

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br>   |             |                |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                                                                                                                                                                                          | Rev.        | Pág.           |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>02.0</b> | <b>1 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                 |             |                |

# AL-PRO-0000-MW-CAC-00003

## Cálculos hidráulicos das tubagens

|             |              |                             |               |                |                 |
|-------------|--------------|-----------------------------|---------------|----------------|-----------------|
|             |              |                             |               |                |                 |
|             |              |                             |               |                |                 |
|             |              |                             |               |                |                 |
| 02.0        | 05/05/2025   | Revisão com comentários AdA | PRO           | GSI            | ACE             |
| 01.0        | 17/02/2025   | Documento inicial           | PRO           | GSI            | ACE             |
| <b>Rev.</b> | <b>Dados</b> | <b>Descrição</b>            | <b>Criado</b> | <b>Revisto</b> | <b>Aprovado</b> |

Editado para:

|                            |   |                            |  |
|----------------------------|---|----------------------------|--|
| <b>Informação</b>          |   | <b>Compra</b>              |  |
| <b>Aprovação</b>           | X | <b>Construção</b>          |  |
| <b>Pedido de licitação</b> |   | <b>Conforme construído</b> |  |

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br>   |                     |                        |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>2 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                        |

## Conteúdo

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <b>4</b>  |
| 1.1. Descrição geral do sistema de captação de água no mar ..... | 4         |
| 1.2. Descrição geral do sistema de rejeição de salmoura .....    | 5         |
| 1.3. Objetivo desde documento .....                              | 5         |
| <b>2. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO .....</b>                     | <b>6</b>  |
| 2.1. Caudais de dimensionamento .....                            | 6         |
| 2.2. Conduta de água bruta .....                                 | 6         |
| 2.3. Conduta de rejeição de salmoura .....                       | 8         |
| <b>3. FORMULAÇÃO UTILIZADA .....</b>                             | <b>11</b> |
| 3.1. Equação de Bernoulli (Equação da Energia) .....             | 11        |
| 3.2. Perdas contínuas .....                                      | 12        |
| 3.3. Perdas localizadas .....                                    | 13        |
| 3.3.1. Perdas por entrada .....                                  | 13        |
| 3.3.2. Perdas por mudança de direcção .....                      | 14        |
| 3.3.3. Perdas de carga na peça especial "T" .....                | 14        |
| 3.3.4. Perdas por saída .....                                    | 15        |
| <b>4. RESULTADOS .....</b>                                       | <b>16</b> |
| 4.1. Conduta de captação de água no mar .....                    | 16        |
| 4.2. Conduta de rejeição de salmoura .....                       | 19        |
| <b>4.3. Conduitas de hipoclorito de sódio .....</b>              | <b>23</b> |

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                       |             |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br> |             |                |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                  | Rev.        | Pág.           |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                     | <b>02.0</b> | <b>3 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |             |                |

## Figuras

|                                                                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 1. Interpretação da equação da energia para uma condução forçada.....                                                                                                                         | 11        |
| Figura 2. Coeficiente de perdas K por entrada e entrada brusca (Kisieliev). ....                                                                                                                     | 14        |
| Figura 3. Coeficientes de perdas K em curvas de diâmetro constante com superfície lisa $Re = 2,25 \times 10^5$ (Wasieliewsk) e coeficientes de perdas por cotovelo. Mudança brusca (Kirchbach). .... | 14        |
| Figura 4. Coeficientes de perda (K) por bifurcação e confluência em tubos (Mataix C., 1982). ....                                                                                                    | 15        |
| <b>Figura 5. Curva do sistema de bombeamento para rugosidade 0,5 mm. ....</b>                                                                                                                        | <b>25</b> |

## Tabelas

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Caudais de dimensionamento Inmissário. .... | 6  |
| Tabela 2. Caudais de dimensionamento Emissário. ....  | 6  |
| Tabela 3. Características conduta Inmissário. ....    | 8  |
| Tabela 4. Características conduta Emissário. ....     | 10 |
| Tabela 5. Coeficientes de perdas por saída. ....      | 15 |

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                       |             |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br> |             |                |
| Projeto n.º                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                  | Rev.        | Pág.           |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                     | <b>02.0</b> | <b>4 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |             |                |

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

O sistema de captação de água no mar, 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 microtunelagem 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.

Para o sistema de hipoclorito serão instalados 4 tubos, 2 para cada linha de captação. No trecho em vala marinha serão colocados nos lastros.

As tomadas de água são localizadas á cota batimétrica 9,80 m ZH (-11,80 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 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 m. O comprimento total da cada conduta em tubagem de PEAD é de 2029 m.
- As linhas de hipoclorito correrão protegidas por uma camisa de PEAD SDR17 DN 180 mm.

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                       |                     |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br> |                     |                        |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                             | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>5 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |                     |                        |

## 1.2. 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 5,00 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 composta por os seguintes trechos:

- Trecho em túnel: Tubagem de BA DN 1800 mm. Comprimento de 910 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 m.

## 1.3. Objetivo desde documento

O objetivo deste documento é estabelecer as bases para o dimensionamento hidráulico das condutas marinhas do projeto do Sistema de Dessalinização da Região do Algarve (Portugal), fundamentado no processo já selecionado.

Estes constituem os requisitos mínimos que devem ser cumpridos para a elaboração do dimensionamento hidráulico do Sistema de Dessalinização, garantindo que os sistemas, materiais e componentes hidráulicos atendam à função do serviço que prestam, seguindo os requisitos estabelecidos.

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                       |             |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br> |             |                |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                  | Rev.        | Pág.           |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                     | <b>02.0</b> | <b>6 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |             |                |

## 2. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

### 2.1. Caudais de dimensionamento

Os caudais de dimensionamento para o cálculo hidráulico da captação de água bruta estão apresentados na tabela seguinte:

|               | PRODUÇÃO |          |         | INMISSÁRIO |         |       |                |         |       |                |         |       |
|---------------|----------|----------|---------|------------|---------|-------|----------------|---------|-------|----------------|---------|-------|
|               | l/s      |          |         | Qm         |         |       | Qmax (25 mg/l) |         |       | Qmax (70 mg/l) |         |       |
|               |          | m3/d     | m3/h    | m3/d       | m3/h    | m3/s  | m3/d           | m3/h    | m3/s  | m3/d           | m3/h    | m3/s  |
| 25% do Ano 0  | 125      | 10800.00 | 450.00  | 26600      | 1108.33 | 0.308 | 27225          | 1134.38 | 0.315 | 27984          | 1166.00 | 0.324 |
| 25% do Ano HP | 188      | 16243.20 | 676.80  | 38817      | 1617.38 | 0.449 | 39730          | 1655.42 | 0.460 | 40836          | 1701.50 | 0.473 |
| 50% do Ano 0  | 250      | 21600.00 | 900.00  | 50840      | 2118.33 | 0.588 | 52035          | 2168.13 | 0.602 | 53484          | 2228.50 | 0.619 |
| 50% do Ano HP | 375      | 32400.00 | 1350.00 | 75080      | 3128.33 | 0.869 | 76845          | 3201.88 | 0.889 | 78985          | 3291.04 | 0.914 |
| Ano 0         | 500      | 43200.00 | 1800.00 | 99320      | 4138.33 | 1.150 | 101654         | 4235.58 | 1.177 | 104485         | 4353.54 | 1.209 |
| Ano Hp        | 750      | 64800.00 | 2700.00 | 148745     | 6197.71 | 1.722 | 152240         | 6343.33 | 1.762 | 156479         | 6519.96 | 1.811 |

Tabela 1. Caudais de dimensionamento Inmissário.

Os caudais de dimensionamento para o cálculo hidráulico do emissário marinho estão apresentados na tabela seguinte:

|               | PRODUÇÃO |          |         | EMISSIONÁRIO |         |       |                |         |       |                |         |       |
|---------------|----------|----------|---------|--------------|---------|-------|----------------|---------|-------|----------------|---------|-------|
|               | l/s      |          |         | Qm           |         |       | Qmax (25 mg/l) |         |       | Qmax (70 mg/l) |         |       |
|               |          | m3/d     | m3/h    | m3/d         | m3/h    | m3/s  | m3/d           | m3/h    | m3/s  | m3/d           | m3/h    | m3/s  |
| 25% do Ano 0  | 125      | 10800.00 | 450.00  | 15800        | 658.33  | 0.183 | 16425          | 684.38  | 0.190 | 17184          | 716.00  | 0.199 |
| 25% do Ano HP | 188      | 16243.20 | 676.80  | 22574        | 940.58  | 0.261 | 23486          | 978.58  | 0.272 | 24593          | 1024.71 | 0.285 |
| 50% do Ano 0  | 250      | 21600.00 | 900.00  | 29240        | 1218.33 | 0.338 | 30435          | 1268.13 | 0.352 | 31884          | 1328.50 | 0.369 |
| 50% do Ano HP | 375      | 32400.00 | 1350.00 | 42680        | 1778.33 | 0.494 | 44445          | 1851.88 | 0.514 | 46585          | 1941.04 | 0.539 |
| Ano 0         | 500      | 43200.00 | 1800.00 | 56120        | 2338.33 | 0.650 | 58454          | 2435.58 | 0.677 | 61285          | 2553.54 | 0.709 |
| Ano Hp        | 750      | 64800.00 | 2700.00 | 83945        | 3497.71 | 0.972 | 87440          | 3643.33 | 1.012 | 91679          | 3819.96 | 1.061 |

Tabela 2. Caudais de dimensionamento Emissário.

### 2.2. Conduta de água bruta

Para o cálculo hidráulico do sistema de captação de água bruta serão adotados os seguintes critérios de dimensionamento:

Os requisitos de traçado e conceção para o trecho em túnel são os seguintes:

- Trecho em túnel, com um comprimento mínimo de 564 m e até atingir a cota de pelo menos 4,60 m ZH (-6,60 m NMM), a conduta deverá ser executada por uma técnica de tunelização; ou seja, sem recorrer a abertura de vala.
- Obrigatoriedade de passar com o recobrimento mínimo de 15 m na zona da falésia.

Os requisitos de traçado e conceção para o trecho em vala marinha são os seguintes:

- O traçado deverá ser essencialmente retilíneo, com curvas em planta e em perfil suaves, conseguidas à custa da flexibilidade da tubagem. Raio de curvatura  $\geq 50 \times$  Diâmetro externo da tubagem.
- As condutas deverão ser equipadas com bocas de inspeção DN 1000 mm, afastadas de 400 m. As bocas de inspeção deverão ficar salientes cerca de 2,00 m do fundo marinho e serão tamponadas com tampas-flanges em PRFV.
- O recobrimento mínimo das condutas na vala, deverá ser de 1,50 m.

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                       |             |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br> |             |                |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                  | Rev.        | Pág.           |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                     | <b>02.0</b> | <b>7 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |             |                |

- As condutas terão lastros de betão armado para assegurar a sua estabilidade na vala, enquanto não se proceder ao seu aterro.
- As duas condutas paralelas poderão estar na mesma vala, desde que suficientemente afastadas para evitar a possibilidade de colisão entre ambas, designadamente se se optar por uma instalação sequencial, e se usar a técnica de afundamento progressivo (afundamento em “S”). O afastamento não poderá ser inferior a 2,50 m, a menos que devidamente justificado.

#### Requisitos hidráulicos:

- A perda de carga máxima no sistema, incluindo tomada, conduta e chegada à EE1, será de 4,30 mca.
- Perda de carga total máxima na estrutura de tomada  $\leq 0,06$  m (6,00 cm).
- A velocidade mínima nas condutas deverá ser  $\geq 0,45$  m/s.
- O cálculo das perdas de carga contínuas deverá ser feito pela fórmula de Colebrook-White, considerando uma rugosidade absoluta de 3,00 mm.
- O cálculo das perdas de carga localizadas deverá ser efetuado pela fórmula universal de perda de carga, com os coeficientes apropriados à natureza das singularidades e condições de escoamento.

Para o cálculo hidráulico do sistema de captação consideraram-se os seguintes parâmetros de projecto:

- Nível máximo mar, Nmax: +3,00 m NMM.
- Baixa – mar mínima, BMmin: -1,80 m NMM.
- Viscosidade cinemática da água doce:  $\nu_{\text{água}} = 1,010 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Viscosidade cinemática da água do mar:  $\nu_{\text{águaamar}} = 1,139 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Viscosidade cinemática da salmoura:  $\nu_{\text{salmoura}} = 1,230 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Viscosidade cinemática do hipoclorito de sódio:  $\nu_{\text{hipoclorito}} = 2,200 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Peso específico da água:  $\gamma_{\text{água}} = 1,000 \text{ kg/m}^3$ .
- Peso específico da água do mar:  $\gamma_{\text{águaamar}} = 1,026 \text{ kg/m}^3$ .
- Peso específico da salmoura:  $\gamma_{\text{salmoura}} = 1,050 \text{ kg/m}^3$ .
- Aceleração da gravidade:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

Abaixo encontra-se uma tabela com os principais parâmetros que foram tidos em conta no cálculo das condutas.

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                       |             |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br> |             |                |
| Projeto n.º                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                  | Rev.        | Pág.           |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                     | <b>02.0</b> | <b>8 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |             |                |

| Conduta                             | Captação água bruta | Captação água bruta |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Material                            | PEAD SDR26          | PEAD SDR26          |
| Pressão máxima admissível PMA (bar) | 6,40                | 6.40                |
| Comprimento (m)                     | 2029,000            | 2029,000            |
| Diâmetro Nominal (mm)               | 1000,00             | 1200.00             |
| Espessura (mm)                      | 38,20               | 45.90               |
| Diâmetro Interior (mm)              | 923,60              | 1108,20             |
|                                     | 883,60(*)           | 1068,20(*)          |
| Rugosidade absoluta (mm)            | 3,00 mm             | 3,00 mm             |

Tabela 3. Características conduta Inmissário.

(\*) Nota: Foi considerada uma redução de espessura de 20 mm devido a possíveis incrustações de moluscos.

### 2.3. Conduta de rejeição de salmoura

Para o cálculo hidráulico do sistema de rejeição de salmoura serão adotados os seguintes critérios de dimensionamento:

Os requisitos de traçado e conceção para o trecho em túnel são os seguintes:

- Trecho em túnel até atingir a cota de pelo menos 5,00 m ZH (-7,00 m NMM) e que corresponde à zona de rebentação, a conduta deverá ser executada por uma técnica de tunelização; ou seja, sem recorrer a abertura de vala.
- O comprimento do trecho de transição, a executar sem abertura de vala, terá a extensão necessária para passar a zona de rebentação.
- Obrigatoriedade de passar com o recobrimento mínimo de 10,00 m na zona da falésia.

Os requisitos de traçado e conceção para o trecho em vala marinha são os seguintes:

- O traçado deverá ser essencialmente retilíneo, com curvas em planta e em perfil suaves, conseguidas à custa da flexibilidade da tubagem. Raio de curvatura  $\geq 50 \times$  Diâmetro externo da tubagem.
- As condutas deverão ser equipadas com bocas de inspeção DN 1000 mm, afastadas de 400 m. As bocas de inspeção deverão ficar salientes cerca de 2,00 m do fundo marinho e serão tamponadas com tampas-flanges em PRFV.
- O recobrimento mínimo das condutas na vala, deverá ser de 1,50 m.
- As condutas terão lastros de betão armado para assegurar a sua estabilidade na vala, enquanto não se proceder ao seu aterro.

Os requisitos de traçado e conceção para o difusor são os seguintes:

- A localização do difusor deverá observar simultaneamente as seguintes condições:
  - Distância mínima à linha de costa  $\geq 1750$  m (medida no 1º bocal).

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                       |             |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br> |             |                |
| Projeto n.º                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                  | Rev.        | Pág.           |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                     | <b>02.0</b> | <b>9 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |             |                |

- Profundidade do fundo marinho  $\geq 7,00$  m ZH (-9,00 m NMM).
- Distância entre o difusor (último bocal) e a torre de tomada mais próxima  $\geq 3700$  m.

#### Requisitos hidráulicos:

- A conduta de rejeição será dimensionada para o maior dos dois valores seguintes:
  - Caudais máximos de salmoura e sobrenadantes no Ano HP.
  - 65 % do caudal máximo de água bruta (água do mar) no Ano HP.
- As cotas de referência na rejeição são as seguintes:
  - Cota BMAV: 0,00 m ZH (-2,00 m NMM).
  - Cota PMAV: -4,00 m ZH (+2,00 m NMM).
  - Depressão atmosférica extrema 1,00 mca.
  - Cota PMAV com depressão: -5,00 m ZH (+3,00 m NMM).
  - Cota PMAV com ondulação Hs100: -6,50 m ZH (+4,50 m NMM).
  - Cota PMAV com ondulação Hs100 e depressão extrema: -7,50 m ZH (+5,50 m NMM).
- A velocidade mínima na conduta deverá ser  $\geq 0,40$  m/s.
- O cálculo das perdas de carga contínuas deverá ser feito pela fórmula de Colebrook-White, considerando uma rugosidade absoluta de 0,50 mm.
- O cálculo das perdas de carga localizadas deverá ser efetuado pela fórmula universal de perda de carga, com os coeficientes apropriados à natureza das singularidades e condições de escoamento.

Para o cálculo hidráulico do sistema de captação consideraram-se os seguintes parâmetros de projecto:

- Nível máximo mar, Nmax: +3,00 m NMM.
- Baixa – mar mínima, BMmin: -1,80 m NMM.
- Viscosidade cinemática da água doce:  $\nu_{\text{água}} = 1,010 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Viscosidade cinemática da água do mar:  $\nu_{\text{água mar}} = 1,139 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Viscosidade cinemática da salmoura:  $\nu_{\text{salmoura}} = 1,230 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Viscosidade cinemática do hipoclorito de sódio:  $\nu_{\text{hipoclorito}} = 2,200 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Peso específico da água:  $\gamma_{\text{água}} = 1,000 \text{ kg/m}^3$ .
- Peso específico da água do mar:  $\gamma_{\text{água mar}} = 1,026 \text{ kg/m}^3$ .
- Peso específico da salmoura:  $\gamma_{\text{salmoura}} = 1,050 \text{ kg/m}^3$ .
- Aceleração da gravidade:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

Abaixo encontra-se uma tabela com os principais parâmetros que foram tidos em conta no cálculo das condutas:

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br>   |                     |                         |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>10 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                         |

| Conduta                             | Emissário   |
|-------------------------------------|-------------|
| Material                            | PEAD SDR26  |
| Pressão máxima admissível PMA (bar) | 6.40        |
| Comprimento (m)                     | <b>2260</b> |
| Diâmetro Nominal (mm)               | 1000        |
| Espessura (mm)                      | 38,20       |
| Diâmetro Interior (mm)              | 923,60      |
| Rugosidade absoluta (mm)            | 0,50 mm     |

*Tabela 4. Características conduta Emissário.*

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                       |                     |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br> |                     |                         |
| Projeto n.º                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                             | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>11 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |                     |                         |

### 3. FORMULAÇÃO UTILIZADA

Para a realização dos cálculos hidráulicos utilizou-se o teorema de Bernoulli. Para o cálculo das perdas de carga por atrito e localizadas, utiliza-se a fórmula de Darcy-Weisbach e para os coeficientes de atrito a fórmula de Colebrook e White.

#### 3.1. Equação de Bernoulli (Equação da Energia)

Aplicou-se o teorema de Bernoulli (válido para um fluido incompressível em movimento permanente), o qual estabelece o seguinte balanço energético:

$$H_1 = H_2 + \Delta H_{1-2}$$

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

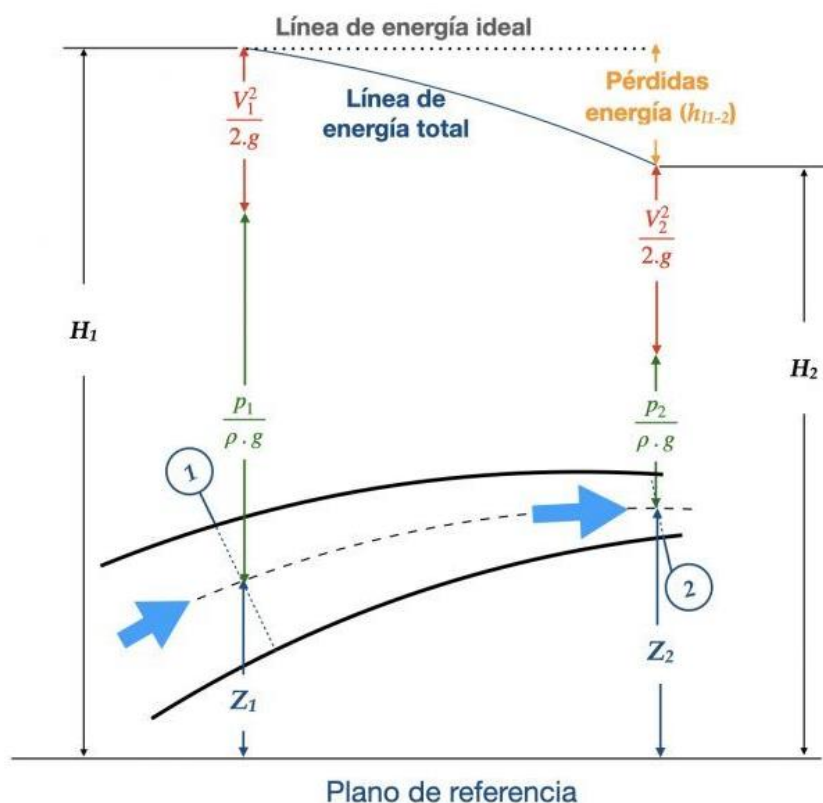


Figura 1. Interpretação da equação da energia para uma condução forçada.

onde:

- $H_1$ : Altura total da energia no ponto 1 em estudo (m).
- $H_2$ : Altura total da energia no ponto 2 em estudo (m).

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                       |                     |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br> |                     |                         |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                             | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>12 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |                     |                         |

- $\Delta H_{1-2}$ : Perdas de carga totais (contínuas + localizadas) entre o ponto 1 em estudo e o ponto 2 em estudo.
- $z_1$ : Altura geométrica no ponto 1, isto é, a cota do ponto em relação ao nível de referência, (m).
- $z_1 + P_1/\gamma$ : Altura piezométrica no ponto 1, (m).
- $P_1$ : Pressão no ponto 1 ( $N/m^2$ ).
- $g$ : Peso específico do fluido em questão ( $N/m^3$ ).
- $V_1^2/2g$ : Termo de energia cinética, carga de velocidade (m).
- $V_1$ : Velocidade no ponto 1, (m/s).
- $g$ : Aceleração da gravidade, ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).
- $z_2$ : Altura geométrica no ponto 2, isto é, a cota do ponto em relação ao mesmo nível de referência do ponto 1, (m).
- $z_2 + P_2/\gamma$ : Altura piezométrica no ponto 2, (m).
- $P_2$ : Pressão no ponto 2, ( $N/m^2$ ).
- $g$ : Peso específico do fluido em questão, ( $N/m^3$ ).
- $V_2^2/2g$ : Termo de energia cinética, carga de velocidade, (m).
- $V_2$ : Velocidade no ponto 2, (m/s).

### 3.2. Perdas contínuas

O cálculo das perdas de carga contínuas ou por atrito ( $\Delta H_{\text{contínuas}}$ ) ao longo da tubagem realizou-se segundo a expressão de Darcy-Weisbach que se inclui em seguida:

$$h_f = \Delta H_{\text{fricção}} = f x \left[ \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2g} \right]$$

onde:

- $L$ : Comprimento da tubagem (m).
- $f$ : Coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional).
- $D$ : Diâmetro da tubagem (m).
- $V$ : Velocidade do fluido na tubagem (m/s).
- $g$ : Aceleração da gravidade ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Para determinar o coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach podem utilizar-se fórmulas empíricas ou diagramas, sendo o mais famoso o diagrama universal de Moody. Em 1920 Nikuradse trabalhou com tubos de rugosidade artificial perfeitamente verificada em laboratório para definir a sua fórmula. Mais tarde, Colebrook e White, partindo da definição de rugosidade equivalente de uma tubagem comercial (valor da rugosidade uniforme de Nikuradse que, nas mesmas condições e em movimento turbulento rugoso, produz a mesma perda de carga), apresentam a seguinte fórmula:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[ \frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                       |             |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br> |             |                 |
| Projeto n.º                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                  | Rev.        | Pág.            |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                     | <b>02.0</b> | <b>13 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |             |                 |

onde:

- f: Coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional).
- e: Rugosidade absoluta (m).
- D: Diâmetro interior da tubagem (m).
- Re: Número de Reynolds, que responde à expressão:

$$Re = \frac{DxV}{\nu}$$

na qual:

- V: Velocidade do fluído na tubagem (m/s).
- $\nu$ : Viscosidade cinemática (m<sup>2</sup>/s) resultado de dividir a viscosidade ( $\mu$ , em kg/m s) entre a densidade ( $\rho$ , em kg/m<sup>3</sup>).

### 3.3. Perdas localizadas

O cálculo das perdas de carga localizadas ( $\Delta H_{localizadas}$ ) nos distintos elementos pontuais (entradas, saídas, cotovelos, bifurcações, etc.), realizou-se segundo a seguinte expressão:

$$h_L = \Delta H_{localizadas} = K \times \frac{V^2}{2g}$$

onde:

- V: Velocidade do fluído na tubagem (m/s).
- g: Aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).
- K: Coeficiente de perdas de carga localizadas (adimensional).

O coeficiente de perdas de carga localizadas K depende do tipo de elemento ou singularidade existente na tubagem (cotovelo, bifurcação, entrada, saída, etc.).

#### 3.3.1. Perdas por entrada

À entrada das tubagens produz-se uma perda pelo efeito de contracção que sofre a veia líquida; o coeficiente K depende, principalmente, do modo brusco com que se realiza a contracção do jacto de água e do tipo de entrada.

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br>   |                     |                         |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>14 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                         |

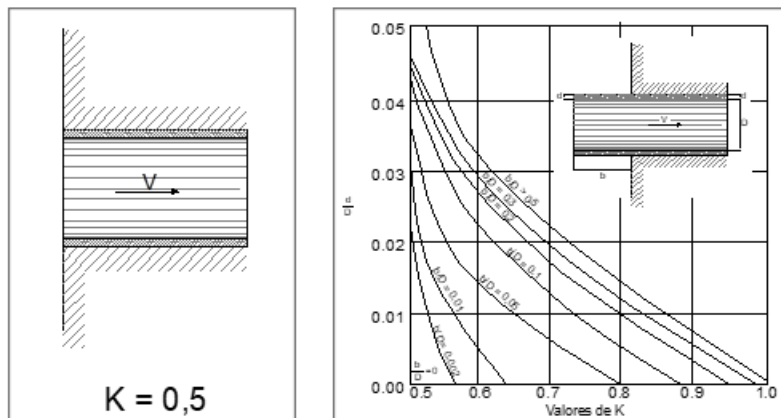


Figura 2. Coeficiente de perdas K por entrada e entrada brusca (Kisieliev).

### 3.3.2. Perdas por mudança de direcção

Se o tubo for liso, utiliza-se usualmente o gráfico de Wasieliewski, válido para curvas em tubos de grande diâmetro. Se as mudanças de direcção são bruscas, o coeficiente de perdas K, depende do número de Reynolds, como se pode ver no gráfico de Kirchbach e Schubart, para diferentes ângulos.

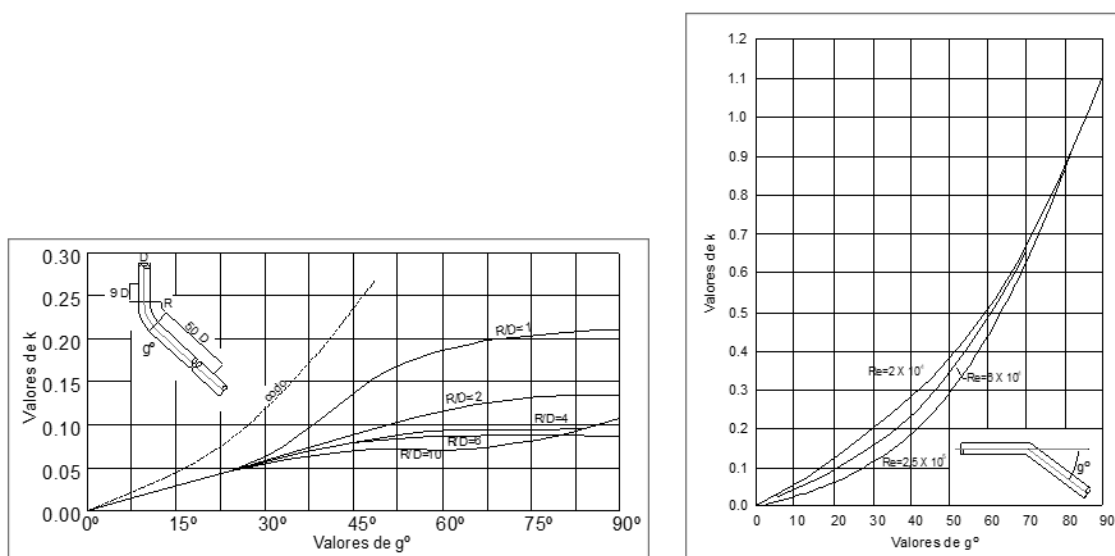


Figura 3. Coeficientes de perdas K em curvas de diâmetro constante com superfície lisa  $Re = 2,25 \times 10^5$  (Wasieliewski) e coeficientes de perdas por cotovelo. Mudança brusca (Kirchbach).

### 3.3.3. Perdas de carga na peça especial “T”

Podem ser de confluência e de divergência. As perdas de carga para o escoamento lateral  $Q_l$  e para o escoamento retilíneo  $Q_r$  são calculadas separadamente e depois somadas.

$$H_l = K_l \times \frac{V^2}{2g} ; H_r = K_r \times \frac{V^2}{2g}$$

Em que  $v$  é igual à velocidade total da corrente, ou seja, a velocidade atual da soma de  $Q_l + Q_r$ .

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br>   |                     |                         |
| Projeto n.º                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>15 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                         |

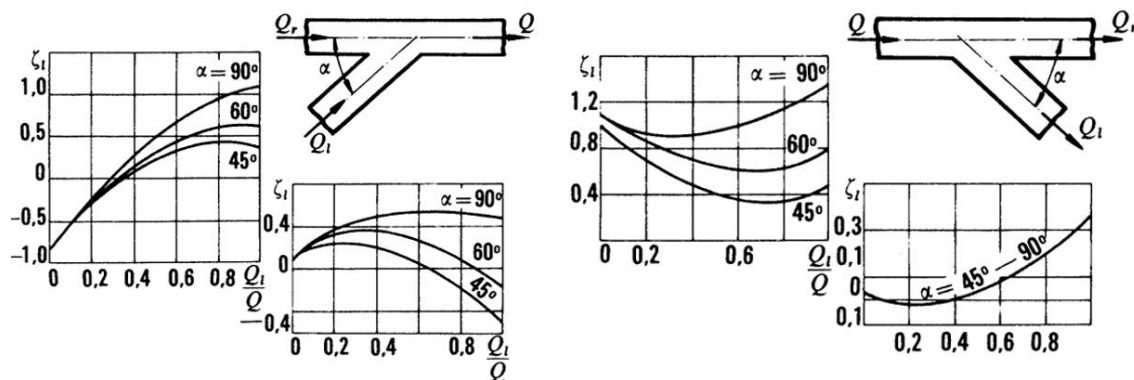


Figura 4. Coeficientes de perda (K) por bifurcação e confluência em tubos (Mataix C., 1982).

### 3.3.4. Perdas por saída

Estas perdas estimam-se com a seguinte fórmula:

$$h_s = \Delta H_{salida} = K \frac{(V_s - V_2)^2}{2g}$$

onde:

- $V_s$ : Velocidade do fluido na saída do tubo (m/s).
- $V_2$ : Velocidade do fluido no meio onde se realiza a saída (m/s).
- $g$ : Aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).
- $K$ : Coeficiente de perdas de carga localizadas (adimensional).
- $A_s$ : Área da saída (m<sup>2</sup>).
- $A_1$ : Área da tubagem da saída (m<sup>2</sup>).

| As / A1 | K    |
|---------|------|
| 0.1     | 0.83 |
| 0.2     | 0.84 |
| 0.3     | 0.85 |
| 0.4     | 0.87 |
| 0.5     | 0.88 |
| 0.6     | 0.90 |
| 0.7     | 0.92 |
| 0.8     | 0.94 |
| 0.9     | 0.96 |
| 1.0     | 1.00 |

Tabela 5. Coeficientes de perdas por saída.

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br>   |                     |                         |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>16 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                         |

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Conduta de captação de água no mar

O sistema de captação de água do mar funciona de forma gravítica, por via do abaixamento do nível de água no poço de aspiração na estação elevatória EEI quando os grupos entram em funcionamento. Para determinar os diferentes níveis de água para o regime de exploração, é necessário avaliar as perdas de carga no sistema de captação para toda a gama de caudais de água bruta, desde a torre de captação até a EEI. O cenário em que se apresenta o nível mais baixo é aquele que corresponde ao caudal máximo (Ano HP  $Q_{max}$ ) conjuntamente com ao nível mínimo do mar.

Abaixo são mostrados o cálculo das perdas de carga no sistema de captação de água bruta para o caudal máximo no Ano HP ( $1,811 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e o nível mínimo do mar ( $-1,80 \text{ m NMM}$ ).

Cenário:

- Ano HP  $Q_{max}$   $70 \text{ mg/l (750)} = 1,811 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Nível mínimo do mar =  $-1,80 \text{ m NMM}$ .
- Rugosidade absoluta =  $3,00 \text{ mm}$ .
- Condutas em funcionamento = 2. DN 1000 mm e DN 1200 mm.

Captação de água bruta  
Perdas de carga

| DADOS                          |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Diâmetro nominal DN            | 1000 mm                       |
| Material                       | PEAD SDR26                    |
| Espessura e                    | 38,2 mm                       |
| Comprimento L                  | 2029,000 m                    |
| Diâmetro interno $\Phi$        | 0,8836 m                      |
| Rugosidade absoluta $\epsilon$ | 3,00 mm                       |
| Viscosidade cinemática $\nu$   | 0,000001139 m <sup>2</sup> /s |
| Caudal Q                       | 0,685 m <sup>3</sup> /s       |
| Área A                         | 0,613 m <sup>2</sup> /s       |
| Velocidade V                   | 1,117 m/s                     |
| Reynolds Re                    | 866877,777                    |

| LOCALIZADAS  |     |     |         |        |       |       |         |
|--------------|-----|-----|---------|--------|-------|-------|---------|
| Acessório    | No. | K   | No. * K | $\Phi$ | Q     | V     | hL      |
| Entrada      | 1   | 0,5 | 0,5     | 0,884  | 0,685 | 1,117 | 0,032   |
| Curva 90°    | 0   | 0,5 | 0       | 0,884  | 0,685 | 1,117 | 0,000   |
| Curva 45°    | 2   | 0,4 | 0,8     | 0,884  | 0,685 | 1,117 | 0,051   |
| Curva 22.5°  | 0   | 0,3 | 0       | 0,884  | 0,685 | 1,117 | 0,000   |
| Curva 11.25° | 0   | 0,2 | 0       | 0,884  | 0,685 | 1,117 | 0,000   |
| Saída        | 1   | 1   | 1       | 0,884  | 0,685 | 1,117 | 0,064   |
|              |     |     |         |        |       |       | 0,146 m |

| CONTÍNUAS       |            |
|-----------------|------------|
| Valor inicial f | Colebrooke |
| 0,0272          | 0,0272     |
| 6,0605          | 6,0605     |
| hf              | 3,979 m    |
| TOTAL           | 4,125 m    |

| DADOS                          |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Diâmetro nominal DN            | 1200 mm                       |
| Material                       | PEAD SDR26                    |
| Espessura e                    | 45,9 mm                       |
| Comprimento L                  | 2029,000 m                    |
| Diâmetro interno $\Phi$        | 1,0682 m                      |
| Rugosidade absoluta $\epsilon$ | 3,00 mm                       |
| Viscosidade cinemática $\nu$   | 0,000001139 m <sup>2</sup> /s |
| Caudal Q                       | 1,126 m <sup>3</sup> /s       |
| Área A                         | 0,896 m <sup>2</sup> /s       |
| Velocidade V                   | 1,256 m/s                     |
| Reynolds Re                    | 1178118,792                   |

| LOCALIZADAS  |     |     |         |        |       |       |         |
|--------------|-----|-----|---------|--------|-------|-------|---------|
| Acessório    | No. | K   | No. * K | $\Phi$ | Q     | V     | hL      |
| Entrada      | 1   | 0,5 | 0,5     | 1,0682 | 1,126 | 1,256 | 0,040   |
| Curva 90°    | 0   | 0,5 | 0       | 1,0682 | 1,126 | 1,256 | 0,000   |
| Curva 45°    | 2   | 0,4 | 0,8     | 1,0682 | 1,126 | 1,256 | 0,064   |
| Curva 22.5°  | 0   | 0,3 | 0       | 1,0682 | 1,126 | 1,256 | 0,000   |
| Curva 11.25° | 0   | 0,2 | 0       | 1,0682 | 1,126 | 1,256 | 0,000   |
| Saída        | 1   | 1   | 1       | 1,0682 | 1,126 | 1,256 | 0,080   |
|              |     |     |         |        |       |       | 0,185 m |

| CONTÍNUAS       |            |
|-----------------|------------|
| Valor inicial f | Colebrooke |
| 0,0258          | 0,0258     |
| 6,2267          | 6,2267     |
| hf              | 3,940 m    |
| TOTAL           | 4,125 m    |

|         |                         |
|---------|-------------------------|
| Q total | 1,811 m <sup>3</sup> /s |
|---------|-------------------------|

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br>   |                     |                         |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>17 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                         |

Pode-se observar que a velocidade máxima na conduta não supera 2,00 m/s e a perda de carga máxima no sistema, incluindo tomada, conduta e chegada à EE1, é menor de 4,30 mca.

Da equação de energia pode-se deduzir, de acordo com a perda de carga e o nível mínimo do mar, o nível mínimo de água esperado na entrada da câmara da bombagem.

Partindo do nível mínimo do mar: -1,80 m NMM.

$$H_1 = H_2 + \Delta H_{1-2}$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2}$$

- onde:
- $Z_1 = -1,80$  m. (mínimo nível do mar).
- $V_1^2/2g = 0,0$  m.
- $V_2^2/2g = 0,0$  m.
- $P_1/g = 0,0$  m.
- $P_2/g = 0,0$  m.
- $\Delta H_{1-2} = 4,13$  m. (perda de carga na conduta).

Portanto, o nível mínimo de água na entrada da estação de bombagem é:

- $Z_2 = -5,93$  m.

Como caso particular, são apresentados os resultados da perda de carga para o cenário de caudal médio 25% Ano 0 Qmed (125), correspondente a um único tubagem em operação.

Cenário:

- 25% Ano 0 Qmed (125) = 0,308 m³/s.
- Nível mínimo do mar = -1,80 m NMM.
- Rugosidade absoluta = 3,00 mm.
- Condutas em funcionamento = 1. DN 1000 mm.

Captação de água bruta  
Perdas de carga

| DADOS                          |                  |
|--------------------------------|------------------|
| Diâmetro nominal DN            | 1000 mm          |
| Material                       | PEAD SDR26       |
| Espessura e                    | 38,2 mm          |
| Comprimento L                  | 2029,000 m       |
| Diâmetro interno $\Phi$        | 0,8836 m         |
| Rugosidade absoluta $\epsilon$ | 3,00 mm          |
| Viscosidade cinemática $\nu$   | 0,000001139 m²/s |
| Caudal Q                       | 0,308 m³/s       |
| Área A                         | 0,613 m²/s       |
| Velocidade V                   | 0,502 m/s        |
| Reynolds Re                    | 389656,032       |

| LOCALIZADAS  |     |     |         |        |       |       |         |
|--------------|-----|-----|---------|--------|-------|-------|---------|
| Acessório    | No. | K   | No. * K | $\Phi$ | Q     | V     | hL      |
| Entrada      | 1   | 0,5 | 0,5     | 0,884  | 0,308 | 0,502 | 0,006   |
| Curva 90°    | 0   | 0,5 | 0       | 0,884  | 0,308 | 0,502 | 0,000   |
| Curva 45°    | 2   | 0,4 | 0,8     | 0,884  | 0,308 | 0,502 | 0,010   |
| Curva 22.5°  | 0   | 0,3 | 0       | 0,884  | 0,308 | 0,502 | 0,000   |
| Curva 11.25° | 0   | 0,2 | 0       | 0,884  | 0,308 | 0,502 | 0,000   |
| Saída        | 1   | 1   | 1       | 0,884  | 0,308 | 0,502 | 0,013   |
|              |     |     |         |        |       |       | 0,030 m |

| CONTÍNUAS       |            |
|-----------------|------------|
| Valor inicial f | Colebrooke |
| 0,0274          | 0,0274     |
| 6,0408          | 6,0408     |
| hf              | 0,809 m    |
| TOTAL           | 0,839 m    |

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br>   |             |                 |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                                                                                                                                                                                          | Rev.        | Pág.            |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>02.0</b> | <b>18 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                 |             |                 |

Pode-se observar que a velocidade mínima na conduta supera 0,50 m/s.

Da mesma forma, as tabelas a seguir mostram os resultados das perdas de carga e os níveis de água esperados na entrada da EEI para os diferentes regimes de exploração y níveis do mar.

Cenário:

- Nível mínimo do mar = -1,80 m NMM.
- Nível máximo do mar = +3,00 m NMM.
- Rugosidade absoluta = 3,00 mm.

**Caudal Médio Qm**

| Regime de exploração | Caudal de água tratada | Condutas em funcionamento | Caudal | Diâmetro nominal | Caudal per conduta | Velocidade | Rugosidade absoluta | Perdas de carga captação | Nível do mar | Nível água entrada EEI |
|----------------------|------------------------|---------------------------|--------|------------------|--------------------|------------|---------------------|--------------------------|--------------|------------------------|
|                      | (l/s)                  | No.                       | (m3/s) | (mm)             | (m3/s)             | (m/s)      | (mm)                | (m)                      | (m) (NMM)    | (m)                    |
| 25% do Ano 0         | 125                    | 1                         | 0,308  | 1000             | 0,308              | 0,50       | 3,00                | 0,839                    | -1,80        | -2,64                  |
| 25% do Ano HP        | 188                    | 1                         | 0,449  | 1000             | 0,449              | 0,73       | 3,00                | 1,776                    | -1,80        | -3,58                  |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 1                         | 0,588  | 1000             | 0,588              | 0,96       | 3,00                | 3,040                    | -1,80        | -4,84                  |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 1                         | 0,588  | 1200             | 0,588              | 0,66       | 3,00                | 1,130                    | -1,80        | -2,93                  |
| 50% do Ano HP        | 375                    | 1                         | 0,869  | 1200             | 0,869              | 0,97       | 3,00                | 2,461                    | -1,80        | -4,26                  |
| Ano 0                | 500                    | 2                         | 1,150  | 1000             | 0,435              | 0,71       | 3,00                | 1,668                    | -1,80        | -3,47                  |
|                      |                        |                           |        | 1200             | 0,715              | 0,80       | 3,00                |                          |              |                        |
| Ano Hp               | 750                    | 2                         | 1,722  | 1000             | 0,652              | 1,06       | 3,00                | 3,731                    | -1,80        | -5,53                  |
|                      |                        |                           |        | 1200             | 1,070              | 1,19       | 3,00                |                          |              |                        |

**Caudal Máximo Qmax (25 mg/l)**

| Regime de exploração | Caudal de água tratada | Condutas em funcionamento | Caudal | Diâmetro nominal | Caudal per conduta | Velocidade | Rugosidade absoluta | Perdas de carga captação | Nível do mar | Nível água entrada EEI |
|----------------------|------------------------|---------------------------|--------|------------------|--------------------|------------|---------------------|--------------------------|--------------|------------------------|
|                      | (l/s)                  | No.                       | (m3/s) | (mm)             | (m3/s)             | (m/s)      | (mm)                | (m)                      | (m) (NMM)    | (m)                    |
| 25% do Ano 0         | 125                    | 1                         | 0,315  | 1000             | 0,315              | 0,51       | 3,00                | 0,877                    | -1,80        | -2,68                  |
| 25% do Ano HP        | 188                    | 1                         | 0,460  | 1000             | 0,460              | 0,75       | 3,00                | 1,864                    | -1,80        | -3,66                  |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 1                         | 0,602  | 1200             | 0,602              | 0,67       | 3,00                | 1,184                    | -1,80        | -2,98                  |
| 50% do Ano HP        | 375                    | 1                         | 0,889  | 1200             | 0,889              | 0,99       | 3,00                | 2,576                    | -1,80        | -4,38                  |
| Ano 0                | 500                    | 2                         | 1,177  | 1000             | 0,445              | 0,73       | 3,00                | 1,747                    | -1,80        | -3,55                  |
|                      |                        |                           |        | 1200             | 0,732              | 0,82       | 3,00                |                          |              |                        |
| Ano Hp               | 750                    | 2                         | 1,762  | 1000             | 0,667              | 1,09       | 3,00                | 3,906                    | -1,80        | -5,71                  |
|                      |                        |                           |        | 1200             | 1,095              | 1,22       | 3,00                |                          |              |                        |

**Caudal Máximo Qmax (70 mg/l)**

| Regime de exploração | Caudal de água tratada | Condutas em funcionamento | Caudal | Diâmetro nominal | Caudal per conduta | Velocidade | Rugosidade absoluta | Perdas de carga captação | Nível do mar | Nível água entrada EEI |
|----------------------|------------------------|---------------------------|--------|------------------|--------------------|------------|---------------------|--------------------------|--------------|------------------------|
|                      | (l/s)                  | No.                       | (m3/s) | (mm)             | (m3/s)             | (m/s)      | (mm)                | (m)                      | (m) (NMM)    | (m)                    |
| 25% do Ano 0         | 125                    | 1                         | 0,324  | 1000             | 0,324              | 0,53       | 3,00                | 0,928                    | -1,80        | -2,73                  |
| 25% do Ano HP        | 188                    | 1                         | 0,473  | 1000             | 0,473              | 0,77       | 3,00                | 1,970                    | -1,80        | -3,77                  |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 1                         | 0,619  | 1200             | 0,619              | 0,69       | 3,00                | 1,252                    | -1,80        | -3,05                  |
| 50% do Ano HP        | 375                    | 1                         | 0,914  | 1200             | 0,914              | 1,02       | 3,00                | 2,722                    | -1,80        | -4,52                  |
| Ano 0                | 500                    | 2                         | 1,209  | 1000             | 0,457              | 0,75       | 3,00                | 1,843                    | -1,80        | -3,64                  |
|                      |                        |                           |        | 1200             | 0,752              | 0,84       | 3,00                |                          |              |                        |
| Ano Hp               | 750                    | 2                         | 1,811  | 1000             | 0,685              | 1,12       | 3,00                | 4,125                    | -1,80        | -5,93                  |
|                      |                        |                           |        | 1200             | 1,126              | 1,26       | 3,00                |                          |              |                        |

**Caudal mínimo a capturar para ter uma velocidade mínima de 0.5 m/s em ambas condutas**

| Regime de exploração | Caudal de água tratada | Condutas em funcionamento | Caudal | Diâmetro nominal | Caudal per conduta | Velocidade | Rugosidade absoluta | Perdas de carga captação | Nível do mar | Nível água entrada EEI |
|----------------------|------------------------|---------------------------|--------|------------------|--------------------|------------|---------------------|--------------------------|--------------|------------------------|
|                      | (l/s)                  | No.                       | (m3/s) | (mm)             | (m3/s)             | (m/s)      | (mm)                | (m)                      | (m) (NMM)    | (m)                    |
| Qmin a captar        |                        | 2                         | 0,811  | 1000             | 0,307              | 0,50       | 3,00                | 0,831                    | -1,80        | -2,63                  |
|                      |                        |                           |        | 1200             | 0,504              | 0,56       | 3,00                |                          |              |                        |

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br>   |             |                 |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                                                                                                                                                                                         | Rev.        | Pág.            |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>02.0</b> | <b>19 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                |             |                 |

## 4.2. Conduta de rejeição de salmoura

O sistema de emissário marinho funciona de forma gravítica. Para determinar os diferentes níveis de água para o regime de exploração, é necessário avaliar as perdas de carga no sistema de vertido para toda a gama de caudais de salmoura, desde a câmara de desgaseificação até ao fundo do mar. O cenário em que se apresenta o nível mais alto é aquele que corresponde ao caudal máximo (Ano HP Qmax) conjuntamente com ao nível máximo do mar.

Abaixo são mostrados o cálculo das perdas de carga no sistema de vertido de salmoura, desde a câmara de desgaseificação até ao fundo do mar, para o caudal máximo no Ano HP (1,061 m³/s) e o nível máximo do mar (+3,00 m NMM).

Cenário:

- Ano HP Qmax 70 mg/l (750) = 1,061 m³/s.
- Nível máximo do mar = +3,00 m NMM.
- Rugosidade absoluta = 0,50 mm.

| Emissário marinho          |             |       |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|-------------|-------|--|--|--|--|--|--|--|
| Perdas de carga            |             |       |  |  |  |  |  |  |  |
| DADOS                      |             |       |  |  |  |  |  |  |  |
| Diâmetro nominal DN        | 1000        | mm    |  |  |  |  |  |  |  |
| Material                   | PEAD SDR26  |       |  |  |  |  |  |  |  |
| Espessura e                | 38,20       | mm    |  |  |  |  |  |  |  |
| Comprimento L              | 2200        | m     |  |  |  |  |  |  |  |
| Diâmetro interno Φ         | 0,9236      | m     |  |  |  |  |  |  |  |
| Rugosidade absoluta ε      | 0,5         | mm    |  |  |  |  |  |  |  |
| Viscosidade cinemática ν   | 0,0000123   | m²/s  |  |  |  |  |  |  |  |
| Densidade do água do mar ρ | 1026        | kg/m3 |  |  |  |  |  |  |  |
| Densidade do efluente ρ    | 1050        | kg/m3 |  |  |  |  |  |  |  |
| Caudal Q                   | 1,061       | m3/s  |  |  |  |  |  |  |  |
| Área A                     | 0,670       | m²    |  |  |  |  |  |  |  |
| Velocidade V               | 1,584       | m/s   |  |  |  |  |  |  |  |
| Reynolds Re                | 1189149,525 |       |  |  |  |  |  |  |  |

| LOCALIZADAS  |     |     |         |       |       |       |         |
|--------------|-----|-----|---------|-------|-------|-------|---------|
| Acessório    | No. | K   | No. * K | Φ     | Q     | V     | hL      |
| Entrada      | 1   | 0,5 | 0,5     | 0,924 | 1,061 | 1,584 | 0,064   |
| Curva 90º    | 0   | 0,5 | 0,0     | 0,924 | 1,061 | 1,584 | 0,000   |
| Curva 45º    | 0   | 0,4 | 0,0     | 0,924 | 1,061 | 1,584 | 0,000   |
| Curva 22,5º  | 0   | 0,3 | 0,0     | 0,924 | 1,061 | 1,584 | 0,000   |
| Curva 11,25º | 0   | 0,2 | 0,0     | 0,924 | 1,061 | 1,584 | 0,000   |
|              |     |     |         |       |       | hf    | 0,064 m |

| CONTÍNUAS       |            |
|-----------------|------------|
| Valor inicial f | Colebrooke |
| 0,0174          | 0,0000     |
| 7,5814          | 7,5814     |
| hf              | 5,297 m    |
|                 | 5,361 m    |

| DIFUSOR   |             |          |       |                |        |       |            |       |       |   |     |       |  |
|-----------|-------------|----------|-------|----------------|--------|-------|------------|-------|-------|---|-----|-------|--|
| Emisario  |             |          |       | Trecho difusor |        |       |            |       |       |   |     |       |  |
| Raiser Nº | Q emissário | Q raiser | Δh    | Φ              | Qa / Q | V     | Re         | f     | f     | L | Kc  | Δh    |  |
| 1         | 1,0610      | 0,1351   | 5,361 | 0,924          | 0,13   | 1,584 | 1189149,53 | 0,017 | 0,017 | 0 | 0   | 0,000 |  |
| 2         | 0,9259      | 0,1339   | 5,361 | 0,924          | 0,14   | 1,382 | 1037690,50 | 0,017 | 0,017 | 8 | 0,1 | 0,024 |  |
| 3         | 0,7920      | 0,1330   | 5,361 | 0,924          | 0,17   | 1,182 | 887643,63  | 0,018 | 0,018 | 8 | 0,1 | 0,042 |  |
| 4         | 0,6590      | 0,1323   | 5,361 | 0,924          | 0,20   | 0,984 | 738628,35  | 0,018 | 0,018 | 8 | 0,1 | 0,055 |  |
| 5         | 0,5267      | 0,1319   | 5,361 | 0,924          | 0,25   | 0,786 | 590327,90  | 0,018 | 0,018 | 8 | 0,1 | 0,063 |  |
| 6         | 0,3948      | 0,1317   | 5,361 | 0,924          | 0,33   | 0,589 | 442485,57  | 0,018 | 0,018 | 8 | 0,1 | 0,067 |  |
| 7         | 0,2631      | 0,1316   | 5,361 | 0,924          | 0,50   | 0,393 | 294902,43  | 0,018 | 0,018 | 8 | 0,1 | 0,069 |  |
| 8         | 0,1315      | 0,1315   | 5,361 | 0,924          | 1,00   | 0,196 | 147436,07  | 0,020 | 0,020 | 8 | 0,1 | 0,070 |  |
|           | 0,0000      |          |       |                |        |       |            |       |       |   |     |       |  |

| Raier |       |           |       |       |     |                |       | Bocal |    |        |                    |       | Saída |   | Salinidade |      | Δh <sub>total</sub> | Δh-z <sub>0</sub>   |                   |
|-------|-------|-----------|-------|-------|-----|----------------|-------|-------|----|--------|--------------------|-------|-------|---|------------|------|---------------------|---------------------|-------------------|
| Φ     | V     | Re        | f     | f     | L   | K <sub>a</sub> | Δh    | Φ     | Nº | Q      | Area <sub>ef</sub> | V     | Δh    | K | Δh         | h    | Δh                  | Δh <sub>total</sub> | Δh-z <sub>0</sub> |
| 0,291 | 2,035 | 481043,86 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8            | 0,213 | 0,291 | 1  | 0,1351 | 0,029              | 4,659 | 0,892 | 1 | 1,106      | 9,40 | -0,283              | 7,289               | 0,000             |
| 0,291 | 2,016 | 476558,77 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8            | 0,209 | 0,291 | 1  | 0,1339 | 0,029              | 4,633 | 0,884 | 1 | 1,094      | 9,40 | -0,283              | 7,289               | 0,000             |
| 0,291 | 2,002 | 473282,36 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8            | 0,206 | 0,291 | 1  | 0,1330 | 0,029              | 4,614 | 0,878 | 1 | 1,085      | 9,40 | -0,283              | 7,289               | 0,000             |
| 0,291 | 1,992 | 471012,02 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8            | 0,204 | 0,291 | 1  | 0,1323 | 0,029              | 4,600 | 0,873 | 1 | 1,079      | 9,40 | -0,283              | 7,289               | 0,000             |
| 0,291 | 1,986 | 469557,02 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8            | 0,203 | 0,291 | 1  | 0,1319 | 0,029              | 4,592 | 0,871 | 1 | 1,075      | 9,40 | -0,283              | 7,289               | 0,000             |
| 0,291 | 1,983 | 468733,80 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8            | 0,202 | 0,291 | 1  | 0,1317 | 0,029              | 4,587 | 0,869 | 1 | 1,072      | 9,40 | -0,283              | 7,289               | 0,000             |
| 0,291 | 1,981 | 468362,89 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8            | 0,202 | 0,291 | 1  | 0,1316 | 0,029              | 4,584 | 0,868 | 1 | 1,071      | 9,40 | -0,283              | 7,289               | 0,000             |
| 0,291 | 1,981 | 468266,69 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8            | 0,202 | 0,291 | 1  | 0,1315 | 0,029              | 4,584 | 0,868 | 1 | 1,071      | 9,40 | -0,283              | 7,289               | 0,000             |

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br>   |                     |                         |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>20 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                         |

| RESULTADOS          |          |
|---------------------|----------|
| Perda emissário     | 5,361 m  |
| Perda difusor       | 1,927 m  |
| Perda total         | 7,289 m  |
| Cota do mar         | 3,00 m   |
| Cota água no câmara | 10,289 m |

Da equação de energia pode-se deduzir, de acordo com a perda de carga e o nível máximo do mar, o nível máximo de água esperado na câmara de desgaseificação.

Partindo do nível máximo do mar: +3,00 m NMM.

$$H_1 = H_2 + \Delta H_{1-2}$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2}$$

onde:

- $Z_2 = +3,00$  m. (máximo nível do mar).
- $V_1^2/2g = 0,0$  m.
- $V_2^2/2g = 0,0$  m.
- $P_1/\gamma = 0,0$  m.
- $P_2/\gamma = 0,0$  m.
- $\Delta H_{1-2} = 7,29$  m. (perda de carga na conduta).

Portanto, o nível máximo de água na câmara de desgaseificação é:

- $Z_1 = +10,29$  m.

Como caso particular, são apresentados os resultados da perda de carga para o cenário de caudal máximo 110% Ano HP Qmax (825) correspondente ao nível máximo esperado na câmara de desgaseificação.

Cenário:

- 110% Ano HP Qmax (825) = 1,167 m<sup>3</sup>/s.
- Nível máximo do mar = +3,00 m NMM.
- Rugosidade absoluta = 0,50 mm.

|                                                                                              |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cliente<br> |                                                                  | Empreiteiro EPC<br>   |                     |                         |
| Projeto n.º                                                                                  | Projeto<br><b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | Data<br><b>05/05/2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                    | Rev.<br><b>02.0</b> | Pág.<br><b>21 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                                  | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                                                                                                                                                                                                |                     |                         |

Emissário marinho  
Perdas de carga

#### DADOS

|                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Diâmetro nominal DN             | 1000 mm                     |
| Material                        | PEAD SDR26                  |
| Espessura e                     | 38,20 mm                    |
| Comprimento L                   | 2200 m                      |
| Diâmetro interno $\Phi$         | 0,9236 m                    |
| Rugosidade absoluta $\epsilon$  | 0,5 mm                      |
| Viscosidade cinemática $\nu$    | 0,0000123 m <sup>2</sup> /s |
| Densidade do água do mar $\rho$ | 1026 kg/m <sup>3</sup>      |
| Densidade do efluente $\rho$    | 1050 kg/m <sup>3</sup>      |
| Caudal Q                        | 1,167 m <sup>3</sup> /s     |
| Área A                          | 0,670 m <sup>2</sup>        |
| Velocidade V                    | 1,742 m/s                   |
| Reynolds Re                     | 1307952,400                 |

#### LOCALIZADAS

| Acessório    | No. | K   | No. * K | $\Phi$ | Q     | V     | hL      |
|--------------|-----|-----|---------|--------|-------|-------|---------|
| Entrada      | 1   | 0,5 | 0,5     | 0,924  | 1,167 | 1,742 | 0,077   |
| Curva 90°    | 0   | 0,5 | 0,0     | 0,924  | 1,167 | 1,742 | 0,000   |
| Curva 45°    | 0   | 0,4 | 0,0     | 0,924  | 1,167 | 1,742 | 0,000   |
| Curva 22,5°  | 0   | 0,3 | 0,0     | 0,924  | 1,167 | 1,742 | 0,000   |
| Curva 11,25° | 0   | 0,2 | 0,0     | 0,924  | 1,167 | 1,742 | 0,000   |
| hf           |     |     |         |        |       |       | 0,077 m |

#### CONTÍNUAS

| Valor inicial f | Colebrooke |
|-----------------|------------|
| 0,0174          | 0,0000     |
| 7,5891          | 7,5891     |
| hf              | 6,396 m    |
|                 | 6,473 m    |

| DIFUSOR    |             | Emisário |            |        |        |       |            |       |       |   |     | Trecho difusor |  |  |  |
|------------|-------------|----------|------------|--------|--------|-------|------------|-------|-------|---|-----|----------------|--|--|--|
| Raiser N.º | Q emissário | Q raiser | $\Delta h$ | $\Phi$ | Qa / Q | V     | Re         | f     | f     | L | Kc  | $\Delta h$     |  |  |  |
| 1          | 1,1670      | 0,1492   | 6,473      | 0,924  | 0,13   | 1,742 | 1307952,40 | 0,017 | 0,017 | 0 | 0   | 0,000          |  |  |  |
| 2          | 1,0178      | 0,1475   | 6,473      | 0,924  | 0,14   | 1,519 | 1140765,14 | 0,017 | 0,017 | 8 | 0,1 | 0,030          |  |  |  |
| 3          | 0,8703      | 0,1463   | 6,473      | 0,924  | 0,17   | 1,299 | 975445,66  | 0,017 | 0,017 | 8 | 0,1 | 0,051          |  |  |  |
| 4          | 0,7240      | 0,1455   | 6,473      | 0,924  | 0,20   | 1,081 | 811477,20  | 0,018 | 0,018 | 8 | 0,1 | 0,066          |  |  |  |
| 5          | 0,5786      | 0,1449   | 6,473      | 0,924  | 0,25   | 0,864 | 648438,56  | 0,018 | 0,018 | 8 | 0,1 | 0,076          |  |  |  |
| 6          | 0,4336      | 0,1446   | 6,473      | 0,924  | 0,33   | 0,647 | 485993,07  | 0,018 | 0,018 | 8 | 0,1 | 0,081          |  |  |  |
| 7          | 0,2890      | 0,1445   | 6,473      | 0,924  | 0,50   | 0,431 | 323882,15  | 0,018 | 0,018 | 8 | 0,1 | 0,084          |  |  |  |
| 8          | 0,1445      | 0,1445   | 6,473      | 0,924  | 1,00   | 0,216 | 161921,63  | 0,019 | 0,019 | 8 | 0,1 | 0,084          |  |  |  |
|            | 0,0000      |          |            |        |        |       |            |       |       |   |     |                |  |  |  |

| Raier  |       |           |       |       |     |     |            | Bocal  |     |        |         | Saída |            | Salinidade |            | $\Delta h_{total}$ | $\Delta h-z_0$ |
|--------|-------|-----------|-------|-------|-----|-----|------------|--------|-----|--------|---------|-------|------------|------------|------------|--------------------|----------------|
| $\Phi$ | V     | Re        | f     | f     | L   | Ka  | $\Delta h$ | $\Phi$ | N.º | Q      | Area ef | V     | $\Delta h$ | K          | $\Delta h$ | h                  | $\Delta h$     |
| 0,291  | 2,246 | 530997,77 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8 | 0,259      | 0,291  | 1   | 0,1492 | 0,030   | 4,908 | 0,984      | 1          | 1,228      | 9,40               | -0,283         |
| 0,291  | 2,221 | 525065,58 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8 | 0,253      | 0,291  | 1   | 0,1475 | 0,030   | 4,883 | 0,973      | 1          | 1,215      | 9,40               | -0,283         |
| 0,291  | 2,203 | 520774,66 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8 | 0,249      | 0,291  | 1   | 0,1463 | 0,030   | 4,863 | 0,965      | 1          | 1,205      | 9,40               | -0,283         |
| 0,291  | 2,190 | 517821,50 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8 | 0,247      | 0,291  | 1   | 0,1455 | 0,030   | 4,850 | 0,960      | 1          | 1,199      | 9,40               | -0,283         |
| 0,291  | 2,182 | 515937,59 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8 | 0,245      | 0,291  | 1   | 0,1449 | 0,030   | 4,841 | 0,956      | 1          | 1,194      | 9,40               | -0,283         |
| 0,291  | 2,178 | 514874,99 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8 | 0,244      | 0,291  | 1   | 0,1446 | 0,030   | 4,836 | 0,954      | 1          | 1,192      | 9,40               | -0,283         |
| 0,291  | 2,176 | 514397,32 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8 | 0,243      | 0,291  | 1   | 0,1445 | 0,030   | 4,834 | 0,954      | 1          | 1,191      | 9,40               | -0,283         |
| 0,291  | 2,175 | 514273,77 | 0,023 | 0,023 | 2,9 | 0,8 | 0,243      | 0,291  | 1   | 0,1445 | 0,030   | 4,833 | 0,953      | 1          | 1,190      | 9,40               | -0,283         |

#### RESULTADOS

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Perda emissário     | 6,473 m  |
| Perda difusor       | 2,188 m  |
| Perda total         | 8,661 m  |
| Cota do mar         | 3,00 m   |
| Cota água no câmara | 11,661 m |

Da mesma forma, as tabelas a seguir mostram os resultados das perdas de carga e os níveis de água esperados na câmara de degaseificação para os diferentes regimes de exploração y níveis do mar.

Cenário:

- Nível mínimo do mar = -1,80 m NMM.
- Nível máximo do mar = +3,00 m NMM.
- Rugosidade absoluta = 0.50 mm.

|                                                                                   |                                                |                                                                                    |                          |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------|----------|
| Cliente                                                                           |                                                | Empreiteiro EPC                                                                    |                          |      |          |
|  |                                                |  |                          |      |          |
| Projeto nº.                                                                       | Projeto                                        |                                                                                    | Data                     | Rev. | Pág.     |
|                                                                                   | Sistema de dessalinização na região do Algarve |                                                                                    | 05/05/2025               | 02.0 | 22 de 25 |
| Código AdA                                                                        |                                                |                                                                                    | Código ACE               |      |          |
| AL-ACE-0000-MW-CAC-00003                                                          |                                                |                                                                                    | AL-PRO-0000-MW-CAC-00003 |      |          |

#### Caudal Médio Qm

| Regime de exploração | Caudal de água tratada | Risers em funcionamento | Caudal | Diâmetro nominal | Velocidade | Rugosidade absoluta | Perdas de carga conduta | Nível do mar | Nível água no câmara desgasificação |
|----------------------|------------------------|-------------------------|--------|------------------|------------|---------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
|                      | (l/s)                  |                         | (m3/s) | (mm)             | (m/s)      | (mm)                | (m)                     | (m) (NMM)    | (m)                                 |
| 25% do Ano 0         | 125                    | 5                       | 0,183  | 1000             | 0,27       | 0,50                | 0,413                   | 3,00         | 3,41                                |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 5                       | 0,338  | 1000             | 0,50       | 0,50                | 1,247                   | 3,00         | 4,25                                |
| Ano 0                | 500                    | 5                       | 0,650  | 1000             | 0,97       | 0,50                | 3,876                   | 3,00         | 6,88                                |
| 25% do Ano HP        | 188                    | 8                       | 0,261  | 1000             | 0,39       | 0,50                | 0,535                   | 3,00         | 3,53                                |
| 50% do Ano HP        | 375                    | 8                       | 0,494  | 1000             | 0,74       | 0,50                | 1,788                   | 3,00         | 4,79                                |
| Ano HP               | 750                    | 8                       | 0,972  | 1000             | 1,45       | 0,50                | 6,208                   | 3,00         | 9,21                                |
| 25% do Ano 0         | 125                    | 5                       | 0,183  | 1000             | 0,27       | 0,50                | 0,413                   | -1,80        | -1,39                               |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 5                       | 0,338  | 1000             | 0,50       | 0,50                | 1,247                   | -1,80        | -0,55                               |
| Ano 0                | 500                    | 5                       | 0,650  | 1000             | 0,97       | 0,50                | 3,876                   | -1,80        | 2,08                                |
| 25% do Ano HP        | 188                    | 8                       | 0,261  | 1000             | 0,39       | 0,50                | 0,535                   | -1,80        | -1,27                               |
| 50% do Ano HP        | 375                    | 8                       | 0,494  | 1000             | 0,74       | 0,50                | 1,788                   | -1,80        | -0,01                               |
| Ano HP               | 750                    | 8                       | 0,972  | 1000             | 1,45       | 0,50                | 6,208                   | -1,80        | 4,41                                |

#### Caudal Máximo Qmax (25 mg/l)

| Regime de exploração | Caudal de água tratada | Risers em funcionamento | Caudal | Diâmetro nominal | Velocidade | Rugosidade absoluta | Perdas de carga conduta | Nível do mar | Nível água no câmara desgasificação |
|----------------------|------------------------|-------------------------|--------|------------------|------------|---------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
|                      | (l/s)                  |                         | (m3/s) | (mm)             | (m/s)      | (mm)                | (m)                     | (m) (NMM)    | (m)                                 |
| 25% do Ano 0         | 125                    | 5                       | 0,190  | 1000             | 0,28       | 0,50                | 0,444                   | 3,00         | 3,44                                |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 5                       | 0,352  | 1000             | 0,53       | 0,50                | 1,338                   | 3,00         | 4,34                                |
| Ano 0                | 500                    | 5                       | 0,677  | 1000             | 1,01       | 0,50                | 4,153                   | 3,00         | 7,15                                |
| 25% do Ano HP        | 188                    | 8                       | 0,272  | 1000             | 0,41       | 0,50                | 0,581                   | 3,00         | 3,58                                |
| 50% do Ano HP        | 375                    | 8                       | 0,514  | 1000             | 0,77       | 0,50                | 1,923                   | 3,00         | 4,92                                |
| Ano HP               | 750                    | 8                       | 1,012  | 1000             | 1,51       | 0,50                | 6,685                   | 3,00         | 9,69                                |
| 25% do Ano 0         | 125                    | 5                       | 0,190  | 1000             | 0,28       | 0,50                | 0,444                   | -1,80        | -1,36                               |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 5                       | 0,352  | 1000             | 0,53       | 0,50                | 1,338                   | -1,80        | -0,46                               |
| Ano 0                | 500                    | 5                       | 0,677  | 1000             | 1,01       | 0,50                | 4,153                   | -1,80        | 2,35                                |
| 25% do Ano HP        | 188                    | 8                       | 0,272  | 1000             | 0,41       | 0,50                | 0,581                   | -1,80        | -1,22                               |
| 50% do Ano HP        | 375                    | 8                       | 0,514  | 1000             | 0,77       | 0,50                | 1,923                   | -1,80        | 0,12                                |
| Ano HP               | 750                    | 8                       | 1,012  | 1000             | 1,51       | 0,50                | 6,685                   | -1,80        | 4,89                                |

#### Caudal Máximo Qmax (70 mg/l)

| Regime de exploração | Caudal de água tratada | Risers em funcionamento | Caudal | Diâmetro nominal | Velocidade | Rugosidade absoluta | Perdas de carga conduta | Nível do mar | Nível água no câmara desgasificação |
|----------------------|------------------------|-------------------------|--------|------------------|------------|---------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
|                      | (l/s)                  |                         | (m3/s) | (mm)             | (m/s)      | (mm)                | (m)                     | (m) (NMM)    | (m)                                 |
| 25% do Ano 0         | 125                    | 5                       | 0,199  | 1000             | 0,30       | 0,50                | 0,485                   | 3,00         | 3,49                                |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 5                       | 0,369  | 1000             | 0,55       | 0,50                | 1,452                   | 3,00         | 4,45                                |
| Ano 0                | 500                    | 5                       | 0,709  | 1000             | 1,06       | 0,50                | 4,486                   | 3,00         | 7,49                                |
| 25% do Ano HP        | 188                    | 8                       | 0,285  | 1000             | 0,43       | 0,50                | 0,638                   | 3,00         | 3,64                                |
| 50% do Ano HP        | 375                    | 8                       | 0,539  | 1000             | 0,80       | 0,50                | 2,098                   | 3,00         | 5,10                                |
| Ano HP               | 750                    | 8                       | 1,061  | 1000             | 1,58       | 0,50                | 7,289                   | 3,00         | 10,29                               |
| 25% do Ano 0         | 125                    | 5                       | 0,199  | 1000             | 0,30       | 0,50                | 0,485                   | -1,80        | -1,31                               |
| 50% do Ano 0         | 250                    | 5                       | 0,369  | 1000             | 0,55       | 0,50                | 1,452                   | -1,80        | -0,35                               |
| Ano 0                | 500                    | 5                       | 0,709  | 1000             | 1,06       | 0,50                | 4,486                   | -1,80        | 2,69                                |
| 25% do Ano HP        | 188                    | 8                       | 0,285  | 1000             | 0,43       | 0,50                | 0,638                   | -1,80        | -1,16                               |
| 50% do Ano HP        | 375                    | 8                       | 0,539  | 1000             | 0,80       | 0,50                | 2,098                   | -1,80        | 0,30                                |
| Ano HP               | 750                    | 8                       | 1,061  | 1000             | 1,58       | 0,50                | 7,289                   | -1,80        | 5,49                                |

#### Caudal Máximo 110 % Qmax

| Regime de exploração | Caudal de água tratada | Risers em funcionamento | Caudal | Diâmetro nominal | Velocidade | Rugosidade absoluta | Perdas de carga conduta | Nível do mar | Nível água no câmara desgasificação |
|----------------------|------------------------|-------------------------|--------|------------------|------------|---------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
|                      | (l/s)                  |                         | (m3/s) | (mm)             | (m/s)      | (mm)                | (m)                     | (m) (NMM)    | (m)                                 |
| 110% do Ano HP       | 825                    | 8                       | 1,167  | 1000             | 1,74       | 0,50                | 8,661                   | 3,00         | 11,66                               |

Cenário:

- Nível máximo do mar = +3,00 m NMM.
- Rugosidade absoluta = 0,50 mm.
- Obstrução área do difusor = 0,00 %.
- Obstrução área do difusor = 15,00 %.
- Obstrução área do difusor = 30,00 %.
- Obstrução área do difusor = 50,00 %.

|                                                                                   |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                        |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------|----------|
| Cliente                                                                           |                                                | Empreiteiro EPC                                                                                                                                                                                                                                           |                                        |      |          |
|  |                                                |    |                                        |      |          |
| Projeto nº.                                                                       | Projeto                                        |                                                                                                                                                                                                                                                           | Data                                   | Rev. | Pág.     |
|                                                                                   | Sistema de dessalinização na região do Algarve |                                                                                                                                                                                                                                                           | 05/05/2025                             | 02.0 | 23 de 25 |
| Código AdA<br>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003                                            |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                           | Código ACE<br>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003 |      |          |

#### Caudal Máximo Q<sub>max</sub> (70 mg/l) com obstrução de difusor

| Regime de exploração              | Caudal de água tratada | Risers em funcionamento | Caudal<br>(m <sup>3</sup> /s) | Diâmetro nominal<br>(mm) | Velocidade<br>(m/s) | Rugosidade absoluta<br>(mm) | Perdas de carga conduta<br>(m) | Nível do mar<br>(m) (NMM) | Nível água no câmara desgasificação<br>(m) |
|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|
| Ano HP Obstrução de difusor (0%)  | 750                    | 8                       | 1,061                         | 1000                     | 1,58                | 0,50                        | 7,289                          | 3,00                      | 10,29                                      |
| Ano HP Obstrução de difusor (15%) | 750                    | 8                       | 1,061                         | 1000                     | 1,58                | 0,50                        | 7,704                          | 3,00                      | 10,70                                      |
| Ano HP Obstrução de difusor (30%) | 750                    | 8                       | 1,061                         | 1000                     | 1,58                | 0,50                        | 8,415                          | 3,00                      | 11,41                                      |
| Ano HP Obstrução de difusor (50%) | 750                    | 8                       | 1,061                         | 1000                     | 1,58                | 0,50                        | 10,534                         | 3,00                      | 13,53                                      |

### 4.3. Condutas de hipoclorito de sódio

Abaixo encontra-se uma tabela com os principais parâmetros que foram tidos em conta no cálculo das condutas de hipoclorito de sódio:

| Conduta                             | Hipoclorito de sódio |
|-------------------------------------|----------------------|
| Material                            | PEAD SDR11           |
| Pressão máxima admissível PMA (bar) | 16,00                |
| Comprimento (m)                     | 2047,200             |
| Diâmetro Nominal (mm)               | 50,00                |
| Espessura (mm)                      | 4,60                 |
| Diâmetro Interior (mm)              | 40,80                |
| Rugosidade absoluta (mm)            | 0,50 mm              |

Abaixo são mostrados o cálculo das perdas de carga na conduta de hipoclorito de sódio para o caudal máximo da fase 2 (0,0001601 m<sup>3</sup>/s).

Cenário:

- Fase 2 Q<sub>max</sub> = 0,0001601 m<sup>3</sup>/s.
- Nível máximo do mar (considerando o nível máximo de onda) = +5,50 m NMM.
- Rugosidade absoluta = 0,50 mm.

#### Conduta de hipoclorito de sódio Perdas de carga

##### DADOS

|                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Diâmetro nominal DN            | 50 mm                       |
| Material                       | PEAD SDR11                  |
| Espessura e                    | 4,60 mm                     |
| Comprimento L                  | 2047,200 m                  |
| Diâmetro interno $\phi$        | 0,0408 m                    |
| Rugosidade absoluta $\epsilon$ | 0,50 mm                     |
| Viscosidade cinemática $\nu$   | 0,000022 m <sup>2</sup> /s  |
| Caudal Q                       | 0,0001601 m <sup>3</sup> /s |
| Área A                         | 0,001 m <sup>2</sup> /s     |
| Velocidade V                   | 0,122 m/s                   |
| Reynolds Re                    | 2271,0077                   |

##### LOCALIZADAS

| Acessório    | No. | K   | Q         | V     | hL    |
|--------------|-----|-----|-----------|-------|-------|
| Entrada      | 1   | 0,5 | 0,0001601 | 0,122 | 0,000 |
| Curva 90°    | 4   | 0,5 | 0,0001601 | 0,122 | 0,002 |
| Curva 45°    | 0   | 0,4 | 0,0001601 | 0,122 | 0,000 |
| Curva 22,5°  | 0   | 0,3 | 0,0001601 | 0,122 | 0,000 |
| Curva 11,25° | 0   | 0,2 | 0,0001601 | 0,122 | 0,000 |
| Válvula      | 1   | 0,3 | 0,0001601 | 0,122 | 0,000 |
| Saída        | 1   | 1   | 0,0001601 | 0,122 | 0,001 |

##### CONTÍNUAS

| Valor inicial f | Colebrook |
|-----------------|-----------|
| 0,0567          | 0,0567    |
| 4,1998          | 4,1998    |
| hf              | 2,174 m   |

TOTAL 2,177  
TOTAL 2,177 m

0,003 m

|                                                                                              |                                                       |                                                                                                       |             |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
| Cliente<br> |                                                       | Empreiteiro EPC<br> |             |                 |
| Projeto nº.                                                                                  | Projeto                                               | Data                                                                                                  | Rev.        | Pág.            |
|                                                                                              | <b>Sistema de dessalinização na região do Algarve</b> | <b>05/05/2025</b>                                                                                     | <b>02.0</b> | <b>24 de 25</b> |
| Código AdA<br><b>AL-ACE-0000-MW-CAC-00003</b>                                                |                                                       | Código ACE<br><b>AL-PRO-0000-MW-CAC-00003</b>                                                         |             |                 |

Da equação de energia pode-se deduzir, de acordo com a perda de carga na conduta e o nível de água do mar, a altura manométrica necessária para que o equipamento de bombeamento conduza a hipoclorito de sódio até as tomas de captação.

Partindo do nível das bombas na estação elevatória inicial (EEI): +4.50 m NMM, temos:

$$H_1 + H_{man} = H_2 + \Delta H_{1-2}$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{man} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2}$$

onde:

- Z1 = +4,50 m. (cota hipoclorito na EEI).
- Z2 = +5,50 m. (máximo nível do mar).
- $V1^2/2g = 0,00$  m.
- $V2^2/2g = 0,0$  m.
- $P1/\gamma = 0,00$  m.
- $P2/\gamma = 0,00$  m.
- $\Delta H_{1-2} = 2,18$  m. (perda de carga na conduta).

Portanto, o equipamento de bombeamento deverá ter uma altura manométrica de:

- $H_{man} = 3,18$  m.

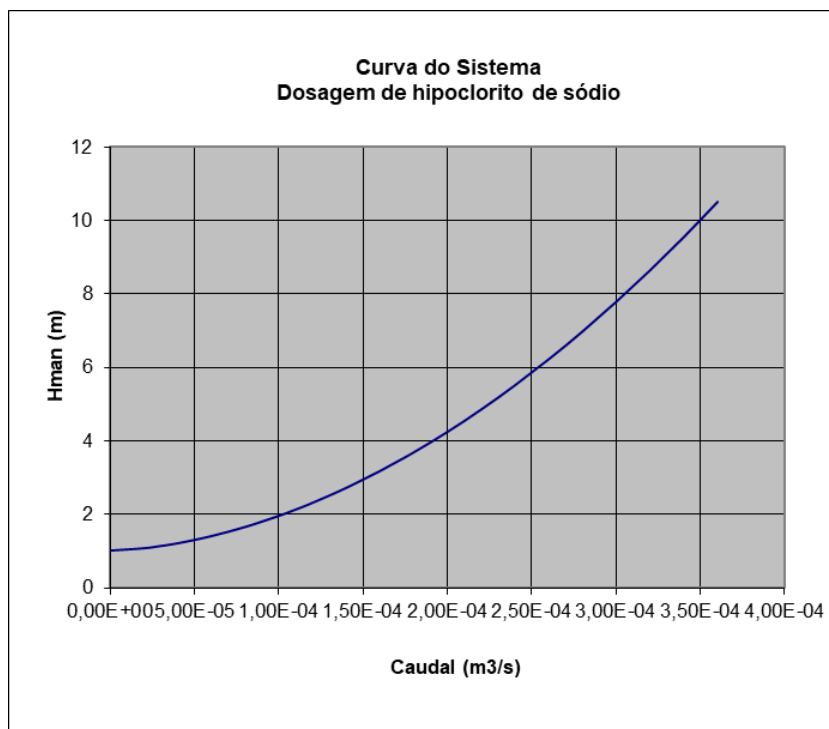
Da mesma forma, a tabela a seguir mostra os resultados das perdas de carga e a altura manométrica para os diferentes regimes de exploração.

Cenário:

- Nível máximo do mar = +5,50 m NMM.
- Rugosidade absoluta = 0,50 mm.

|                                                                                   |                                                |                                                                                    |                          |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------|----------|
| Cliente                                                                           |                                                | Empreiteiro EPC                                                                    |                          |      |          |
|  |                                                |  |                          |      |          |
| Projeto n.º                                                                       | Projeto                                        |                                                                                    | Data                     | Rev. | Pág.     |
|                                                                                   | Sistema de dessalinização na região do Algarve |                                                                                    | 05/05/2025               | 02.0 | 25 de 25 |
| Código AdA                                                                        |                                                |                                                                                    | Código ACE               |      |          |
| AL-ACE-0000-MW-CAC-00003                                                          |                                                |                                                                                    | AL-PRO-0000-MW-CAC-00003 |      |          |

|                      | <i>Caudal</i> | <i>Nível bomba de hipoclorito</i> | <i>Nível máximo do mar</i> | <i>Perdas de carga conduta hipoclorito</i> | <i>Altura geométrica</i> | <i>Altura manométrica bombagem</i> |
|----------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Regime de exploração | Q             | Z1                                | HT                         | ΔH Conduta                                 | Z2 - Z1                  | Hman                               |
|                      | m3/s          | m                                 | m                          | m                                          | m                        | m                                  |
|                      | 0,0000000     | 4,50                              | 5,50                       | 0,000                                      | 1,00                     | 1,000                              |
|                      | 0,0000200     | 4,50                              | 5,50                       | 0,065                                      | 1,00                     | 1,065                              |
|                      | 0,0000269     | 4,50                              | 5,50                       | 0,104                                      | 1,00                     | 1,104                              |
|                      | 0,0000400     | 4,50                              | 5,50                       | 0,200                                      | 1,00                     | 1,200                              |
|                      | 0,0000600     | 4,50                              | 5,50                       | 0,395                                      | 1,00                     | 1,395                              |
|                      | 0,0000800     | 4,50                              | 5,50                       | 0,645                                      | 1,00                     | 1,645                              |
|                      | 0,0001000     | 4,50                              | 5,50                       | 0,950                                      | 1,00                     | 1,950                              |
| Fase 1               | 0,0001069     | 4,50                              | 5,50                       | 1,067                                      | 1,00                     | 2,067                              |
|                      | 0,0001200     | 4,50                              | 5,50                       | 1,306                                      | 1,00                     | 2,306                              |
|                      | 0,0001400     | 4,50                              | 5,50                       | 1,715                                      | 1,00                     | 2,715                              |
|                      | 0,0001600     | 4,50                              | 5,50                       | 2,175                                      | 1,00                     | 3,175                              |
| Fase 2               | 0,0001601     | 4,50                              | 5,50                       | 2,177                                      | 1,00                     | 3,177                              |
|                      | 0,0001800     | 4,50                              | 5,50                       | 2,685                                      | 1,00                     | 3,685                              |
|                      | 0,0002000     | 4,50                              | 5,50                       | 3,246                                      | 1,00                     | 4,246                              |
|                      | 0,0002200     | 4,50                              | 5,50                       | 3,857                                      | 1,00                     | 4,857                              |
|                      | 0,0002400     | 4,50                              | 5,50                       | 4,518                                      | 1,00                     | 5,518                              |
|                      | 0,0002600     | 4,50                              | 5,50                       | 5,228                                      | 1,00                     | 6,228                              |
|                      | 0,0002800     | 4,50                              | 5,50                       | 5,989                                      | 1,00                     | 6,989                              |
|                      | 0,0003000     | 4,50                              | 5,50                       | 6,798                                      | 1,00                     | 7,798                              |
|                      | 0,0003200     | 4,50                              | 5,50                       | 7,657                                      | 1,00                     | 8,657                              |
|                      | 0,0003400     | 4,50                              | 5,50                       | 8,566                                      | 1,00                     | 9,566                              |
|                      | 0,0003600     | 4,50                              | 5,50                       | 9,524                                      | 1,00                     | 10,524                             |



**Figura 5. Curva do sistema de bombeamento para rugosidade 0,5 mm.**