

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	1 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

AL-PRO-0000-MW-CAC-00001

Cálculos mecânicos das tubagens

02.0	06/05/2025	Revisão com comentários AdA	PRO	GSI	ACE
01.0	14/02/2025	Documento inicial	PRO	GSI	ACE
Rev.	Dados	Descrição	Criado	Revisto	Aprovado

Editado para:

Informação		Compra	
Aprovação	X	Construção	
Pedido de licitação		Conforme construído	

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 2 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. Geral	5
1.2. Abreviaturas	6
1.3. Descrição geral do sistema de captação de água no mar	7
1.4. Descrição geral do sistema de rejeição de salmoura	8
1.5. Descrição geral do sistema de hipoclorito	8
1.6. Objetivo desde documento	8
2. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	9
2.1. Sistema de captação de água no mar	9
2.2. Sistema de rejeição de salmoura.....	9
2.3. Sistema de hipoclorito	10
2.4. Parâmetros de desenho	10
2.4.1. Sistema de captação de água no mar	10
2.4.2. Sistema de rejeição de salmoura	10
2.4.3. Sistema de hipoclorito	11
2.4.4. Tabela de resumo	11
2.5. Critérios de conceção para afundamento.....	12
3. FORMULAÇÃO UTILIZADA.....	13
3.1. Tubagens de polietileno de alta densidade	13
3.1.1. HIPÓTESE 1.- Pressão interna positiva	13
3.1.2. HIPÓTESE 2.- Acções externas (verificação da deflexão).....	13
3.1.3. HIPÓTESE 3.- Acções externas e pressão interna negativa (colapso ou empenamento)	14
3.1.4. HIPÓTESE 4.- Acções externas (compressão da parede do tubagem)	16
3.2. Tubagens do betão	16
3.2.1. Parâmetros de desenho.....	17
4. RESULTADOS TUBAGEM ENTERRADA.....	18
4.1. PEAD	18
4.1.1. Captação de água no mar	18
4.1.2. Rejeição da salmoura no mar.....	30
4.1.3. Hipoclorito	36
4.2. Betão	44

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	3 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

4.2.1. Captação de água no mar	45
4.2.2. Rejeição da salmoura no mar.....	47
5. AFUNDAMENTO E ASSENTAMENTO NA VALA.....	49
5.1. Descrição.....	49
5.2. Encurvadura do tubo	50
5.3. Força de tração	50
5.4. Dados	52
5.5. Resultados	53
5.5.1. Captação DN1200.....	53
5.5.2. Captação DN1000.....	57
5.5.3. Rejeição DN1000.....	61
5.5.4. Resumo dos resultados	65

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	4 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Figuras

Figura 1. Tubo durante a fase de afundamento 49

Figura 2. Processo, forma e parâmetros de um tubo PE durante o afundamento. 51

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	5 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

1. INTRODUÇÃO

A região do Algarve tem vindo a sofrer, ao longo dos últimos anos, de uma seca prolongada associada a uma situação de escassez hídrica que é já considerada estrutural. Assim, apesar da disponibilidade de água em Portugal ser acima da média europeia, o abastecimento de água em Portugal, nomeadamente na região do Algarve, está sob stress, e espera-se que o problema aumente com as alterações climáticas. Por estes motivos o Plano Regional de Eficiência Hídrica da Região do Algarve, elaborado em 2020 pela APA e pela Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), identificou como medida estrutural possível para reforçar a capacidade de produção de água, a criação de um sistema de dessalinização na região do Algarve, com o objetivo de assegurar uma origem alternativa e fiável para o abastecimento de água potável à região do Algarve.

1.1. Geral

Uma conduta enterrada utilizada para transportar fluidos sob pressão deve resistir com segurança a todas as tensões e deformações que podem resultar de dois tipos de cargas: cargas internas causadas pela pressão do fluido de trabalho e pela dinâmica do escoamento do fluido (por exemplo, golpe de aríete) e cargas externas, que geralmente incluem o peso do aterro (carga morta) e a pressão do solo exercida pelos veículos (carga viva), mas também podem incluir pressões adicionais resultantes de águas subterrâneas, pressão de vácuo e estruturas de superfície. Enquanto as cargas internas desenvolvem tensões de tração nas direções axial (longitudinal) e anular (circunferencial), as cargas externas desenvolvem principalmente tensões de flexão e compressão anulares. As tensões de flexão anular são uma reação às cargas externas, que deformam o tubo da sua forma redonda inicial.

Os tubos destinados a aplicações enterradas são normalmente diferenciados em duas classes, rígidos e flexíveis, com base na sua capacidade de se deformarem em serviço sem fissurarem ou falharem de outra qualquer forma. Os tubos de material plástico podem suportar com segurança deformações consideráveis sendo, por isso, classificados como tubos flexíveis.

A capacidade do tubo flexível de se deformar significativamente sem danos estruturais permite o desenvolvimento de uma interação solo/tubo que, devido à mecânica da estrutura solo/tubo, funciona para remover alguma da carga de aterro causada pela deformação, comprime ainda mais o solo do lado do tubo, o que melhora o apoio lateral e reduz (e, em última análise, limita) a deformação adicional do tubo. Embora todas as condutas flexíveis devam ter uma resistência à compressão suficiente para resistir com segurança às tensões de compressão geradas por cargas externas, a sua restrição de conceção habitual não é a falha do material causada pela compressão, mas sim garantir que as pressões da terra e das águas subterrâneas não deformam ou entortam excessivamente a conduta.

Para o cálculo mecânico, normalmente utilizado na prática, o Manual M55 da AWWA é utilizado para tubagens de polietileno de alta densidade (PEAD).

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	6 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Para o cálculo mecânico do tubo enterrado, foi utilizado o programa de cálculo ATHA (Asociación de Fabricantes de Tubos de Hormigón Armado), que é calculado com base nos cálculos incluídos na norma UNE 127916:2020.

De acordo com a regulamentação dos tubos de betão, é necessário considerar uma análise que combine cargas externas e internas. Aceita-se para o desenho destes tubos a convenção de que as cargas internas e externas actuam de forma independente. Por isso, geralmente, o procedimento seguido para o projeto de tubos de betão é seleccionar um tubo que satisfaça a pressão de trabalho interna, as sobrecargas e as necessidades hidráulicas; e depois, analisar a instalação abaixo da superfície para garantir que o tubo, tal como vai ser instalado, suportará as cargas externas.

1.2. Abreviaturas

Parâmetro	Abreviación
Polietileno de alta densidade	PEAD
Diâmetro Nominal	DN
Diâmetro Exterior	OD
Diâmetro Interno	DI
Espessura	t
Módulo de elasticidade aparente do material	E
Módulo de elasticidade do solo nativo	E´N
Módulo de elasticidade do solo na trincheira	E´E
Peso específico do solo	w
Rácio de dimensão equivalente normalizado	SDReq
Classe de pressão	PN
Coeficiente de Poisson	μ
Pressão de serviço	WP
Classe de pressão	PC
Pressão máxima de serviço	WPR
Carga devida ao peso do terra	PE
Peso do solo	w
Altura do terreno acima da chave do tubo	H
Constante de apoio	K
Fator de desfasamento temporal (Time-Lag Factor)	TL
Carga de trânsito	PL
Módulo de elasticidade aparente do material	E
Módulo de desenho do solo	E´
Fator de suporte do solo	Sc

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 7 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Módulo de solo nativo	E ´ N
Módulo do solo compactado da trincheira	E ´ E
Largura da trincheira	Bd
Diâmetro exterior	DO
Fator de redução da resistência	Rb
Fator de suporte elástico do solo	B ´
Altura da água acima da tubagem	Hw
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	PV
Fator de compensação da ovalização	f0
Pressão externa admissível para tubagem enterrada	PCA
Pressão externa admissível para a tubagem (sem o efeito das terras circundantes)	PUA
Compressão circunferencial da parede	S

Tabela 1. Abreviaturas dos parâmetros utilizados no cálculo team.

1.3. Descrição geral do sistema de captação de água no mar

O sistema de captação de água no mar (objeto deste cálculo mecânico), é composto por duas linhas paralelas que captam a água do fundo do mar e a conduzem até a estação elevatória inicial (EEI). Cada linha é composta por uma torre de captação e uma conduta com tubagem maciça de polietileno de alta densidade (PEAD).

Para passar a zona da falésia, que tem uma parte exclusivamente terrestre, uma parte de transição correspondente à praia e uma parte marítima até à cota 4,60 m ZH (-6,60 m NMM), serão executados dois túneis autoportantes por microtunelação um por cada linha, com tubagem de betão armado (BA) empurrados, onde posteriormente, respetivamente, se instalaram as condutas de captação e ainda as condutas de hipoclorito de sódio.

As tomadas de água são localizadas á cota batimétrica 9,8 m ZH (-11,8 m NMM) a uma distância à linha de costa superior a 1820 m de la línea de costa em preia mar.

As condutas estão compostas por os seguintes trechos:

- Trecho em túnel: Dois tubagens de BA DN 1800 mm. Comprimento de 564,00 m. Contém as linhas de captação PEAD DN 1200 mm e PEAD DN 1000 mm, e as linhas de hipoclorito de sódio PEAD DN 50 mm.
- Trecho em vala marinha: Uma tubagem de PEAD SDR26 DN 1200 mm y uma tubagem de PEAD SDR26 DN 1000 mm. Comprimento de 1465,00 m. O comprimento total da cada conduta em tubagem de PEAD é de 2029,00 m.
- As linhas de hipoclorito correrão protegidas por uma camisa de PEAD SDR17 DN 180 mm.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 8 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

1.4. Descrição geral do sistema de rejeição de salmoura

O sistema de rejeição de salmoura entre a câmara de desgaseificação e o fundo do mar, é composto por uma conduta (emissário marinho) com tubagem maciça de polietileno de alta densidade (PEAD).

Para passar a zona da falésia, que tem uma parte exclusivamente terrestre, uma parte de transição correspondente à praia e uma parte marítima até à cota 5,0 0 m ZH (-7,00 m NMM), correspondente à zona de início da rebentação, será executado um túnel autoportante por microtunelagem, com tubagem de betão armado (BA) empurrados, onde posteriormente se instalará a conduta de salmoura.

O emissário marinho conta com um trecho difusor composto por 8 bocas difusoras y um comprimento de 56 m, localizado entre as cotas 7,50 m ZH (-9,50 m NMM) a 7,67 m ZH (-9,67 m NMM).

As condutas esta compostas por os seguintes trechos:

- Trecho em túnel: Tubagem de BA DN 1800 mm. Comprimento de **910,00** m. Contém a linha de vertido PEAD DN 1000 mm.
- Trecho em vala marinha: Tubagem de PEAD SDR26 DN 1000 mm. Comprimento de **1294,00** m. O comprimento total da conduta em tubagem de PEAD DN 1000 mm é de **2260,00** m.

1.5. Descrição geral do sistema de hipoclorito

O sistema de hipoclorito será composto por dois tubos de PEAD com diâmetro nominal DN 50 SDR11 para cada uma das tubagens de captação, dentro de um invólucro de PEAD DN180 SDR17.

1.6. Objetivo desde documento

O objetivo do presente documento é descrever e justificar o cálculo mecânico dos diferentes troços subterrâneos das condutas.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	9 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

2. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

2.1. Sistema de captação de água no mar

Para o cálculo mecânico do sistema de captação da água do mar serão adotados os seguintes critérios de dimensionamento:

Trecho em vala (Fase de operação)

- Pressão interior em regime permanente: -4 mca (negativa)
- Recobrimento: conforme perfil longitudinal. Mínimo- 1,5 m
- Norma de referência para cálculo: manual AWWA M55, considerando:
 - Ovalização máxima 4%
 - Fator de segurança ao colapso: 2
 - Módulo de elasticidade de curto prazo: 800 MPa
- Espessura mínima da tubagem PEAD: equivalente a SDR 26

Trecho em túnel

- Pressão interior em regime permanente: -5 mca (negativa)
- Restantes forças, pressões, tensões, etc.: consoante a técnica executiva, proposta pelo empreiteiro e aprovada pela Fiscalização.

2.2. Sistema de rejeição de salmoura

Para o cálculo mecânico do sistema de rejeição de salmoura no mar serão adotados os seguintes critérios de dimensionamento:

Trecho em vala (Fase de operação)

- Pressão interior em regime permanente: Calculada com base na cota estática máxima admitida na câmara de degasificação e a cota mínima do mar (0 mZH = -2 mNMM).
- Recobrimento: conforme perfil longitudinal. Mínimo- 1,5 m
- Norma de referência para cálculo: manual AWWA M55, considerando:
 - Ovalização máxima 4%
 - Fator de segurança ao colapso: 2
 - Módulo de elasticidade de curto prazo: 800 MPa
- Espessura mínima da tubagem PEAD: equivalente a SDR 26

Trecho em túnel

- Pressão interior em regime permanente: Com base na cota estática máxima na câmara de degaseificação (22 mNMM) e a cota mínima do mar (0 mZH = -2 mNMM).
- Restantes forças, pressões, tensões, etc.: consoante a técnica executiva, proposta pelo empreiteiro e aprovada pela Fiscalização.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	10 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

2.3. Sistema de hipoclorito

Para o cálculo mecânico do sistema de hipoclorito serão adotados os seguintes critérios de dimensionamento:

- Pressão interior em regime permanente máxima: situação estática de conduta fechada
- Restantes forças, pressões, tensões, etc.: consoante a técnica executiva, proposta pelo empreiteiro e aprovada pela Fiscalização.
- Espessura mínima da tubagem PEAD: equivalente a $SDR \leq 11$.

2.4. Parâmetros de desenho

2.4.1. Sistema de captação de água no mar

Os seguintes parâmetros de projeto foram considerados para o cálculo mecânico da conduta:

Módulo de elasticidade do PEAD a curto prazo $E = 800 \text{ MPa} = 116030,2 \text{ psi}$.

Ovalização máxima PEAD $4,0 \%$.

Gravidade específica do solo natural $w = 2000 \text{ kg/m}^3 = 124,86 \text{ pcf}$.

Os levantamentos geotécnicos realizados mostram que a área do projecto contém solos com um módulo de elasticidade mínimo comparável a um solo do tipo SC2 nestas condições ($E'_N = 500.000 \text{ psi}$). Assim sendo, os cálculos mecânicos representados neste documento são realizados considerando um módulo de elasticidade de $500,00 \text{ psi}$ para solo natural.

Deberá utilizarse un suelo granular de relleno que alcance un módulo de elasticidad de 1000 psi

Na zona de saída do túnel (PK 570-PK 600), devido à altura máxima do solo acima da tubagem, deve ser utilizado um solo de enchimento granular que atinja um módulo de elasticidade de $1000,00 \text{ psi}$, reforçando assim a proteção das tubagens contra cargas mecânicas nesta zona.

– PK 570-PK 600:

- $E'_N = 500,000 \text{ psi} (3,45 \text{ MPa})$
- $E'_E = 1000,00 \text{ psi} (6,89 \text{ MPa})$

– PK 600-PK FINAL: $E'_N = E'_E = 500.000 \text{ psi} (3,45 \text{ MPa})$.

A secção 4 mostra os resultados do tubo de PEAD no interior do túnel, referindo que não suportam qualquer esforço mecânico.

2.4.2. Sistema de rejeição de salmoura

Os seguintes parâmetros de projeto foram considerados para o cálculo mecânico da conduta:

Módulo de elasticidade do PEAD a curto prazo $E = 800 \text{ MPa} = 116030,2 \text{ psi}$.

Ovalização máxima PEAD $4,0 \%$.

Gravidade específica do solo natural $w = 2000 \text{ kg/m}^3 = 124,86 \text{ pcf}$.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 11 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Para o emissário, o mesmo módulo de elasticidade foi considerado tanto para o solo natural (E'_N) como para o enchimento (E'_E) pois desta forma a condução suporta corretamente as cargas mecânicas.

- PK 910-PK 940: $E'_N = E'_E = 500.000 \text{ psi (3,45 MPa)}$
- PK 940-PK FINAL: $E'_N = E'_E = 500.000 \text{ psi (3,45 MPa)}$

A secção 4 mostra os resultados do tubo de PEAD no interior do túnel, referindo que não suportam qualquer esforço mecânico.

2.4.3. Sistema de hipoclorito

Os seguintes parâmetros de projeto foram considerados para o cálculo mecânico da conduta:

Módulo de elasticidade do PEAD a curto prazo $E = 800 \text{ MPa} = 116030,2 \text{ psi}$.

Ovalização máxima PEAD $4,0 \%$.

Gravidade específica do solo natural $w = 2000 \text{ kg/m}^3 = 124,86 \text{ pcf}$.

O mesmo módulo de elasticidade foi considerado tanto para o solo natural (E'_N) como para o enchimento (E'_E), o cálculo é realizado para ambos os invólucros de tubagens (DN 180 mm e DN 250 mm) do sistema de hipoclorito.

Foram feitas iterações (como no sistema de captação e rejeição de salmoura) para determinar o módulo de elasticidade mínimo para o qual o tubo suporta as tensões mecânicas em cada secção tipo definida, obtendo-se:

- PK 570-PK 600: $E'_N = E'_E = 400,000 \text{ psi}$.
- PK 600-PK FINAL: $E'_N = E'_E = 50,000 \text{ psi}$.

2.4.4. Tabela de resumo

Segue-se uma tabela com os módulos de elasticidade mínimos necessários para suportar as cargas mecânicas recebidas em cada tubagem nos diferentes troços:

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 12 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Conduta	Troço (m)	Módulo de elasticidade mínimo necessário	
		[psi]	[MPa]
Captação DN1200	PK 0+564-PK 0+600	700	4,83
	PK 0+600-PK 2+029	400	2,76
Captação DN1000	PK 0+564-PK 0+600	700	4,83
	PK 0+600-PK 2+029	400	2,76
Rejeição DN1000	PK 0+853-PK 0+890	500	3,45
	PK 0+890 – PK 2+203	203	1,40
Hipoclorito DN180	PK 0+564-PK 0+600	400	2,76
	PK 0+600-PK 2+029	50	0,34
Hipoclorito DN250	PK 0+564-PK 0+600	400	2,76
	PK 0+600-PK 2+029	50	0,34

Tabela 2. Módulos de elasticidade mínimos necessários.

2.5. Critérios de conceção para afundamento

Devem ser observados os seguintes limites:

- Raio de curvatura mínimo: $\geq 30 \times \text{DN da tubagem}$
- Ovalização máxima: $\leq 6\%$
- Fator de segurança ao colapso: $\geq 1,6$

Como se pode verificar nos resultados apresentados na secção 5.5, os critérios resultantes da metodologia aplicada são mais rigorosos do que os definidos.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 13 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

3. FORMULAÇÃO UTILIZADA

3.1. Tubagens de polietileno de alta densidade

São analisadas as seguintes situações de carga:

3.1.1. HIPÓTESE 1.- Pressão interna positiva

Na hipótese de pressão interna de ação simples, deve verificar-se que a WP (pressão de serviço) não excede o valor da PC (classe de pressão) do tubo. Deve também verificar-se se o tubo é capaz de suportar sobrepressões, o que é feito através da WPR (Working pressure rating), que é a capacidade de projeto do tubo para suportar a pressão de serviço à temperatura de projeto com capacidade suficiente para suportar sobrepressões acima da pressão de serviço. Por conseguinte, deve ser cumprido o seguinte:

$$WP \leq WPR \leq PC$$

3.1.2. HIPÓTESE 2.- Acções externas (verificação da deflexão)

De acordo com a norma, para continuar com o cálculo, o próximo passo a ser efectuado é obter as cargas externas. A carga devida ao peso da terra no eixo superior do tubo é calculada da seguinte forma:

$$P_E = wH$$

, onde:

- P_E carga devida ao peso do terra, psf.
- w o peso do solo, pcf.
- H a altura da terra sobre o tubo, ft.

Como mencionado anteriormente, nesta altura verifica-se que a deflexão causada pelas cargas externas não excede o valor permitido para a deflexão. Para este efeito, calculamos a deflexão causada por cargas externas sendo:

$$\% \frac{\Delta Y}{D_M} = \frac{K(T_L P_E + P_L + P_{ES})}{\frac{2E}{3(DR - 1)^3} + 0.061E'} (100)$$

, onde:

$$\% \frac{\Delta Y}{D_M} \text{ porcentaje de deflexión.}$$

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 14 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

- ΔY deflexão ou variação do diâmetro, pol.
- DM diâmetro médio, (DO-t), in.
- K constante de suporte, normalmente 0,1.
- TL Fator de desfasamento, geralmente é adotado um valor conservador de 1,5. Este fator tem em conta o aumento da deformação ao longo do tempo.
- PE carga devida ao peso da terra, psf.
- E módulo de elasticidade do material do tubo, psi.
- DR rácio de dimensão (DO/t)
- E' módulo de projeto do solo, psi.

Por outro lado, quando o tubo entra numa trincheira, o módulo de desenho do solo E' será:

$$E' = S_c E'_E$$

, onde:

- E' módulo de desenho do solo, psi.
- E'E módulo de desenho do solo na trincheira, psi.
- SC Fator de suporte do solo. Obtido do Quadro 5-10 do manual, em função do rácio E'N/E'E e Bd/DO, onde:
- E'N é o módulo de elasticidade do solo natural.
- Bd é a largura da trincheira.
- DO é o diâmetro exterior do tubo, in.

Por fim, a deflexão é verificada com o valor máximo permitido para a dita, que no caso de tubos que não trabalham sob pressão é de no máximo 7,5% e para tubos que trabalham sob pressão é dado na tabela 5.11 do Manual M55, onde para SDR de 26 o limite é de 7,5%, por conseguinte:

$$\% \frac{\Delta Y}{D_M} < 7,5\%$$

Neste caso, a deflexão máxima é limitada a 4,0 %.

3.1.3. HIPÓTESE 3.- Acções externas e pressão interna negativa (colapso ou empenamento)

Quando as tubagens enterradas são sujeitas a cargas externas, tais como pressão interna negativa, água subterrânea ou cargas extremamente elevadas, pode ocorrer instabilidade na parede da tubagem, causando uma deformação por empenamento. A resistência contra essa encurvadura diminuiu devido ao efeito de contra-ação do solo que envolve a tubulação. Para que este apoio do solo se desenvolva, o tubo deve ser enterrado durante pelo menos 4 pés ou um diâmetro de terra. A seguinte equação para tubos, considerando o efeito positivo do solo, calcula a resistência do tubo enterrado contra cargas externas.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 15 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

$$P_{CA} = \frac{5.65}{N} \sqrt{R_b B' E' \frac{E}{12(DR - 1)^3}}$$

, onde:

- PCA pressão externa admissível para o tubo (efeito das terras circundantes), psi.
- N fator de segurança, para o polietileno geralmente 2,0.
- Rb fator de redução da resistência
- B' fator de suporte elástico do solo.
- E' módulo de desenho do solo, psi.
- E' módulo de elasticidade do material do tubo, psi.
- DR rácio de dimensão (DO/t)

Por outro lado, o fator de redução da resistência é calculado do seguinte modo:

$$R_b = 1 - 0,33 \frac{H_W}{H}$$

, onde:

- HW altura da água sobre o tubagem, ft.
- H altura do terra acima da chave do tubo, ft.

E o fator de suporte elástico do solo, como:

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0,065H}}$$

Finalmente, a pressão externa admissível para o tubo neste caso será:

$$PCA > PE + PL + PV$$

, onde:

- PE, PL são as cargas externas de terra e de trânsito, respetivamente, psi.
- PV é a pressão interna negativa, psi.

Adicionalmente, se a tubagem estiver sujeito a pressões internas negativas, o tubo deve ser capaz de suportar a pressão interna negativa sem a ajuda do solo circundante. Por conseguinte, a equação seguinte dá a pressão negativa admissível ou a pressão externa sem a ajuda do efeito do solo que o tubo pode suportar antes do colapso.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 16 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

$$P_{UA} = \left(\frac{2E}{1 - \mu^2} \right) \left(\frac{1}{DR - 1} \right)^3 \left(\frac{f_0}{N} \right)$$

, onde:

- PUA pressão externa admissível para o tubo (não afetada pelo efeito das terras circundantes), psi.
- E módulo de elasticidade do material do tubo, psi.
- μ coeficiente de Poisson. 0,45 a longo prazo e 0,35 a curto prazo.
- DR rácio de dimensão (DO/t).
- f_0 compensação do fator de ovalização.
- N fator de segurança, normalmente 2,0.

3.1.4. HIPÓTESE 4.- Acções externas (compressão da parede do tubagem)

A pressão da terra aplicada ao tubo enterrado cria uma compressão na parede do tubagem. Quando os tubos são pressurizados, esta solicitação de compressão é anulada pela tração gerada pela pressão interna do tubagem. Os tubos enterrados e pressurizados estão sujeitos a uma pressão externa líquida apenas quando ocorrem pressões negativas ou de fecho. Durante estes eventos, a compressão não ocorre durante um período de tempo suficientemente longo para ser significativa, porque a tensão de cálculo do polietileno a curto prazo é consideravelmente mais elevada do que a longo prazo. As condutas enterradas a muita profundidade e que operam a baixas pressões podem apresentar compressão nas suas paredes. A equação seguinte pode ser utilizada para calcular essas forças de compressão:

$$S = \frac{P_E(D_0 - t)}{2t} = \frac{P_E(DR - 1)}{2}$$

, onde:

- S compressão circunferencial da parede, psi.
- PE carga de peso da terra, psi.
- DO diâmetro exterior do tubagem, in.
- t espessura do tubagem, in.

3.2. Tubagens do betão

O objeto de estudo desta secção centra-se no cálculo mecânico de um tubo de betão enterrado. Para o cálculo mecânico, utilizou-se o programa de cálculo da ATHA (Associação de Fabricantes de Tubos de Betão Armado), que é calculado com base nos cálculos incluídos na norma UNE 127 916:2020.

A capacidade de resistência às cargas externas é normalmente verificada através dos seguintes passos:

- Determinar as cargas externas.
- Verificar que a deformação provocada pelas cargas externas não excede o valor permitido.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 18 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

4. RESULTADOS TUBAGEM ENTERRADA

4.1. PEAD

Nas tabelas seguintes, pode verificar-se como o tubo é mecanicamente válido para as tensões estabelecidas:

4.1.1. Captação de água no mar

DN 1200 (PK 0+000 – PK 0+563, túnel)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Condutas de captação

Dados			
Diâmetro nominal	DN	47,24 in	1200,00 mm
Diâmetro exterior	DO	47,24 in	1200,00 mm
Diâmetro interior	DI	43,63 in	1108,20 mm
Espessura	t	1,81 in	45,90 mm
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	3,45 Mpa
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	3,45 Mpa
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
SDR equivalente	SDReq	26,1	
Classe de pressão	PN	92,82 psi	6,40 bars
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 curto prazo	

Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva		Comprobaciones			
Pressão do trabalho	WP	9,20 mca	WP	≤	WPR
Pressão do trabalho	WP	13,08 psi	WP	≤	WPR
			13,08		92,82
			WPR	≤	PC
			92,82		92,82
Classe de pressão	PN	92,82 psig			
Pressão máxima de trabalho	WPR	92,82 psi			

Ações externas			
Cargas mortas			
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	0,00 psf	0,00 N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	0,00 ft	0,00 m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00 m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07 kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	0,00 ft	0,00 m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03 kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	0,00 ft	0,00 mca
Cargas vivas			
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00 N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs	
Fator de impacto	If	1,5	
Área de contato	A	1,389 ft2	
Raio equivalente	R	0,6649 ft	
Altura do solo acima da tubagem	H	0,00 ft	

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)			
Deflexão			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	0,00 %	
Constante de suporte	K	0,1	
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5	
Carga devido ao peso da terras	PE	0,00 psi	
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi	
SDR	SDR	26,1	
Módulo de reação do solo	E'	500,00 psi	
Fator de suporte do solo	Sc	1	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00 m
Diâmetro exterior	DO	47,24 in	
	Bd/DO	4,17	
	E'N/E'E	1,00	
Limites de deflexão			
SDR	SDR	26,1	
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %	
Verificação			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	0,00 %	0,00 % < 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %	

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	19 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)					
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	0,01 psi			
Fator de segurança	N	2,00			
Fator de redução de resistência	Rb	0,01			
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,20			
Módulo de reação do solo	E'	500,00 psi			
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi			
SDR	SDR	26,1			
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	0,00 ft	0,00	m	
Altura do solo acima da tubagem	H	0,00 ft	0,00	m	
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	7,11 psi			
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,82 psi			
Fator de compensação de ovalização	fo	0,7			
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 long term			
Verificação					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	0,01 psi	0,00 N/mm2	PCA > 0,01	PE+PL+Pv > 7,11 OK
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,82 psi	0,04 N/mm2	PUA > 5,82	Pv > 7,11 OK
PE+PL+Pv		7,11 psi	0,05 N/mm2		

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)					
Compressão de parede					
Compressão circunferencial da parede	S	0,00 psi			
Carga devido ao peso da terras	PE	0,00 psi			
SDR	SDR	26,1			
Verificação					
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00 psi	S	< 1000,00	
Compressão circunferencial da parede	S	0,00 psi	0,00	< 1000,00	OK

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 20 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

DN 1200 (PK 0+564-PK 0+600, vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Condutas de captação

Dados				
Diâmetro nominal	DN	47,24 in	1200,00 mm	Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.
Diâmetro exterior	DO	47,24 in	1200,00 mm	
Diâmetro interior	DI	43,63 in	1108,20 mm	
Espessura	t	1,81 in	45,90 mm	
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	3,45 Mpa	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	1000,00 psi	6,89 Mpa	
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3	
SDR equivalente	SDReq	26,1		
Classe de pressão	PN	92,82 psi	6,40 bars	
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	curto prazo	

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva		Comprobaciones				
Pressão do trabalho	WP	12,35 mca	WP	≤	WPR	≤ PC OK
Pressão do trabalho	WP	17,56 psi	WP	≤	WPR	
			17,56		92,82	OK
			WPR	≤	PC	
			92,82		92,82	OK
Classe de pressão	PN	92,82 psig	92,82		92,82	OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	92,82 psi				

Ações externas				
Cargas mortas				
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	1937,66 psf	92775,79	N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf		
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	19,36 ft	5,90	m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00	kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07	kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	19,36 ft	5,90	m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03	kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	9,74 ft	2,97	mca
Cargas vivas				
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00	N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs		
Fator de impacto	If	1,5		
Área de contato	A	1,389 ft2		
Raio equivalente	R	0,6649 ft		
Altura do solo acima da tubagem	H	19,36 ft		

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)				
Deflexão				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,06 %		
Constante de suporte	K	0,1		
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5		
Carga devido ao peso da terras	PE	13,46 psi		
Carga de tráfego	PL	0,00 psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi		
SDR	SDR	26,1		
Módulo de reação do solo	E'	1000,00 psi		
Fator de suporte do solo	Sc	1		
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi		
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	1000,00 psi		
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00	m
Diâmetro exterior	DO	47,24 in		
	Bd/DO	4,17		
	E'N/E'E	0,50		
Limites de deflexão				
SDR	SDR	26,1		
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		
Verificação				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,06 %	3,06 %	< 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	21 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)									
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes	PCA	39,01	psi						
Fator de segurança	N	2,00							
Fator de redução de resistência	Rb	0,67							
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,47							
Módulo de reação do solo	E'	1000,00	psi						
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19	psi						
SDR	SDR	26,1							
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	19,36	ft	5,90	m				
Altura do solo acima da tubagem	H	19,36	ft	5,90	m				
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	5,68	psi						
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes	PUA	5,82	psi						
Fator de compensação de ovalização	fo	0,7							
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	long term						
Verificação									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes	PCA	39,01	psi	0,27	N/mm2	39,01	>	PE+PL+Pv	
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes	PUA	5,82	psi	0,04	N/mm2	PUA	>	Pv	OK
PE+PL+Pv		19,14	psi	0,13	N/mm2	5,82	>	5,68	OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)									
Compressão de parede									
Compressão circunferencial da parede	S	169,17	psi						
Carga devido ao peso da terras	PE	13,46	psi						
SDR	SDR	26,1							
Verificação									
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00	psi			S	<	1000,00	
Compressão circunferencial da parede	S	169,17	psi			169,17	<	1000,00	OK

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 22 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

DN 1200 (PK 0+600-PK 2+029, vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Condutas de captação

Dados				
Diâmetro nominal	DN	47,24 in	1200,00 mm	Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.
Diâmetro exterior	DO	47,24 in	1200,00 mm	
Diâmetro interior	DI	43,63 in	1108,20 mm	
Espessura	t	1,81 in	45,90 mm	
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	3,45 Mpa	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	3,45 Mpa	
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3	
SDR equivalente	SDReq	26,1		
Classe de pressão	PN	92,82 psi	6,40 bars	
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	curto prazo	

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva		Comprobaciones				
Pressão do trabalho	WP	9,20 mca	WP	≤	WPR	≤ PC OK
Pressão do trabalho	WP	13,08 psi	WP	≤	WPR	
			13,08		92,82	OK
			WPR	≤	PC	
			92,82		92,82	OK
Classe de pressão	PN	92,82 psig	92,82		92,82	OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	92,82 psi				

Ações externas				
Cargas mortas				
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	1046,66 psf	50114,25	N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf		
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	6,56 ft	2,00	m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00	kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07	kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	6,56 ft	2,00	m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03	kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	9,55 ft	2,91	mca
Cargas vivas				
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00	N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs		
Fator de impacto	If	1,5		
Área de contato	A	1,389 ft2		
Raio equivalente	R	0,6649 ft		
Altura do solo acima da tubagem	H	6,56 ft		

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)				
Deflexão				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,08 %		
Constante de suporte	K	0,1		
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5		
Carga devido ao peso da terras	PE	7,27 psi		
Carga de tráfego	PL	0,00 psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi		
SDR	SDR	26,1		
Módulo de reação do solo	E'	500,00 psi		
Fator de suporte do solo	Sc	1		
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi		
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi		
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00	m
Diâmetro exterior	DO	47,24 in		
	Bd/DO	4,17		
	E'N/E'E	1,00		
Limites de deflexão				
SDR	SDR	26,1		
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		
Verificação				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,08 %	3,08 %	< 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	23 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)									
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	21,22	psi						
Fator de segurança	N	2,00							
Fator de redução de resistência	Rb	0,67							
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,28							
Módulo de reação do solo	E'	500,00	psi						
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19	psi						
SDR	SDR	26,1							
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	6,56	ft	2,00	m				
Altura do solo acima da tubagem	H	6,56	ft	2,00	m				
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	5,68	psi						
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,82	psi						
Fator de compensação de ovalização	f0	0,7							
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	long term						
Verificação									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	21,22	psi	0,15	N/mm2	21,22	>	PE+PL+Pv	
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,82	psi	0,04	N/mm2	PUA	>	Pv	OK
PE+PL+Pv		12,95	psi	0,09	N/mm2	5,82	>	5,68	OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)									
Compressão de parede									
Compressão circunferencial da parede	S	91,38	psi						
Carga devido ao peso da terras	PE	7,27	psi						
SDR	SDR	26,1							
Verificação									
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00	psi			S	<	1000,00	
Compressão circunferencial da parede	S	91,38	psi			91,38	<	1000,00	OK

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 24 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

DN 1000 (PK 0+000 – PK 0+564, túnel)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Condutas de captação

Dados				
Diâmetro nominal	DN	39,37 in	1000,00 mm	Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.
Diâmetro exterior	DO	39,37 in	1000,00 mm	
Diâmetro interior	DI	36,36 in	923,60 mm	
Espessura	t	1,50 in	38,20 mm	
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	3,45 Mpa	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	3,45 Mpa	
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3	
SDR equivalente	SDReq	26,2		
Classe de pressão	PN	92,82 psi	6,40 bars	
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	curto prazo	

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva		Comprobaciones				
Pressão do trabalho	WP	9,20 mca	WP	≤	WPR	≤ PC OK
Pressão do trabalho	WP	13,08 psi	WP	≤	WPR	
			13,08		92,82	OK
			WPR	≤	PC	
			92,82		92,82	OK
Classe de pressão	PN	92,82 psig	92,82		92,82	OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	92,82 psi				

Ações externas				
Cargas mortas				
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	0,00 psf	0,00	N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf		
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00	kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07	kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	0,00 ft	0,00	m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03	kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	0,00 ft	0,00	mca
Cargas vivas				
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00	N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs		
Fator de impacto	If	1,5		
Área de contato	A	1,389 ft2		
Raio equivalente	R	0,6649 ft		
Altura do solo acima da tubagem	H	0,00 ft		

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)				
Deflexão				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	0,00 %		
Constante de suporte	K	0,1		
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5		
Carga devido ao peso da terras	PE	0,00 psi		
Carga de tráfego	PL	0,00 psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi		
SDR	SDR	26,2		
Módulo de reação do solo	E'	500,00 psi		
Fator de suporte do solo	Sc	1		
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi		
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi		
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00	m
Diâmetro exterior	DO	39,37 in		
	Bd/DO	5,00		
	E'N/E'E	1,00		
Limites de deflexão				
SDR	SDR	26,2		
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		
Verificação				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	0,00 %	0,00 %	< 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		06/05/2025	02.0	25 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)									
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	0,01	psi						
Fator de segurança	N	2,00							
Fator de redução de resistência	Rb	0,01							
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,20							
Módulo de reação do solo	E'	500,00	psi						
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19	psi						
SDR	SDR	26,2							
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	0,00	ft	0,00	m				
Altura do solo acima da tubagem	H	0,00	ft	0,00	m				
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	7,11	psi						
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,80	psi						
Fator de compensação de ovalização	fo	0,7							
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	long term						
Verificação									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	0,01	psi	0,00	N/mm2	PCA	>	PE+PL+Pv	
						0,01	>	7,11	OK
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,80	psi	0,04	N/mm2	PUA	>	Pv	
PE+PL+Pv		7,11	psi	0,05	N/mm2	5,80	>	7,11	OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)									
Compressão de parede									
Compressão circunferencial da parede	S	0,00	psi						
Carga devido ao peso da terras	PE	0,00	psi						
SDR	SDR	26,2							
Verificação									
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00	psi			S	<	1000,00	
Compressão circunferencial da parede	S	0,00	psi			0,00	<	1000,00	OK

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	26 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

DN 1000 (PK 0+564-PK 0+600, vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Condutas de captação

Dados				
Diâmetro nominal	DN	39,37 in	1000,00 mm	Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.
Diâmetro exterior	DO	39,37 in	1000,00 mm	
Diâmetro interior	DI	36,36 in	923,60 mm	
Espessura	t	1,50 in	38,20 mm	
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	3,45 Mpa	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	1000,00 psi	6,89 Mpa	
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3	
SDR equivalente	SDReq	26,2		
Classe de pressão	PN	92,82 psi	6,40 bars	
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	curto prazo	

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva			Comprobações					
Pressão do trabalho	WP	12,35 mca	WP	≤	WPR	≤	PC	OK
Pressão do trabalho	WP	17,56 psi	WP	≤	WPR			
			17,56		92,82			OK
			WPR	≤	PC			
			92,82		92,82			OK
Classe de pressão	PN	92,82 psig	92,82		92,82			
Pressão máxima de trabalho	WPR	92,82 psi						

Ações externas				
Cargas mortas				
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	1960,19 psf	93854,59	N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf		
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	19,69 ft	6,00	m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00	kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07	kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	19,69 ft	6,00	m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03	kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	9,74 ft	2,97	mca
Cargas vivas				
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00	N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs		
Fator de impacto	If	1,5		
Área de contato	A	1,389 ft2		
Raio equivalente	R	0,6649 ft		
Altura do solo acima da tubagem	H	19,69 ft		

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)				
Deflexão				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,10 %		
Constante de suporte	K	0,1		
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5		
Carga devido ao peso da terras	PE	13,61 psi		
Carga de tráfego	PL	0,00 psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi		
SDR	SDR	26,2		
Módulo de reação do solo	E'	1000,00 psi		
Fator de suporte do solo	Sc	1		
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi		
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	1000,00 psi		
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00	m
Diâmetro exterior	DO	39,37 in		
	Bd/DO	5,00		
	E'N/E'E	0,50		
Limites de deflexão				
SDR	SDR	26,2		
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		
Verificação				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,10 %	3,10 %	< 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	27 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)					
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	39,15 psi			
Fator de segurança	N	2,00			
Fator de redução de resistência	Rb	0,67			
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,47			
Módulo de reação do solo	E'	1000,00 psi			
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi			
SDR	SDR	26,2			
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	19,69 ft	6,00	m	
Altura do solo acima da tubagem	H	19,69 ft	6,00	m	
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	5,68 psi			
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,80 psi			
Fator de compensação de ovalização	f0	0,7			
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 long term			
Verificação					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	39,15 psi	0,27 N/mm2	PCA	> PE+PL+Pv
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,80 psi	0,04 N/mm2	PUA	> Pv
PE+PL+Pv		19,29 psi	0,13 N/mm2	5,80	> 5,68 OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)					
Compressão de parede					
Compressão circunferencial da parede	S	171,38 psi			
Carga devido ao peso da terras	PE	13,61 psi			
SDR	SDR	26,2			
Verificação					
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00 psi	S	<	1000,00
Compressão circunferencial da parede	S	171,38 psi	171,38	<	1000,00 OK

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	28 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

DN 1000 (PK 0+600-PK 2+029, vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Condutas de captação

Dados			
Diâmetro nominal	DN	39,37 in	1000,00 mm
Diâmetro exterior	DO	39,37 in	1000,00 mm
Diâmetro interior	DI	36,36 in	923,60 mm
Espessura	t	1,50 in	38,20 mm
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	3,45 Mpa
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	3,45 Mpa
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
SDR equivalente	SDReq	26,2	
Classe de pressão	PN	92,82 psi	6,40 bars
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	curto prazo

Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva			Comprobações					
Pressão do trabalho	WP	9,20 mca	WP	≤	WPR	≤	PC	OK
Pressão do trabalho	WP	13,08 psi	WP	≤	WPR	≤		
			13,08		92,82			OK
			WPR	≤	PC			
Classe de pressão	PN	92,82 psig	92,82		92,82			OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	92,82 psi						

Ações externas			
Cargas mortas			
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	1046,66 psf	50114,25 N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	6,56 ft	2,00 m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00 m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07 kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	6,56 ft	2,00 m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03 kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	9,55 ft	2,91 mca
Cargas vivas			
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00 N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs	
Fator de impacto	If	1,5	
Área de contato	A	1,389 ft2	
Raio equivalente	R	0,6649 ft	
Altura do solo acima da tubagem	H	6,56 ft	

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)			
Deflexão			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,08 %	
Constante de suporte	K	0,1	
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5	
Carga devido ao peso da terras	PE	7,27 psi	
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi	
SDR	SDR	26,2	
Módulo de reação do solo	E'	500,00 psi	
Fator de suporte do solo	Sc	1	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00 m
Diâmetro exterior	DO	39,37 in	
	Bd/DO	5,00	
	E'N/E'E	1,00	
Limites de deflexão			
SDR	SDR	26,2	
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %	
Verificação			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,08 %	3,08 % < 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %	

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	29 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)					
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	21,18 psi			
Fator de segurança	N	2,00			
Fator de redução de resistência	Rb	0,67			
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,28			
Módulo de reação do solo	E'	500,00 psi			
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi			
SDR	SDR	26,2			
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	6,56 ft	2,00	m	
Altura do solo acima da tubagem	H	6,56 ft	2,00	m	
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	5,68 psi			
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,80 psi			
Fator de compensação de ovalização	fo	0,7			
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 long term			
Verificação					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	21,18 psi	0,15 N/mm2	PCA	> PE+PL+Pv
				21,18	> 12,95 OK
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,80 psi	0,04 N/mm2	PUA	> Pv
					> 5,68 OK
PE+PL+Pv		12,95 psi	0,09 N/mm2	5,80	> 5,68 OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)					
Compressão de parede					
Compressão circunferencial da parede	S	91,51 psi			
Carga devido ao peso da terras	PE	7,27 psi			
SDR	SDR	26,2			
Verificação					
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00 psi	S	<	1000,00
Compressão circunferencial da parede	S	91,51 psi	91,51	<	1000,00 OK

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	30 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

4.1.2. Rejeição da salmoura no mar

PK 0+000 – PK 0+**910** (túnel)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Design and Installation. Manual of Water supply practices M55.
Emissário marino

Dados				
Diâmetro nominal	DN	39,37 in	1000,00 mm	Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.
Diâmetro exterior	DO	39,37 in	1000,00 mm	
Diâmetro interior	DI	36,36 in	923,60 mm	
Espessura	t	1,50 in	38,20 mm	
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	3,45 Mpa	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	3,45 Mpa	
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3	
SDR equivalente	SDReq	26,2		
Classe de pressão	PN	92,82 psi	6,40 bars	
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 curto prazo		

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva		Comprobaciones				
Pressão do trabalho	WP	1,40 mca	WP	≤	WPR	≤ PC OK
Pressão do trabalho	WP	1,99 psi	WP	≤	WPR	
			1,99	≤	32,48	OK
			WPR	≤	PC	
Classe de pressão	PN	92,82 psig	32,48		92,82	OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	32,48 psi				

Ações externas				
Cargas mortas				
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	0,00 psf	0,00	N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf		
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00	kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07	kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	0,00 ft	0,00	m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03	kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	0,00 ft	0,00	mca
Cargas vivas				
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00	N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs		
Fator de impacto	If	1,5		
Área de contato	A	1,389 ft2		
Raio equivalente	R	0,6649 ft		
Altura do solo acima da tubagem	H	0,00 ft		

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)				
Deflexão				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	0,00 %		
Constante de suporte	K	0,1		
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5		
Carga devido ao peso da terras	PE	0,00 psi		
Carga de tráfego	PL	0,00 psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi		
SDR	SDR	26,2		
Módulo de reação do solo	E'	500,00 psi		
Fator de suporte do solo	Sc	1		
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi		
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi		
Largura da vala	Bd	78,80 in	2,00	m
Diâmetro exterior	DO	39,37 in		
	Bd/DO	2,00		
	E'N/E'E	1,00		
Limites de deflexão				
SDR	SDR	26,2		
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		
Verificação				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	0,00 %	0,00 %	< 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		06/05/2025	02.0	31 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)									
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	0,01	psi						
Fator de segurança	N	2,00							
Fator de redução de resistência	Rb	0,01							
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,20							
Módulo de reação do solo	E'	500,00	psi						
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19	psi						
SDR	SDR	26,2							
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	0,00	ft	0,00	m				
Altura do solo acima da tubagem	H	0,00	ft	0,00	m				
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	0,00	psi						
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,63	psi						
Fator de compensação de ovalização	fo	0,68							
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	long term						
Verificação									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	0,01	psi	0,00	N/mm2	PCA	>	PE+PL+Pv	
						0,01	>	0,00	OK
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,63	psi	0,04	N/mm2	PUA	>	Pv	
PE+PL+Pv		0,00	psi	0,00	N/mm2	5,63	>	0,00	OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)									
Compressão de parede									
Compressão circunferencial da parede	S	0,00	psi						
Carga devido ao peso da terras	PE	0,00	psi						
SDR	SDR	26,2							
Verificação									
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00	psi			S	<	1000,00	
Compressão circunferencial da parede	S	0,00	psi			0,00	<	1000,00	OK

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	32 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

PK 0+910-PK0+940 (vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Design and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Emissário marino

Dados				
Diâmetro nominal	DN	39,37 in	1000,00 mm	Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.
Diâmetro exterior	DO	39,37 in	1000,00 mm	
Diâmetro interior	DI	36,36 in	923,60 mm	
Espessura	t	1,50 in	38,20 mm	
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	3,45 Mpa	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	3,45 Mpa	
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3	
SDR equivalente	SDReq	26,2		
Classe de pressão	PN	92,82 psi	6,40 bars	
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	curto prazo	

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva		Comprobaciones				
Pressão do trabalho	WP	1,40 mca	WP	≤	WPR	≤ PC OK
Pressão do trabalho	WP	1,99 psi	WP	≤	WPR	
			1,99		32,48	OK
			WPR	≤	PC	
			32,48		92,82	OK
Classe de pressão	PN	92,82 psig	32,48		92,82	OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	32,48 psi				

Ações externas				
Cargas mortas				
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	1171,62 psf	56097,50	N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf		
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	17,06 ft	5,20	m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00	kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07	kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	17,06 ft	5,20	m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03	kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	0,00 ft	0,00	mca
Cargas vivas				
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00	N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs		
Fator de impacto	If	1,5		
Área de contato	A	1,389 ft2		
Raio equivalente	R	0,6649 ft		
Altura do solo acima da tubagem	H	17,06 ft		

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)				
Deflexão				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,45 %		
Constante de suporte	K	0,1		
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5		
Carga devido ao peso da terras	PE	8,14 psi		
Carga de tráfego	PL	0,00 psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi		
SDR	SDR	26,2		
Módulo de reação do solo	E'	500,00 psi		
Fator de suporte do solo	Sc	1		
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi		
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi		
Largura da vala	Bd	78,80 in	2,00	m
Diâmetro exterior	DO	39,37 in		
	Bd/DO	2,00		
	E'N/E'E	1,00		
Limites de deflexão				
SDR	SDR	26,2		
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		
Verificação				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,45 %	3,45 %	< 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		06/05/2025	02.0	33 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)									
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	26,42	psi						
Fator de segurança	N	2,00							
Fator de redução de resistência	Rb	0,67							
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,43							
Módulo de reação do solo	E'	500,00	psi						
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19	psi						
SDR	SDR	26,2							
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	17,06	ft	5,20	m				
Altura do solo acima da tubagem	H	17,06	ft	5,20	m				
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	0,00	psi						
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,63	psi						
Fator de compensação de ovalização	f0	0,68							
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	long term						
Verificação									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	26,42	psi	0,18	N/mm2	26,42	>	PE+PL+Pv	
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,63	psi	0,04	N/mm2	PUA	>	8,14	OK
PE+PL+Pv		8,14	psi	0,06	N/mm2	5,63	>	0,00	OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)									
Compressão de parede									
Compressão circunferencial da parede	S	102,43	psi						
Carga devido ao peso da terras	PE	8,14	psi						
SDR	SDR	26,2							
Verificação									
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00	psi			S	<	1000,00	
Compressão circunferencial da parede	S	102,43	psi			102,43	<	1000,00	OK

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	34 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

PK **0+940** – PK **2+260** (vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Design and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Emissário marino

Dados			
Diâmetro nominal	DN	39,37 in	1000,00 mm
Diâmetro exterior	DO	39,37 in	1000,00 mm
Diâmetro interior	DI	36,36 in	923,60 mm
Espessura	t	1,50 in	38,20 mm
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	3,45 Mpa
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	3,45 Mpa
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
SDR equivalente	SDReq	26,2	
Classe de pressão	PN	92,82 psi	6,40 bars
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	curto prazo

Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva			Comprobações					
Pressão do trabalho	WP	1,40 mca	WP	≤	WPR	≤	PC	OK
Pressão do trabalho	WP	1,99 psi	WP	≤	WPR			
			1,99		32,48			OK
			WPR	≤	PC			
Classe de pressão	PN	92,82 psig	32,48		92,82			OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	32,48 psi						

Ações externas			
Cargas mortas			
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	450,62 psf	21575,96 N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	6,56 ft	2,00 m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00 m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07 kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	6,56 ft	2,00 m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03 kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	0,00 ft	0,00 mca
Cargas vivas			
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00 N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs	
Fator de impacto	If	1,5	
Área de contato	A	1,389 ft2	
Raio equivalente	R	0,6649 ft	
Altura do solo acima da tubagem	H	6,56 ft	

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)			
Deflexão			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	1,33 %	
Constante de suporte	K	0,1	
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5	
Carga devido ao peso da terras	PE	3,13 psi	
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi	
SDR	SDR	26,2	
Módulo de reação do solo	E'	500,00 psi	
Fator de suporte do solo	Sc	1	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	500,00 psi	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	500,00 psi	
Largura da vala	Bd	78,80 in	2,00 m
Diâmetro exterior	DO	39,37 in	
	Bd/DO	2,00	
	E'N/E'E	1,00	
Limites de deflexão			
SDR	SDR	26,2	
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %	
Verificação			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	1,33 %	1,33 % < 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %	

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	35 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)									
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	21,18	psi						
Fator de segurança	N	2,00							
Fator de redução de resistência	Rb	0,67							
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,28							
Módulo de reação do solo	E'	500,00	psi						
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19	psi						
SDR	SDR	26,2							
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	6,56	ft	2,00	m				
Altura do solo acima da tubagem	H	6,56	ft	2,00	m				
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	0,00	psi						
Pressão externa admissível									
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,63	psi						
Fator de compensação de ovalização	f0	0,68							
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	long term						
Verificação									
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	21,18	psi	0,15	N/mm2	PCA	>	PE+PL+Pv	
						21,18	>	3,13	OK
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	5,63	psi	0,04	N/mm2	PUA	>	Pv	
PE+PL+Pv		3,13	psi	0,02	N/mm2	5,63	>	0,00	OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)									
Compressão de parede									
Compressão circunferencial da parede	S	39,40	psi						
Carga devido ao peso da terras	PE	3,13	psi						
SDR	SDR	26,2							
Verificação									
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00	psi			S	<	1000,00	
Compressão circunferencial da parede	S	39,40	psi			39,40	<	1000,00	OK

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	36 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

4.1.3. Hipoclorito

DN 180 (PK 0+564-PK 0+600, vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Conduta de hipoclorito

Dados				
Diâmetro nominal	DN	7,09 in	180,00 mm	Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.
Diâmetro exterior	DO	7,09 in	180,00 mm	
Diâmetro interior	DI	6,24 in	158,60 mm	
Espessura	t	0,42 in	10,70 mm	
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	400,00 psi	2,76 Mpa	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	400,00 psi	2,76 Mpa	
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3	
SDR equivalente	SDReq	16,8		
Classe de pressão	PN	145,10 psi	10,00 bars	
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 curto prazo		

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva		Comprobaciones				
Pressão do trabalho	WP	12,50 mca	WP	≤	WPR	≤ PC OK
Pressão do trabalho	WP	17,78 psi	WP	≤	WPR	
			17,78	≤	145,10	OK
			WPR	≤	PC	
			145,10	≤	145,10	OK
Classe de pressão	PN	145,10 psig				
Pressão máxima de trabalho	WPR	145,10 psi				

Ações externas				
Cargas mortas				
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	1351,87 psf	64727,89	N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf		
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	19,69 ft	6,00	m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00	kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07	kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	19,69 ft	6,00	m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03	kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	0,00 ft	0,00	mca
Cargas vivas				
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00	N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs		
Fator de impacto	If	1,5		
Área de contato	A	1,389 ft2		
Raio equivalente	R	0,6649 ft		
Altura do solo acima da tubagem	H	19,69 ft		

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)				
Deflexão				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,21 %		
Constante de suporte	K	0,1		
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5		
Carga devido ao peso da terras	PE	9,39 psi		
Carga de tráfego	PL	0,00 psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi		
SDR	SDR	16,8		
Módulo de reação do solo	E'	400,00 psi		
Fator de suporte do solo	Sc	1		
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	400,00 psi		
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	400,00 psi		
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00	m
Diâmetro exterior	DO	7,09 in		
	Bd/DO	27,80		
	E'N/E'E	1,00		
Limites de deflexão				
SDR	SDR	16,8		
Limites de deflexão	ΔY/DM	7,5 %		
Verificação				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,21 %	3,21 %	< 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		06/05/2025	02.0	37 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)					
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	49,71 psi			
Fator de segurança	N	2,00			
Fator de redução de resistência	Rb	0,67			
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,47			
Módulo de reação do solo	E'	400,00 psi			
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi			
SDR	SDR	16,8			
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	19,69 ft	6,00	m	
Altura do solo acima da tubagem	H	19,69 ft	6,00	m	
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	0,00 psi			
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	33,05 psi			
Fator de compensação de ovalização	f0	0,99			
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 long term			
Verificação					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	49,71 psi	0,34 N/mm2	PCA > 49,71	PE+PL+Pv > 9,39 OK
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	33,05 psi	0,23 N/mm2	PUA > PUA	Pv > Pv
PE+PL+Pv		9,39 psi	0,06 N/mm2	33,05 > 33,05	0,00 OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)					
Compressão de parede					
Compressão circunferencial da parede	S	74,27 psi			
Carga devido ao peso da terras	PE	9,39 psi			
SDR	SDR	16,8			
Verificação					
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00 psi	S	< 1000,00	
Compressão circunferencial da parede	S	74,27 psi	74,27	< 1000,00	OK

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	38 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

DN 180 (PK 0+600.00 – PK 2+029, vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Conduta de hipoclorito

Dados			
Diâmetro nominal	DN	7,09 in	180,00 mm
Diâmetro exterior	DO	7,09 in	180,00 mm
Diâmetro interior	DI	6,24 in	158,60 mm
Espessura	t	0,42 in	10,70 mm
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	50,00 psi	0,34 Mpa
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	50,00 psi	0,34 Mpa
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
SDR equivalente	SDReq	16,8	
Classe de pressão	PN	145,10 psi	10,00 bars
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 curto prazo	

Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva		Comprobaciones				
Pressão do trabalho	WP	12,50 mca	WP	≤	WPR	≤ PC OK
Pressão do trabalho	WP	17,78 psi	WP	≤	WPR	≤ PC OK
			17,78	≤	145,10	OK
			WPR	≤	PC	OK
Classe de pressão	PN	145,10 psig	145,10		145,10	OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	145,10 psi				

Ações externas			
Cargas mortas			
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	630,87 psf	30206,35 N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	9,19 ft	2,80 m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00 m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07 kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	9,19 ft	2,80 m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03 kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	0,00 ft	0,00 mca
Cargas vivas			
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00 N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs	
Fator de impacto	If	1,5	
Área de contato	A	1,389 ft2	
Raio equivalente	R	0,6649 ft	
Altura do solo acima da tubagem	H	9,19 ft	

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)			
Deflexão			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	2,91 %	
Constante de suporte	K	0,1	
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5	
Carga devido ao peso da terras	PE	4,38 psi	
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi	
SDR	SDR	16,8	
Módulo de reação do solo	E'	50,00 psi	
Fator de suporte do solo	Sc	1	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	50,00 psi	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	50,00 psi	
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00 m
Diâmetro exterior	DO	7,09 in	
	Bd/DO	27,80	
	E'N/E'E	1,00	
Limites de deflexão			
SDR	SDR	16,8	
Limites de deflexão	ΔY/DM	7,5 %	
Verificação			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	2,91 %	< 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %	

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		06/05/2025	02.0	39 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)					
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	14,28	psi		
Fator de segurança	N	2,00			
Fator de redução de resistência	Rb	0,67			
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,31			
Módulo de reação do solo	E'	50,00	psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19	psi		
SDR	SDR	16,8			
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	9,19	ft	2,80	m
Altura do solo acima da tubagem	H	9,19	ft	2,80	m
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	0,00	psi		
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	33,05	psi		
Fator de compensação de ovalização	f0	0,99			
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	long term		
Verificação					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	14,28	psi	0,10	N/mm2
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	33,05	psi	0,23	N/mm2
PE+PL+Pv		4,38	psi	0,03	N/mm2
				PCA	>
				PE+PL+Pv	>
				4,38	OK
				Pv	>
				0,00	OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)					
Compressão de parede					
Compressão circunferencial da parede	S	34,66	psi		
Carga devido ao peso da terras	PE	4,38	psi		
SDR	SDR	16,8			
Verificação					
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00	psi	S	< 1000,00
Compressão circunferencial da parede	S	34,66	psi	34,66	< 1000,00 OK

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		06/05/2025	02.0	40 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

DN 250 (PK 0+564-PK 0+600, vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Conduta de hipoclorito

Dados			
Diâmetro nominal	DN	9,84 in	250,00 mm
Diâmetro exterior	DO	9,84 in	250,00 mm
Diâmetro interior	DI	8,68 in	220,40 mm
Espessura	t	0,58 in	14,80 mm
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	400,00 psi	2,76 Mpa
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	400,00 psi	2,76 Mpa
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
SDR equivalente	SDReq	16,9	
Classe de pressão	PN	145,10 psi	10,00 bars
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 curto prazo	

Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva		Comprobaciones				
Pressão do trabalho	WP	12,50 mca	WP	≤	WPR	≤ PC OK
Pressão do trabalho	WP	17,78 psi	WP	≤	WPR	≤ PC OK
			17,78	≤	145,10	OK
			WPR	≤	PC	OK
Classe de pressão	PN	145,10 psig	145,10	≤	145,10	OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	145,10 psi				

Ações externas			
Cargas mortas			
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	1351,87 psf	64727,89 N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	19,69 ft	6,00 m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00 kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00 m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07 kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	19,69 ft	6,00 m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03 kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	0,00 ft	0,00 mca
Cargas vivas			
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00 N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs	
Fator de impacto	If	1,5	
Área de contato	A	1,389 ft2	
Raio equivalente	R	0,6649 ft	
Altura do solo acima da tubagem	H	19,69 ft	

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)			
Deflexão			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,22 %	
Constante de suporte	K	0,1	
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5	
Carga devido ao peso da terras	PE	9,39 psi	
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi	
SDR	SDR	16,9	
Módulo de reação do solo	E'	400,00 psi	
Fator de suporte do solo	Sc	1	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	400,00 psi	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	400,00 psi	
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00 m
Diâmetro exterior	DO	9,84 in	
	Bd/DO	20,02	
	E'N/E'E	1,00	
Limites de deflexão			
SDR	SDR	16,9	
Limites de deflexão	ΔY/DM	7,5 %	
Verificação			
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	3,22 %	3,22 % < 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %	

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	41 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)					
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	49,40	psi		
Fator de segurança	N	2,00			
Fator de redução de resistência	Rb	0,67			
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,47			
Módulo de reação do solo	E'	400,00	psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19	psi		
SDR	SDR	16,9			
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	19,69	ft	6,00	m
Altura do solo acima da tubagem	H	19,69	ft	6,00	m
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	0,00	psi		
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	32,63	psi		
Fator de compensação de ovalização	f0	0,99			
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	long term		
Verificação					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	49,40	psi	0,34	N/mm2
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	32,63	psi	0,22	N/mm2
PE+PL+Pv		9,39	psi	0,06	N/mm2
	PCA	>	PE+PL+Pv		
		>	9,39	OK	
	PUA	>	Pv		
		>	0,00	OK	

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)					
Compressão de parede					
Compressão circunferencial da parede	S	74,59	psi		
Carga devido ao peso da terras	PE	9,39	psi		
SDR	SDR	16,9			
Verificação					
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00	psi	S	< 1000,00
Compressão circunferencial da parede	S	74,59	psi	74,59	< 1000,00 OK

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	42 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

DN 250 (PK 0+600.00 – PK 2+029, vala)

CÁLCULO MECÂNICO PEAD

AWWA PE pipe Desing and Installation. Manual of Water supply practices M55.

Conduta de hipoclorito

Dados				
Diâmetro nominal	DN	9,84 in	250,00 mm	Nota: Os diâmetros podem variar significativamente dependendo da origem do fabricante da tubagem, por exemplo o diâmetro nominal em polegadas ou milímetros. Porém, o cálculo é válido para o diâmetro nominal tanto em polegadas quanto em milímetros.
Diâmetro exterior	DO	9,84 in	250,00 mm	
Diâmetro interior	DI	8,68 in	220,40 mm	
Espessura	t	0,58 in	14,80 mm	
Módulo de elasticidade da tubagem curto prazo 50 anos	E	116030,19 psi	800,00 Mpa	
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	50,00 psi	0,34 Mpa	
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	50,00 psi	0,34 Mpa	
Peso específico do solo	w	124,86 pcf	2000,00 kg/m3	
SDR equivalente	SDReq	16,9		
Classe de pressão	PN	145,10 psi	10,00 bars	
Coefficiente de Poisson	μ	0,35 curto prazo		

Hipótese 1. Pressão Interna Positiva				Comprobaciones				
Pressão do trabalho	WP	12,50 mca	WP	≤	WPR	≤	PC	OK
Pressão do trabalho	WP	17,78 psi	WP	≤	WPR			
			17,78		145,10			OK
			WPR	≤	PC			
Classe de pressão	PN	145,10 psig	145,10		145,10			OK
Pressão máxima de trabalho	WPR	145,10 psi						

Ações externas				
Cargas mortas				
Carga devido ao peso da terra e à pressão externa da água	PE	630,87 psf	30206,35	N/m2
Peso específico do solo	w	124,86 pcf		
Altura do solo acima da tubagem	Hs+sum	9,19 ft	2,80	m
Peso específico do solo acima do freático	ws	124,86 pcf	2000,00	kg/m3
Altura do solo acima do freático	Hs	0,00 ft	0,00	m
Peso específico do solo submerso	wsum	68,68 pcf	1100,07	kg/m3
Altura do solo submerso	Hsum	9,19 ft	2,80	m
Gravidade específica da água	ww	62,43 pcf	1000,03	kg/m3
Pressão externa da água (freático - piezométrica)	Pext	0,00 ft	0,00	mca
Cargas vivas				
Carga de tráfego	PL	0,00 psi	0,00	N/m2
Carga da roda	WI	0 lbs		
Fator de impacto	If	1,5		
Área de contato	A	1,389 ft2		
Raio equivalente	R	0,6649 ft		
Altura do solo acima da tubagem	H	9,19 ft		

Hipótese 2. Ações Externas. (Deflexão)				
Deflexão				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	2,94 %		
Constante de suporte	K	0,1		
Fator de atraso (Time-Lag Factor)	TL	1,5		
Carga devido ao peso da terras	PE	4,38 psi		
Carga de tráfego	PL	0,00 psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19 psi		
SDR	SDR	16,9		
Módulo de reação do solo	E'	50,00 psi		
Fator de suporte do solo	Sc	1		
Módulo de elasticidade solo nativo	E'N	50,00 psi		
Módulo de elasticidade material envolvimento	E'E	50,00 psi		
Largura da vala	Bd	197,00 in	5,00	m
Diâmetro exterior	DO	9,84 in		
	Bd/DO	20,02		
	E'N/E'E	1,00		
Limites de deflexão				
SDR	SDR	16,9		
Limites de deflexão	ΔY/DM	7,5 %		
Verificação				
Porcentagem de deflexão	ΔY/DM	2,94 %	2,94 %	< 4 % OK
Limites de deflexão	ΔY/DM	4 %		

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	43 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

Hipótese 3. Ações Externas e Pressão Interna Negativa. (Colapso ou Flambagem)					
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	14,19	psi		
Fator de segurança	N	2,00			
Fator de redução de resistência	Rb	0,67			
Fator de suporte elástico do solo	B'	0,31			
Módulo de reação do solo	E'	50,00	psi		
Módulo de elasticidade da tubagem	E	116030,19	psi		
SDR	SDR	16,9			
Altura da água acima da tubagem (freático)	Hw	9,19	ft	2,80	m
Altura do solo acima da tubagem	H	9,19	ft	2,80	m
Pressão interna negativa (pressão de vácuo)	Pv	0,00	psi		
Pressão externa admissível					
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	32,63	psi		
Fator de compensação de ovalização	f0	0,99			
Coefficiente de Poisson	μ	0,35	long term		
Verificação					
Pressão externa admissível da tubagem (com efeito dos terrenos circundantes)	PCA	14,19	psi	0,10	N/mm2
Pressão externa admissível da tubagem (sem efeito dos terrenos circundantes)	PUA	32,63	psi	0,22	N/mm2
PE+PL+Pv		4,38	psi	0,03	N/mm2
				PCA	>
				14,19	>
				PUA	>
				32,63	>
				PE+PL+Pv	>
				4,38	OK
				Pv	>
				0,00	OK

Hipótese 4. Ações externas. (Compressão na parede da tubagem)					
Compressão de parede					
Compressão circunferencial da parede	S	34,81	psi		
Carga devido ao peso da terras	PE	4,38	psi		
SDR	SDR	16,9			
Verificação					
Resistência à compressão do material da tubagem		1000,00	psi	S	< 1000,00
Compressão circunferencial da parede	S	34,81	psi	34,81	< 1000,00 OK

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 44 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

4.2. Betão

Com base nos resultados obtidos, a ATHA recomenda uma tubagem de betão armado de Classe V, com uma resistência característica de 50 MPA, suficiente para fazer face às cargas exteriores a que esta tubagem está exposta.

A ATHA é a Associação Espanhola de Fabricantes de Tubos de Betão Armado, que reúne os principais fabricantes de tubos de saneamento e drenagem em Espanha. Dispõe de um programa de cálculo comprovado para verificar o comportamento mecânico dos tubos de betão sob diferentes tensões.

Para o efeito, a ferramenta baseia-se na norma espanhola UNE 127916:2020. Esta norma é aplicável internacionalmente e segue os critérios americanos.

Para que o procedimento seja realizado no cálculo mecânico deste tipo de tubagens, o primeiro passo é a determinação das ações que atuam sobre a tubagem:

- Cargas de serviço:
 - Produzido por enchimento
 - Produzido pelo tráfego
 - Carga pontual
 - Carga distribuída uniformemente na superfície
- Cargas de execução:
 - Carga produzida pelos compactadores:
 - Determinação da altura mínima a partir da qual cada tipo de compactador pode operar
 - Determinação da carga devida ao compactador máximo previsto na superfície
 - Cargas devidas a veículos extraviais:
 - Determinación de la altura mínima a partir de la cual cada vehículo extravial puede actuar (si procede)
 - Determinación de la carga devida al vehículo extravial máximo previsto en superficie (o a la altura a la que se vaya a operar el vehículo extravial)
 - Cargas por veículos perdidos:
 - Determinar a altura mínima a partir da qual cada veículo todo-o-terreno pode operar (se aplicável)
 - Determinação da carga máxima de superfície esperada devido ao veículo não rodoviário (ou na altura a que o veículo não rodoviário será operado)
- Determinação da hipótese de carga mais desfavorável

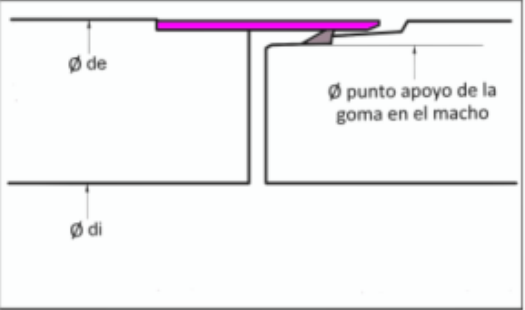
Próximo:

- Seleção das condições de contorno consideradas e obtenção do fator de suporte mínimo recomendado

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	45 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

- Determinação da classe de resistência necessária para o tubo, com base nas ações resultantes e nas condições de instalação
- Determinação do comprimento máximo de empuxo

4.2.1. Captação de água no mar

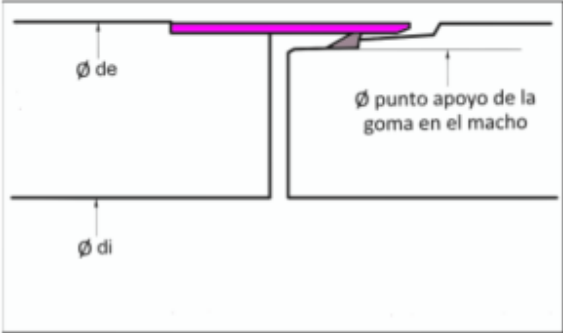
DADOS DE SERVIÇO	
Diâmetro interno, Di	1800 milímetros
Espessura e	200 milímetros
Diâmetro externo, de	2200 milímetros
Altura de enchimento, hr	15.64 eu
Fator de suporte	1,9
Resistência à compressão do concreto, fck	50 MPa (N/mm ²)
Coefficiente de segurança (para força máxima de impulso)	1
Ø ponto de apoio de borracha no macho	1,96 eu
Tipo de união	
Unión con virola	
	
Carga pontual	
Carga	3 para
Distância	1 eu
Carga distribuída	
Carga	1,1 t/m ²
Terra	
Tipo de terreno	Areia argilosa
Cohesión	2 kN/m ²
eu'	0,15
eu	0,33
Peso específico, γ _r	19,2 kN/m ³
Cargas de tráfico	
Tráfego de carros	PAI 2011
Tráfego ferroviário	Nenhum
Velocidade do projeto	Velocidade entre 120 e 220 km/h
Tráfego de Aeronaves	Nenhum

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	46 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

CÁLCULOS FINAIS	
<u>Identificação do Projeto</u>	
Cliente	
Obra	
Força máxima de empuxo	7,09 MN
<u>Comprimento máximo de condução</u>	
Para atrito $U_T = 20 \text{ kN/m}^2$	51,27 eu
(seção M.7 UNE 127916)	
Com boa lubrificação	68,36 eu
<u>Cargas</u>	
Carga completa	260,75 kN/m
Carga mínima de ruptura	114,36 kN/m ²
Carga mínima de fissuração	76,24 kN/m ²
<u>Classe de serviço pesado (classificação Tipo A)</u>	
CLASE V	
<u>Classe de serviço pesado (classificação tipo E)</u>	
CLASE 135	
AVISO: Esta Associação não se responsabiliza pelo uso indevido deste programa de cálculo. Os resultados devem ser revisados por um técnico competente.	

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	47 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

4.2.2. Rejeição da salmoura no mar

DADOS DE SERVIÇO	
Diâmetro interno, Di	1800 milímetros
Espessura e	200 milímetros
Diâmetro externo, de	2200 milímetros
Altura de enchimento, hr	31,49 eu
Fator de suporte	1,9
Resistência à compressão do concreto, fck	50 MPa (N/mm ²)
Coefficiente de segurança (para força máxima de impulso)	1
Ø ponto de apoio de borracha no macho	1,96 eu
Tipo de união	
Unión con virola	
	
Carga pontual	
Carga	3 para
Distância	1 eu
Carga distribuída	
Carga	1,1 t/m ²
Terra	
Tipo de terreno	Areia argilosa
Cohesión	2 kN/m ²
eu'	0,15
eu	0,33
Peso específico, γ _r	19,2 kN/m ³
Cargas de tráfico	
Tráfego de carros	PAI 2011
Tráfego ferroviário	Nenhum
Velocidade do projeto	Velocidade entre 120 e 220 km/h
Tráfego de Aeronaves	Nenhum

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	48 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

CÁLCULOS FINAIS

Identificação do Projeto

Cliente

Obra

Força máxima de empuxo 7,09 MN

Comprimento máximo de condução

Para atrito $U_T = 20 \text{ kN/m}^2$ 51,27 eu

(seção M.7 UNE 127916)

Com boa lubrificação 68,36 eu

Cargas

Carga completa 284,43 kN/m

Carga mínima de ruptura m^2

124,75 kN/

Carga mínima de fissuração m^2

83,17 kN/

Classe de serviço pesado (classificação Tipo A)

CLASE V

Classe de serviço pesado (classificação tipo E)

CLASE 135

AVISO: Esta Associação não se responsabiliza pelo uso indevido deste programa de cálculo. Os resultados devem ser revisados por um técnico competente.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 49 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

5. AFUNDAMENTO E ASSENTAMENTO NA VALA

5.1. Descrição

O afundamento do tubo deve ser feito segundo o método "S-laying". Deve ser aplicada uma força de tração à extremidade exterior do tubo antes de se iniciar o afundamento. O afundamento começa com a abertura da válvula de ar na extremidade exterior e a verificação da pressão interna com um manómetro, se necessário para carregar o tubo com ar comprimido. É necessário calcular previamente a curva que indica a pressão de ar necessária em função da profundidade de afundamento. Ao regular a pressão interna de acordo com esta curva, é assegurado o controlo do afundamento com uma velocidade quase constante.

A configuração em forma de S exprime um equilíbrio entre as forças descendentes (lastro das correntes e das tiras) e as forças ascendentes (flutuabilidade da secção cheia de ar).

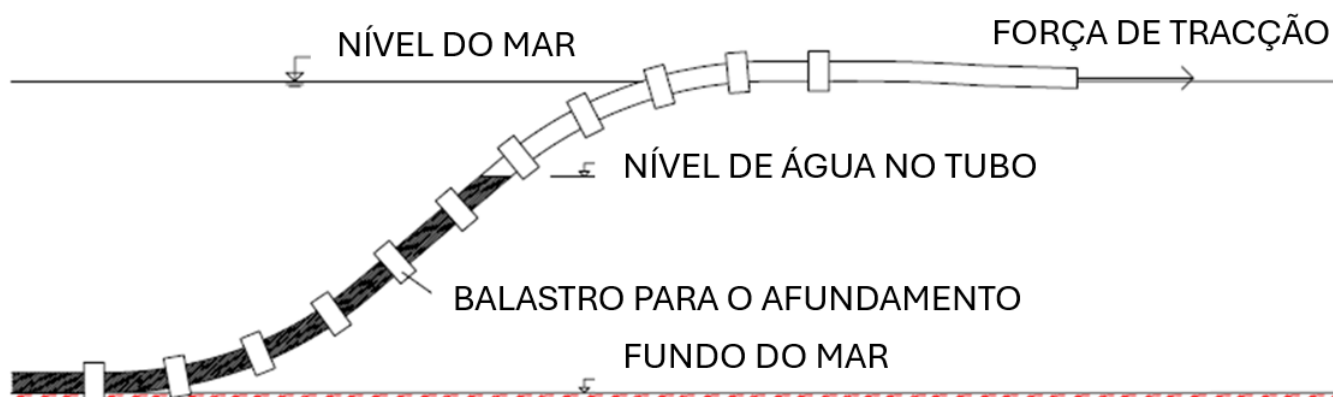


Figura 1. Tubo durante a fase de afundamento

O fator crítico de estabilidade mecânica no processo de assentamento é o raio de curvatura na superfície do mar. É necessário efetuar a operação de afundamento como um processo contínuo. Se o afundamento parar, o módulo de elasticidade do material de polietileno diminuirá ao longo do tempo e o raio de curvatura mínimo diminuirá em conformidade. Isto pode levar à deformação por encurvadura do tubo.

À medida que a extremidade do tubo chega ao fundo, a configuração em S muda para uma configuração em J. Nesta posição, deve ser aplicada uma força de tração e uma velocidade de afundamento correctas para evitar forças de aceleração dinâmicas à medida que o último volume de ar sai do tubo. A longitude da linha de tração também deve estar de acordo com a profundidade máxima para garantir a ancoragem segura da extremidade do tubo no fundo. A ancoragem ocorre quando a força de tração é gradualmente reduzida a zero.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	50 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

5.2. Encurvadura do tubo

Quando um tubo é submetido a uma flexão contínua, pode sofrer uma encurvadura axial ou radial. Para tubos submersos, a deformação por encurvadura radial será crítica, a menos que a pressão interna seja significativa.

A deformação crítica para a encurvadura radial no estado de flexão pura pode ser expressa da seguinte forma:

$$\varepsilon_{crit,a} = 0.28 \left(\frac{s}{D_m} \right)$$

O correlação entre a deformação axial e radial é dado pelo coeficiente de Poisson:

$$\varepsilon_{rv} \varepsilon_a$$

Combinando ambas as expressões e para um fator de segurança, $F = 1,6$, a relação de flexão admissível na direção axial é

$$A_{admissível, F=1.6} = R/D = 1,42 \text{ (SDR-1)}$$

Onde:

- R = raio de encurvadura crítico
- D = diâmetro externo do tubo
- $SDR = D/s$ (s = espessura da parede)

5.3. Força de tração

A força de arrastamento na extremidade do tubo é aplicada para controlar a posição do tubo e para aumentar o raio de curvatura durante o afundamento (ver figura abaixo).

Se a carga percentual for inferior a 50%, o que é normalmente o caso, o raio crítico ocorre na superfície do mar. Caso contrário, o raio crítico ocorre no fundo.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 51 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

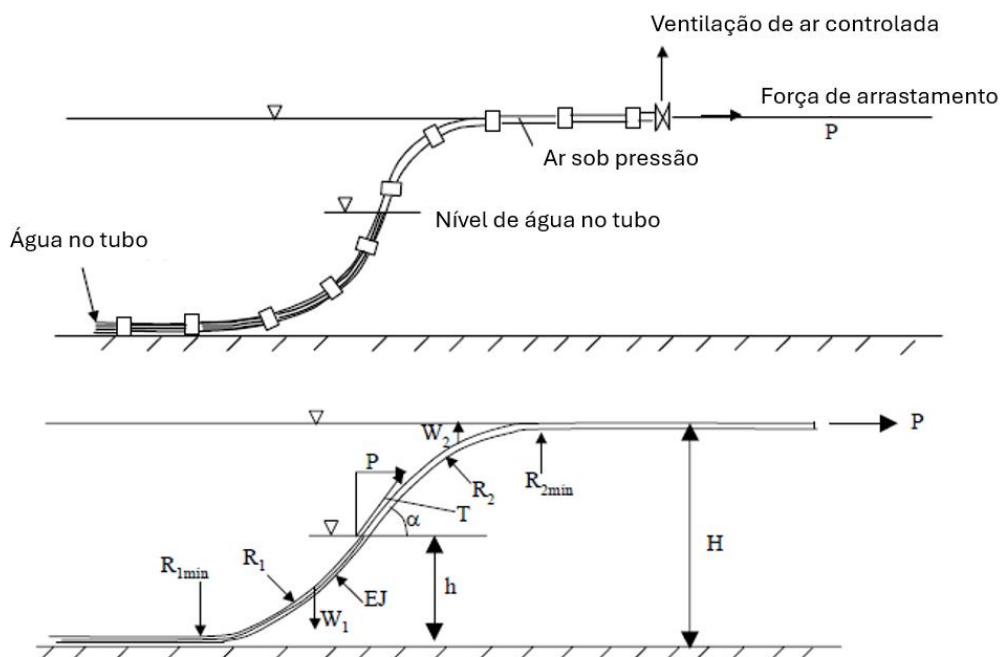


Figura 2. Processo, forma e parâmetros de um tubo PE durante o afundamento.

Para calcular a força de tração, é introduzido o conceito de "taxa de enchimento de ar". Este parâmetro indica quanto do volume interno do tubo tem que ser preenchido com ar para que o tubo flutue.

$$a_a = \frac{w_{cw} + w_{pipew}}{\pi \frac{d^2}{4} \gamma_w} 100\%$$

Onde:

- W_{cw} = peso dos pesos da corrente e da cinta na água, distribuídos ao longo da conduta
- γ_w = gravidade específica da água circundante
- W_{pipew} = peso do tubo na água
- d = diâmetro interior

A tensão no ponto de mudança da curvatura pode ser expressa como:

$$T = P + w_1 h$$

Onde:

- h = altura interna da água = $(1-a_0) H$
- w_1 = peso líquido da secção cheia de água

A força de tração necessária utilizando o raio crítico é:

- $P_1 = w_1 R_{min}$
- $P_2 = w_2 R_{min}$

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 06/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 52 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

A maior das forças entre P1 e P2 será a força de tração aplicada.

5.4. Dados

O afundamento dos tubagens é verificado para as profundidades máxima (fin conduta) e mínima (saída túnel), medidas desde a superfície da água até ao fundo da vala. Os cálculos efetuados são apresentados a seguir, verificando que a operação de afundamento não dá origem a deformações incompatíveis com a resistência mecânica das tubagens e respeitando os requisitos mínimos definidos.

O quadro seguinte indica as dimensões máximas e mínimas da chave inferior do troço marítimo das condutas. O valor da maré alta (PM) e da maré baixa (BM) também é considerado para determinar as profundidades máxima e mínima. A quadro mostra também a quantidade de lastro dos tubos.

Conduta	Ud	Captação DN1200	Captação DN1000	Rejeição DN1000
Diâmetro exterior	mm	1200	1000	1000
Espessura	mm	45,9	38,2	38,2
Lastro subm.	kN/m	3,93	2,69	3,29
Profundidade mínima (saída túnel)	mNMM	6,6	6,6	7
Profundidade máxima (fin conduta)	mNMM	11,76	11,76	9,64
Maré baixa	mNMM	-1,8	-1,8	-1,8
Maré alta	mNMM	3	3	3
Profundidade mínima da água	m	4,8	4,8	5,2
Profundidade máxima da água	m	14,76	14,76	12,64

Tabela 1. Principais dados de entrada para a verificação mecânica da ancoragem de condutas.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	53 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

5.5. Resultados

5.5.1. Captação DN1200

5.5.1.1. Profundidade mínima

VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO TUBO NA FASE DE AFUNDAMENTO

PROJETO: **SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO NO ALGARVE**
 ESTRUTURA: **Captação**
 Situação: **Profundidade mínima**

1.-MATERIAIS E GEOMETRIA

Materiais			Geometria		
Material	PE100		Diâmetro exterior	Ø=	1200,00 mm
Duração da manobra	t=	<10h	Espessura	t=	45,90 mm
Temperatura	T=	23 °C	Standard Dimension Ratio	SDR=	26
Módulo de elasticidade	E=	758 N/mm ²	Profundidade da instalação	H=	7,80 m
Módulo de Poisson	μ=	0,50	Coef. segurança do material	γ _m =	1,60
Límite elástico	f _y =	23 N/mm ²	Coef. Segurança da massa	γ _b =	1,60
Términos de seção			Rigidezes		
Área	A=	0,1664 m ²	Rigidez axial	EA=	126146,5 kN
Momento de inércia	I _y =	0,0278 m ⁴	Rigidez a flexão	EI=	21035,7744 kNm ²
Módulo de elasticidade resiliente	W _{el,y} =	0,0463 m ³			
Módulo resistente plástico	W _{pl,y} =	0,0612 m ³			
Dados do afundamento					
Densidade do tubo	d _{PEAD} =	960,00 kg/m ³	Peso específico do tubo	γ _{PEAD} =	9,42 kN/m ³
Densidade do efluente	d _{efl} =	1025,00 kg/m ³	Peso específico do efluente	γ _{efl} =	10,06 kN/m ³
Densidade da água	d _w =	1025,00 kg/m ³	Peso específico da água	γ _w =	10,06 kN/m ³
Flotabilidade do efluente	w _{efl} =	0,00 kN/m	Peso sum. do tubo inundado	w _{gt} =	-0,11 kN/m
Peso sum. do lastro	w _{cs} =	3,93 kN/m	Peso sum. do tubo cheio de ar	w _{gs} =	-0,11 kN/m
			Taxa de enchimento de ar	a _a =	0,34

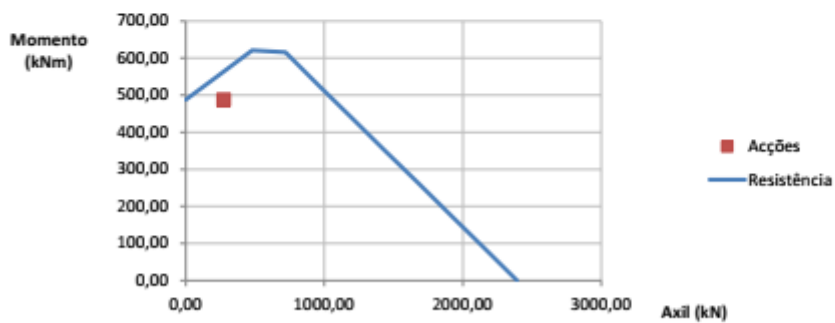
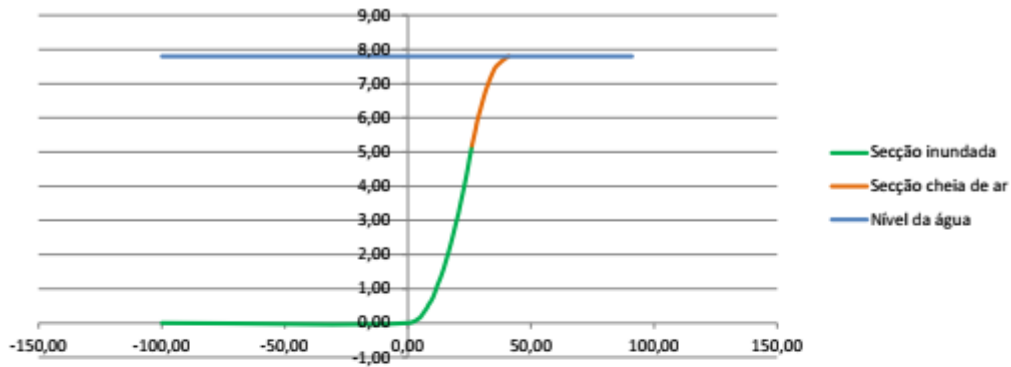
2.-RESISTÊNCIAS

Plastificação			Deformação		
Axial de plastificação	N _{pe} =	2392,29 kN	Deformação de encurvadura radial	ε _{terit} =	0,70% (<6%)
Momento elástico	M _y =	664,88 kNm	Deformação de encurvadura axial	ε _{acrit} =	1,39% (<6%)
Momento plástico	M _p =	879,30 kNm	Curvatura	χ _b =	0,02320 m ⁻¹
			Radio mínimo de curvatura	R _{min} =	43,10 m
			R _{min} /Dconduta	R _{min} /Ø=	35,9 (>30)
			Força axial devida à encurvadura	N _b =	1755,95 kN
			Momento devido à encurvadura	M _b =	488,03 kNm

3.-AFUNDAMENTO

Peso líquido do tramo inundado	w _s =	3,83 kN/m
Flotabilidade líquida do tramo cheio de ar	w _f =	-5,87 kN/m
Altura do ponto de retorno	h=	5,17 m
Força de tração na cabeça	P=	253,07 kN
Força de tração máxima	T=	272,87 kN

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	54 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		



Nd (kN)	Md (kNm)	Factor Seg.	Fator de utilização
253,07	488,03	1,14	0,87

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	55 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

5.5.1.2. Profundidade máxima

VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO TUBO NA FASE DE AFUNDAMENTO

PROJETO: **SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO NO ALGARVE**
 ESTRUTURA: **Captação**
 Situação: **Profundidade máxima**

1.-MATERIAIS E GEOMETRIA

Materiais			Geometria		
Material	PE100		Diâmetro exterior	$\varnothing =$	1200,00 mm
Duração da manobra	$t =$	<10h	Espessura	$t =$	45,90 mm
Temperatura	$T =$	23 °C	Standard Dimension Ratio	SDR=	26
Módulo de elasticidade	$E =$	758 N/mm ²	Profundidade da instalação	$H =$	17,76 m
Módulo de Poisson	$\mu =$	0,50	Coef. segurança do material	$\gamma_m =$	1,60
Límite elástico	$f_y =$	23 N/mm ²	Coef. Segurança da massa	$\gamma_b =$	1,60
Términos de seção			Rigidezes		
Área	$A =$	0,1664 m ²	Rigidez axial	$EA =$	126146,5 kN
Momento de inércia	$I_y =$	0,0278 m ⁴	Rigidez a flexão	$EI =$	21035,7744 kNm ²
Módulo de elasticidade resiliente	$W_{el,y} =$	0,0463 m ³			
Módulo resistente plástico	$W_{pl,y} =$	0,0612 m ³			
Dados do afundamento					
Densidade do tubo	$d_{PEAD} =$	960,00 kg/m ³	Peso específico do tubo	$\gamma_{PEAD} =$	9,42 kN/m ³
Densidade do efluente	$d_{eff} =$	1025,00 kg/m ³	Peso específico do efluente	$\gamma_{eff} =$	10,06 kN/m ³
Densidade da água	$d_w =$	1025,00 kg/m ³	Peso específico da água	$\gamma_w =$	10,06 kN/m ³
Flotabilidade do efluente	$w_{eff} =$	0,00 kN/m	Peso sum. do tubo inundado	$w_{pt} =$	-0,11 kN/m
Peso sum. do lastro	$w_{cs} =$	3,93 kN/m	Peso sum. do tubo cheio de ar	$w_{ps} =$	-0,11 kN/m
			Taxa de enchimento de ar	$a_a =$	0,34

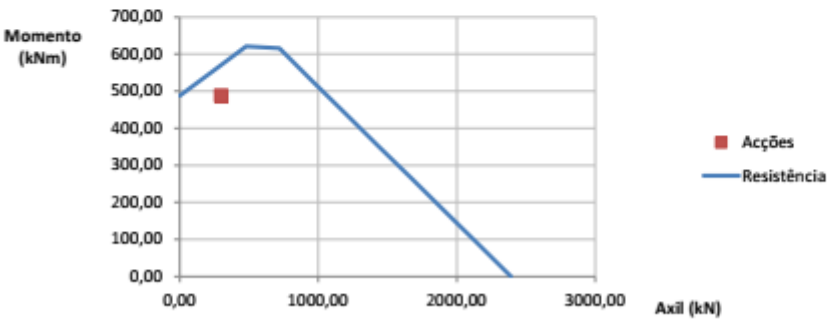
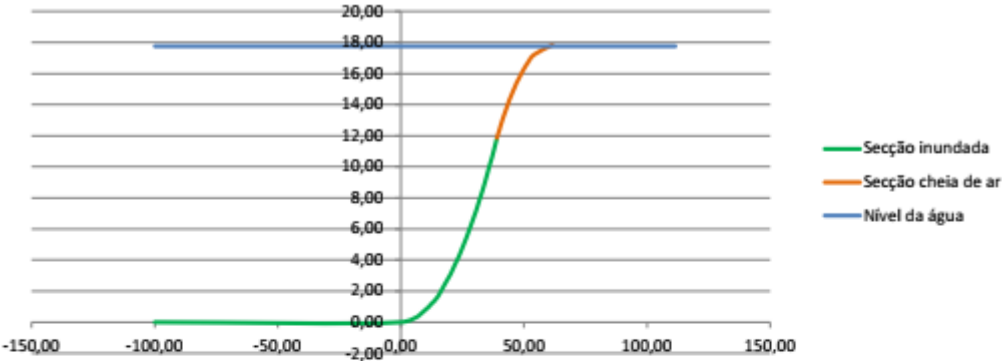
2.-RESISTÊNCIAS

Plastificação			Deformação		
Axial de plastificação	$N_{re} =$	2392,29 kN	Deformação de encurvadura radial	$\varepsilon_{rcrit} =$	0,7% (<6%)
Momento elástico	$M_y =$	664,88 kNm	Deformação de encurvadura axial	$\varepsilon_{acrit} =$	1,4% (<6%)
Momento plástico	$M_p =$	879,30 kNm	Curvatura	$\chi_b =$	0,02320 m ⁻¹
			Radio mínimo de curvatura	$R_{min} =$	43,10 m
			$R_{min}/D_{conduta}$	$R_{min}/\varnothing =$	35,9 (>30)
			Força axial devida à encurvadura	$N_b =$	1755,95 kN
			Momento devido à encurvadura	$M_b =$	488,03 kNm

3.-AFUNDAMENTO

Peso líquido do tramo inundado	$w_s =$	3,83 kN/m
Flotabilidade líquida do tramo cheio de ar	$w_f =$	-5,87 kN/m
Altura do ponto de retorno	$h =$	11,78 m
Força de tração na cabeça	$P =$	253,07 kN
Força de tração máxima	$T =$	298,17 kN

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		06/05/2025	02.0	56 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		



Nd (kN)	Md (kNm)	Factor Seg.	Fator de utilização
253,07	488,03	1,14	0,87

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	57 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

5.5.2. Captação DN1000

5.5.2.1. Profundidade mínima

VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO TUBO NA FASE DE AFUNDAMENTO

PROJETO: **SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO NO ALGARVE**
 ESTRUTURA: **Captação**
 Situação: **Profundidade mínima**

1.-MATERIAIS E GEOMETRIA

Materials			Geometria		
Material	PE100		Diâmetro exterior	Ø=	1000,00 mm
Duração da manobra	t=	<10h	Espessura	t=	38,20 mm
Temperatura	T=	23 °C	Standard Dimension Ratio	SDR=	26
Módulo de elasticidade	E=	758 N/mm ²	Profundidade da instalação	H=	7,80 m
Módulo de Poisson	μ=	0,50	Coef. segurança do material	γ _m =	1,60
Límite elástico	f _y =	23 N/mm ²	Coef. Segurança da mossa	γ _b =	1,60
Términos de seção			Rigidezes		
Área	A=	0,1154 m ²	Rigidez axial	EA=	87491,7723 kN
Momento de inércia	I _y =	0,0134 m ⁴	Rigidez a flexão	EI=	10132,843 kNm ²
Módulo de elasticidade resiliente	W _{el,y} =	0,0267 m ³			
Módulo resistente plástico	W _{pl,y} =	0,0354 m ³			
Dados do afundamento					
Densidade do tubo	d _{PEAD} =	960,00 kg/m ³	Peso específico do tubo	γ _{PEAD} =	9,42 kN/m ³
Densidade do efluente	d _{eff} =	1025,00 kg/m ³	Peso específico do efluente	γ _{eff} =	10,06 kN/m ³
Densidade da água	d _w =	1025,00 kg/m ³	Peso específico da água	γ _w =	10,06 kN/m ³
Flotabilidade do efluente	w _{eff} =	0,00 kN/m	Peso sum. do tubo inundado	w _{wt} =	-0,07 kN/m
Peso sum. do lastro	w _{cs} =	2,69 kN/m	Peso sum. do tubo cheio de ar	w _{ws} =	-0,07 kN/m
			Taxa de enchimento de ar	a _a =	0,33

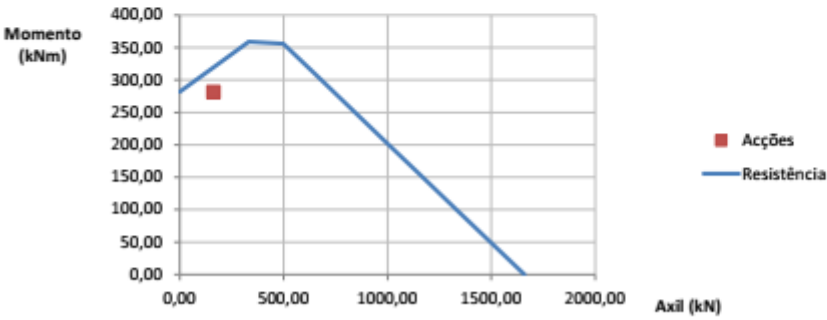
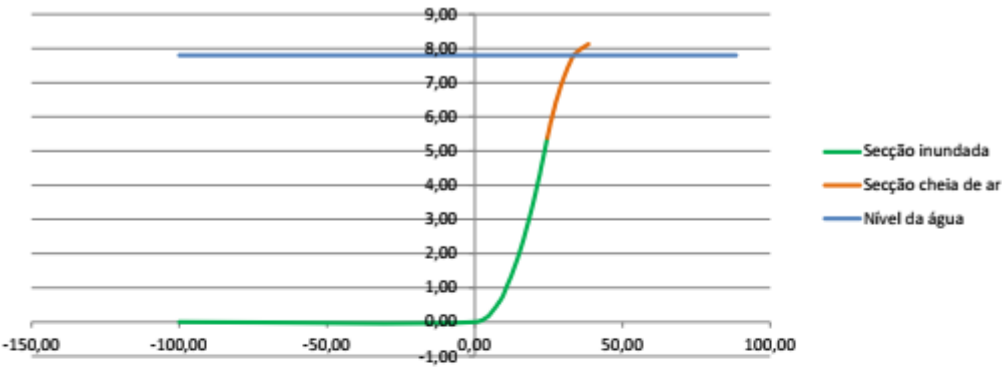
2.-RESISTÊNCIAS

Plastificação			Deformação		
Axial de plastificação	N _{pe} =	1659,23 kN	Deformação de encurvadura radial	ε _{rcr} =	0,70% (<6%)
Momento elástico	M _y =	384,33 kNm	Deformação de encurvadura axial	ε _{acr} =	1,39% (<6%)
Momento plástico	M _p =	508,24 kNm	Curvatura	χ _b =	0,02780 m-1
			Radio mínimo de curvatura	R _{min} =	35,97 m
			Rmin/Dconduta	R _{min} /Ø=	36,0 (>30)
			Força axial devida à encurvadura	N _b =	1216,22 kN
			Momento devido à encurvadura	M _b =	281,71 kNm

3.-AFUNDAMENTO

Peso líquido do tramo inundado	w _s =	2,61 kN/m
Flotabilidade líquida do tramo cheio de ar	w _f =	-4,12 kN/m
Altura do ponto de retorno	h=	5,22 m
Força de tração na cabeça	P=	148,28 kN
Força de tração máxima	T=	161,92 kN

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		06/05/2025	02.0	58 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		



Nd (kN)	Md (kNm)	Factor Seg.	Fator de utilização
148,28	281,71	1,12	0,89

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	59 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

5.5.2.2. Profundidade máxima

VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO TUBO NA FASE DE AFUNDAMENTO

PROJETO: **SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO NO ALGARVE**
 ESTRUTURA: **Captação**
 Situação: **Profundidade máxima**

1.-MATERIAIS E GEOMETRIA

Materials			Geometria		
Material	PE100		Diâmetro exterior	$\varnothing =$	1000,00 mm
Duração da manobra	$t =$	<10h	Espessura	$t =$	38,20 mm
Temperatura	$T =$	23 °C	Standard Dimension Ratio	SDR=	26
Módulo de elasticidade	$E =$	758 N/mm ²	Profundidade da instalação	$H =$	17,76 m
Módulo de Poisson	$\mu =$	0,50	Coef. segurança do material	$\gamma_{st} =$	1,60
Límite elástico	$f_y =$	23 N/mm ²	Coef. Segurança da mossa	$\gamma_b =$	1,60
Términos de seção			Rigidezes		
Área	$A =$	0,1154 m ²	Rigidez axial	$EA =$	87491,7723 kN
Momento de inércia	$I_y =$	0,0134 m ⁴	Rigidez a flexão	$EI =$	10132,843 kNm ²
Módulo de elasticidade resiliente	$W_{el,y} =$	0,0267 m ³			
Módulo resistente plástico	$W_{pl,y} =$	0,0354 m ³			
Dados do afundamento					
Densidade do tubo	$d_{PEAD} =$	960,00 kg/m ³	Peso específico do tubo	$\gamma_{PEAD} =$	9,42 kN/m ³
Densidade do efluente	$d_{eff} =$	1025,00 kg/m ³	Peso específico do efluente	$\gamma_{eff} =$	10,06 kN/m ³
Densidade da água	$d_w =$	1025,00 kg/m ³	Peso específico da água	$\gamma_w =$	10,06 kN/m ³
Flotabilidade do efluente	$w_{eff} =$	0,00 kN/m	Peso sum. do tubo inundado	$w_{gt} =$	-0,07 kN/m
Peso sum. do lastro	$w_{cs} =$	2,69 kN/m	Peso sum. do tubo cheio de ar	$w_{gs} =$	-0,07 kN/m
			Taxa de enchimento de ar	$a_a =$	0,33

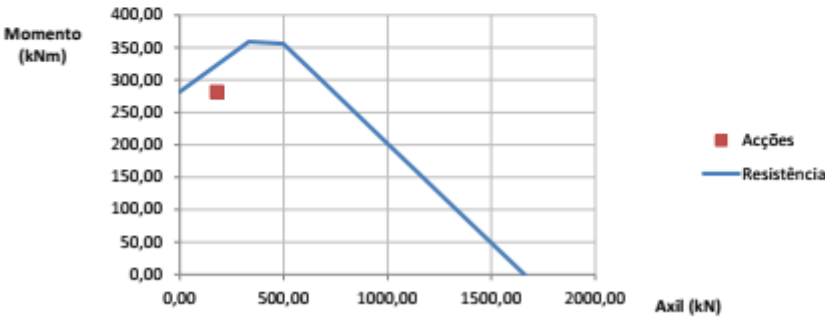
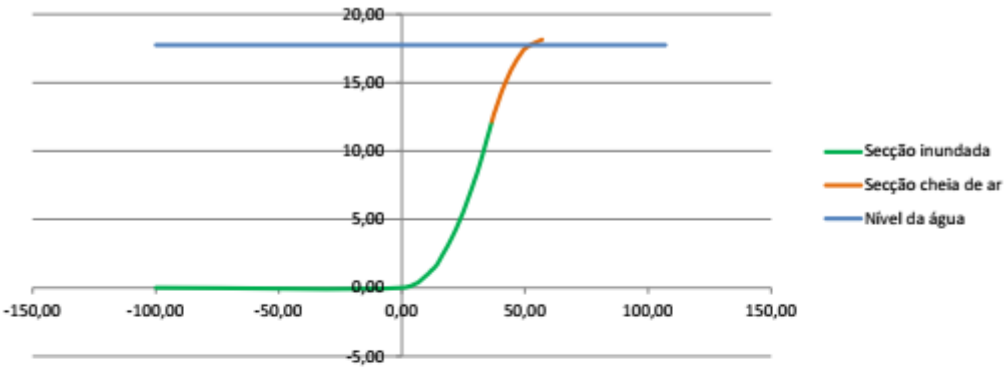
2.-RESISTÊNCIAS

Plastificação			Deformação		
Axial de plastificação	$N_{re} =$	1659,23 kN	Deformação de encurvadura radial	$\varepsilon_{terit} =$	0,7% (<6%)
Momento elástico	$M_y =$	384,33 kNm	Deformação de encurvadura axial	$\varepsilon_{acrit} =$	1,4% (<6%)
Momento plástico	$M_p =$	508,24 kNm	Curvatura	$\chi_b =$	0,02780 m ⁻¹
			Radio mínimo de curvatura	$R_{min} =$	35,97 m
			$R_{min}/D_{conduta}$	$R_{min}/\varnothing =$	36,0 (>30)
			Força axial devida à encurvadura	$N_b =$	1216,22 kN
			Momento devido à encurvadura	$M_b =$	281,71 kNm

3.-AFUNDAMENTO

Peso líquido do tramo inundado	$w_s =$	2,61 kN/m
Flotabilidade líquida do tramo cheio de ar	$w_f =$	-4,12 kN/m
Altura do ponto de retorno	$h =$	11,88 m
Força de tração na cabeça	$P =$	148,28 kN
Força de tração máxima	$T =$	179,34 kN

Cliente		Empreiteiro EPC			
					
Projeto n.º	Projeto		Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve		06/05/2025	02.0	60 de 65
Código AdA			Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001			AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		



Nd (kN)	Md (kNm)	Factor Seg.	Fator de utilização
148,28	281,71	1,12	0,89

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	61 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

5.5.3. Rejeição DN1000

5.5.3.1. Profundidade mínima

VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO TUBO NA FASE DE AFUNDAMENTO

PROJETO: **SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO NO ALGARVE**
 ESTRUTURA: **Emissário**
 Situação: **Profundidade mínima**

1.-MATERIAIS E GEOMETRIA

Materials			Geometria		
Material	PE100		Diâmetro exterior	Ø=	1000,00 mm
Duração da manobra	t=	<10h	Espessura	t=	38,20 mm
Temperatura	T=	23 °C	Standard Dimension Ratio	SDR=	26
Módulo de elasticidade	E=	758 N/mm ²	Profundidade da instalação	H=	8,00 m
Módulo de Poisson	μ=	0,50	Coef. segurança do material	γ _M =	1,60
Límite elástico	f _y =	23 N/mm ²	Coef. Segurança da massa	γ _s =	1,60
Términos de seção			Rigidezes		
Área	A=	0,1154 m ²	Rigidez axial	EA=	87491,7723 kN
Momento de inércia	I _y =	0,0134 m ⁴	Rigidez a flexão	EI=	10132,843 kNm ²
Módulo de elasticidade resiliente	W _{el,y} =	0,0267 m ³			
Módulo resistente plástico	W _{pl,y} =	0,0354 m ³			
Dados do afundamento					
Densidade do tubo	d _{PEAD} =	960,00 kg/m ³	Peso específico do tubo	γ _{PEAD} =	9,42 kN/m ³
Densidade do efluente	d _{efl} =	1025,00 kg/m ³	Peso específico do efluente	γ _{efl} =	10,06 kN/m ³
Densidade da água	d _w =	1025,00 kg/m ³	Peso específico da água	γ _w =	10,06 kN/m ³
Flotabilidade do efluente	w _{efl} =	0,00 kN/m	Peso sum. do tubo inundado	w _{pt} =	-0,07 kN/m
Peso sum. do lastro	w _{cs} =	3,29 kN/m	Peso sum. do tubo cheio de ar	w _{ps} =	-0,07 kN/m
			Taxa de enchimento de ar	a _a =	0,41

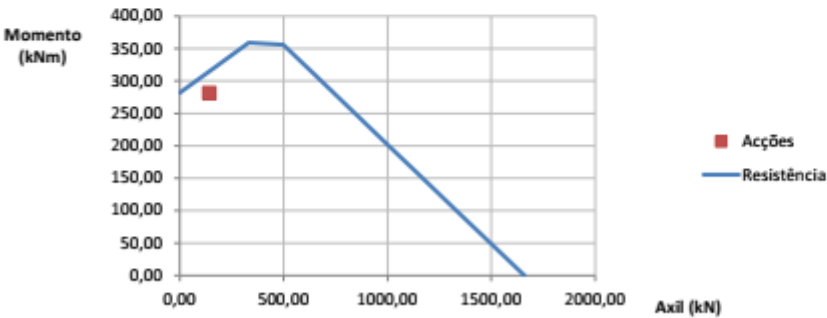
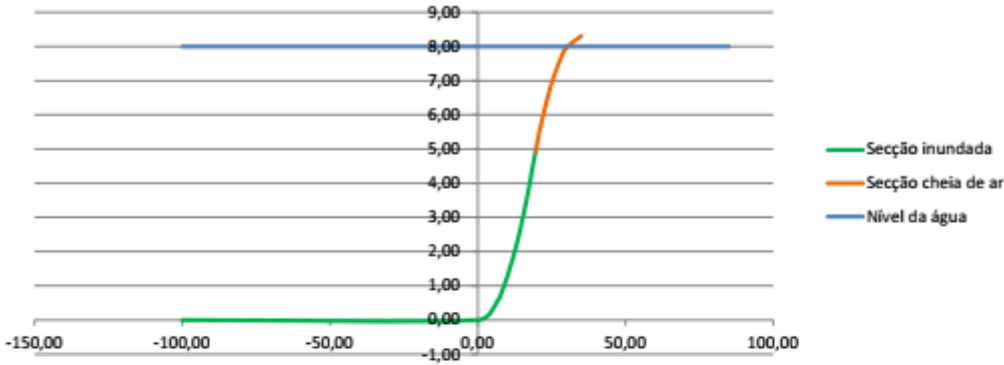
2.-RESISTÊNCIAS

Plastificação			Deformação		
Axial de plastificação	N _{te} =	1659,23 kN	Deformação de encurvadura radial	ε _{rcrit} =	0,70% (<6%)
Momento elástico	M _e =	384,33 kNm	Deformação de encurvadura axial	ε _{acrit} =	1,39% (<6%)
Momento plástico	M _p =	508,24 kNm	Curvatura	χ _s =	0,02780 m ⁻¹
			Radio mínimo de curvatura	R _{min} =	35,97 m
			R _{min} /Dconduta	R _{min} /Ø=	36,0 (>30)
			Força axial devida à encurvadura	N _b =	1216,22 kN
			Momento devido à encurvadura	M _b =	281,71 kNm

3.-AFUNDAMENTO

Peso líquido do tramo inundado	w _t =	3,21 kN/m
Flotabilidade líquida do tramo cheio de ar	w _f =	-3,52 kN/m
Altura do ponto de retorno	h=	4,75 m
Força de tração na cabeça	P=	126,75 kN
Força de tração máxima	T=	142,00 kN

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		06/05/2025	02.0	62 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		



Nd (kN)	Md (kNm)	Factor Seg.	Fator de utilização
126,75	281,71	1,10	0,91

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	63 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

5.5.3.2. Profundidade máxima

VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO TUBO NA FASE DE AFUNDAMENTO

PROJETO: **SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO NO ALGARVE**
 ESTRUTURA: **Emissário**
 Situação: **Profundidade máxima**

1.-MATERIAIS E GEOMETRIA

Materiais			Geometria		
Material	PE100		Diâmetro exterior	Ø=	1000,00 mm
Duração da manobra	t=	<10h	Espessura	t=	38,20 mm
Temperatura	T=	23 °C	Standard Dimension Ratio	SDR=	26
Módulo de elasticidade	E=	758 N/mm ²	Profundidade da instalação	H=	17,76 m
Módulo de Poisson	μ=	0,50	Coef. segurança do material	γ _m =	1,60
Límite elástico	f _y =	23 N/mm ²	Coef. Segurança da massa	γ _b =	1,60
Términos de seção			Rigidezes		
Área	A=	0,1154 m ²	Rigidez axial	EA=	87491,7723 kN
Momento de inércia	I _y =	0,0134 m ⁴	Rigidez a flexão	EI=	10132,843 kNm ²
Módulo de elasticidade resiliente	W _{el,y} =	0,0267 m ³			
Módulo resistente plástico	W _{pl,y} =	0,0354 m ³			
Dados do afundamento					
Densidade do tubo	d _{PEAD} =	960,00 kg/m ³	Peso específico do tubo	γ _{PEAD} =	9,42 kN/m ³
Densidade do efluente	d _{el} =	1025,00 kg/m ³	Peso específico do efluente	γ _{el} =	10,06 kN/m ³
Densidade da água	d _w =	1025,00 kg/m ³	Peso específico da água	γ _w =	10,06 kN/m ³
Flotabilidade do efluente	w _{el} =	0,00 kN/m	Peso sum. do tubo inundado	w _{pf} =	-0,07 kN/m
Peso sum. do lastro	w _{cs} =	3,29 kN/m	Peso sum. do tubo cheio de ar	w _{ps} =	-0,07 kN/m
			Taxa de enchimento de ar	a _a =	0,41

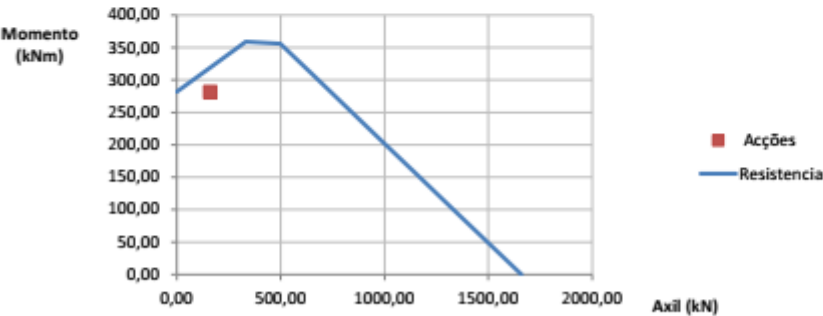
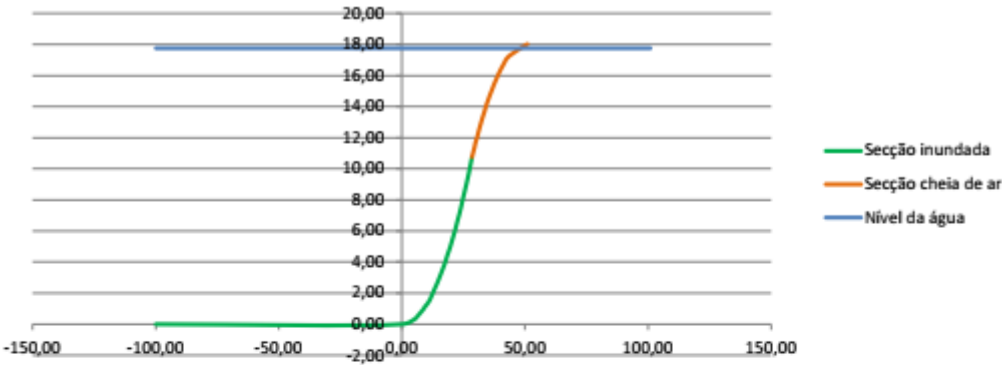
2.-RESISTÊNCIAS

Plastificação			Deformação		
Axial de plastificação	N _{rd} =	1659,23 kN	Deformação de encurvadura radial	ε _{rcrit} =	0,70% (<6%)
Momento elástico	M _y =	384,33 kNm	Deformação de encurvadura axial	ε _{acrit} =	1,39% (<6%)
Momento plástico	M _p =	508,24 kNm	Curvatura	χ _b =	0,02780 m ⁻¹
			Radio mínimo de curvatura	R _{min} =	35,97 m
			R _{min} /Dconduta	R _{min} /Ø=	36,0 (>30)
			Força axial devida à encurvadura	N _b =	1216,22 kN
			Momento devido à encurvadura	M _b =	281,71 kNm

3.-AFUNDAMENTO

Peso líquido do tramo inundado	w _s =	3,21 kN/m
Flotabilidade líquida do tramo cheio de ar	w _f =	-3,52 kN/m
Altura do ponto de retorno	h=	10,54 m
Força de tração na cabeça	P=	126,75 kN
Força de tração máxima	T=	160,60 kN

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	64 de 65
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		



Nd (kN)	Md (kNm)	Factor Seg.	Fator de utilização
126,75	281,71	1,10	0,91

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	06/05/2025	02.0	65 de 65
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00001		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00001		

5.5.4. Resumo dos resultados

O quadro seguinte apresenta os principais resultados obtidos para cada um deles, verificando o cumprimento dos critérios de conceção previamente especificados.

Conduta	Ud	Captação DN1200		Captação DN1000		Rejeição DN1000	
Diâmetro exterior	mm	1200		1000		1000	
Profundidade	mm	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Deformação de encurvadura radial	%	0,70%	0,70%	0,70%	0,70%	0,70%	0,70%
Deformação de encurvadura axial	%	1,39%	1,39%	1,39%	1,39%	1,39%	1,39%
Radio mínimo de curvatura	m	43,10	43,10	35,97	35,97	35,97	35,97
Rmin/Dconduta	-	35,9	35,9	36,0	36,0	36,0	36,0
Força de tração na cabeça	kN	253,07	253,07	148,28	148,28	126,75	126,75
Força de tração máxima	kN	272,87	298,17	161,92	179,34	142,00	160,60

Tabela 2. Resumo dos resultados