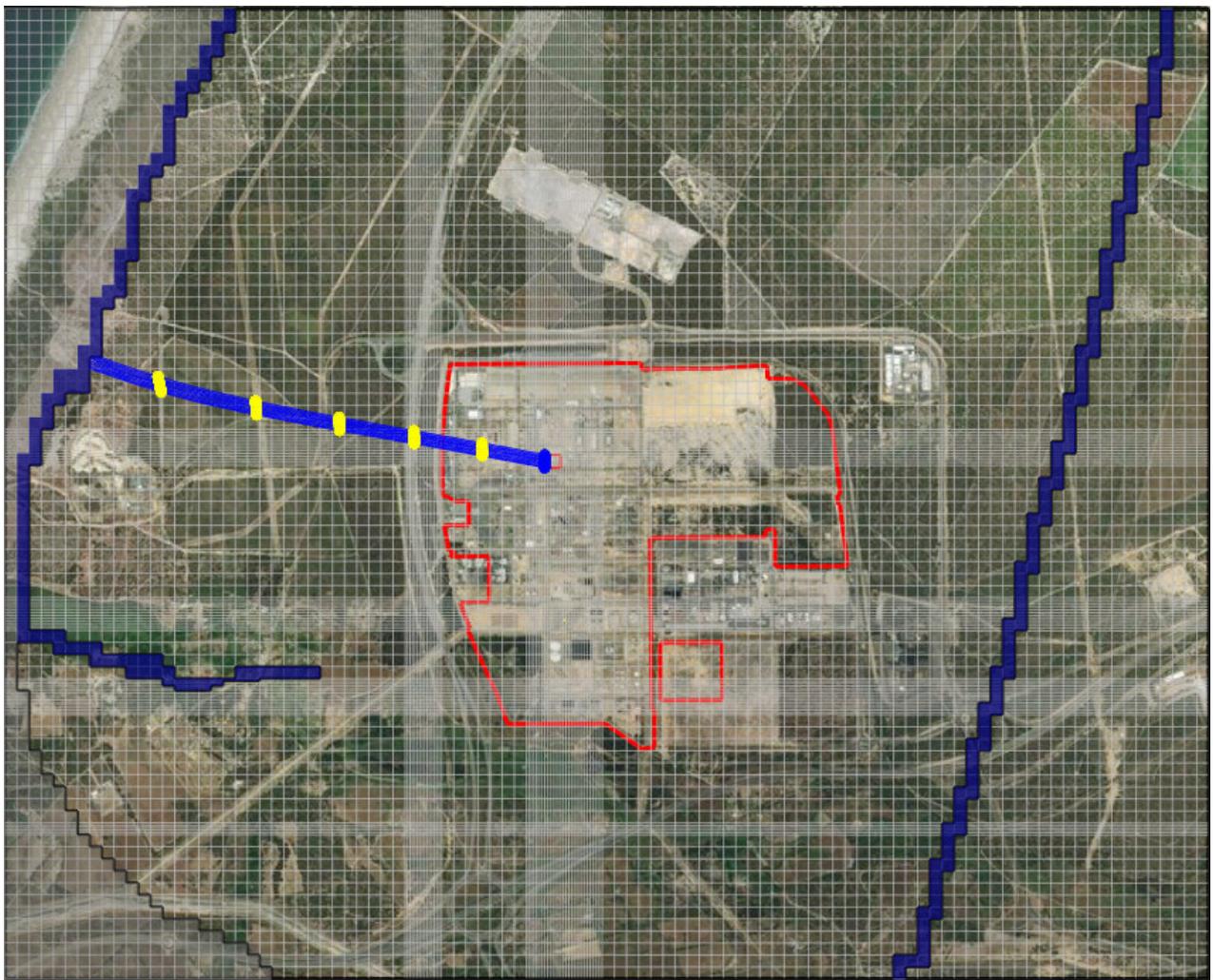


Figura 21 – Simulação do trajeto de partículas com o mesmo comportamento da água, introduzidas junto do tanque de Hexeno, sem bombagem. O espaço entre as marcas amarelas corresponde ao trajeto das partículas em 100 dias.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	41

5.1.1. CENÁRIO 1

Para o Cenário 1 considerou-se a hipótese de ocorrência de uma rotura de 10 mm do tanque de Hexeno sobre a bacia de contenção originando a fuga de 10 m³ de Hexeno com uma concentração de hidrocarbonetos de 678 g/L, no canto sudoeste do tanque de Hexeno, com observação em 6 locais, em que é possível acompanhar evolução do contaminante ao longo do tempo (**Figura 21**).

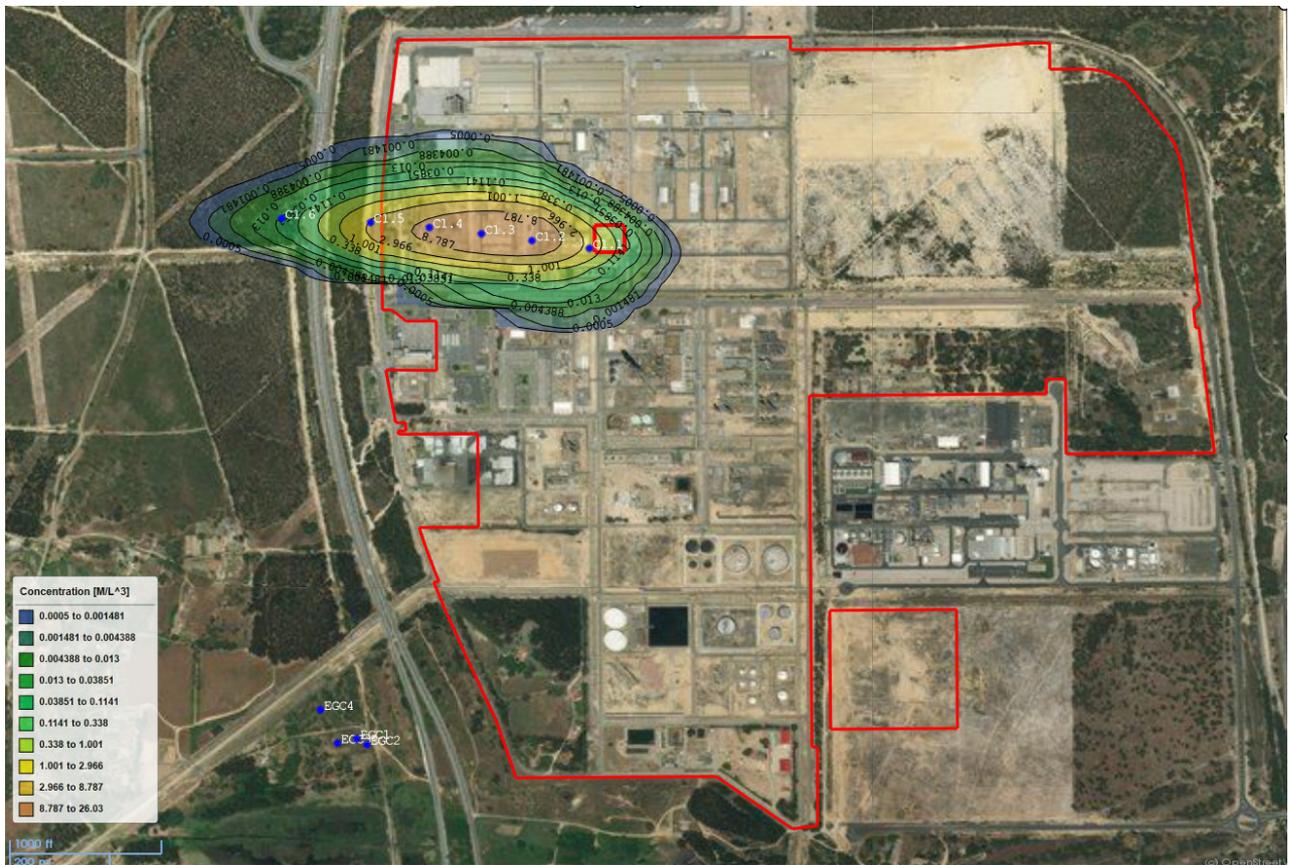


Figura 22 – Posição da pluma e valores de concentração (mg/L) ao fim de 1000 dias, para o Cenário 1. A célula de injeção é coincidente com o limite inferior esquerdo do tanque de Hexeno. As posições C1.1 a C1.6 correspondem a pontos de observação.

As cores que definem as plumas de concentração são gradativas com os respetivos valores e estão em conformidade com as especificações aceites em documentos oficiais do mesmo tipo que o presente relatório.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	42

Considerou-se a simulação de transporte de massa para o período de 1000 dias.

Apresentam-se as curvas de penetração do contaminante nos pontos de observação da primeira camada e que permitem acompanhar a sua evolução com o tempo (**Figura 22**).

No ponto de observação C1.5, localizado no exterior do perímetro da REPSOL, verifica-se que a contaminação, com valores mais preocupantes aparecerá, após, aproximadamente, 500 dias da ocorrência do potencial derrame (**Figura 22**), pelo que se constata uma migração horizontal do contaminante relativamente lenta.

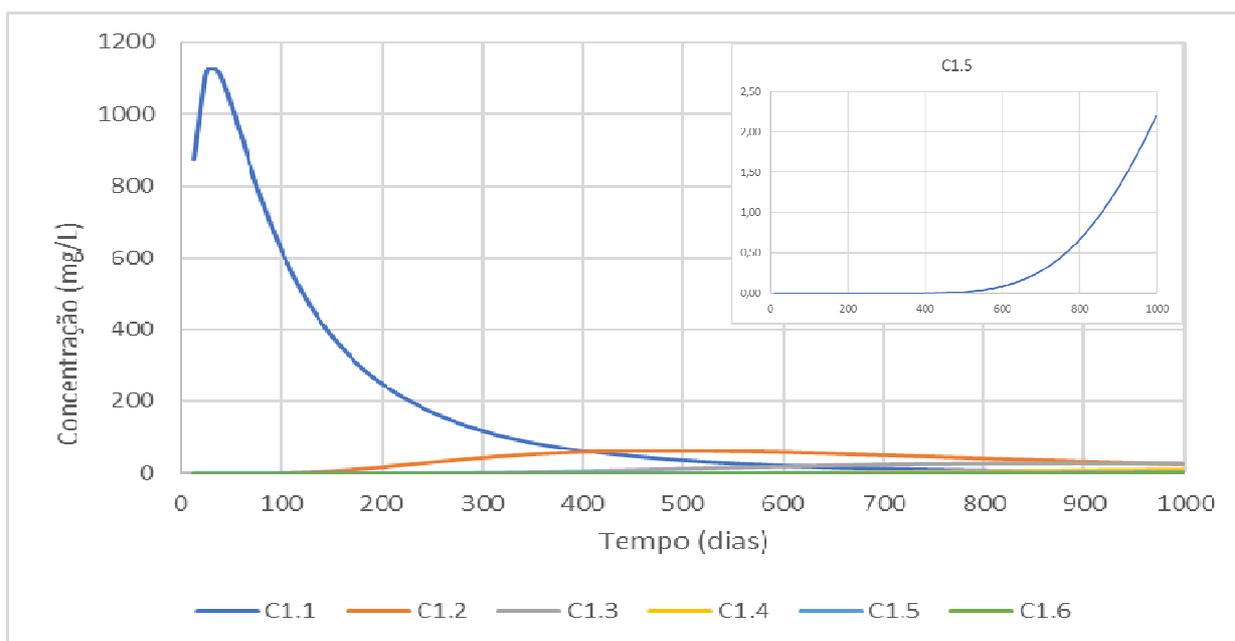


Figura 23 – Curvas de penetração do contaminante para o Cenário 1 (t = 1000 dias).

Caso ocorra um derrame da dimensão considerada pode observar-se no **Quadro 8** os momentos em que é alcançado o VLE e o valor máximo de concentração em cada ponto de observação.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	43

Quadro 8 – Tempo decorrido (em dias) desde o derrame até ser alcançado o VLE e o valor máximo de concentração em cada ponto de observação.

	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6
Momento em que é atingido o vle	1	30	85	185	350	745
Momento em que o valor de concentração atinge o valor máximo	24	485	885	Não alcançado	Não alcançado	Não alcançado
Momento em que volta a ser atingido o vle	>1000	>1000	>1000	-	-	-

Esta pluma não afetará as captações de água subterrânea existentes, destinadas ao consumo humano.

Para o cenário traçado e com as condições impostas no modelo de transporte de massa considera-se que, um alerta atempado permitirá mobilizar os meios necessários para mitigar a pluma no interior do perímetro fabril e consequentemente proceder à recuperação das condições iniciais do meio subterrâneo afetado pelo eventual acidente.

5.1.2. CENÁRIO 2

Para o Cenário 2 considerou-se a hipótese de ocorrência de uma rotura na linha de entrada/saída do tanque de Hexeno, em que o sistema de deteção de fugas atuaria apenas ao fim de 10 minutos. Nestas condições poderia ocorrer um derrame de 6 m³ de Hexeno no solo, com uma concentração de 678 g/L. Considerou-se como ponto de entrada as células no interior do tanque de Hexeno. A simulação foi efetuada para 1000 dias, considerando-se o t₀ como o momento de entrada da contaminação nas células de injeção localizadas na zona central do tanque de Hexeno.

Foram usados 6 pontos de observação cuja localização se encontra assinalada na **Figura 23**.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	44

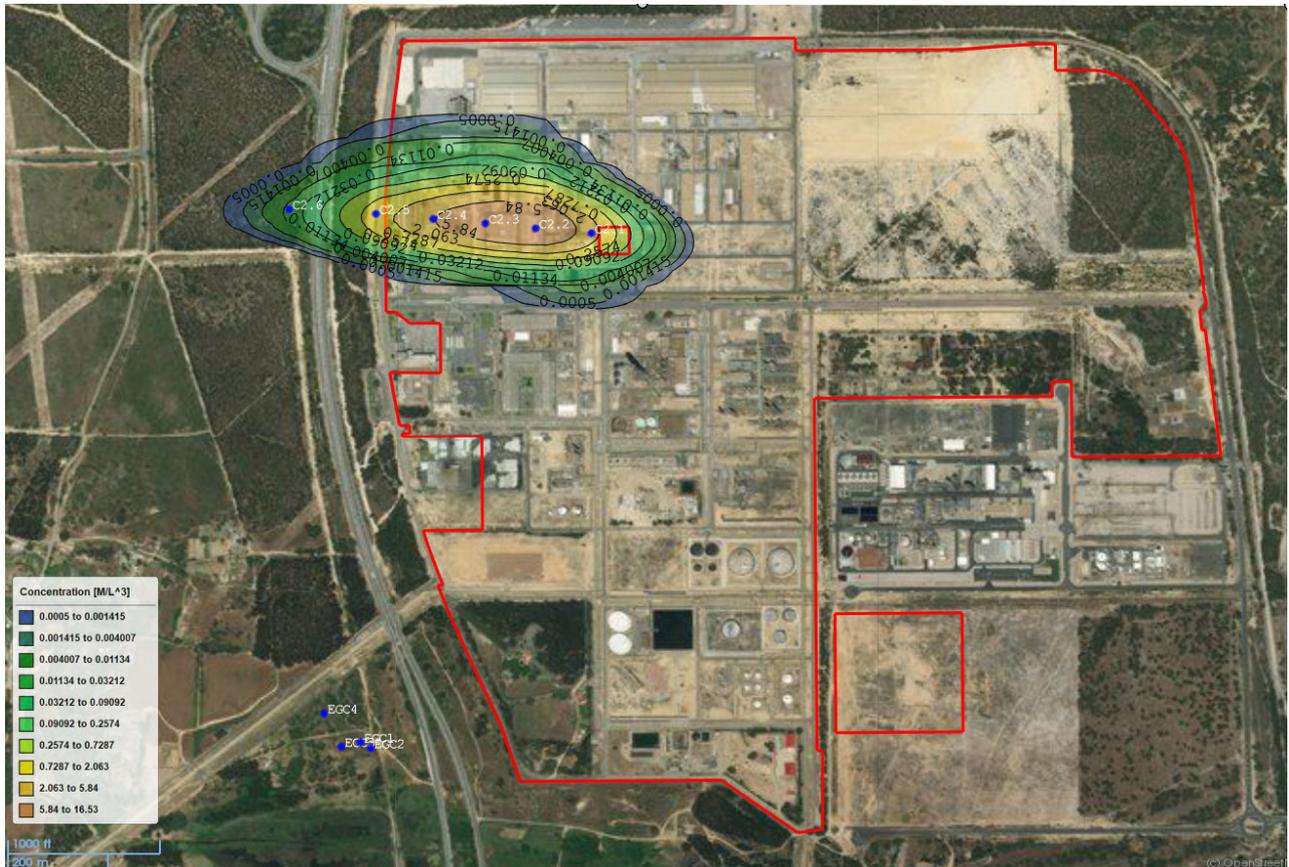


Figura 24 – Posição da pluma e valores de concentração (mg/L) ao fim de 1000 dias, para o Cenário 2. A célula de injeção é coincidente com centro do tanque de Hexeno. As posições C2.1 a C2.6 correspondem a pontos de observação.

As cores que definem as plumas de concentração são gradativas com os respetivos valores e estão em conformidade com as especificações aceites em documentos oficiais do mesmo tipo que o presente relatório.

Considerou-se a simulação de transporte de massa para o período de 1000 dias. Para os pontos de observação seleccionados apresentam-se as curvas de penetração do contaminante, que permitem acompanhar a sua evolução com o tempo (**Figura 23**).

No ponto de observação C2.5, localizado próximo do perímetro da REPSOL, verifica-se que a contaminação, com valores que podem suscitar preocupação, começa a aparecer ao fim de aproximadamente 500 dias (**Figura 24**), pelo que se constata uma migração horizontal do contaminante relativamente lenta.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	45

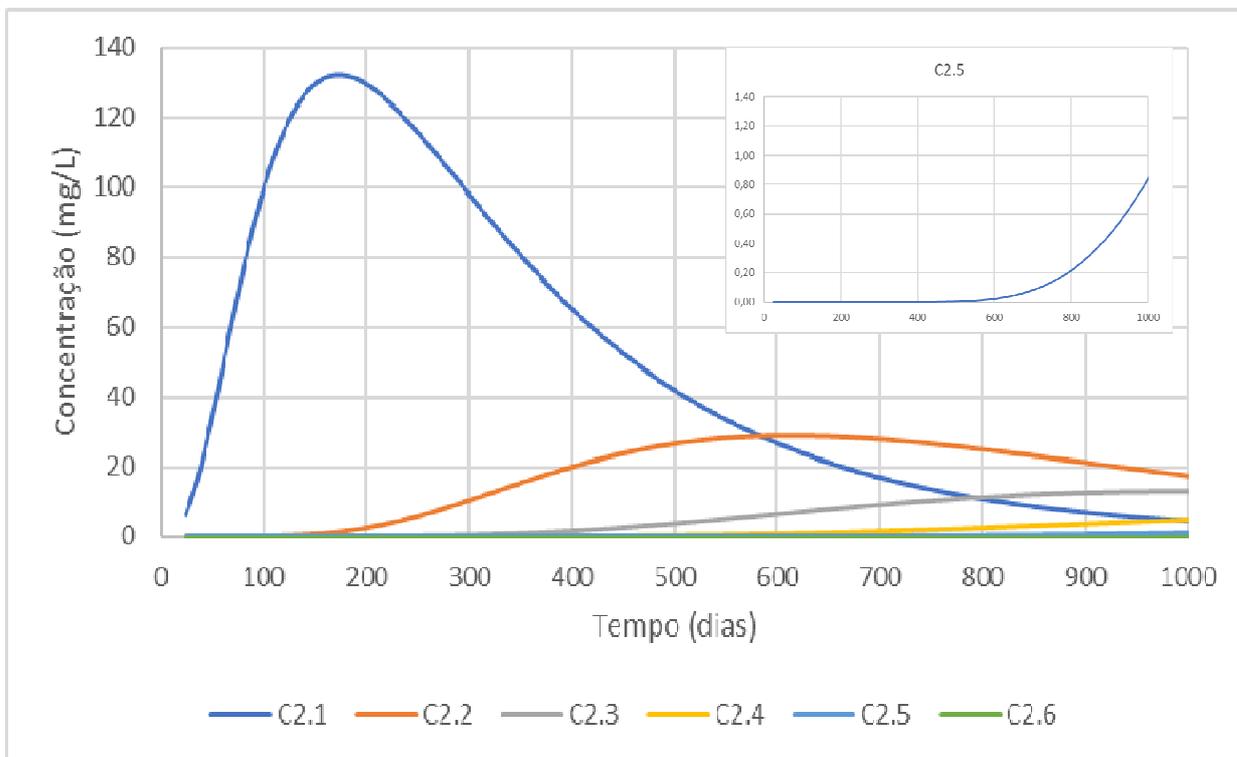


Figura 25 – Curvas de penetração do contaminante para o Cenário 2 (t = 1000 dias).

Caso ocorra um derrame da dimensão considerada pode observar-se no **Quadro 9** os momentos em que é alcançado o VLE e o valor máximo de concentração em cada ponto de observação.

Quadro 9 – Tempo decorrido (em dias) desde o derrame até ser alcançado o VLE e o valor máximo de concentração em cada ponto de observação.

	C2.1	C2.2	C2.3	C2.4	C2.5	C2.6
Momento em que é atingido o vle	1	54	125	410	515	998
Momento em que o valor de concentração atinge o valor máximo	170	608	997	Não alcançado	Não alcançado	Não alcançado
Momento em que volta a ser atingido o vle	>1000	>1000	>1000	Não alcançado	Não alcançado	Não alcançado



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	46

Um alerta atempado permitirá mobilizar os meios necessários para mitigar a pluma no interior do perímetro fabril e consequentemente proceder à recuperação das condições iniciais do meio subterrâneo afetado pelo eventual acidente.

Para o cenário traçado e com as condições impostas no modelo de transporte de massa considera-se que, um alerta atempado permitirá mobilizar os meios necessários para mitigar a pluma no interior do perímetro fabril e consequentemente proceder à recuperação das condições iniciais do meio subterrâneo afetado pelo eventual acidente.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	47

6. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO QUE DEVERÃO SER IMPLEMENTADAS EM CASO DE ACIDENTE COM IMPACTO NA MASSA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os métodos de remediação de aquíferos podem ser agrupados de acordo com as formas de atuação, como proposto a seguir:

- Remoção do solo contaminado e deposição em outro local;
- Contenção por sistemas de barreiras físicas (químicas ou biológicas);
- Remoção do contaminante por bombeamento para posterior tratamento;
- Tratamentos químicos, físicos ou biológicos “*in situ*”, que permitem degradarem, imobilizar ou neutralizar os contaminantes; incluídas nesse caso as técnicas de bioremediação;
- Sistemas de extração de vapores, baseados na volatilização dos compostos orgânicos.

É de realçar a grande importância da eliminação, antes de quaisquer intervenções, da fonte de poluição que está na origem da degradação da massa de água subterrânea.

Nos processos de remediação por bombeamento, ou do tipo “pump and treat”, a água subterrânea contaminada é bombeada por um sistema superficial de interceção, através de poços que penetram a zona saturada do solo. A água recolhida poderá ser tratada por técnicas “*ex situ*”.

No caso de contaminação por NAPLs, este método é atualmente mais considerado como uma técnica de contenção associada a outras tecnologias “*in situ*” disponíveis. Os poços e bombeamento funcionarão como uma barreira hidráulica ativa.

Nesse sentido, em caso de ocorrência de derrame de poluentes com impacto na massa de água subterrânea e considerando-se que o Hexeno possui uma densidade inferior à da água, pelo que em contacto com esta constituirá uma massa de contaminantes sobrenadantes, e que a profundidade do nível da água a jusante do tanque de Hexeno seja de aproximadamente 15 metros, preconiza-se que o meio mais económico e eficaz de impedir o avanço de uma pluma de contaminação no meio hídrico subterrâneo será utilizando uma barreira dinâmica constituída por uma linha de poços de bombagem que permitam a recolha da água contaminada e posterior encaminhamento para tratamento.

O princípio subjacente ao dimensionamento e aplicação deste tipo de barreiras dinâmicas é o de intercetar as linhas de fluxo do escoamento subterrâneo natural.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	48

Para uma situação concreta deverá ser estudada em pormenor a solução a adotar, quer em número de furos, quer nas suas profundidades e afastamento entre si. Isto tem muito a ver com o tempo decorrido entre a deteção da evidência do derrame e o tempo decorrido até à colocação dos meios de remediação, do espaço disponível para implantação dos meios de remediação e do volume de poluição que entra no sistema. Estamos em crer que os eventuais acidentes, sendo detetados no imediato poderão ser remediados com a instalação dos meios em local próximo da fonte onde ocorreu o acidente, caso contrário terá que haver um maior afastamento ao ponto do derrame o que se traduz num maior alargamento da pluma (dispersão) e conseqüentemente reforço de meios para cobrir toda a linha de interceção.

Relativamente aos furos de extração, estes deverão ser devidamente dimensionados após a colocação de piezómetros a jusante do tanque de armazenamento, onde se sugere a realização de ensaios para determinação da condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento do aquífero superior.

Propomos, ainda, a implementação de uma rede de monitorização constituída por dois piezómetros a jusante do tanque de Hexeno (PzH1 e PzH2), localizados em linha, fora da bacia de contenção do reservatório (**Figura 32**).

O período de funcionamento de um sistema de remediação estará dependente do caudal de extração, da distância entre a linha de bombagem dinâmica e a fonte de poluição e do volume de poluentes que entra no sistema. Num cenário conservativo aponta-se para a necessidade de o sistema de remediação ter de funcionar por um período de pelo menos um ano para cada um dos cenários.

De notar que a localização exata dos piezómetros poderá ser otimizada localmente em função da ocupação do espaço, mas tendo sempre presente o sentido de fluxo das águas subterrâneas instalado na zona o qual se processa, grosso modo, de este para oeste.

A rede de monitorização permitirá, também, aferir da situação qualitativa de referência das águas subterrâneas.

O controlo do estado qualitativo das águas subterrâneas e da posição do nível de água deverá ter uma periodicidade trimestral.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	49

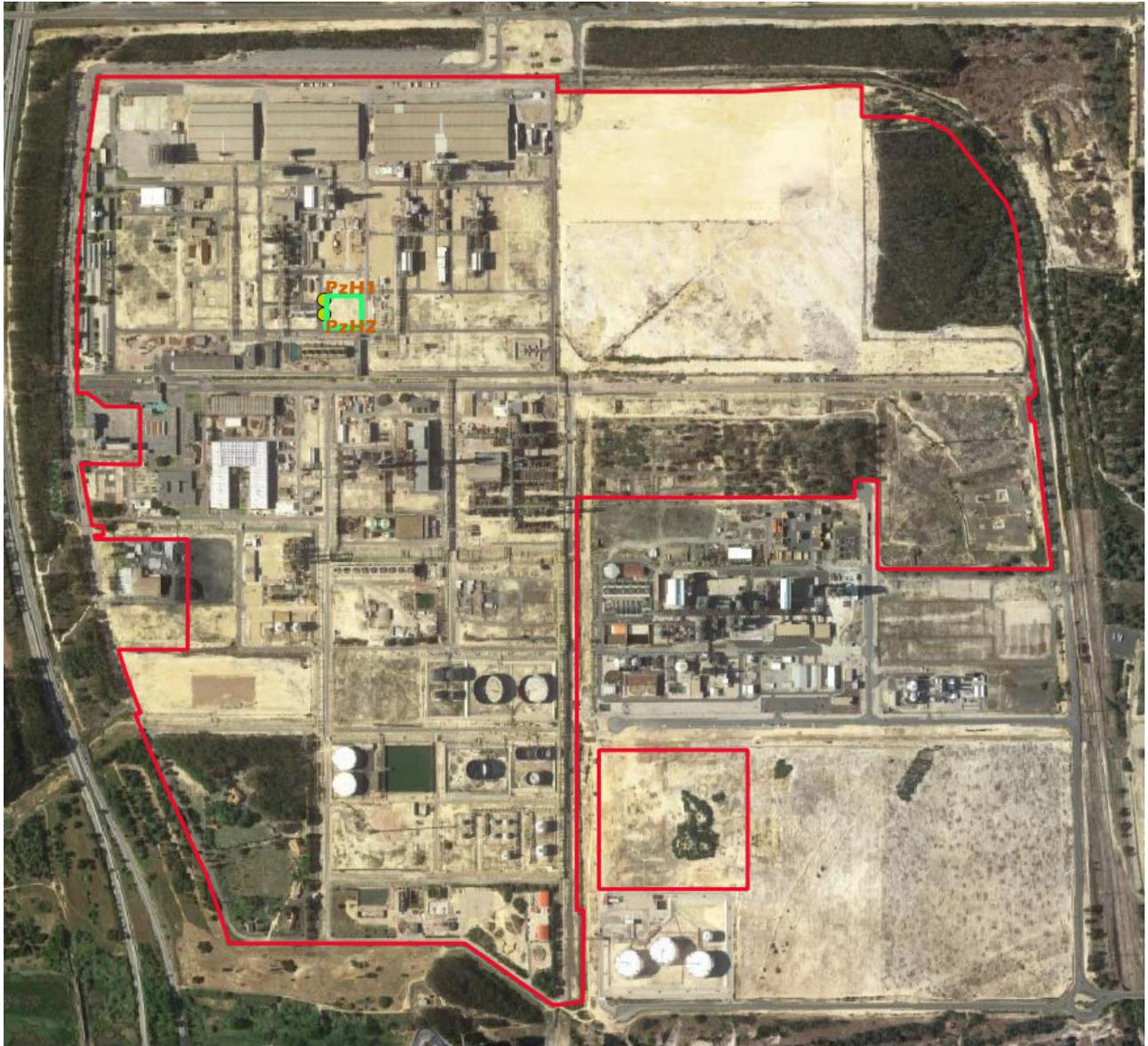


Figura 26 – Localização esquemática da proposta dos piezómetros de monitorização a jusante do tanque de Hexeno (PzH1 e PzH2).



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	50

7. NOTAS FINAIS

A massa de água que pode ser afetada por eventuais derrames insere-se no sistema aquífero de Sines, próximo do seu extremo Sul, a norte da Ribeira de Moinhos.

O sistema aquífero de Sines é multiaquífero. É constituído por um aquífero superior detrítico livre e um aquífero profundo de natureza carbonatada, semiconfinado a confinado.

O escoamento geral do sistema aquífero de Sines processa-se, grosso modo de este para oeste em direção ao oceano Atlântico, no caso do aquífero superior e à parte terminal da Ribeira de Moinhos, no caso do aquífero inferior, pelo que nas suas proximidades ocorrem distorções naturais na sua direção. As linhas de fluxo, são também, influenciadas pelo funcionamento de captações de água subterrânea e pela presença de corpos intrusivos de sienitos.

O funcionamento das captações municipais de Monte Feio, provoca uma pequena distorção do fluxo no aquífero carbonatado.

Na construção do modelo numérico foram tidos em conta os valores de entrada constantes na situação de referência, tendo, no entanto, de ser ajustados em função das exigências da calibração. Foram consideradas duas camadas com características hidrodinâmicas diferentes e em conexão hidráulica.

Admitindo-se a progressão no solo e subsolo dos poluentes condicionada por fatores hidrodinâmicos, hidroquímicos e hidrobiológicos, o baixo gradiente hidráulico, a admissão de ocorrência de adsorção, dispersão e biodegradação natural dos potenciais poluentes (Hexeno) levam a admitir uma progressão muito lenta no meio subterrâneo assim como significativa redução das concentrações com o aumento da distância à potencial fonte de poluição.

As simulações efetuadas permitiram confirmar a progressão muito lenta das eventuais plumas que se venham a formar.

As simulações dos cenários 1 e 2 evidenciam que em caso de derrame, não haverá zonas sensíveis a serem afetadas.

Eventuais acidentes com derrames de Hexeno, quando detetados em tempo útil, poderão ser controlados pelos métodos descritos no Capítulo 6 e instalados muito próximos da fonte, ou seja, no interior do perímetro fabril.



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21
Brejos de Azeitão
2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	51

Brejos de Azeitão, 15 de abril de 2022

GRANDEWATER – HIDROGEOLOGIA APLICADA, LDA

(ELSA TEIXEIRA)
Hidrogeóloga



Grandewater – Hidrogeologia Aplicada, Lda

Rua Margarida Caineta, 21

Brejos de Azeitão

2925-784 AZEITÃO

Destinatário	N/ referência	Data	Pág.
TECNINVEST, S.A.	RELATÓRIO FINAL 2022/04/15/01	2022-04-15	52

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECOM (2021) – Relatório de Base – Lote 2C1.

ALMEIDA, C. A., Mendonça, J. L., Jesus, M. R. and Gomes, A. J. (2000) – Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa/Instituto da Água. 661 p. Lisboa.

DIAMANTINO, C. (2001) – Intrusão Salina: Caracterização da Situação na Faixa Costeira de Portugal Continental e Aplicação de um Modelo matemático a uma Região a Norte de Sines. Informação Científica Hidráulica, INCH 6, LNEC, pp. 143.

LOBO FERREIRA, J.P., Moinante, M.J., Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Novo, M.E., Moreira, P., Henriques, M.J. (2000) – Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado, Anexo 4: Recursos Hídricos Subterrâneos. Parte B - Caracterização das Áreas com Potencial Interesse Hidrogeológico. Lisboa, LNEC, Estudo realizado para a Hidroprojecto, Engenharia e Gestão, S.A, Versão Revisão 1 de 30/10/2003, pp. 258.

MONTEIRO, J.P., Chambel, A., Martins, J. (2008) – Conceptual and Numerical Flow Model of the Sines Aquifer System (Alentejo, South Portugal). Artigo no âmbito do Projecto POCTI/AMB/57432/20004. International Groundwater Symposium. International Association of Hydraulic Engineering and Research (IAHR). Istanbul-Turkey, pp. 7684.

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (Associação Portuguesa do Ambiente): <https://snirh.apambiente.pt/>

- Análise de Risco Ambiental
- Estudo do Risco de Afecção do Sistema Aquífero de Sines
- Parecer Técnico Relativo à Alteração Substancial - Repsol Polímeros – Terminal Petroquímico
- Avaliação de Compatibilidade de Localização



PARECER TÉCNICO RELATIVO À ALTERAÇÃO SUBSTANCIAL



REPSOL POLÍMEROS – TERMINAL PETROQUÍMICO

Agosto, 2022



ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	DESCRIÇÃO DAS ALTERAÇÕES.....	1
2.1.	SISTEMA DE RECEÇÃO/EXPEDIÇÃO DE ETILENO.....	1
2.2.	SISTEMA DE RECEÇÃO/EXPEDIÇÃO DE PROPILENO	2
3.	AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÃO SUBSTANCIAL.....	3

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a solicitação da Repsol Polímeros, foi realizado, pela Inerco Portugal, um Parecer Técnico, relativamente às modificações efetuadas e as a realizar no Terminal Petroquímico, no âmbito do projeto ALBA, nomeadamente no que possa conferir uma alteração substancial com o aumento de perigos na aceção do n.º2 do artigo 25.º do Decreto-Lei n.º150/2015, de 5 de agosto.

A equipa técnica formada para a elaboração deste trabalho foi liderada por Sandra Carvalho da Inerco Portugal.

2. DESCRIÇÃO DAS ALTERAÇÕES

Decorrente do Projeto ALBA da Repsol, que implica a instalação no Complexo Petroquímico da Repsol Polímeros de novas unidades de poliolefinas (uma unidade de PP com tecnologia *Lyondellbasel* baseada no processo *Spherizone* e uma unidade de PEL com tecnologia Unipol da Univation). O estabelecimento Terminal Petroquímico também será sujeito a algumas alterações nos sistemas de receção/expedição de etileno e propileno, as quais se apresentam de seguida:

2.1. Sistema de receção/expedição de etileno

- Instalação de (1) nova bomba de transferência de etileno, 05P0201B (Qrated=48m³/h), que irá funcionar em paralelo com as bombas de transferência de etileno existentes, 05P0201A/R. A nova bomba será equipada com controlador de velocidade variável;
- Instalação de um novo vaporizador de etileno, 05E0207C (15 ton/h), que funcionará em paralelo com os vaporizadores existentes, 05E0207A/B (15 ton/h cada um);
- Instalação de nova conduta de água do mar de 12" em paralelo com as existentes de 12", uma vez que será necessário trabalhar com duas (2) bombas em paralelo;
- Desmantelamento de algumas das tubagens existentes e instalação de novas tubagens para ligar novos equipamentos às instalações existentes, uma vez que a capacidade de expedição de etileno passará de 27 ton/h para cerca de 38 ton/h, nomeadamente:
 - Troço de tubagem associada à aspiração da bomba passará de 4" para 6";
 - Troço de tubagem associada à descarga da bomba passará de 4" para 6";
 - Troço de tubagem associada à descarga dos vaporizadores passará de 6" para 10".

O etileno líquido recebido por navio, e enviado para armazenado no tanque D-0206 existente (a -102°C), será bombeado para o Complexo Petroquímico por duas (2) de três (3) bombas de transferência de etileno disponíveis, 05P0201 AR (existentes) e 05P0201B (novas), através de três vaporizadores de etileno, 05E0207A/B (existentes) e 05E0207C (novos). Nos vaporizadores, o etileno líquido será vaporizado por aquecimento até 5°C, aproximadamente, com água do mar. O etileno vaporizado sairá do Terminal Petroquímico para as unidades de poliolefinas novas e existentes, localizadas no Complexo Petroquímico.

A capacidade de expedição do etileno será controlada através de um novo controlador de pressão localizado no *Steam Cracker* no Complexo Petroquímico (funcionamento normal) ou através de um novo controlador de pressão localizado no Terminal Petroquímico (funcionamento não normal) que será selecionado através de atuação manual.

Cada bomba de transferência de etileno será equipada com uma válvula de controlo de caudal mínimo que permite encaminhar o etileno líquido para o tanque D-0206, no caso de o caudal expedição atingir um valor inferior ao mínimo estabelecido pelo fabricante.

A saída de cada vaporizador existente, integra um controlador de temperatura, cujo ponto de regulação é de 5°C aproximadamente, que atuará sobre uma válvula de controlo localizada na entrada de cada vaporizador.

Será instalado um novo elemento à saída comum dos vaporizadores para medir o caudal de etileno que será encaminhado para o Complexo Petroquímico.

2.2. Sistema de receção/expedição de propileno

- Instalação de (1) nova bomba de transferência de propileno, 05P0301B (Q nominal=30 m³/h), que funcionará em paralelo com as bombas de transferência de propileno existentes, 05P0301AR (Q nominal=15 m³/h). A nova Bomba será equipada com condutor de velocidade variável;
- Instalação de novos aquecedores de propileno, 05E0304A/B (18 ton/h cada um) e desmantelamento do aquecedor de propileno existente, 05E0304 (9 ton/h);
- Desmantelamento de algumas das tubagens existentes e instalação de novas tubagens para ligar novos equipamentos às instalações existentes, uma vez que a capacidade de expedição de etileno passará de 9 ton/h para cerca de 23 ton/h, nomeadamente:
 - Troço de tubagem associada à aspiração das bombas passará de 3" para 6";
 - Troço de tubagem associada à descarga da bomba passará de 2" para 4";
 - Troço de tubagem associada à descarga dos vaporizadores passará de 2" para 4".

O propileno líquido por navio, e enviado para armazenado no tanque D-0306 existente (a -46°C), será bombeado pelas bombas de transferência de propileno para o Complexo Petroquímico, 05P0301 AR (existente) e 05P0301B (novo), através de dois novos aquecedores de propileno, 05E0304A/B. No aquecedor, o propileno líquido será aquecido, com água do mar, até 5°C aproximadamente. O propileno líquido sairá do Terminal Petroquímico para as unidades de poliolefinas novas e existentes, localizadas no Complexo Petroquímico.

A capacidade de expedição de propileno será controlada através de um controlador de caudal à saída dos aquecedores, que controlará a velocidade das bombas de transferência de propileno. O set *point* deste controlador de caudal será definido pelo controlador de nível das esferas de propileno localizadas no *Steam Cracker* no Complexo Petroquímico.

Assim, a nova bomba de transferência de propileno, 05P0301B, será equipada com controlador de velocidade variável e as bombas já existentes, 05P0301AR, serão também equipadas com novos controladores de velocidade variável.

Cada bomba de transferência de propileno será equipada com uma válvula de controlo de caudal mínimo que permite encaminhar o produto para o tanque D-0306, no caso de o caudal expedição atingir um valor inferior ao mínimo estabelecido pelo fabricante.

A saída de cada vaporizador existente, integra um controlador de temperatura, cujo ponto de regulação é de 5°C aproximadamente, que atuará sobre uma válvula de controlo localizada na entrada de cada aquecedor.

Apresenta-se em anexo uma planta geral com a localização das modificações no estabelecimento com o projeto ALBA (05-000-0-01-00001-ROB).

3. AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÃO SUBSTANCIAL

Desde o início do ano, a Inerco encontra-se a atualizar o Relatório de Segurança do Terminal Petroquímico no âmbito da revisão quinquenal requerida pelo artigo 18.º do Decreto-Lei n.º150/2015 tendo por base o atual Relatório de Segurança do estabelecimento de 2014, informação de atualização de modificações, estudos de risco e procedimentos que ocorreram desde 2014. Adicionalmente, decorrente da implementação do projeto ALBA no Complexo Petroquímico da Repsol Polímeros, foram também avaliadas as modificações a realizar no estabelecimento, no âmbito do projeto ALBA, na atualização do Relatório de Segurança.

Assim, considerando a possibilidade de que esta alteração pudesse conferir uma alteração substancial com o aumento de perigos na aceção do n.º2 do artigo 25.º do Decreto-Lei n.º150/2015, de 5 de agosto, apresenta-se de seguida uma avaliação qualitativa, tendo por base as alterações decorrentes do projeto ALBA:

- Não se irá verificar:
 - A introdução de novas substâncias perigosas no estabelecimento para além das já comunicadas;
 - A alteração de quantidades armazenadas no estabelecimento, nomeadamente de etileno e propileno;
 - A realocação de equipamentos ou sistemas associados à atividade de receção/expedição de etileno e propileno, nem quaisquer alterações ao processo e às operações;
 - A alteração dos locais de carga e descarga de etileno, quer seja por navio ou cisterna;
 - A alteração do traçado das tubagens de etileno e propileno, que manterá o mesmo, não sendo afetado pelo projeto ALBA.

- Relativamente à alteração do diâmetro das tubagens há a referir que as linhas principais não irão sofrer alterações;
- No que ao incremento das quantidades de propileno e etileno diz respeito, decorrente do projeto ALBA, não se verificará um aumento significativo, tendo em consideração as quantidades de etileno e propileno presentes atualmente no estabelecimento (14500 toneladas e 13500 toneladas, respetivamente). Conforme apresentado nas tabelas seguintes o aumento da quantidade devido às tubagens será de 2,88 toneladas para etileno e de 0,94 toneladas para propileno (o que representa um aumento inferior a 0,02% e a 0,01%, respetivamente, relativamente à quantidade comunicada);

Tabela 1 – Alterações dos equipamentos de etileno decorrente do projeto ALBA e respetivo aumento de massa de etileno presente no estabelecimento

ETILENO	ATUALMENTE			FUTURO		
	D (in.)	Di (mm)	L (m)	D (in.)	Di (mm)	L (m)
Descarga do tanque	18"	447,6	49,95	18"	447,6	49,95
Coletor comum aspiração bombas	4"	102,3	10,20	6"	161,5	10,20
Linha individual aspiração bombas	4"	102,3	1,37	6"	161,5	1,37
x número de bombas			2,74			4,11
Linha individual descarga bombas	3"	77,9	1,77	4"	108,2	1,77
x número de bombas			3,54			5,31
Coletor comum descarga bombas /entrada dos vaporizadores	4"	102,3	80,59	6"	161,5	80,59
Linha individual entrada vaporizadores	3"	82,8	6,91	3"	82,8	6,91
x número de vaporizadores			13,81			24,57
Linha individual descarga vaporizadores	4"	102,3	6,06	6"	154,1	6,06
x número de vaporizadores			12,13			22,04
Descarga comum vaporizadores até BL do TP	6"	154,1	204,62	10"	254,5	204,62
Volume total das linhas (m³)			12,53			20,32
Massa incrementada com a alteração do diâmetro das linhas (atualmente versus futuro) (toneladas)			2,88*			

*Densidade etileno líquido: 370 kg/m³

Tabela 2 - Alterações dos equipamentos de propileno decorrente do projeto ALBA e respetivo aumento de massa de etileno presente no estabelecimento

PROPILENO	ATUALMENTE			FUTURO		
	D (in.)	Di (mm)	L (m)	D (in.)	Di (mm)	L (m)
Descarga do tanque	18"	441,1	49,90	18"	441,1	49,90
Coletor comum aspiração bombas	3"	77,9	10,05	6"	161,5	10,05
Linha individual aspiração bombas existentes	3"	77,9	1,37	3"	77,9	1,37
x número de bombas			2,74			2,74
Linha individual aspiração bomba nova				4"	102,3	2,87
x número de bombas						2,87
Linha individual descarga bombas existentes	2"	52,5	1,77	2"	52,5	1,77
x número de bombas			3,54			3,54
Linha individual descarga bomba nova				3"	77,9	3,27
x número de bombas						3,27
Coletor comum descarga bombas /entrada dos aquecedores	2"	52,5	51,63	4"	102,3	51,63
Linha individual entrada aquecedores	2"	52,5	3,20	3"	77,9	3,20
x número de aquecedores			3,20			14,95
Linha individual descarga aquecedores	2"	52,5	2,80	3"	77,9	2,80
x número de aquecedores			2,80			14,15
Descarga comum aquecedores até BL do TP	2"	52,5	208,96	4"	102,3	208,96
Volume total das linhas (m³)			8,26			10,06
Massa incrementada com a alteração do diâmetro das linhas (atualmente versus futuro) (toneladas)						0,94*

*Densidade propileno líquido: 523 kg/m³

- No que ao Relatório de Segurança diz respeito, em particular aos cenários de acidente grave, importará referir que tendo em conta as alterações indicadas não são adicionados novos cenários, sendo apenas complementados dois dos cenários existentes com informação relativa à rotura/fuga das linhas de expedição/receção de etileno e propileno para o Complexo Petroquímico da Repsol Polímeros. Desta forma os cenários de acidente grave que envolvem linhas de etileno e propileno são:
 - N.º17 (RS2014): Rotura no pipeline de receção de Etileno (do Complexo);
 - Complemento ao cenário n.º17 no RS2022 em atualização quinquenal: Rotura/Fuga no pipeline de etileno (expedição para o Complexo);
 - N.º22 (RS2014): Rotura no pipeline de receção de Propileno (do Complexo);
 - Complemento ao cenário n.º22 no RS2022 em atualização quinquenal: Rotura/Fuga no pipeline de propileno (expedição para o Complexo).

- Importará referir e ter em consideração que os 5 cenários avaliados com risco elevado no atual RS2014, não serão afetados por esta alteração e que os cenários os cenários nº 17 e 22 do RS2014, ambos classificados como risco moderado, não serão afetados no nível de risco pelo projeto ALBA;
- No que respeita à alteração do diâmetro das tubagens há que referir que, embora os alcances obtidos para os cenários de acidente grave associados aos pipelines de etileno e propileno possam afetar zonas sensíveis/zonas habitacionais, esta situação já se verificava anteriormente como aparece no RS2014. Os alcances das consequências não sofrem alterações significativas como se demonstra na tabela seguinte:

Tabela 3 - Resultados comparativos para os alcances de consequências mais desfavoráveis (RS2014 e complementos do RS2022 em atualização quinquenal)

Nº Evento	Evento	Clima	Jetfire (m)				Flashfire (m)	Explosão (m)		
			37,5 kW/m ²	12,5 kW/m ²	7,0 kW/m ²	5,0 kW/m ²	LIE/2	300 mbar	140 mbar	50 mbar
Revisão RS2022	Rotura no pipeline de receção de Etileno (do Complexo)	4.9/D	128	169	196	214	475	430	441	506
17 (RS2014)		6.1/C	105	131	149	162	454	467	478	506
Revisão RS2022	Rotura no pipeline de receção de Propileno (do Complexo)	1.5/F (Jetfire) e 4.9/D (Flashfire/Exp)	159	193	217	234	409	405	419	477
22 (RS2014)		6.1/ C (Flashfire/Exp) e 1.5/F (Jetfire)	166	197	219	235	422	414	423	446
Complemento ao cenário n.º17 no RS2022	Rotura no pipeline de etileno (expedição para o Complexo)	5.3/E (Jetfire), 1.5/F (Flashfire) e 4.9/D (Exp)	43	46	49	51	169	181	190	220
Complemento ao cenário n.º17 no RS2022	Fuga de 10% de diâmetro no pipeline de etileno (expedição para o Complexo)	5.3/E (Jetfire), 1.5/F (Flashfire e Exp)	15	17	18	19	60	64	68	79
Complemento ao cenário n.º22 no RS2022	Rotura no pipeline de propileno (expedição para o Complexo)	1.5/F	40	49	55	59	124	130	140	169
Complemento ao cenário n.º22 no RS2022	Fuga de 10% de diâmetro no pipeline de propileno (expedição para o Complexo)	1.5/F	24	30	33	35	44	44	48	58

Face ao exposto e, considerando ainda que não ocorreram alterações significativas no estabelecimento desde o último Relatório de Segurança, considera-se que as alterações no Terminal Petroquímico, decorrentes do projeto ALBA a implementar não configuram uma alteração substancial porquanto, não implicarão um aumento do risco relativamente à situação atual.

Lisboa, 26 de agosto de 2022

***INERCO*PORT Consultoria, Lda.**

Departamento Técnico

Sandra Carvalho

- **Análise de Risco Ambiental**
- **Estudo do Risco de Afecção do Sistema Aquífero de Sines**
- **Parecer Técnico Relativo à Alteração Substancial - Repsol Polímeros – Terminal Petroquímico**
- **Avaliação de Compatibilidade de Localização**