

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	1 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

AL-PRO-0000-MW-CAC-00002

Cálculo de torres de captação

02.0	07/05/2025	Actualização	PRO	GSI	ACE
01.0	17/02/2025	Documento inicial	PRO	GSI	ACE
Rev.	Dados	Descrição	Criado	Revisto	Aprovado

Editado para:

Informação		Compra	
Aprovação	X	Construção	
Pedido de licitação		Conforme construído	

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 2 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Descrição geral do sistema de dessalinização	9
1.2. Objetivo desde documento	9
2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	10
2.1. Documentos do projeto	10
2.2. Normativa e recomendações internacionais.....	10
3. DESCRIÇÃO DAS TORRES DE TOMADA	11
4. METODOLOGÍA E LIMITAÇÕES DE CONCEÇÃO	12
4.1. Restrições hidráulicas	12
4.2. Restrições de estabilidade	12
4.2.1. Metodología de cálculo	12
4.2.2. Ação hidrodinâmica	14
5. DEFINIÇÃO GEOMÉTRICA E VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE	17
5.1. Dimensionamento hidráulico	17
5.2. Definição geométrica da torres	19
5.3. Verificação da estabilidade.....	23
5.4. Verificação da estabilidade durante o processo de construção	30
6. CÁLCULO ESTRUTURAL DA TORRE DE CAPTAÇÃO	35
6.1. Carga da onda	35
6.2. Normas	35
6.3. Materiales	35
6.4. Revestimento de betão	36
6.5. Acções	37
6.6. Combinação de acções	38
6.7. Situações de conceção.....	39
6.8. Modelo de cálculo – funcionamento.....	39
6.8.1. Geometria.....	40
6.8.2. Acções.....	41
6.8.3. Resultados da ULS	43
6.8.4. Resultados SLS	56

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	3 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.5. Verificação ULS	59
6.8.6. Levantamento dos módulos.....	77
6.8.7. Reforço – Resumo	111
6.8.8. Cálculo da grelha	112

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 4 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Ilustrações

Ilustração 1. Grelha de PRFV	18
Ilustração 2. Corte de torre de captação	20
Ilustração 3. Módulo 1	21
Ilustração 4. Módulo 2a (Torre Captação DN 1200) y 2b (Torre Captação DN 1000) y	21
Ilustração 5. Módulos 3 e 4	22
Ilustração 6. Ancoragem de barra roscada (indicativo)	22
Ilustração 7. Exemplo de pormenor superior e inferior de ancoragem de barra roscada (indicativo)	23
Ilustração 8. Alçado das duas torres enterradas	23
Ilustração 9. Proteção no redor das tomadas de água	30
Ilustração 10.- Modelo 3-D SAP2000	40
Ilustração 11.- Ação das ondas perpendicular às paredes	41
Ilustração 12.- Diagonal da ação das ondas nas paredes	41
Ilustração 13.- Ação das ondas perpendicular aos pilares	42
Ilustração 14.- Ação das ondas nas colunas	42
Ilustração 15.- Pressão ativa do solo	42
Ilustração 16.- F11 e F22	43
Ilustração 17.- M11 e M22	44
Ilustração 18.- V13 e V23	44
Ilustração 19.- F11 e F22	45
Ilustração 20.- M11 e M22	46
Ilustração 21.- V13 e V23	46
Ilustração 22.- F11 e F22	47
Ilustração 23.- M11 e M22	48
Ilustração 24.- V13 e V23	48
Ilustração 25.- F11 e F22	49
Ilustração 26.- M11 e M22	50
Ilustração 27.- V13 e V23	50

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 5 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Ilustração 28.- F11 e F22	51
Ilustração 29.- M11 e M22	52
Ilustração 30.- V13 e V23	52
Ilustração 31.- Forças axiais N	53
Ilustração 32.- Momentos M2-2	54
Ilustração 33.- Momentos M3-3	54
Ilustração 34.- Forças V2-2	55
Ilustração 35.- Forças V3-3	55
Ilustração 36.- Ensaio de flexão	59
Ilustração 37.- Ensaio de cisalhamento	59
Ilustração 38.- Ensaio de fissura	60
Ilustração 39.- Ensaio de flexão	62
Ilustração 40.- Ensaio de cisalhamento	63
Ilustração 41.- Ensaio de flexão	65
Ilustração 42.- Ensaio de cisalhamento	65
Ilustração 43.- Ensaio de fissura	66
Ilustração 44.- Ensaio de flexão e cisalhamento	67
Ilustração 45.- Ensaio de fissura	68
Ilustração 46.- Ensaio de flexão	69
Ilustração 47.- Ensaio de cisalhamento	69
Ilustração 48.- Ensaio de fissura	71
Ilustração 49.- Reforço	71
Ilustração 50.- Ensaio de flexão	72
Ilustração 51.- Ensaio de cisalhamento	73
Ilustração 52.- Ensaio de fissura	74
Ilustração 53.- Ensaio de flexão	75
Ilustração 54.- Ensaio de fissura	76
Ilustração 55.- Levantamento do Módulo 1	77
Ilustração 56.- Levantamento do Módulo 2	77

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	6 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Ilustração 57.- Levantamento do Módulo 3	78
Ilustração 58.- Levantamento do Módulo 4	78
Ilustração 59.- F11 e F22	79
Ilustração 60.- M11 e M22	80
Ilustração 61.- V13 e V23	80
Ilustração 62.- F11 e F22	81
Ilustração 63.- M11 e M22	82
Ilustração 64.- V13 e V23	82
Ilustração 65.- F11 e F22	83
Ilustração 66.- M11 e M22	84
Ilustração 67.- V13 e V23	84
Ilustração 68.- F11 e F22	85
Ilustração 69.- M11 e M22	86
Ilustração 70.- V13 e 23	86
Ilustração 71.- Olhais de elevação no módulo exterior da laje inferior	87
Ilustração 72.- Olhais de elevação no módulo 2	87
Ilustração 73.- Olhais de elevação no módulo 3	88
Ilustração 74.- Olhais de elevação no módulo 4	88
Ilustração 75.- Detalhe das barras de reforço	89
Ilustração 76.- Ligação entre módulos - modelo 3D SAP2000	106
Ilustração 77.- Modelo de grelha	112
Ilustração 78.- Cargas	113
Ilustração 79.- Resultados ULS - Md (kNm)	114

Tabelas

Tabela 1. Parâmetros de conceção da grelha	12
Tabela 2. Coeficientes parciais de segurança utilizados nas accões (EQU)	13

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 7 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Tabela 3. Coeficientes parciais de segurança utilizados nas accões (GEO)	13
Tabela 4. Coeficientes parciais de segurança utilizados na minoração das propriedades do solo	13
Tabela 5. Coeficientes de ponderação parciais das ações para a verificação dos modos de rotura associados aos estados-limite últimos para a combinação fundamental (Fonte: ROM 0.5 - 05, quadro 3.3.2).	14
Tabela 6. Parâmetros de projeto para a estabilidade da torre de captação	16
Tabela 7. Parâmetros de dimensionamento das janelas	18
Tabela 8. Cálculo das dimensões da torre	19
Tabela 9. Cálculo do peso próprio da torre	24
Tabela 10. Altura e peso dos módulos das tomadas.	24
Tabela 11. Dados de conceção considerados no cálculo	25
Tabela 12. Cálculo da ação hidrodinâmica	26
Tabela 13. Resumo das ações	27
Tabela 14. Verificação da estabilidade seguindo o Eurocodigo	28
Tabela 15. Verificação da estabilidade seguindo a ROM 0.5-05	29
Tabela 16. Situações temporárias durante a fase de construção	33
<i>Tabela 17. Cálculo das ações nas situações temporárias durante a fase de construção</i>	34
Tabela 18. Carga da onda	35
Tabela 19. Factores de segurança dos materiais no ULS	36
Tabela 20.- Resultados SAP200	43
Tabela 21.- Resultados SAP2000	45
Tabela 22.- Resultados SAP2000	47
Tabela 23.- Resultados SAP2000	49
Tabela 24.- Resultados SAP2000	51
Tabela 25.- Resultados SAP2000	53
Tabela 26.- Reforço do módulo superior - ULS	59
Tabela 27.- Paredes (Secção superior) Reforço - ULS	62
Tabela 28.- Paredes (Secção intermédia) Reforço - ULS	67
Tabela 29.- Paredes (Secção inferior) Reforço - ULS	69

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		07/05/2025	02.0	8 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Tabela 30.- Laje de fundo) Reforço - ULS	72
Tabela 31.-Colunas Reforço - ULS	75
Tabela 32.- Resultados SAP200	79
Tabela 33.- Resultados SAP2000	81
Tabela 34.- Resultados SAP2000	83
Tabela 35.- Resultados SAP2000	85
Tabela 36.-Reforço - Resumo	111

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	9 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

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 dessalinização

O Sistema de Dessalinização a implementar na Fase 1 (Ano 0) permitirá a produção de $500 \text{ L/s} = 1800 \text{ m}^3/\text{h} = 43.200 \text{ m}^3/\text{dia} = 16 \text{ hm}^3/\text{ano}$ de água potável. O sistema ficará preparado para ser ampliado no futuro (Fase 2 – Ano Horizonte), através da instalação dos equipamentos necessários na EE1 e EDAM, para a produção de $750 \text{ L/s} = 2.700 \text{ m}^3/\text{h} = 64.800 \text{ m}^3/\text{dia} = 24 \text{ hm}^3/\text{ano}$ de água potável. Toda a construção civil, captação, condutas de água bruta e água tratada e restantes infraestruturas serão desde já executadas para a Fase 2.

O dimensionamento da EDAM terá em conta que, na Fase 1, o caudal de produção de água potável poderá variar entre o caudal nominal do Ano 0 e um caudal mínimo de 25% deste valor. Será ainda tido em conta que, após ampliação, a variação de caudal de água tratada será entre 25% do caudal do Ano 0 e o caudal nominal do Ano HP.

1.2. Objetivo deste documento

O objetivo deste documento é apresentar a justificativa técnica do projeto das torres de captação de água bruta. São apresentados o dimensionamento hidráulico das janelas, os cálculos de estabilidade (tanto na fase de instalação como na fase de funcionamento) e o dimensionamento estrutural, tendo em conta os fatores de condicionamento geotécnicos, geométricos e construtivos dos dois pontos de tomada previstos.

A metodologia adoptada para os cálculos, bem como os resultados são apresentados nas secções seguintes deste relatório.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 10 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

2.1. Documentos do projeto

Este documento faz referência aos seguintes documentos do projeto:

- AL-PRO-0000-MW-CRT-0001. Base de conceção
- AL-PRO-0000-MW-REP-0001. Relatório do estudo metoceanográfico
- AL-PRO-0000-MW-PRC-0001. Procedimento de construção

2.2. Normativa e recomendações internacionais

- Eurocódigo 0: Bases para o projeto de estruturas
- Eurocódigo 1: Ações em estruturas – Parte 1-1: Ações gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios.
- Eurocódigo 2: Projeto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.
- Eurocódigo 3: Projeto de estruturas de aço – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.
- Eurocódigo 7: Projeto geotécnico - Parte 1: Regras gerais (NP EN1997-1)
- Recomendações para Obras Marítimas (regulamentação espanhola) ROM 0.5-05
- DNV-RP-205 Environmental conditions and environmental loads.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 11 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

3. DESCRIÇÃO DAS TORRES DE TOMADA

A água do mar entrará no circuito de captação através de duas estruturas de betão armado ou torres de captação, localizadas a uma profundidade de 11,8 m referida ao nível médio do mar (~10 mZH), a uma distância de 1820 m da linha de costa (preia mar). As torres de tomada de água serão duas estruturas iguais, em forma de prisma com uma base quadrada e um pé para proporcionar estabilidade contra as ações hidrodinâmicas das ondas e correntes. As torres serão construídas de forma modular, com módulos de peso não superior a 80 toneladas, otimizando assim os recursos necessários para o seu fabrico e instalação. Uma vez ancorados, os módulos serão ligados por meio de varões roscados, que garantem um comportamento único e sólido da torre de captação.

Ambas as torres estão dimensionadas para captar um caudal de 1126 l/s, de acordo com os cálculos efetuados. A água entrará por 4 janelas rectangulares de 2,50 m de largura e 1,40 m de altura. Cada janela terá uma grelha em PRFV com lâminas de 1 cm de espessura e intervalos quadrados de 30 cm (entre os eixos das lâminas).

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 12 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

4. METODOLOGIA E LIMITAÇÕES DE CONCEÇÃO

As condições de projeto aplicadas e a metodologia utilizada no projeto geométrico das estruturas de captação são resumidas a seguir.

4.1. Restrições hidráulicas

As dimensões da torre de tomada de água do mar dependem, em primeiro lugar, do caudal a recolher e das restrições impostas em termos de velocidade de aproximação e de velocidade de passagem através da grelha. Estas restrições servem para evitar a sucção de elementos flutuantes e o seu aprisionamento contra a grelha, aumentando a sua obturação, bem como para facilitar a saída da fauna que poderia entrar acidentalmente na torre de recolha.

Ambos os parâmetros estão relacionados com a relação entre a área das janelas e a área de passagem efectiva através das grelhas, que depende da vedação máxima aceitável por adesões marinhas.

Por conseguinte, é habitual dimensionar as estruturas de captação de modo a que, com um certo grau de estanquidade, a condição da velocidade de passagem através da grelha seja cumprida igualmente.

Note-se que estes critérios são compatíveis com outros que poderão ser adoptados para a determinação da linha piezométrica e para o dimensionamento da câmara de bombagem e o respetivo equipamento.

Como resultado do acima exposto, foram adoptadas as seguintes restrições de conceção para o dimensionamento das grelhas de captação:

Restrições de conceção da grelha	
Caudal de dimensionamento para cada uma das tomadas (l/s)	1126
Velocidade máxima de entrada (m/s)	0,15
Dimensão máxima das grelhas (m)	0,3x0,3
Perda de carga total máxima (m)	0,06
Grau de obstrução em redor de qualquer superfície (m)	0,03

Tabela 1. Parâmetros de conceção da grelha

4.2. Restrições de estabilidade

4.2.1. Metodologia de cálculo

A estabilidade da torre é verificada para a fase de operação, quando os quatro módulos que formam a torre tiverem sido colocados, ligados um ao outro, e o aterro tiver sido colocado até atingir o nível natural do fundo do mar.

4.2.1.1. Verificação da estabilidade de acordo com o Eurocódigo

De acordo com o programa preliminar, a estabilidade da torre é verificada de acordo com o Eurocódigo 7: Projeto geotécnico - Parte 1: Regras gerais (NP EN1997-1).

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 13 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

O modo de rotura por tombamento rígido é um modo de rotura de equilíbrio (EQU), envolvendo apenas ações, ao qual se aplicam os coeficientes parciais especificados nessa norma:

Ação		γ
Permanente	Desfavorável	1,35
	Favorável	1,00
Variável	Desfavorável	1,50
	Favorável	0,00

Tabela 2. Coeficientes parciais de segurança utilizados nas ações (EQU)

O modo de rotura por deslizamento é um modo de rotura geotécnico (GEO), em que são verificadas as combinações C1 (A1+M1) e C2 (A2+M2), cujos coeficientes de ponderação das ações e dos parâmetros geotécnicos são os seguintes:

Ação		A1	A2
Permanente	Desfavorável	1,35	1,00
	Favorável	1,00	1,00
Variável	Desfavorável	1,50	1,30
	Favorável	0,00	0,00

Tabela 3. Coeficientes parciais de segurança utilizados nas ações (GEO)

Parâmetro do solo	M1	M2
Ângulo de atrito interno em tensões efetivas	1,00	1,25

Tabela 4. Coeficientes parciais de segurança utilizados na minoração das propriedades do solo

O fator de segurança mínimo a obter, de acordo com o Programa Preliminar, para todos os modos de falha deve ser de 1,4.

4.2.1.2. Verificação da estabilidade de acordo com ROM 0.5-05

Além disso, será efectuada uma verificação adicional de acordo com as recomendações estabelecidas no ROM 0.5 - 05. As Recomendações de Obras Marítimas são um conjunto de recomendações para o projeto de obras marítimas de origem espanhola, mas amplamente aceites a nível internacional. Nestas recomendações não existe uma menção específica a uma tipologia estrutural de torre de tomada de água, pelo que serão adoptados os coeficientes recomendados para fundações superficiais.

Será verificada a combinação fundamental, F2, que considera a ação simultânea de várias ações variáveis com valores compatíveis na ocorrência do modo de rotura. Deste modo, a ação variável principal ou predominante na ocorrência do modo de falha e as suas ações diretamente dependentes intervêm com o seu valor característico; e as restantes ações variáveis simultâneas e compatíveis com os seus valores de combinação fundamental, que se obtêm multiplicando os seus valores nominais ou característicos por um fator de compatibilidade ψ_0 . Simbolicamente, esta combinação pode ser representada pela seguinte fórmula:

$$\gamma_g \cdot G + \gamma_{q,1} \cdot Q_1 + \Sigma \psi_{0,i} \cdot \gamma_{q,i} \cdot Q_i$$

Cliente		Empreiteiro EPC			
		  			
Projeto n.º	Projeto		Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve		07/05/2025	02.0	14 de 114
Código AdA			Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002			AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Em que:

- G: cargas permanentes. Neste caso, a única carga permanente é o peso próprio da torre.
- Q₁: ação variável principal ou predominante na ocorrência do modo de rotura e ações variáveis de atuação simultânea diretamente dependentes da predominante. Neste caso, a ação predominante será a resultante da ação hidrodinâmica devida à ondulação e à corrente.
- Q_i: coeficiente de compatibilidade fundamental ou característico (não considerado nesta análise).
- γ_g, γ_q: coeficientes de ponderação parcial (ver Tabela 5).

Por conseguinte, a combinação de ações seria reduzida da seguinte forma:

$$\gamma_g \cdot G + \gamma_{q,1} \cdot Q_1$$

Acción	Símbolo	Tipo de modo de fallo				
		EQU	STR	GEO	UPL	HYD
Permanente	γ _g					
Desfavorable		1,10	1,35	1,00	1,00	1,35
Favorable		0,90	1,00	1,00	0,90	0,90
Variable	γ _q					
Desfavorable		1,50	1,50	1,30	1,50	1,50
Favorable		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 5. Coeficientes de ponderação parciais das ações para a verificação dos modos de rotura associados aos estados-limite últimos para a combinação fundamental (Fonte: ROM 0.5 - 05, quadro 3.3.2).

Os modos de rotura a verificar são o tombamento clássico (EQU) e a deslizamento (GEO). O coeficiente mínimo de segurança definido no ROM 0.5 - 05 para estes modos de rotura em fundações pouco profundas é de 1,3.

4.2.2. Ação hidrodinâmica

As ações geradas pelas ondas e correntes no sistema de tomada de água do mar serão obtidas através da aplicação da equação de Morison. A aplicação da equação de Morison é possível graças à consideração da torre como um elemento esbelto, para o qual é necessário que o comprimento de onda associado à onda no local da torre seja pelo menos 5 vezes a dimensão característica do obstáculo, condição que é mais do que satisfeita.

A equação de Morison estabelece que a força exercida por um fluido sobre um obstáculo é a sobreposição de um termo em fase com a aceleração (inércia) e outro termo em fase com a velocidade (arrasto), e cuja equação é a seguinte:

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho A u |u| + C_m \rho V \frac{du}{dt}$$

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 15 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Onde:

- C_d : Coeficiente de arrasto
- C_m : Coeficiente de inércia
- A: Área da secção transversal do fluxo por unidade de comprimento (m^2/m).
- ρ_w : Densidade da água do mar (kg/m^3).
- u: Velocidade das partículas do fluido (m/s).
- du/dt : Aceleração das partículas do fluido (m/s^2).
- V: Volume do obstáculo por unidade de comprimento (m^3/m).

A velocidade e a aceleração do fluido devido à onda serão obtidas a partir da formulação da teoria linear das ondas:

$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh 2\pi(z+d)/L}{\cosh 2\pi d/L} \cos \theta; a = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh 2\pi(z+d)/L}{\cosh 2\pi d/L} \sin \theta$$

Em que:

- H: altura da onda (m)
- g: aceleração da gravidade ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)
- T: período da onda (s)
- L: comprimento de onda (m)
- z: altura vertical da partícula ($z=0$, nível do mar) (m)
- d: profundidade do fundo do mar (m)
- θ : fase da onda ($[0 \ 2\pi]$)

Como a aceleração e a velocidade estão desfasadas, os termos de inércia e arrasto também estarão desfasados, pelo que é necessário calcular os valores de ambos os termos entre 0 e 2π e determinar o máximo da soma.

A Tabela 6 contém os parâmetros considerados para obter as ações hidrodinâmicas a que a torre está exposta.

O cálculo da estabilidade será efectuado para uma onda associada a um período de retorno de 100 anos. A altura de onda de cálculo será a altura de onda máxima esperada no estado de mar ($H_{\max}$) a partir da altura de onda significativa (H_s). Ambos os valores estão relacionados pela expressão recomendada por Goda (2000): $H_{\max} = 1,86H_s$. A altura de onda de cálculo pode ser limitada pela rebentação da onda, considerando um coeficiente de rebentação $H_b = 0,78 h$, em que H_b é a altura de onda de rebentação e h é a profundidade. Uma vez que a ação hidrodinâmica dependerá da

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	16 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

profundidade da água do mar no local, a ação hidrodinâmica máxima considerando o nível de água variável entre a maré baixa e a maré alta será considerada para o cálculo da estabilidade.

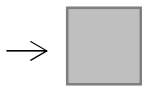
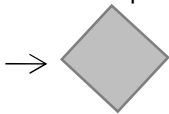
Parâmetros de estabilidade			
Onda (Tr = 100 anos)			
Altura significativa da onda	H_s (m)		5,83
Período de pico	T_P (s)		12
Outros parâmetros			
Altura do fundo marinho no local	h (mZH)		9,8
Altura do fundo marinho no local	h (mNMM)		11,8
Nível de maré	PM (mNMM)		3
Profundidade da água de cálculo	h_{calc} (m)		15
Coeficiente H_{max}/H_s	-		1,86
Coeficiente de rebentação	-		0,78
Altura de onda máxima	H_{max} (m)		10,84
Altura de onda de rebentação	H_b (m)		11,70
Cálculo da altura da onda: $\min(H_{max}, H_b)$	H_{calc} (m)		10,84
Correntes			
Corriente ambiental	V_c (m/s)		0,5
Coeficientes hidrodinâmicos			
Onda actuando frontalmente ¹ 	Coeficiente de arrastamento	C_d	2,2
	Coeficiente de inércia	C_m	2,51
Ondas actuando obliquamente ² 	Coeficiente de arrastamento	C_d	1,70
	Coeficiente de inércia	C_m	1,76
Densidades de projeto			
Betão armado	ρ_c (kg/m ³)		2400
Água do mar	ρ_w (kg/m ³)		1025

Tabela 6. Parâmetros de projeto para a estabilidade da torre de captação

¹ Dimensão característica: lado da torre

² Dimensão característica: diagonal da torre

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	17 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

5. DEFINIÇÃO GEOMÉTRICA E VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE

5.1. Dimensionamento hidráulico

As dimensões mínimas das janelas foram obtidas através da aplicação dos critérios de conceção descritos na secção 4 :

- Dimensionamento do caudal: 1126 l/s
- Velocidade máxima de entrada na secção contraída: $\leq 0,15$ m/s
- Dimensão máxima das grelhas (entre os eixos das lâminas): 0,3 x 0,3 m
- Espessura de lâminas: 1cm
- Grau de obstrução grelhas: 0,03 m em redor de lâminas

A área efectiva mínima a obter deve ser de pelo menos 7,45 m². As dimensões finais das janelas dependem das características da grelha e da redução da área de passagem devido às aderências marinhas. Neste caso, foi considerada uma grelha com aberturas retangulares, formada por chapas de 1 cm de espessura, e separadas (entre eixos) por 30 cm, horizontal e verticalmente, de modo a que a abertura livre fosse de 29 cm x 29 cm. Para a conceção hidráulica, considerou-se também que 3 cm podem ser aderidos em torno de cada superfície da grelha, de modo a que a abertura útil seja de 23 cm x 23 cm, o que significa um coeficiente de oclusão de 0,37 para as aderências marítimas. O quadro seguinte mostra os parâmetros de projeto e os resultados obtidos para o cálculo hidráulico da torre de entrada e o dimensionamento das janelas.

Cliente 		Empreiteiro EPC		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	18 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

CÁLCULO HIDRÁULICO

Parâmetros de projeto

Caudal de projeto	F_{design}	1,13 [m ³ /s]
Velocidade máxima de entrada na seção	V_{lim}	0,15 [m/s]
Espessura de aderências marinhas	D_{mg}	0,03 [m]
Área mínima de passagem efetiva	A_{efmin}	7,51 [m ²]

Definição de grelha

Espessura das barras verticais	t_b	0,01 [m]
Distância entre as barras verticais	x_b	0,3 [m]
Espessura das barras horizontais	t_s	0,01 [m]
Distância entre as barras horizontais	y_b	0,3 [m]
Número de barras verticais	n_b	3,33 [ud/m]
Número de barras horizontais	n_s	3,33 [ud/m]
Coefficiente de oclusão por barras		0,07
Coefficiente de oclusão para aderências marinhas		0,37

Dimensionamento de janela

Distância entre janelas	X_c	0,70 [m]
Número de janelas por lado	N	1
Área total mínima da janela	A_{wmin}	12,77 [m ²]
Altura da janela	L_2	1,40 [m]
Largura mínima da janela	X_{wmin}	2,28 [m]
Lado exterior mínimo da estrutura	D_{min}	3,68 [m]

Dimensões da janela

Altura da janela	L_2	1,40 [m]
Largura da janela	X_w	2,50 [m]
Área total da janela	A_w	14,00 [m ²]

Verificação dos parâmetros de conceção

Área efetiva	A_{ef}	8,23 [m ²]
Velocidade de aproximação		0,08 [m/s]
Velocidade do passo		0,137 [m/s]

Tabela 7. Parâmetros de dimensionamento das janelas

Assim, para satisfazer as exigências hidráulicas do sistema de recolha, serão dispostas 4 janelas, uma em cada face da torre, com uma altura de 1,40 m e uma largura de 2,50 m, pelo que a área total das janelas será de 8,23 m². Aplicando os coeficientes de oclusão da própria grelha e das aderências marinhas, a velocidade de passagem será de 0,136 m/s, inferior aos 0,15 m/s recomendados.

As imagens seguintes mostram os pormenores e as dimensões das janelas e grelhas a instalar.

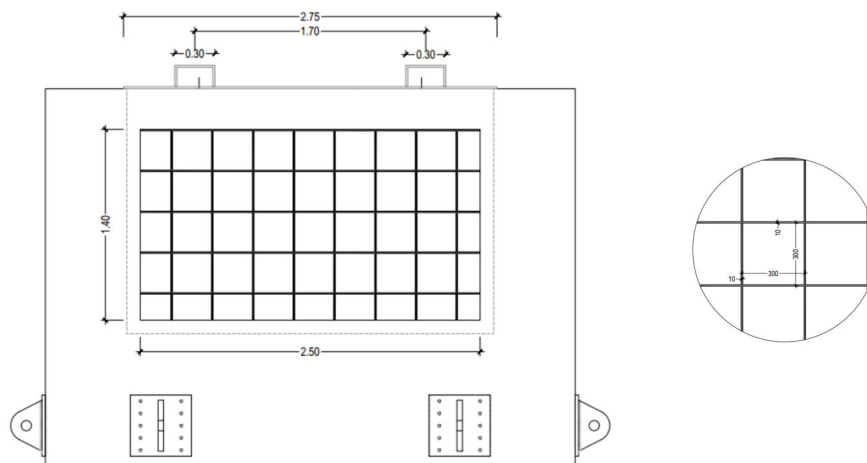


Ilustração 1. Grelha de PRFV

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	19 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

5.2. Definição geométrica da torres

Com base na dimensão das janelas e nos critérios de conceção geométrica, é efectuado o dimensionamento geométrico da torre de captação para posterior verificação. Na Tabela 8 são expostas as dimensões da torre de captação de 1200 mm por ser a estrutura mais desfavorável na verificação da estabilidade.

DIMENSÕES DA TORRE

Espessura da parede das janelas	t	0,70 [m]
Espessura da parede inferior	t_L	0,55 [m]
Lado da torre	$D_{ext,u}$	3,90 [m]
Altura da torre		
Espessura da base	$t_{2,outer}$	0,70 [m]
Distância entre base e conduta	$d_{pipebase}$	0,60 [m]
Diâmetro externo conduta	D_{pipe}	1,20 [m]
Altura do solo sobre a conduta	h_{cover}	1,50 [m]
Profundidade de enterro	L_0	4,00 [m]
Altura da parte inferior até as janelas	L_1	3,00 [m]
Distância entre janelas e tampa	L_3	0,00 [m]
Altura da sobreespessura baixo as janelas	L_4	0,50 [m]
Espessura da tampa	t_c	0,30 [m]
Altura total desde o fundo do mar	L'	4,70 [m]
Altura total da torre	L	8,70 [m]
Perímetro externo	$P_{out,i}$	15,60 [m]
Perímetro interno	P_{inn}	10,00 [m]
Área externa	$A_{out,u}$	15,21 [m ²]
Área interna	A_{inn}	6,25 [m ²]
Área das paredes inferiores	$A_{wall,i}$	7,37 [m ²]
Área das paredes superiores	$A_{wall,u}$	8,96 [m ²]
Base		
Voo		1,35 [m]
Lado base	l_{base}	6,60 [m]
Espessura base	$t_{2,outer}$	0,70 [m]
Área base	$A_{base,outer}$	43,56 [m ²]
Tampa de acesso		
Diâmetro	D_{MHC}	1,60 [m]
Volume de acesso	V_{MHC}	0,60 [m ³]
Conduta		
Diâmetro exterior	D_{pipe}	1,20 [m]
Número de condutas	N_{pipe}	2
Volume de conduta em concreto	V_{pipe}	1,24 [m ³]
Volume de conduta em terra	V_{pipe}	3,05 [m ³]

Tabela 8. Cálculo das dimensões da torre

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 20 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

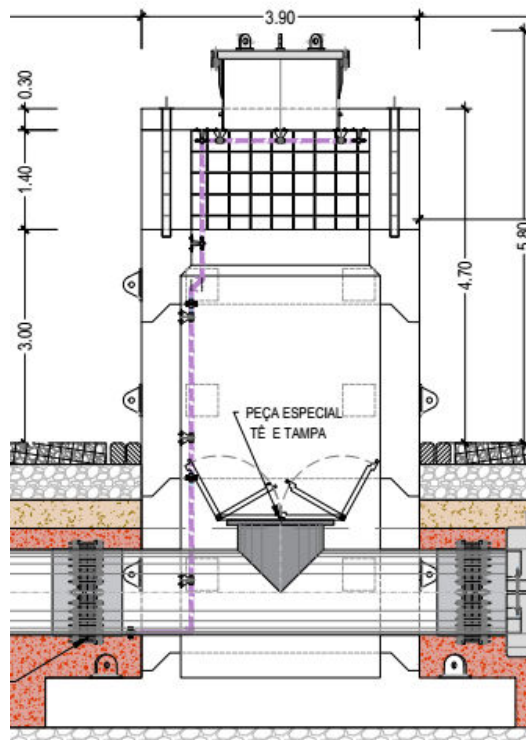


Ilustração 2. Corte de torre de captação

Para facilitar o fabrico, o transporte e a ancoragem da estrutura, a torre será construída de forma modular em quatro partes, a primeira é a base da torre, seguida por 3 módulos mais que compõem a torre completa. Isto é feito ancorando os módulos separadamente e ligando-os, uma vez colocados, para assegurar o seu comportamento conjunto através de varões roscados. As imagens seguintes mostram uma vista em planta e em alçado da torre definida.

A junta será constituída por uma placa embutida na base sobre a qual será aparafusada uma barra como tirante até à cobertura superior da torre. No topo será fixada com outra placa roscada e selada com argamassa, garantindo a durabilidade das juntas e o comportamento conjunto dos dois módulos das torres ao longo da sua vida útil.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		07/05/2025	02.0	21 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

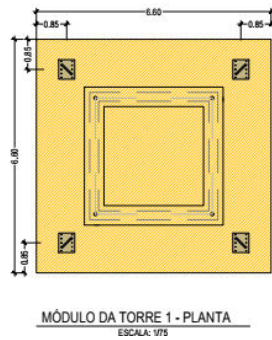
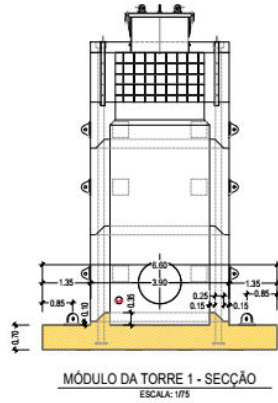


Ilustração 3. Módulo 1

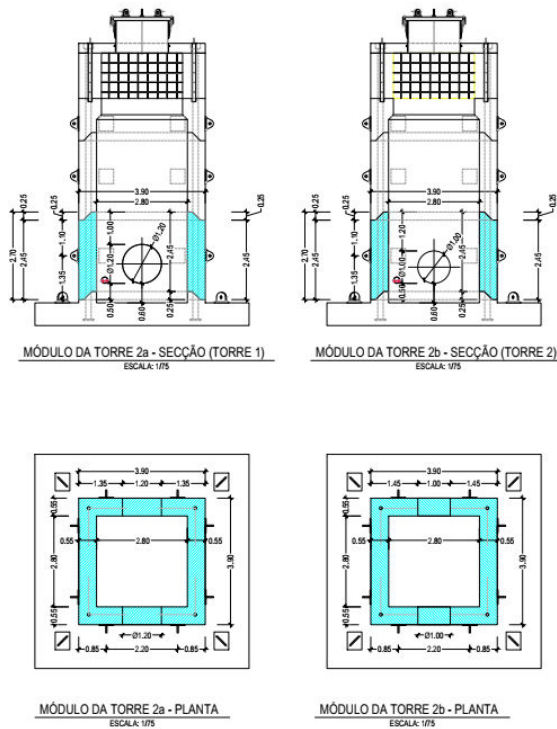


Ilustração 4. Módulo 2a (Torre Captação DN 1200) y 2b (Torre Captação DN 1000) y

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 22 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

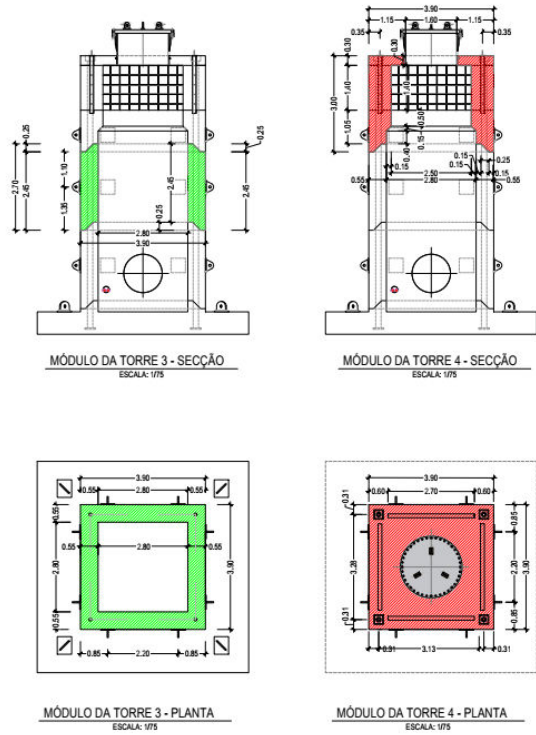


Ilustração 5. Módulos 3 e 4

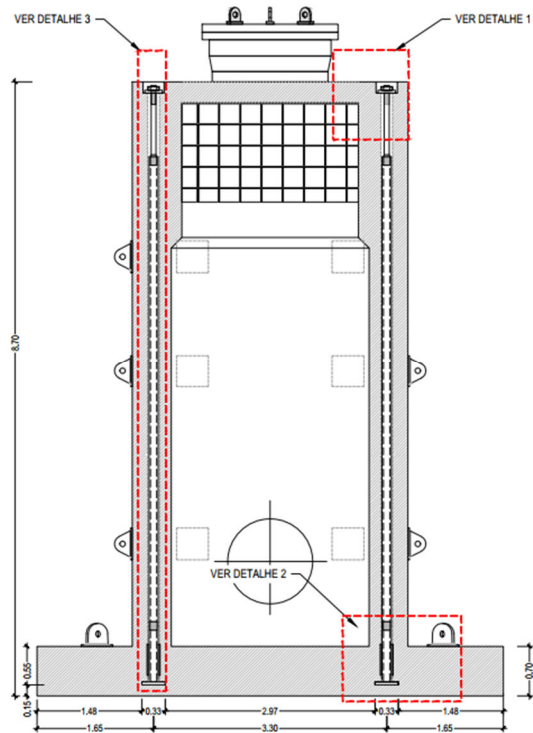


Ilustração 6. Ancoragem de barra rosçada (indicativo)

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	23 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

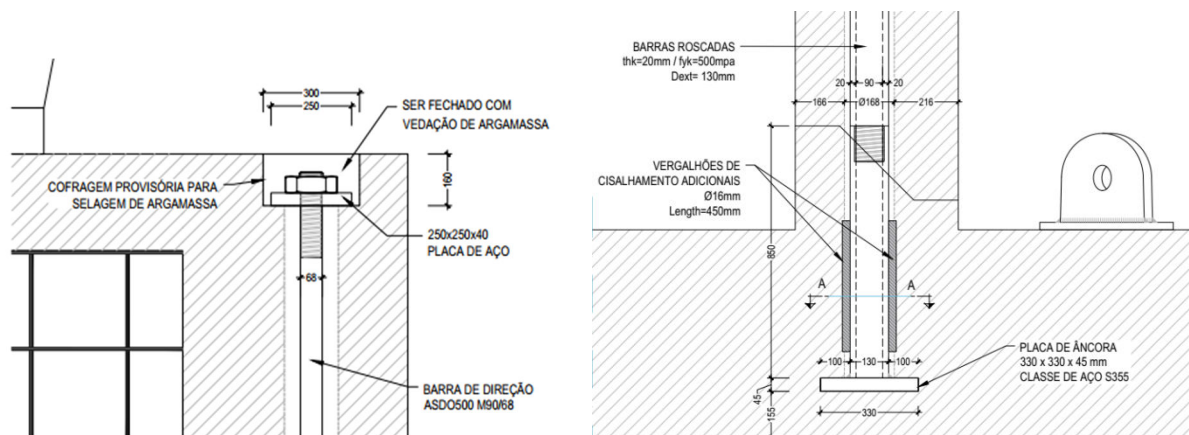


Ilustração 7. Exemplo de pormenor superior e inferior de ancoragem de barra rosçada (indicativo)

As torres devem ser colocadas a uma distância de 5 m entre os seus lados mais próximos.

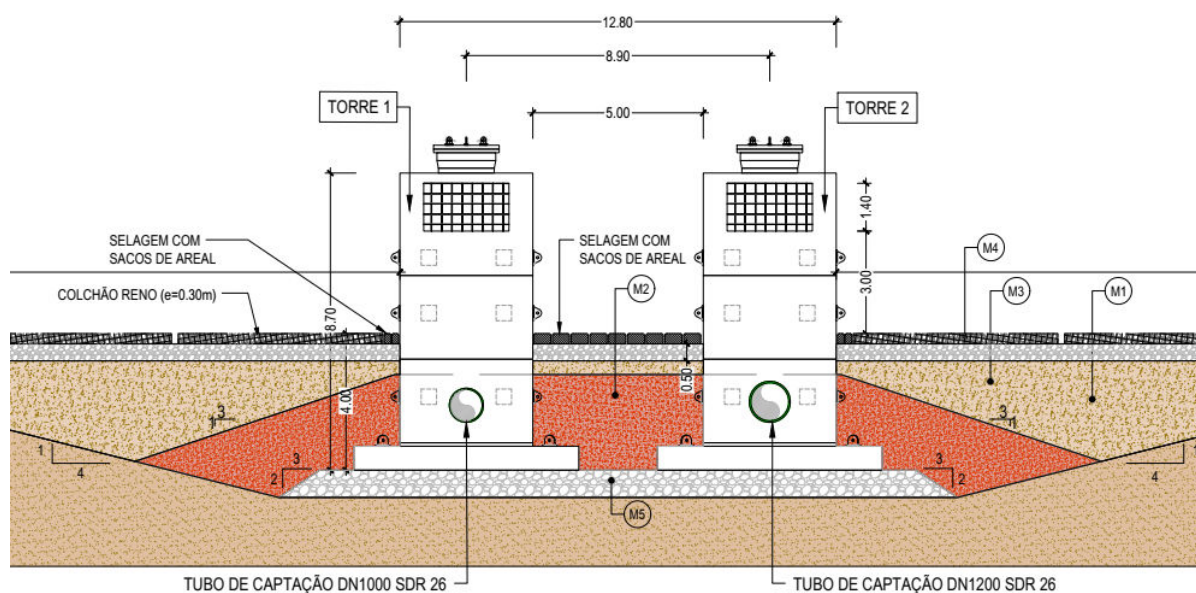


Ilustração 8. Alçado das duas torres enterradas

5.3. Verificação da estabilidade

As cargas envolvidas na estabilidade da torre são o peso próprio da torre e as ações hidrodinâmicas devidas ao efeito das ondas e das correntes. O quadro seguinte apresenta o cálculo do peso próprio da torre:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	24 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

PESO

Parâmetros

Densidade da água do mar	γ_{water}	1025	[kg/m ³]
Densidade de betão armado	γ_{conc}	2400	[kg/m ³]
Densidade submersa do terreno circundante	γ_{sand}	1000	[kg/m ³]

Elementos de betão

	Altura (m)		
Base	0,70	M_{conc}	199.627 [kg]
Seção enterrada	3,30	M_{base}	73.181 [kg]
Seção A - Paredes inferiores	2,50	M_0	55.385 [kg]
Seção B - Paredes superiores	0,50	M_1	44.220 [kg]
Seção C - Colunas entre janelas	1,40	M_2	10.752 [kg]
Tampa	0,30	M_3	6.586 [kg]
		M_4	9.504 [kg]

Peso total betão	W_{conc}	1958,34 [kN]
Peso submerso betão	$W_{\text{conc,sub}}$	1121,96 [kN]

Peso da estrutura isolada	M_{tot}	199,63 [t]
Peso da estrutura isolada	W_{tot}	1958,34 [kN]

Peso submerso da estrutura isolada $W_{\text{tot,sub}}$ **1121,96 [kN]**

Ponto de aplicação 3,3 [m]

Momento **3702,48 [m·kN]**

AÇÕES DO SOLO

Peso do solo na base

Superfície da seção		28,35 [m ²]
Volume de solo		90,50 [m ³]
Massa de solo que contribui para o peso próprio		90501,37 [kg]
Peso da solo contribuindo para o peso próprio	$W_{\text{tot,2}}$	887,82 [kN]
Ponto de aplicação	x	3,30 [m]
Momento		2929,80 [m·kN]

Tabela 9. Cálculo do peso próprio da torre

A torre terá um peso total de 199,63 t, distribuído em 4 módulos com as seguintes características:

Módulo	Descrição	Altura (m)	Peso (t)
1	Base	1	76
2	Parte baixa da torre com o furo para as condutas	2,7	43
3	Parte média da torre	2,7	41
4	Parte alta com as janelas e a tampa	3	32

Tabela 10. Altura e peso dos módulos das tomadas.

O cálculo das ações das ondas foi realizado utilizando as equações de Morison, assumindo a torre como um elemento vertical. Adicionalmente, assumiu-se, de forma conservadora, que a ação hidrodinâmica é uniforme em toda a torre e igual ao valor no ponto mais alto da torre, e que as janelas estão completamente cheias.

Foram considerados dois cenários diferentes, com a onda a atuar perpendicularmente à torre ou a incidir na torre num ângulo de 45°. Foi determinado que o caso mais desfavorável corresponde ao facto de as ondas atingirem a torre num ângulo oblíquo. Os parâmetros de projeto considerados no pior caso são resumidos a seguir:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	25 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

DADOS DE ONDA

Altura significativa da onda	$H_s =$	5,8 m
Período de pico	$T_p =$	12,0 s
Profundidade da água sob NMM	$h_0 =$	11,8
Nível do mar considerado	$\Delta h =$	3,0
Profundidade da água	$h =$	14,80 m
Frequência angular	$\omega =$	0,52 s ⁻¹
Comprimento de onda em águas profundas	$\lambda_0 =$	224,83 m
Número de onda em águas profundas	$k_0 =$	0,028 m ⁻¹
Número de onda	$k =$	0,0469 m ⁻¹
Comprimento de onda	$\lambda =$	134,01 m
Densidade da água	$\rho =$	1025 kgm ⁻³

DADOS DE ESTRUTURA

Fluxo sobre a torre	Diagonal	
	$D =$	5,52 m
Altura da estrutura exposta às ondas	$L =$	4,70 m
Altura do banco no fundo	$h_b =$	0,00 m
Volume exterior por metro linear	$V =$	23,89 m ³ /m
Volume de referência da massa hidrodinâmica associada	$V_r =$	23,89 m ³ /m
Área de projeção do trecho na direção das ondas	$A =$	5,52 m ²
Coefficiente de inércia	$C_m =$	1,76
Coefficiente de arrasto	$C_d =$	1,70

CORRENTE AMBIENTAL

Corrente ambiente		0,50 ms ⁻¹
Força de arrasto devido à corrente	$F_{d,max,c} =$	1,20 kN/m

Tabela 11. Dados de conceção considerados no cálculo

O cálculo da aceleração e da velocidade e da ação máxima, tendo em conta a desfasamentode fase das forças de inércia e de arrasto, é apresentado a seguir:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	26 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

VELOCIDADE E ACELERAÇÃO DE PARTÍCULAS

Coefficiente de conversão H/Hs	1,86
Altura de onda máxima	10,84 m
Altura de onda de rebentação	11,544 m
Cálculo da altura da onda	H= 10,84 m
$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z-d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta$	
$a_x = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh[2\pi(z-d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin \theta$	
Nível (m)	d = -10,10 m
Velocidade máxima	v _{max} = 3,90 m/s
Aceleração máxima	a _{max} = 2,04 m/s ²
Número de Reynolds	Re = 21517275

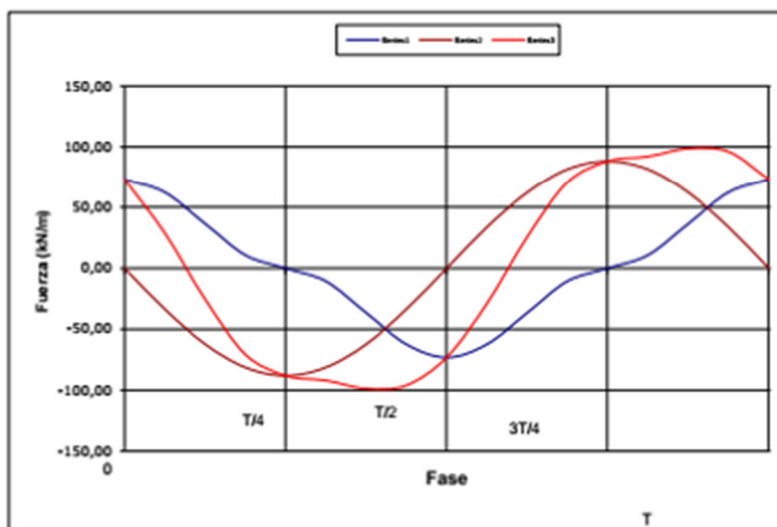
FORÇAS DE INÉRCIA E ARRASTO

Aceleração média das partículas normal à estrutura	a _{med} = 2,04 m/s ²
Velocidade média das partículas normal ao tubo	v _{med} = 3,90 m/s

$$F = C_d \left(\frac{\rho}{2} \right) A u |u| + C_m \rho V \frac{du}{dt}$$

Força Máxima de Inércia	F _m = 88,04 kN/m
Força máxima de arrasto devido às ondas	F _{d,m} = 73,01 kN/m
Força de arrasto máxima total	F _d = 74,21 kN/m

DESFASAMENTO ENTRE AS FORÇAS DE INÉRCIA E DE ARRASTAMENTO



CÁLCULO DA AÇÃO RESULTANTE

Força devido às ondas	Fw = 98,76 kN/m
Força total (ondas e corrente) atuante por metro	F = 99,96 kN/m

Tabela 12. Cálculo da ação hidrodinâmica

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 27 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

O quadro seguinte resume todas as ações envolvidas na estabilidade da torre de tomada de água.

Peso efetivo da torre				
Peso submerso da estrutura isolada	$W_{tot,1}$	1121,96 [kN]		
Contribuição do terreno na base		887,82 [kN]		
Peso efetivo	W_{sub}	2009,78 [kN]		
Ponto de aplicação	x	3,30 [m]		
Momento		6632,28 [m·kN]		
ACÇÃO HIDRODINÂMICA				
Ação da onda de coroação		99,96 [kN/m]		
Altura exposta às ondas	L_{wav}	4,70 [m]		
Força exercida pelas ondas	S_{wav}	469,81 [kN]		
Ponto de aplicação	y	6,35 m		
Momento		2983,30 [m·kN]		
RESUMO DE ACÇÕES				
	Resultante vertical [kN]	Momento de estabilização [m kN]	Resultante horizontal [kN]	Momento desestabilizador [m kN]
Peso da estrutura	1.121,96	3.702,48	0,00	0,00
Peso do solo	887,82	2.929,80	0,00	0,00
Ação hidrodinâmica	0,00	0,00	469,81	2.983,30

Tabela 13. Resumo das ações

A verificação da estabilidade de acordo com o Eurocodigo é apresentada no quadro seguinte.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 28 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

	EQU	GEO (C1)	GEO (C2)		Coefficientes de combinação Ψ_0
Peso próprio	1,00	1,00	1,00		1,00
Peso terrestre	1,00	1,00	1,00		1,00
Ondulação	1,50	1,50	1,30		1,00

	Componente vertical V [T]	Braço x [m]	Momento de estabilização Mx [m.T]	Componente horizontal H [T]	Braço y [m]	Momento de viragem My [m.T]
EQU	204,87	3,30	676,07	71,84	6,35	456,16
GEO (C1)	204,87	3,30	676,07	71,84	6,35	456,16
GEO (C2)	204,87	3,30	676,07	62,26	6,35	395,34

CÁLCULO DA ESTABILIDADE DE TOMBAMENTO (EQU)

Coeficiente de segurança de tombamento:	$CSV_c =$	1,48	OK
--	-----------------------------	-------------	-----------

CÁLCULO DA ESTABILIDADE DE DESLIZAMENTO (GEO, C1)

Ângulo de atrito entre fundação e solo: $\phi_c = 32,00$ [°]
 $tg \phi_c = 0,625$

Carga de rutura: $H_{(rutura)} = 128,02$ [T]

Coeficiente de segurança deslizamento:	$CSD =$	1,78	OK
---	---------------------------	-------------	-----------

CÁLCULO DA ESTABILIDADE DE DESLIZAMENTO (GEO, C2)

Ângulo de atrito entre fundação e solo: $\phi_c = 26,56$ [°]
 $tg \phi_c = 0,500$

Carga de rutura: $H_{(rutura)} = 102,41$ [T]

Coeficiente de segurança deslizamento:	$CSD =$	1,64	OK
---	---------------------------	-------------	-----------

Tabela 14. Verificação da estabilidade seguindo o Eurocodigo

Observa-se que os coeficientes de segurança são superiores a 1,4 para todos os modos de falha, pelo que se considera que a torre cumpre o requisito de estabilidade assinalado no caderno de encargos.

A verificação da estabilidade de acordo com ROM 0.5 - 05 é apresentada no quadro seguinte.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 29 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

		Equilíbrio estático (EQU)		Rutura terreno (GEO)		Coefficientes de combinação Ψ_0
Peso próprio		0,90		1,00		1,00
Peso terrestre		0,90		1,00		1,00
Ondulação		1,50		1,30		1,00
	Componente vertical V [T]	Braço x [m]	Momento de estabilização Mx [m.T]	Componente horizontal H [T]	Braço y [m]	Momento de viragem My [m.T]
EQU:	184,38	3,30	608,47	71,84	6,35	456,16
GEO:	204,87	3,30	676,07	62,26	6,35	395,34

CÁLCULO DA ESTABILIDADE DE DESLIZAMENTO

Ângulo de atrito entre fundação e solo: $\phi_c = 32,00$ [°]
 $\text{tg } \phi_c = 0,500$

Carga de rutura: $H_{\text{(rutura)}} = 102,44$ [T]

Coefficiente de segurança deslizamento: CSD = 1,65 OK

CÁLCULO DA ESTABILIDADE DE TOMBAMENTO

Coefficiente de segurança de tombamento: CSV_c = 1,33 OK

Tabela 15. Verificação da estabilidade seguindo a ROM 0.5-05

Neste caso, e como verificação adicional, observa-se também que os coeficientes de segurança obtidos de acordo com a metodologia ROM 0.5-05 são superiores a 1,3, o coeficiente mínimo de acordo com esta metodologia.

Conclui-se que a torre de captação é estável de acordo com a metodologia do Eurocódigo e do ROM 0.5-05, sendo este último mais limitativo.

A estabilidade da torre depende do peso do aterro sobre a base, pelo que é necessário dispor de elementos de proteção contra a erosão em torno das torres de tomada de água para garantir a sua estabilidade durante toda a sua vida útil.

Para este efeito, serão colocados colchões Reno de 30 cm de espessura até uma distância de 25 m das torres, como mostra a imagem seguinte.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 30 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

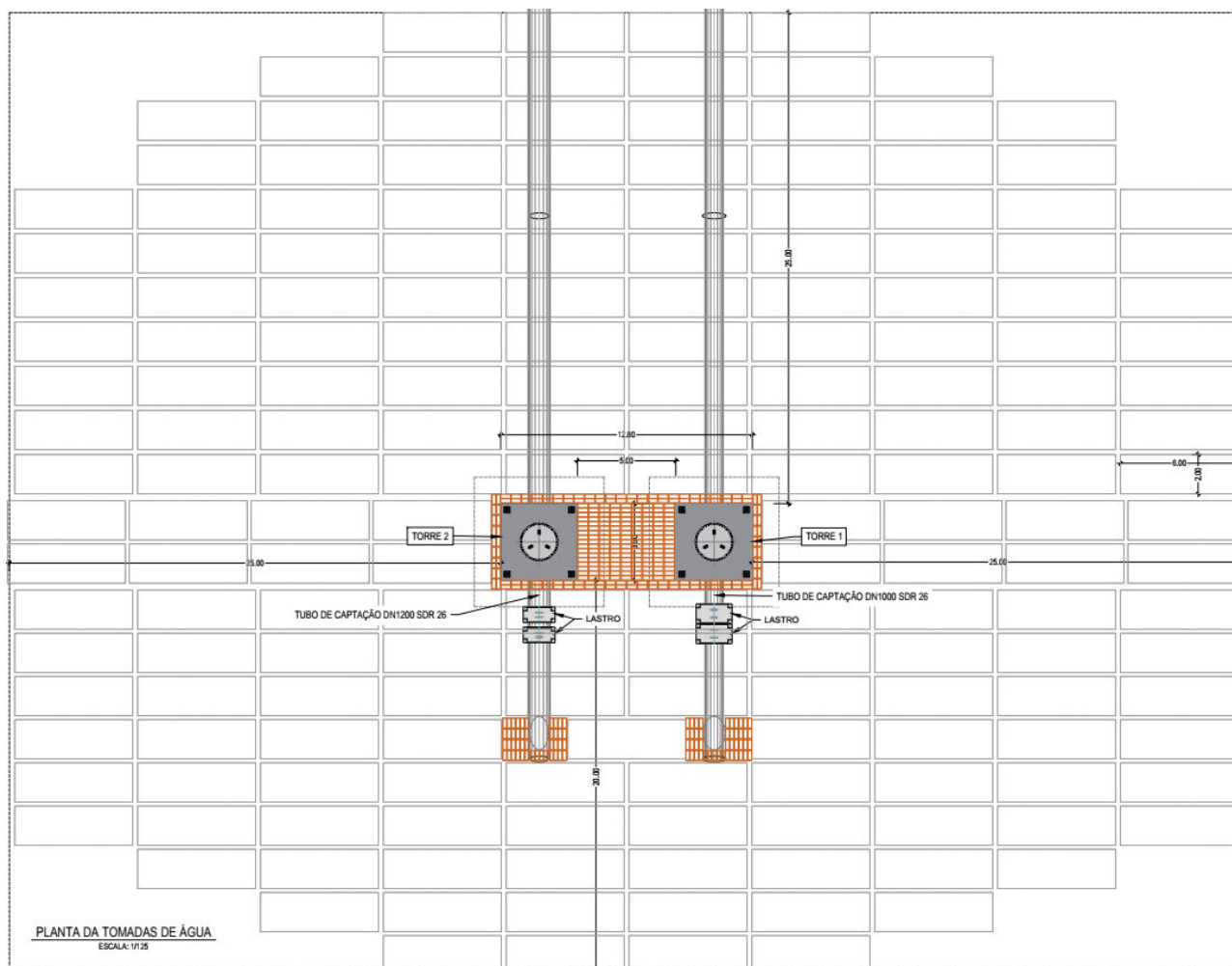


Ilustração 9. Proteção no redor das tomadas de água

A verificação da estabilidade dos colchões reno é baseada na formulação modificada de Pilarczyk, considerando ondas, profundidade e correntes combinadas, bem em maré baixa bem como em maré alta. A espessura mínima dos colchões de reno, calculada para garantir estabilidade, varia conforme a localização e as condições do mar, sendo mais restritiva a condição de baixa mar. É verificado que os colchões de 30 cm de espessura são suficientes para garantir a estabilidade das estruturas contra a erosão, conforme a classificação de estabilidade, que varia de 1 (sem movimento) a 5 (falha total). O cálculo promenor é analisado no Apêndice 1 do documento AL-PRO-0000-MW-PRC-0001. Procedimento de construção.

5.4. Verificação da estabilidade durante o processo de construção

A estabilidade da torre de tomada de água, uma vez instalada, foi verificada na secção anterior, tendo em conta que a torre está parcialmente enterrada na sua situação final. Nesta secção, a estabilidade da torre para diferentes situações é verificada tendo em conta que a torre não está enterrada e que as condições de ondulação são inferiores às anteriores consideradas.

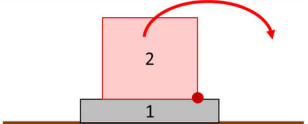
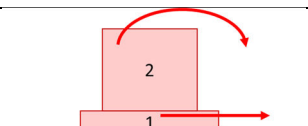
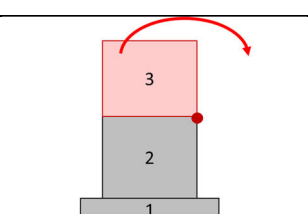
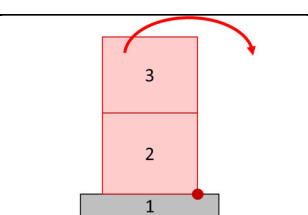
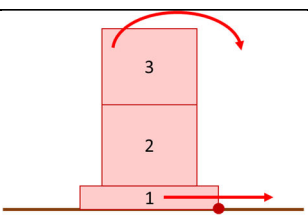
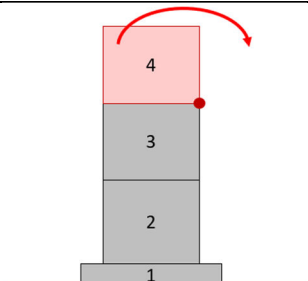
São consideradas quatro fases:

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	31 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

- Módulo 1 (base) colocado
- Módulo 1 e módulo 2 colocados.
- Módulos 1, 2 e 3 colocados.
- Módulos 1, 2,3 e 4 colocados, antes do aterro da vala.

São verificadas dez situações diferentes. Como a ligação entre os módulos não está terminada, pode ocorrer o tombamento parcial de um módulo sobre o módulo inferior. A Tabela 16 mostra os casos e os modos de falha verificados.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	32 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Caso	Módulos colocados	Tombamento	Deslizamento	Desenho
1	1	Módulo 1	Módulo 1	
2	1+2	Módulo 2 sobre o módulo 1	-	
3	1+2	Módulos 1 e 2 como uma peça única	Módulos 1+2	
4	1+2+3	Módulo 3 sobre o módulo 2	-	
5	1+2+3	Módulos 2 e 3 como uma peça única sobre o módulo 1	-	
6	1+2+3	Módulos 1, 2 e 3 como uma peça única	Módulos 1+2+3	
7	1+2+3+4	Módulo 4 sobre o módulo 3	-	

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 33 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

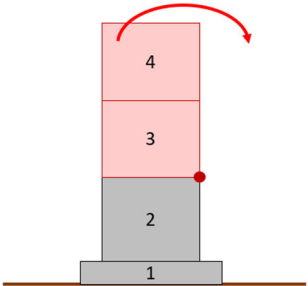
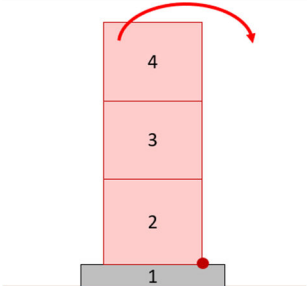
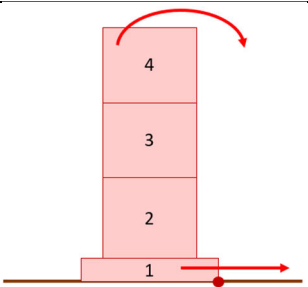
Caso	Módulos colocados	Tombamento	Deslizamento	Desenho
8	1+2+3+4	Módulos 3 e 4 como uma peça única sobre o módulo 2	-	
9	1+2+3+4	Módulos 2, 3 e 4 como uma peça única sobre o módulo 1	-	
10	1+2+3+4	Módulos 1, 2, 3 e 4 como uma peça única	Módulos 1+2+3+4	

Tabela 16. Situações temporárias durante a fase de construção

A ação da onda para cada caso foi obtida considerando a equação de Morison e os mesmos pressupostos que na secção anterior, resumidos na Tabela 6.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	34 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Caso	Peso submerso (kN)	Distânciaa o ponto de aplicação da carga (m)	Altura exposta às ondas (m)	Distância ao ponto de aplicação da carga das ondas (m)
1	424,34	3,3	1	0,5
2	241,69	1,95	2,7	1,35
3	682,81	3,3	3,6	1,8
4	231,75	1,95	2,6	1,3
5	490,22	1,95	5,2	2,6
6	931,34	3,3	6,1	3,05
7	177,40	1,95	2,7	1,35
8	425,93	1,95	5,2	2,6
9	684,40	1,95	7,8	3,9
10	1125,52	3,3	8,7	4,35

Tabela 17. Cálculo das ações nas situações temporárias durante a fase de construção

A ação da onda foi obtida para diferentes combinações de altura de onda (H_s) e período de pico (T_p), e a estabilidade contra modos de falha foi verificada para cada caso. Os módulos são estáveis para todos os períodos de pico quando $H_s < 1,0$ m. A probabilidade de não superação destas condições de onda é de 78,98 %.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 35 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6. CÁLCULO ESTRUTURAL DA TORRE DE CAPTAÇÃO

6.1. Carga da onda

A Tabela 18 indica a carga de onda considerada para os cálculos estruturais. É de notar que o cálculo estrutural da torre foi efectuado para a onda que actua numa face da torre e para a onda que actua na diagonal (2 faces da torre). No entanto, os resultados apresentados nas secções seguintes mostram apenas os resultados para a onda que actua na diagonal, uma vez que esta produz resultados mais onerosos no cálculo estrutural da torre.

Caso	Carga	Unidades
Ação ondulatória da secção (perpendicular)	20.63	kN/m ²
Ação ondulatória da secção (diagonal)	17.60	kN/m ²

Tabela 18. Carga da onda

6.2. Normas

As seguintes normas foram utilizadas para efetuar o cálculo estrutural da torre de admissão:

- Eurocódigo 2 “EC-2” para elementos de betão armado
- Eurocódigo 3 “EC-3” para elementos estruturais em aço
- “Manual para o projeto e construção de caixotões flutuantes de betão armado para estruturas portuárias”

6.3. Materiales

Foram considerados os seguintes materiais para a construção da torre de admissão:

- Betão: C35/45
- Aço - Reforço: B500S
- Aço estrutural: S355

A classe de resistência do betão foi seleccionada de acordo com a norma BS EN 206-2013+A1-2016. Consultar a tabela abaixo:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	36 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Table F.1 — Recommended limiting values for composition and properties of concrete

	No risk of corrosion or attack	Exposure classes																	
		Carbonation-induced corrosion					Chloride-induced corrosion						Freeze/thaw attack				Aggressive chemical environments		
							Sea water			Chloride other than from sea water									
		X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2	XA 3
Maximum w/c ^c	–	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
Minimum strength class	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	
Minimum cement content (kg/m ³)	–	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	
Minimum air content (%)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	–	–	–	
Other requirements	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Aggregate in accordance with EN 12620 with sufficient freeze/thaw resistance				–	Sulfate-resisting cement ^b		

^a Where the concrete is not air entrained, the performance of concrete should be tested according to an appropriate test method in comparison with a concrete for which freeze/thaw resistance for the relevant exposure class is proven.

^b Where sulfate in the environment leads to exposure classes XA2 and XA3, it is essential to use sulfate-resisting cement conforming to EN 197-1 or complementary national standards.

^c Where the k-value concept is applied the maximum w/c ratio and the minimum cement content are modified in accordance with 5.2.5.2.

No estado limite de utilização (ELS), deve ser aplicado um fator de segurança de 1 aos materiais. No estado limite último (ULS), foram aplicados os seguintes factores de segurança:

Estado	Betão	Aço
	γ_c	γ_s
Persistente	1,50	1,15
Acidental	1,30	1,00

Tabela 19. Factores de segurança dos materiais no ULS

6.4. Revestimento de betão

De acordo com a norma EN 1992-1-1:2004 (E) e devido às condições ambientais a que a torre de admissão será exposta, a classe de exposição selecionada é a XS2 (ver tabela abaixo):

Cliente		Empreiteiro EPC			
		  			
Projeto nº.	Projeto		Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve		07/05/2025	02.0	37 de 114
Código AdA			Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002			AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

EN 1992-1-1:2004 (E)

Table 4.1: Exposure classes related to environmental conditions in accordance with EN 206-1

Class designation	Description of the environment	Informative examples where exposure classes may occur
1 No risk of corrosion or attack		
XD	For concrete without reinforcement or embedded metal: all exposures except where there is freeze/thaw, abrasion or chemical attack For concrete with reinforcement or embedded metal: very dry	Concrete inside buildings with very low air humidity
2 Corrosion induced by carbonation		
XC1	Dry or permanently wet	Concrete inside buildings with low air humidity Concrete permanently submerged in water
XC2	Wet, rarely dry	Concrete surfaces subject to long-term water contact Many foundations
XC3	Moderate humidity	Concrete inside buildings with moderate or high air humidity External concrete sheltered from rain
XC4	Cyclic wet and dry	Concrete surfaces subject to water contact, not within exposure class XC2
3 Corrosion induced by chlorides		
XD1	Moderate humidity	Concrete surfaces exposed to airborne chlorides
XD2	Wet, rarely dry	Swimming pools Concrete components exposed to industrial waters containing chlorides
XD3	Cyclic wet and dry	Parts of bridges exposed to spray containing chlorides Pavements Car park slabs
4 Corrosion induced by chlorides from sea water		
XS1	Exposed to airborne salt but not in direct contact with sea water	Structures near to or on the coast
XS2	Permanently submerged	Parts of marine structures
XS3	Tidal, splash and spray zones	Parts of marine structures
5. Freeze/Thaw Attack		
XF1	Moderate water saturation, without de-icing agent	Vertical concrete surfaces exposed to rain and freezing
XF2	Moderate water saturation, with de-icing agent	Vertical concrete surfaces of road structures exposed to freezing and airborne de-icing agents
XF3	High water saturation, without de-icing agents	Horizontal concrete surfaces exposed to rain and freezing
XF4	High water saturation with de-icing agents or sea water	Road and bridge decks exposed to de-icing agents Concrete surfaces exposed to direct spray containing de-icing agents and freezing Splash zone of marine structures exposed to freezing
6. Chemical attack		
XA1	Slightly aggressive chemical environment according to EN 206-1, Table 2	Natural soils and ground water
XA2	Moderately aggressive chemical environment according to EN 206-1, Table 2	Natural soils and ground water
XA3	Highly aggressive chemical environment according to EN 206-1, Table 2	Natural soils and ground water

A cobertura nominal, de acordo com a EN 1992-1-1:2004 (E), secção 4.4.1, é:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Com $c_{min}=40\text{mm}$ para a classe de estrutura S4 (classe recomendada).

A tolerância de projeto para a deflexão foi considerada como $\Delta c_{dev}=10\text{mm}$ (valor recomendado no Anexo Nacional, Tabela NA.1).

Por conseguinte, a cobertura nominal é:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 40 + 10 = \mathbf{50\text{mm}}$$

6.5. Acções

As acções consideradas para o cálculo da torre de entrada são descritas a seguir:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 38 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

- Peso próprio: foi considerada a seguinte densidade para cada elemento da estrutura:

Betão armado: $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$.

Aço: $\gamma = 78.50 \text{ kN/m}^3$.

GRP: $\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$.

- Material do solo: a densidade conservada para o material de enchimento exterior é descrita a seguir:

Material moído (seco): $\gamma = 19.60 \text{ kN/m}^3$.

Material do solo (submerso): $\gamma = 10.00 \text{ kN/m}^3$.

Uma vez que a estrutura vai ficar submersa, o peso submerso será considerado no cálculo.

- Ação das ondas:

Ação das ondas no topo da torre (por metro) $W=473.59 \text{ kN/m}$

6.6. Combinação de acções

Foi feita uma distinção entre o estado limite último (ELU) e o estado limite de operacionalidade (ELS). No ULS é verificada a segurança das pessoas e a segurança da estrutura, ao passo que o SLS diz respeito ao funcionamento da estrutura ou dos elementos estruturais em condições normais de utilização, ao conforto das pessoas e ao aspeto das obras de construção. De acordo com isto, foram verificadas as seguintes combinações de acções:

- Estado limite último (ULS):
 - o Situação de conceção persistente: refere-se à condição de utilização normal

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{K,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{K,j} + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{K,i}$$

- Estado limite de operacionalidade (SLS):
 - o Situação quase permanente (fissuração):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Onde:

$G_{k,j}$	Valor caraterístico da ação permanente j
$G^*_{k,j}$	Valor caraterístico da ação permanente j sem valor constante
$Q_{k,1}$	Valor caraterístico da variável principal ação 1
$\psi_{0,i} Q_{k,i}$	Valor caraterístico da combinação de acções variáveis
$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	Valor frequente da combinação da ação variável principal

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	39 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

$\psi_{2,i} Q_{k,i}$ Valor quase permanente das ações variáveis com a ação principal ou a ação accidental

6.7. Situações de conceção

Foram consideradas as seguintes situações de conceção:

- Levantamento dos módulos: durante esta fase, o peso dos módulos é considerado.
- Funcionamento da estrutura: nesta fase, foi considerado o peso próprio da estrutura, a ação das ondas e a pressão/peso exterior do solo.

6.8. Modelo de cálculo – funcionamento

Para o cálculo estrutural da torre de admissão foi utilizado o software SAP 2000. A estrutura é modelada como cascas que representam as paredes e elementos do tipo pórtico que representam os pilares. O modelo é não linear para assegurar que os deslocamentos, tensões e forças na laje inferior são tão reais quanto possível.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 40 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.1. Geometria

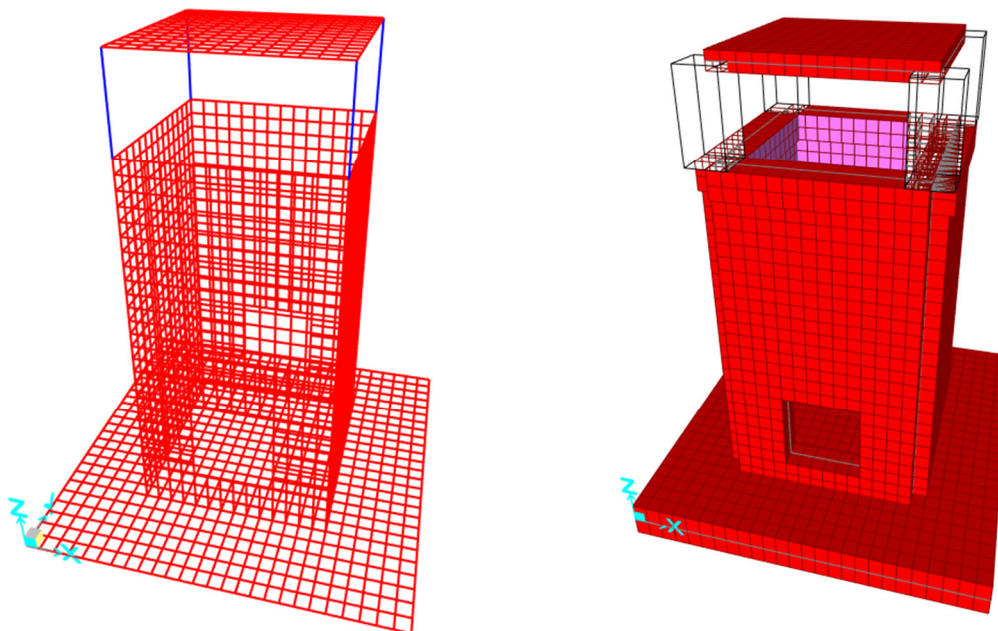


Ilustração 10.- Modelo 3-D SAP2000

A interação solo-estrutura foi modelada utilizando uma mola não linear com uma constante $k = 15000 \text{ KN/m}^3$. Este valor foi obtido com base na informação geotécnica disponível.

Além disso, a resistência passiva do solo que actua quando a ação das ondas está a atuar foi modelada com molas elásticas lineares. Os valores de força-deformação multi-lineares para cada altura são apresentados no quadro seguinte:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 41 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.2. Acções

- Ação das ondas

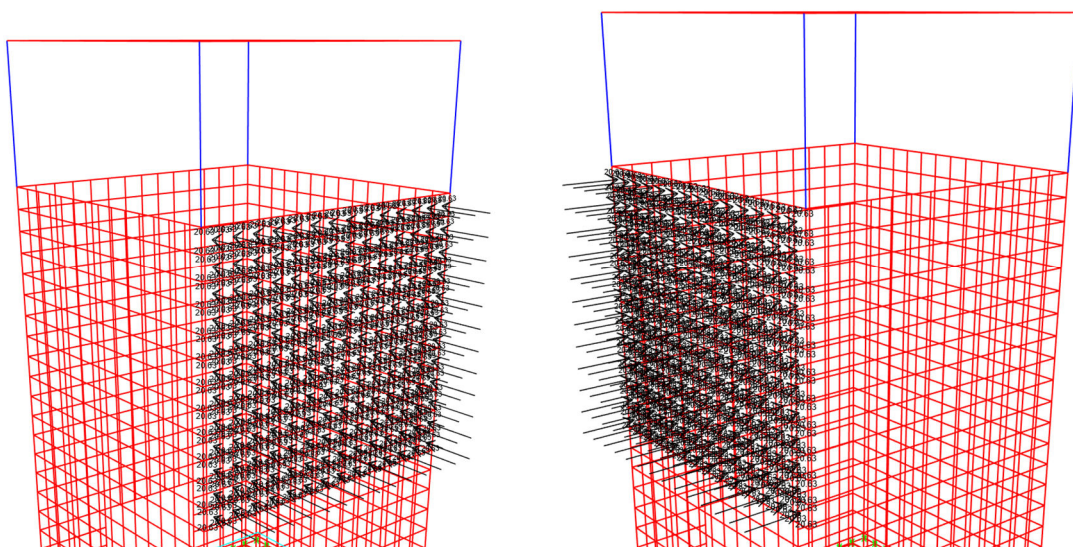


Ilustração 11.- Ação das ondas perpendicular às paredes

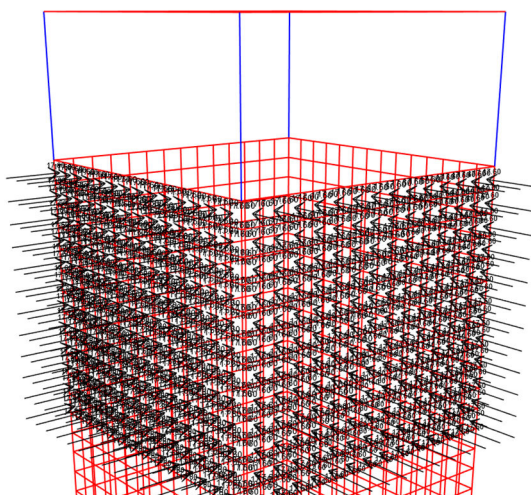


Ilustração 12.- Diagonal da ação das ondas nas paredes

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 43 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.3. Resultados da ULS

6.8.3.1. Laje superior

- Forças

De seguida, é apresentado um resumo das forças obtidas para o módulo superior a partir do modelo 3D:

Lajes de cobertura - Resultados SAP ULS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
210.69	50.77	-28.77	112.80	5.19	-3.49	30.34
-326.44	-58.87	28.33	-113.23	-57.51	-17.69	-5.06
50.62	210.53	30.32	112.80	-3.52	5.27	30.32
-59.00	-326.32	-5.02	-113.24	-17.67	-57.54	-5.02
34.67	34.59	117.46	117.46	12.24	12.23	21.14
-59.00	-326.32	-113.24	28.34	-17.67	-57.54	-5.02
34.67	34.59	117.46	117.46	12.24	12.23	21.14
-326.44	-58.87	28.33	-113.23	-57.51	-17.69	-5.06
205.48	49.46	-25.11	108.63	14.84	-3.53	30.92
-307.78	-307.55	32.99	33.00	-85.83	-85.89	-76.60
48.61	203.80	108.45	-24.91	-3.47	14.93	30.66
-307.78	-307.55	32.99	33.00	-85.83	-85.89	-76.60
162.52	57.01	112.80	112.80	-3.16	-11.58	69.51
-307.78	-307.55	33.00	33.00	-85.83	-85.89	-76.60

Tabela 20.- Resultados SAP200

Forças axiais F11 e F22

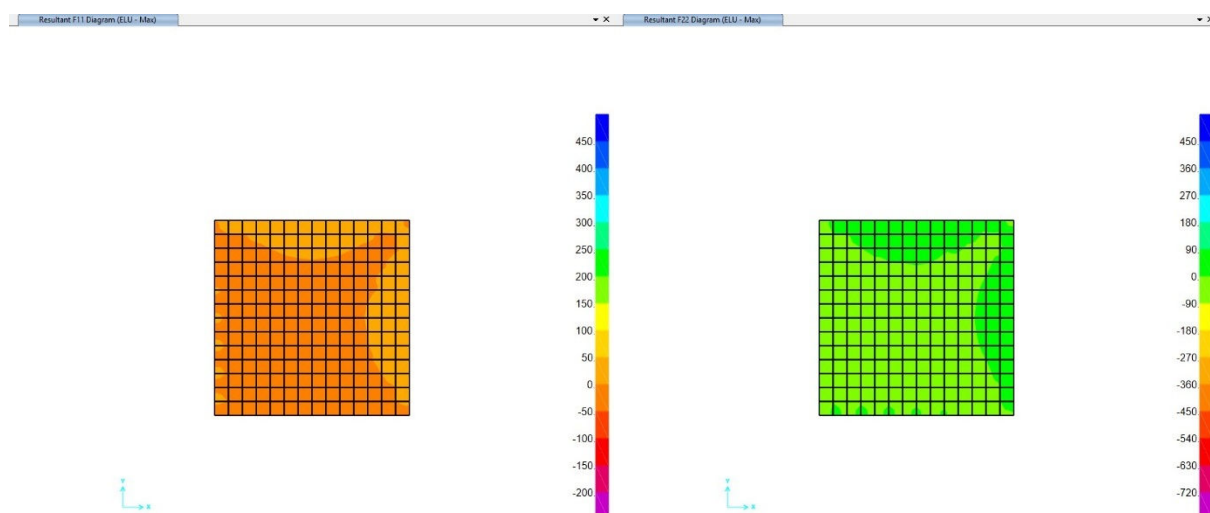


Ilustração 16.- F11 e F22

Momentos M11 e M22

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	44 de 114
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

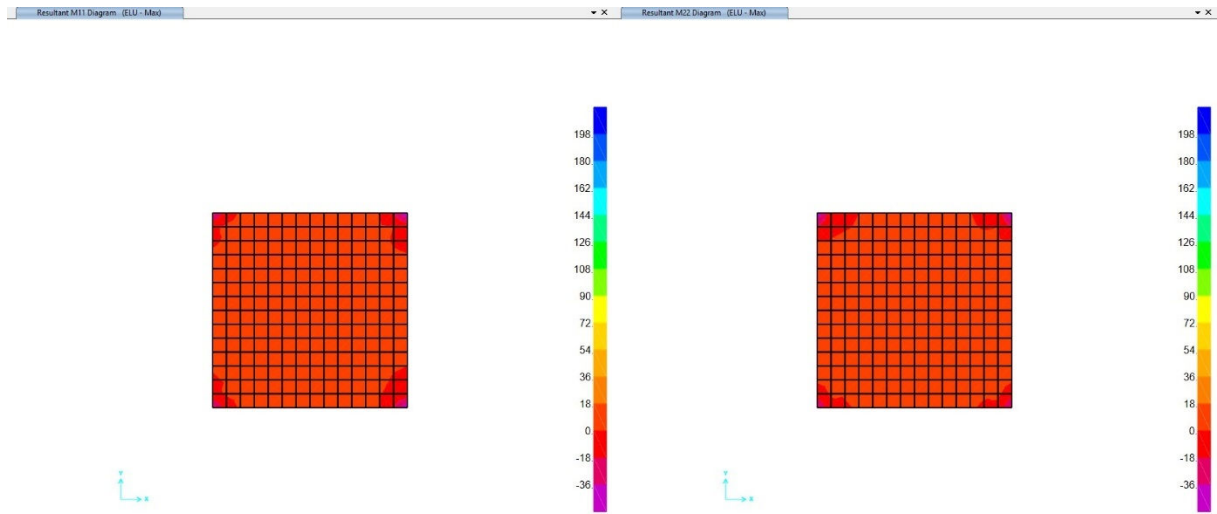


Ilustração 17.- M11 e M22

Forças de cisalhamento V13 e V23

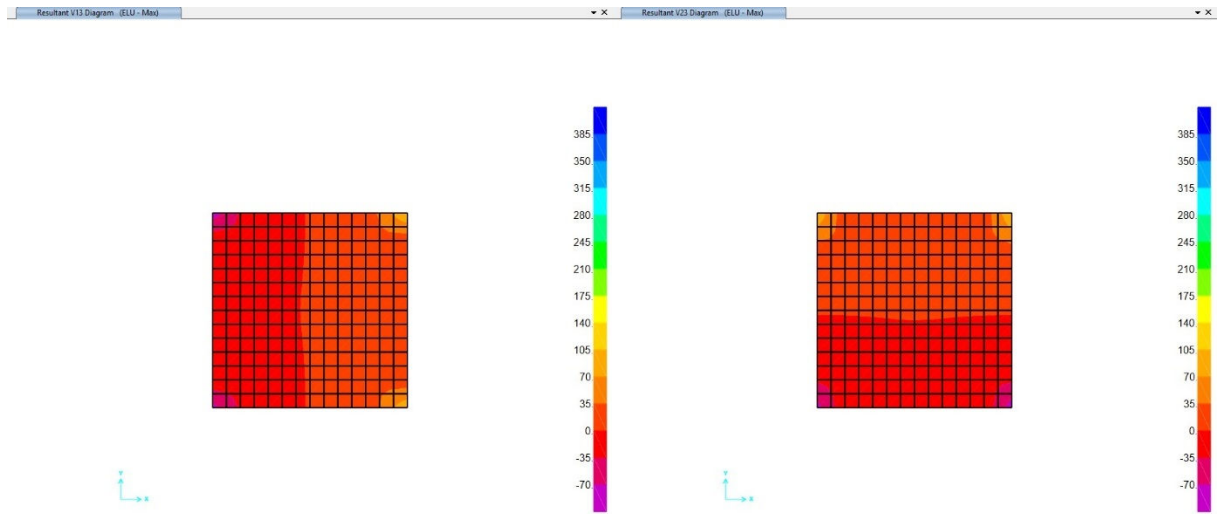


Ilustração 18.- V13 e V23

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 45 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.3.2. Paredes

- Forças

Para efeitos de cálculo, o módulo intermédio foi dividido em 3 secções cuja armadura varia. O cálculo destas secções é apresentado a seguir.

- Paredes (secção superior)

Em seguida, é apresentado um resumo das forças obtidas para o módulo intermédio a partir do modelo 3D.

Lajes de cobertura - Resultados SAP ULS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
480.77	112.00	-110.09	61.21	-11.72	-29.09	65.48
-543.45	-363.36	30.05	-13.66	-7.13	98.58	-66.39
480.77	112.00	65.48	-110.09	-11.72	-29.09	65.48
-28.71	-386.19	24.38	41.05	36.97	86.42	24.38
4.51	19.55	115.85	45.79	-11.64	-19.04	6.30
-39.23	-199.16	-115.85	45.79	-40.38	-99.13	-17.51
24.37	24.30	102.74	102.75	8.65	8.65	17.96
-182.48	-24.28	95.75	-96.41	-42.38	-13.02	13.36
-11.82	-6.06	-5.16	4.57	40.22	0.92	-0.41
-186.35	-186.02	102.74	102.75	-69.05	-69.03	-61.57
-539.45	-364.89	-30.07	-13.65	-7.77	102.25	68.56
415.81	-171.51	111.23	62.42	-37.41	-130.61	-73.16
423.93	-172.21	61.21	61.21	-38.00	-130.46	74.22
415.81	-171.51	62.42	62.42	-37.41	-130.61	-73.16

Tabela 21.- Resultados SAP2000

Forças axiais F11 e F22

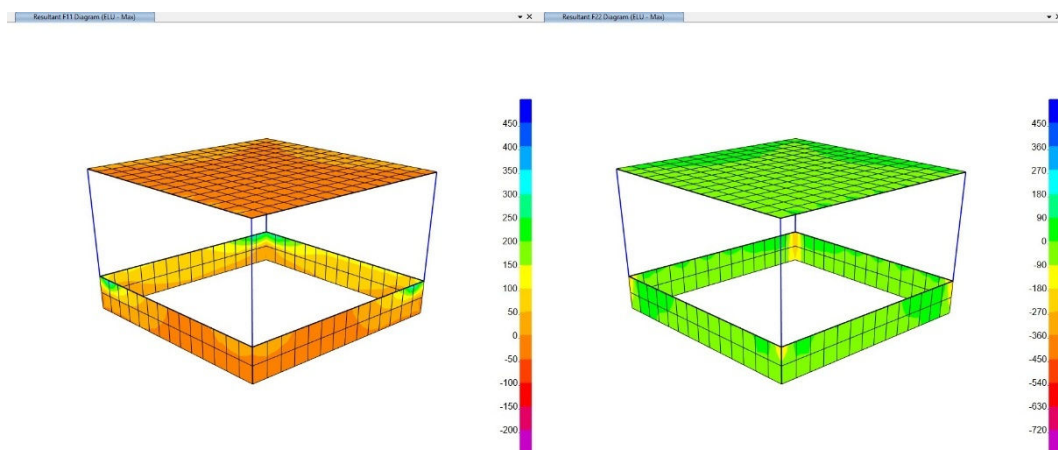


Ilustração 19.- F11 e F22

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		07/05/2025	02.0	46 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Momentos M11 e M22

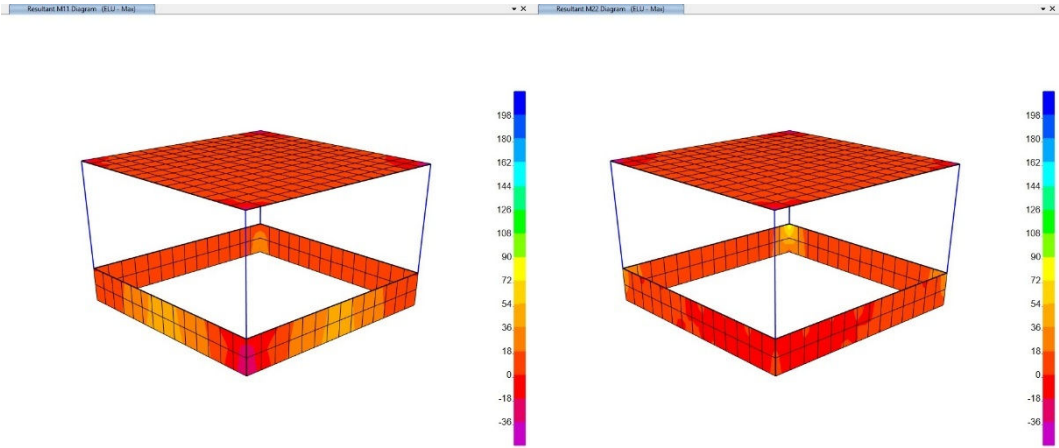


Ilustração 20.- M11 e M22

Forças de cisalhamento V13 e V23

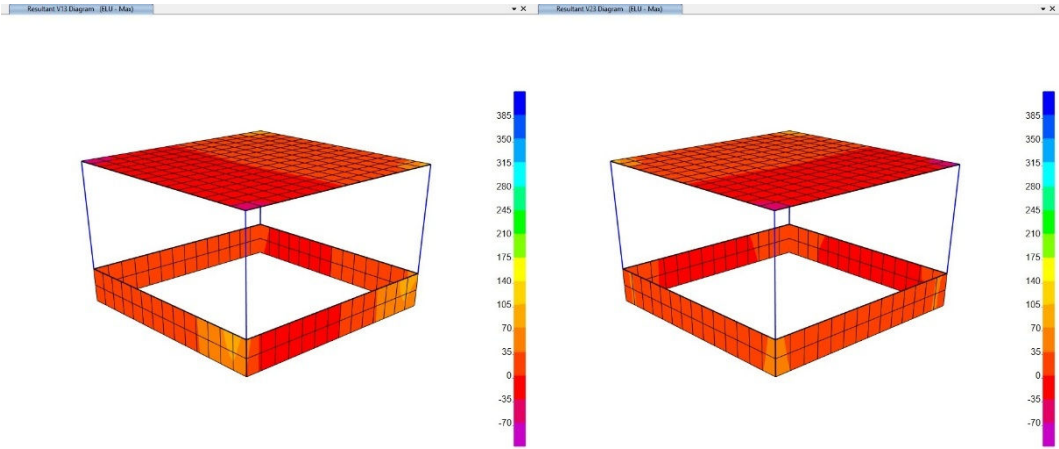


Ilustração 21.- V13 e V23

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 47 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

- Paredes (Secção intermédia)

Em seguida, é apresentado um resumo das forças obtidas para o módulo intermédio a partir do modelo 3D.

Secção intermédia - Resultados SAP ULS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
11.60	-38.90	-0.03	-3.46	2.21	3.05	-0.01
-71.46	-66.82	1.94	3.81	2.79	-0.04	0.90
-36.57	71.89	-1.71	-17.12	-0.02	-1.69	-1.71
-7.12	-244.53	1.81	-8.76	-4.20	-1.72	1.81
-7.03	-27.26	41.45	1.77	-4.64	0.60	2.76
-6.60	-25.08	-41.45	1.77	-14.75	-2.31	-2.61
-25.31	25.55	25.13	10.29	-8.03	0.69	1.17
-10.78	-199.47	13.65	-15.45	-6.49	-6.15	-3.07
-12.05	-16.04	-3.32	5.08	20.32	2.72	0.03
-32.48	-3.13	35.54	4.79	-23.26	-5.13	0.50
-13.83	-28.66	-2.64	-4.55	17.46	7.19	0.10
-30.50	-4.73	34.11	8.11	-23.25	-9.10	-1.22
-21.92	-66.20	-2.17	-2.17	-9.55	-4.86	4.56
-14.43	-0.76	0.83	0.83	-13.63	-4.44	-4.23

Tabela 22.- Resultados SAP2000

Forças axiais F11 e F22

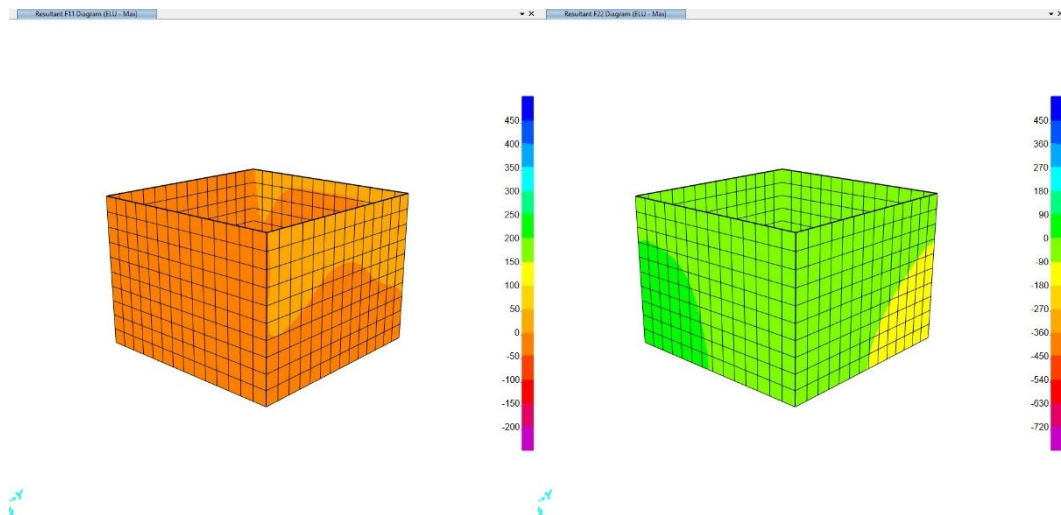


Ilustração 22.- F11 e F22

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	48 de 114
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Momentos M11 e M22

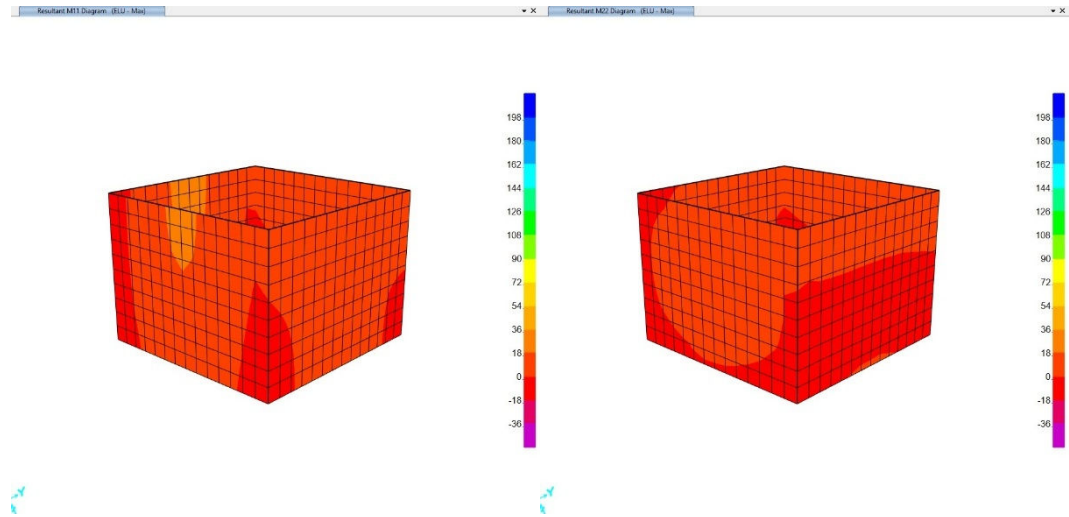


Ilustração 23.- M11 e M22

Forças de cisalhamento V13 e V23

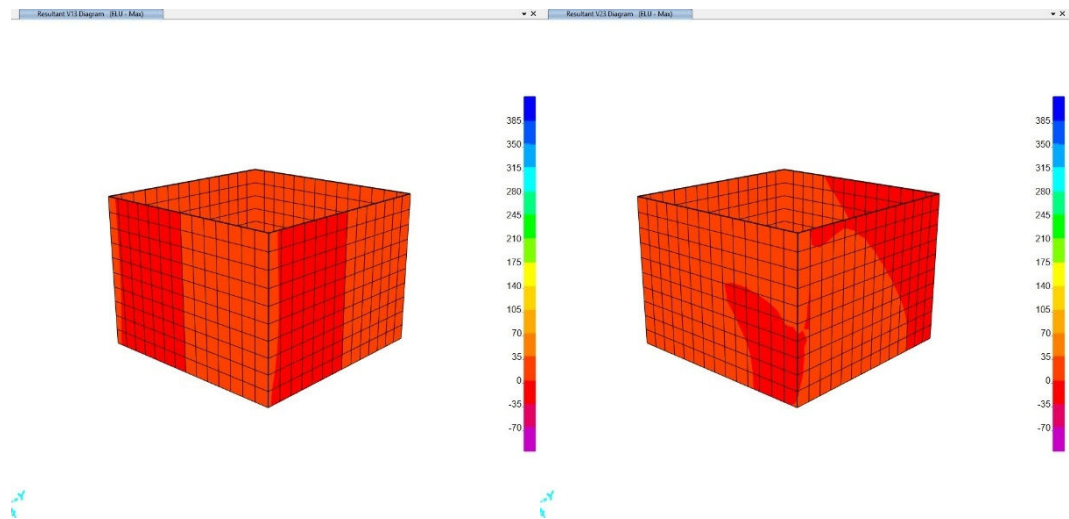


Ilustração 24.- V13 e V23

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 49 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

- Paredes (Secção inferior)

Em seguida, é apresentado um resumo das forças obtidas para o módulo intermédio a partir do modelo 3D.

Secção inferior - Resultados SAP ULS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
245.19	143.82	-4.82	1.05	1.56	0.36	1.71
-508.68	-552.65	-6.36	0.27	4.84	-0.79	2.95
79.25	434.23	-4.62	-1.06	-4.31	-49.57	-4.62
-210.10	-1171.28	10.45	22.42	2.21	75.78	10.45
-69.00	-400.09	72.29	50.16	-1.27	24.12	2.64
-113.95	-722.08	-83.12	57.73	-20.56	27.24	1.21
-167.72	-1162.80	-26.90	162.70	-1.27	119.71	11.35
79.25	434.23	-1.06	-60.11	-4.31	-49.57	-4.62
48.08	7.08	-9.79	2.10	20.50	5.92	-6.14
-77.65	-627.85	-75.91	32.87	-29.48	1.75	3.79
-167.72	-1162.80	-26.90	162.70	-1.27	119.71	11.35
75.40	433.46	-5.87	-54.18	-3.70	-52.70	5.08
-249.03	-300.47	15.93	15.93	7.51	22.23	22.07
6.62	-102.89	19.47	19.47	9.26	24.96	-23.34

Tabela 23.- Resultados SAP2000

Forças axiais F11 e F22

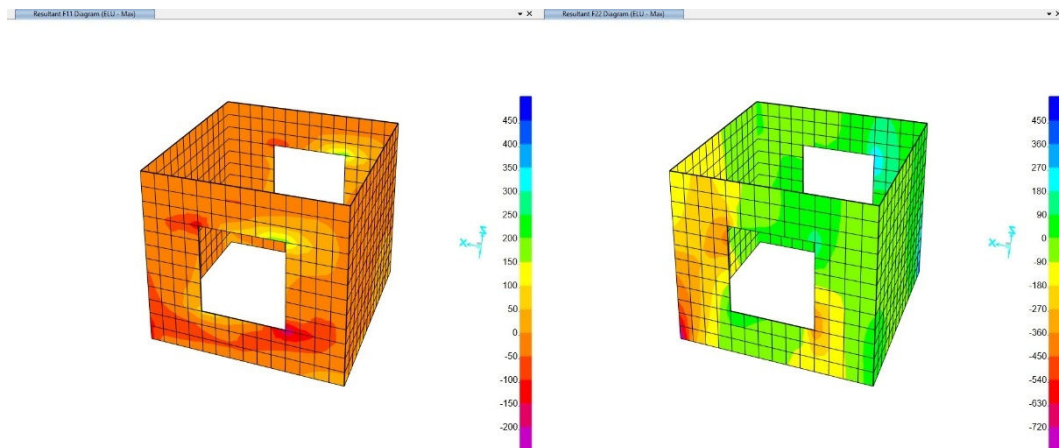


Ilustração 25.- F11 e F22

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		07/05/2025	02.0	50 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Momentos M11 e M22

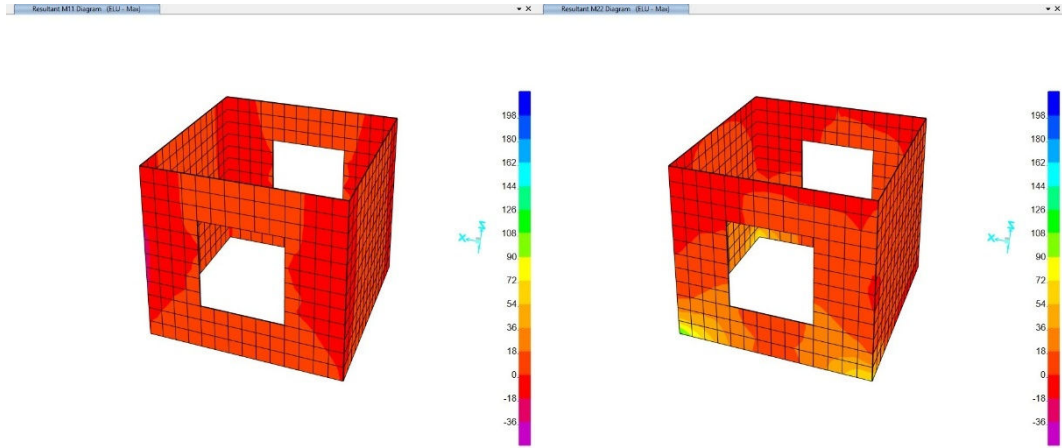


Ilustração 26.- M11 e M22

Forças de cisalhamento V13 e V23

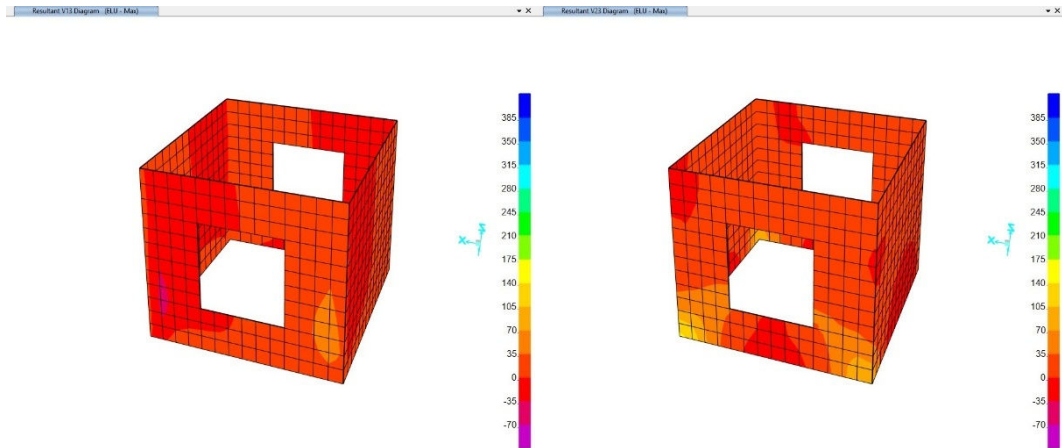


Ilustração 27.- V13 e V23

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 51 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.3.3. Laje de fundo

Laje de fundo - Resultados SAP ULS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
165.47	210.27	289.99	299.90	111.32	112.51	23.75
-208.14	-289.02	-30.27	-30.88	-19.11	-18.93	-7.49
165.47	210.27	23.75	289.99	111.32	112.51	23.75
-208.14	-289.02	-7.49	-30.27	-19.11	-18.93	-7.49
27.28	48.99	569.98	19.16	297.54	187.68	48.34
-106.93	-44.94	-489.18	-52.72	-40.79	-29.80	-33.39
85.90	21.50	16.41	577.82	184.08	295.34	49.58
-40.81	-133.36	-71.87	-493.97	-29.02	-40.85	-37.97
27.28	48.99	569.98	19.16	297.54	187.68	48.34
-42.03	-26.29	-223.69	-40.23	-198.67	-121.40	-35.55
85.90	21.50	16.41	577.82	184.08	295.34	49.58
-39.33	-58.73	-56.75	-227.47	-115.58	-194.09	-35.76
31.93	31.17	442.04	442.04	280.35	281.73	66.53
-192.96	-229.41	-381.62	-381.62	-51.78	-66.73	-57.13

Tabela 24.- Resultados SAP2000

Forças axiais F11 e F22

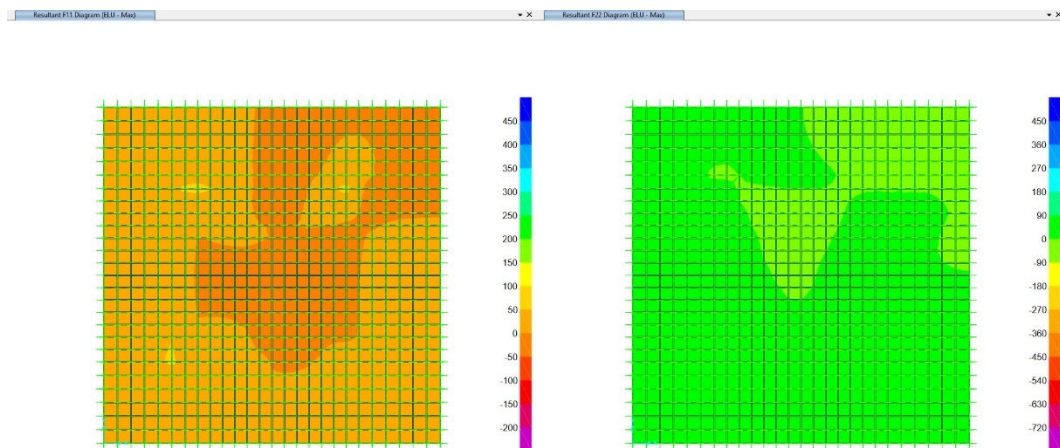


Ilustração 28.- F11 e F22

Cliente		Empreiteiro EPC			
					
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.	
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	52 de 114	
Código AdA		Código ACE			
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002			

Momentos M11 e M22

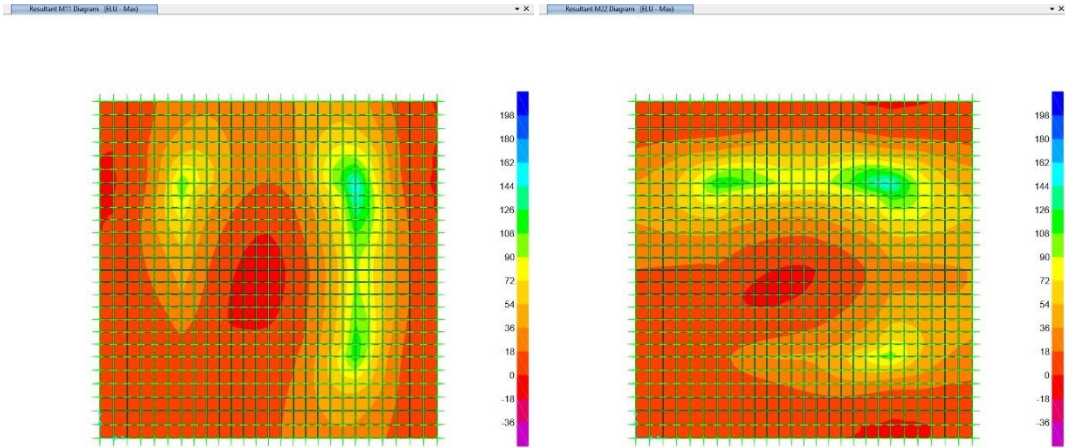


Ilustração 29.- M11 e M22

Forças de cisalhamento V13 e V23

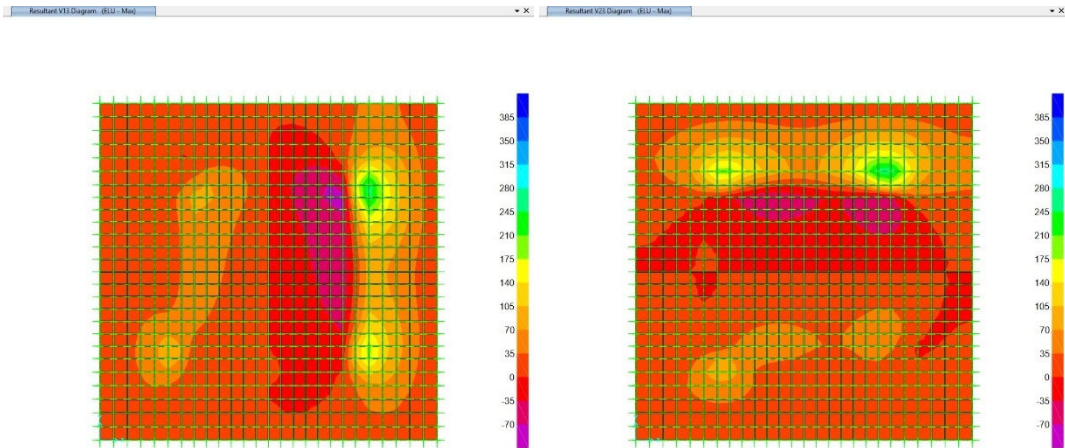


Ilustração 30.- V13 e V23

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 53 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.3.4. Colunas

- Forças

De seguida, é apresentado um resumo das forças obtidas para o módulo da laje inferior a partir do modelo 3D:

Colunas - Resultados SAP ULS					
P	V2	V3	T	M2	M3
-0.34	23.48	24.14	0.24	10.39	10.49
-62.30	-11.91	-11.94	-0.25	-21.31	-21.25
-21.29	48.54	44.31	0.27	52.51	47.52
-39.74	-29.18	-22.98	-0.37	-12.30	-2.25
-21.35	44.28	48.98	0.22	48.11	52.46
-39.74	-22.91	-29.17	-0.13	-2.27	-12.29
-22.58	38.48	28.43	0.39	33.13	46.76
-60.91	-12.89	-28.43	-0.39	-33.13	-22.62
-21.29	48.54	44.31	0.27	52.51	47.52
-58.73	-6.79	-22.98	-0.37	-36.49	-18.72
-21.35	44.28	48.98	0.22	48.11	52.46
-58.73	-22.91	-6.79	-0.13	-18.72	-36.39

Tabela 25.- Resultados SAP2000

- Forças axiais

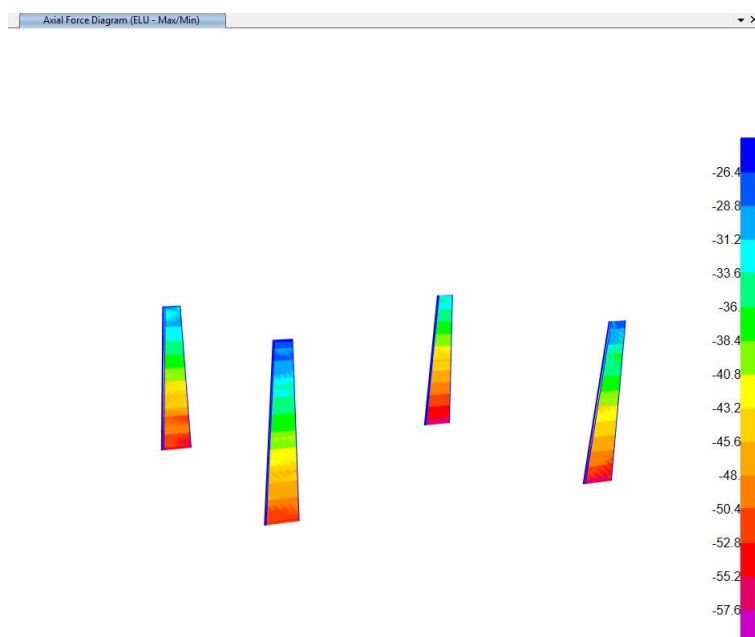


Ilustração 31.- Forças axiais N

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	54 de 114
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

- Momentos M2-2 e M3-3

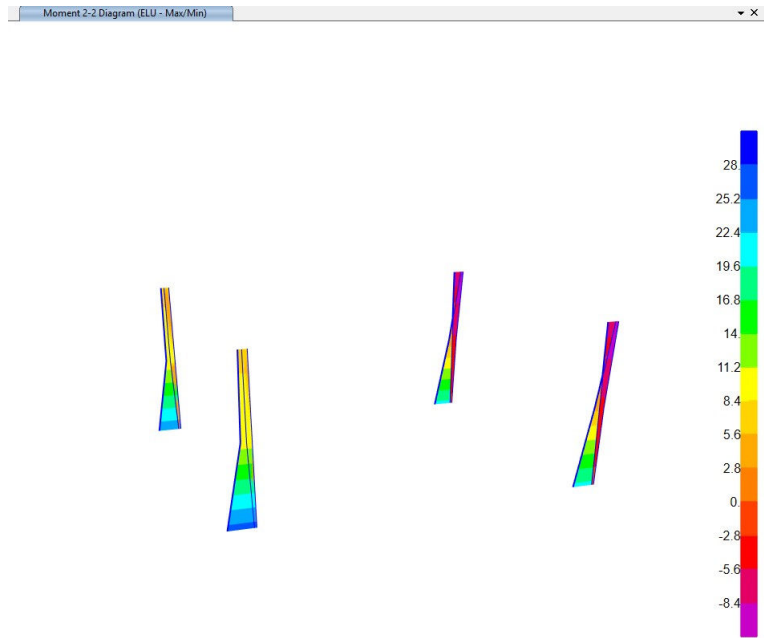


Ilustração 32.- Momentos M2-2

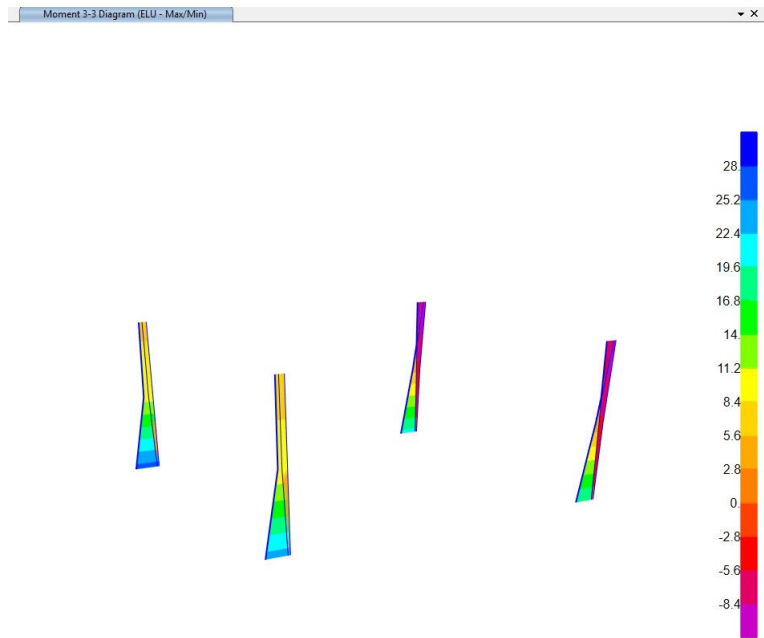


Ilustração 33.- Momentos M3-3

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	55 de 114
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

- Forças de cisalhamento V2-2 e V3-3

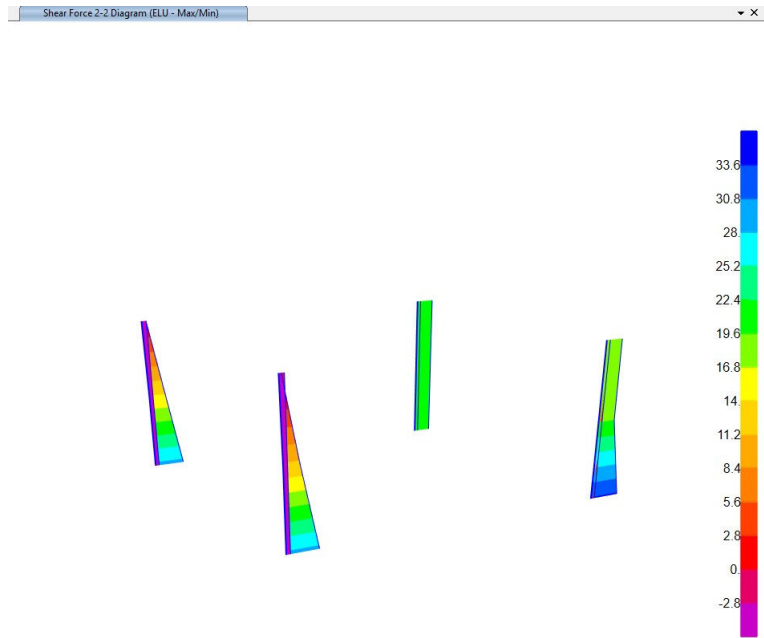


Ilustração 34.- Forças V2-2

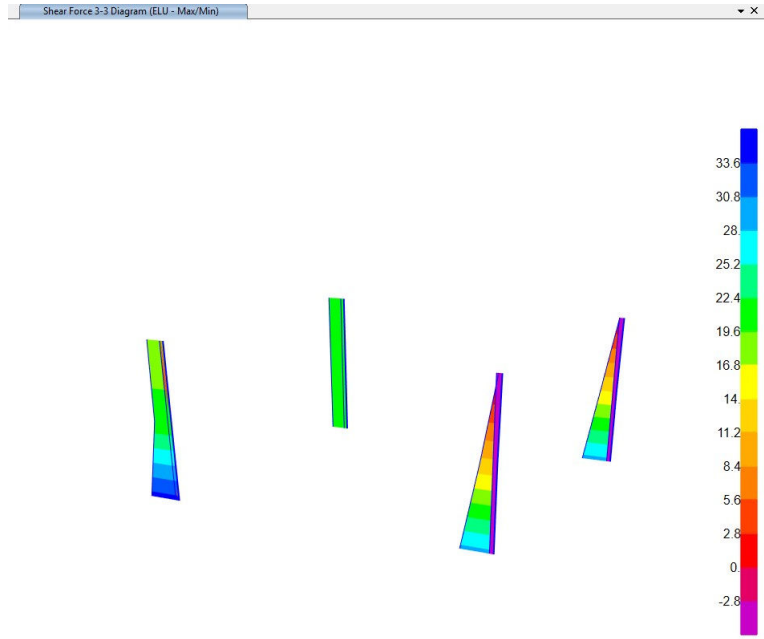


Ilustração 35.- Forças V3-3

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	56 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.4. Resultados SLS

Apresenta-se de seguida um resumo das forças resultantes para cada um dos módulos/ colunas no estado limite de utilização (SLS):

Lajes de cobertura - Resultados SAP ELS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
32.79	13.20	-32.54	8.57	-8.28	-3.93	2.08
-126.74	-126.51	75.22	75.23	-49.84	-49.83	-44.17
13.09	32.89	2.09	8.57	-3.93	-8.28	2.09
-126.74	-126.51	-44.17	75.22	-49.84	-49.83	-44.17
16.57	16.53	75.22	75.23	6.43	6.44	13.05
-16.46	-123.62	-71.01	70.57	-9.65	-30.41	9.94
16.57	16.53	75.22	75.23	6.43	6.44	13.05
-123.68	-16.32	70.57	-71.00	-30.43	-9.64	9.93
-2.28	0.15	-3.69	0.74	8.99	0.53	-0.14
-126.74	-126.51	75.22	75.23	-49.84	-49.83	-44.17
0.13	-2.52	0.73	-3.67	0.53	8.99	-0.14
-126.74	-126.51	75.22	75.23	-49.84	-49.83	-44.17
-18.52	-124.03	70.57	70.57	-39.15	-47.64	37.08
-126.74	-126.51	75.23	75.23	-49.84	-49.83	-44.17

Lajes de cobertura - Resultados SAP ELS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
322.77	75.93	-74.29	42.55	-7.78	-19.69	43.87
-364.29	-262.24	19.14	-7.36	-4.94	65.02	-44.09
322.77	75.93	43.87	-74.29	-7.78	-19.69	43.87
-20.67	-277.37	16.09	26.38	24.48	57.34	16.09
5.73	14.41	78.22	32.37	-7.69	-12.55	4.32
-27.69	-152.68	-78.22	32.37	-27.10	-66.36	-11.84
16.57	16.53	75.22	75.23	6.43	6.44	13.05
-123.68	-16.32	70.57	-71.00	-30.43	-9.64	9.93
-6.43	-4.70	-3.44	3.04	26.85	0.62	-0.28
-126.74	-126.51	75.22	75.23	-49.84	-49.83	-44.17
-361.33	-263.20	-19.06	-7.26	-5.38	67.43	45.55
275.51	-134.28	75.14	43.45	-25.15	-87.81	-48.93
280.63	-134.81	42.55	42.55	-25.52	-87.68	49.64
275.51	-134.28	43.45	43.45	-25.15	-87.81	-48.93

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	57 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Secção intermédia - Resultados SAP ELS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
7.69	-28.03	-0.02	-2.32	1.50	2.02	-0.01
-50.75	-47.51	1.35	2.78	2.07	-0.02	0.60
-25.39	41.63	-1.05	-11.96	-0.09	-1.19	-1.05
-5.76	-169.79	1.28	-6.52	-3.04	-1.25	1.28
-4.80	-22.88	27.78	0.95	-3.21	0.31	1.78
-4.48	-21.23	-27.78	0.95	-9.99	-1.63	-1.71
-17.83	10.39	17.75	6.48	-5.75	0.30	0.67
-8.15	-139.62	10.10	-10.68	-4.72	-4.26	-2.16
-8.08	-12.79	-2.22	3.37	13.57	1.80	0.02
-21.60	-6.64	23.67	2.99	-15.49	-3.37	0.32
-7.56	-53.24	0.84	-7.37	3.93	4.70	1.83
-20.25	-8.06	22.65	5.21	-15.44	-6.00	-0.83
-15.36	-50.31	-1.56	-1.56	-6.66	-3.35	3.15
-10.50	-7.00	0.26	0.26	-9.61	-3.07	-2.87

Secção inferior - Resultados SAP ELS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
154.00	84.17	-3.69	0.70	1.24	0.23	1.25
-348.58	-380.14	-4.72	0.18	3.42	-0.54	2.07
49.56	262.43	-2.83	-1.75	-3.07	-30.45	-2.83
-145.64	-808.37	7.22	15.57	1.26	51.91	7.22
-49.48	-280.99	51.24	35.04	-1.04	16.75	1.82
-80.00	-498.37	-58.46	40.08	-14.64	18.71	0.86
-115.08	-802.26	-18.97	112.28	-1.05	82.41	7.82
49.56	262.43	-1.75	-36.26	-3.07	-30.45	-2.83
29.85	4.35	-6.85	1.25	14.28	4.11	-4.32
-55.47	-433.87	-53.64	22.89	-20.98	1.08	2.64
-115.08	-802.26	-18.97	112.28	-1.05	82.41	7.82
45.83	261.69	-3.29	-33.14	-2.64	-32.96	3.12
-178.00	-211.99	10.92	10.92	5.27	15.50	15.41
-7.57	-80.27	13.28	13.28	6.44	17.32	-16.26

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	58 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Laje de fundo - Resultados SAP ELS						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
67.21	47.37	-100.66	-85.09	93.51	91.40	25.12
-88.11	-128.93	198.69	205.58	130.62	131.40	29.52
45.44	50.18	-13.26	61.03	-38.41	-37.82	-13.26
-88.11	-128.93	29.52	198.69	130.62	131.40	29.52
-48.63	24.20	265.09	-14.26	138.69	88.86	21.76
-22.84	-15.05	-184.29	-19.29	38.29	56.95	-12.27
44.59	-65.74	-26.88	269.38	88.15	138.24	22.52
-7.62	-37.22	-28.58	-185.53	53.54	36.11	-14.41
-48.63	24.20	265.09	-14.26	138.69	88.86	21.76
33.88	-1.51	81.19	-6.81	-39.82	-22.58	-8.97
44.59	-65.74	-26.88	269.38	88.15	138.24	22.52
4.69	42.03	-13.46	80.97	-22.84	-37.95	-10.65
-88.11	-128.93	205.58	205.58	130.62	131.40	29.52
-72.93	-69.32	-145.16	-145.16	97.95	83.60	-20.13

Colunas - Resultados SAP ELS					
P	V2	V3	T	M2	M3
-19.51	-2.20	-1.56	0.00	4.08	4.20
-43.14	13.77	13.76	0.00	13.42	13.44
-40.46	22.86	18.61	0.03	17.78	12.82
-20.58	-3.50	2.72	-0.12	-5.98	4.05
-40.52	18.60	23.28	-0.03	13.39	17.76
-20.57	2.77	-3.47	0.12	4.04	-5.99
-41.74	12.80	2.73	0.14	-1.59	12.07
-41.74	12.80	-2.73	-0.14	1.59	12.07
-40.46	22.86	18.61	0.03	17.78	12.82
-24.15	13.77	13.76	0.00	-7.91	-7.91
-40.52	18.60	23.28	-0.03	13.39	17.76
-24.15	13.77	13.76	0.00	-7.91	-7.91

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 59 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.5. Verificação ULS

6.8.5.1. Lajes de cobertura

Propõe-se o seguinte reforço:

LAJES DE COBERTURA		
Reforço longo. (face superior)	Reforço trans. (face inferior)	Reforço de cisalhamento
Ø16/150	Ø16/150	-

Tabela 26.- Reforço do módulo superior - ULS

Com base nesta armadura e considerando as forças descritas na secção 6.8.3.1, a verificação da unidade é $UC=0,36 < 1$, portanto OK.

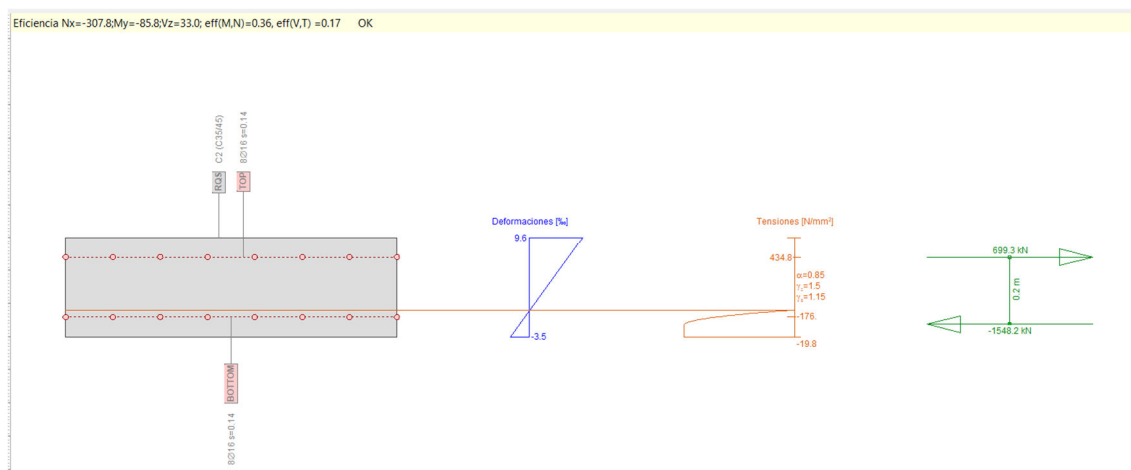


Ilustração 36.- Ensaio de flexão

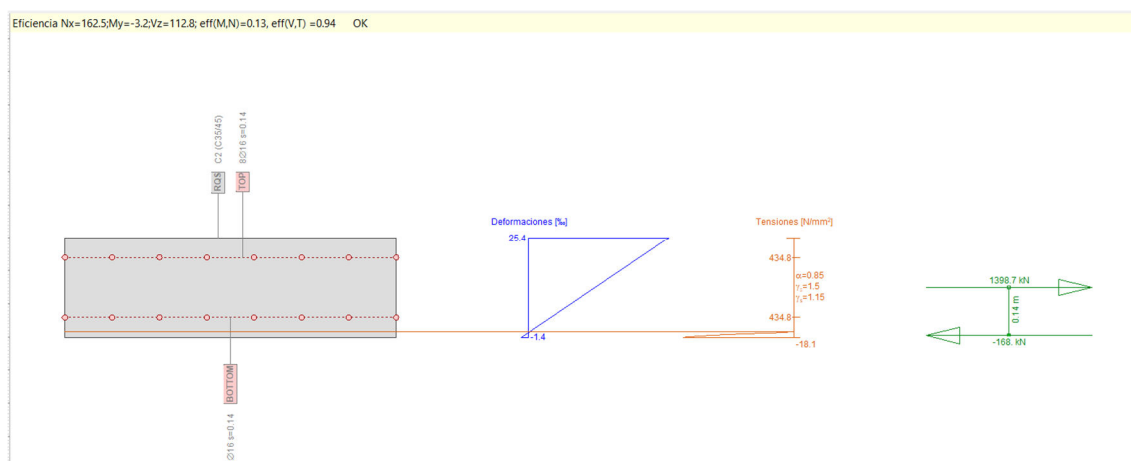
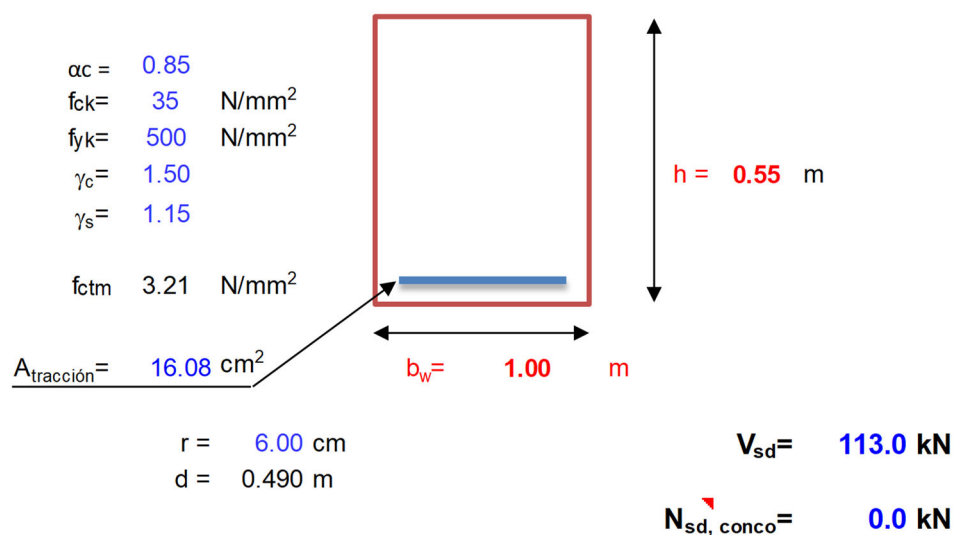


Ilustração 37.- Ensaio de cisalhamento

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 60 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

A capacidade de corte da secção é verificada $V_{yd}=112.8 \text{ kN} < V_u= 304.10 \text{ kN}$ e, por isso, não é necessária uma armadura de corte.



$$V_{u2} = \text{MÁX} \begin{cases} 217.45 \text{ kN} \\ 304.10 \text{ kN} \end{cases} \longrightarrow V_{u2} = 304.10 \text{ kN} \quad \text{art. 6.2.}$$

$$V_{u2} > V_{sd}$$

NO SE NECESITA ARMADURA DE CORTANTE

Armadura Mín. Montaje: 21,24 cm²/m

$$A_{\alpha 90d} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Instrucción: EC-2

Também é realizada a verificação da abertura de fissura, obtendo um valor de fissura de 0,02 mm.

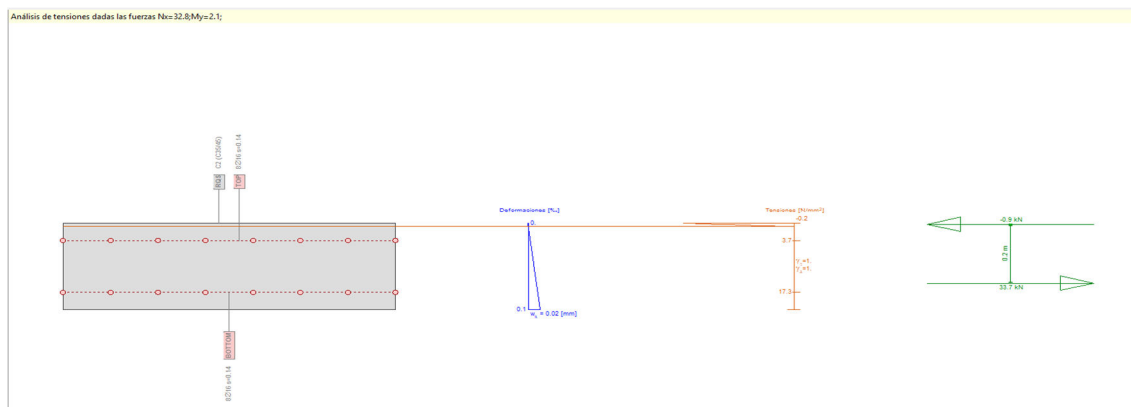
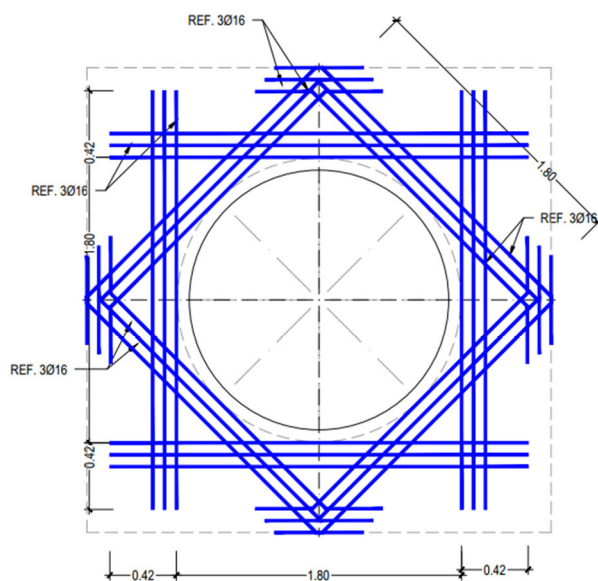


Ilustração 38.- Ensaio de fissura

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 61 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Será colocado um reforço na seção onde a tampa será instalada, conforme indicado na imagem a seguir:



DETALHE 10: Reforço adicional (Superior e Inferior)
 ESCALA: 1/25

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 62 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.5.2. Paredes

6.8.5.2.1. Secção superior

Propõe-se o seguinte reforço:

PAREDES (SECÇÃO SUPERIOR)			
Secção	Reforço vertical (face interior e exterior)	Reforço horizontal (face interior e exterior)	Reforço de cisalhamento
Viga 0,70 m	Ø20/100	Ø20/100	-
Muro 0,55 m	Ø16/150	Ø16/150	-

Tabela 27.- Paredes (Secção superior) Reforço - ULS

Com base nesta armadura e considerando as forças descritas na secção 6.8.3.2, a verificação da unidade para a armadura é $UC=0,23 < 1$, portanto OK.

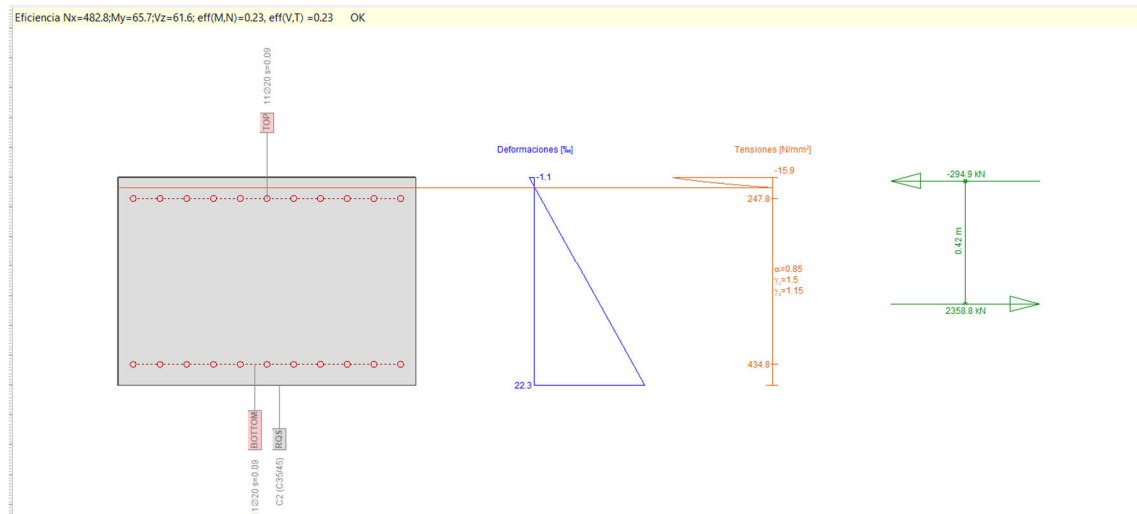


Ilustração 39.- Ensaio de flexão

O reforço obtido no ULS é o prevalecente.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 63 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

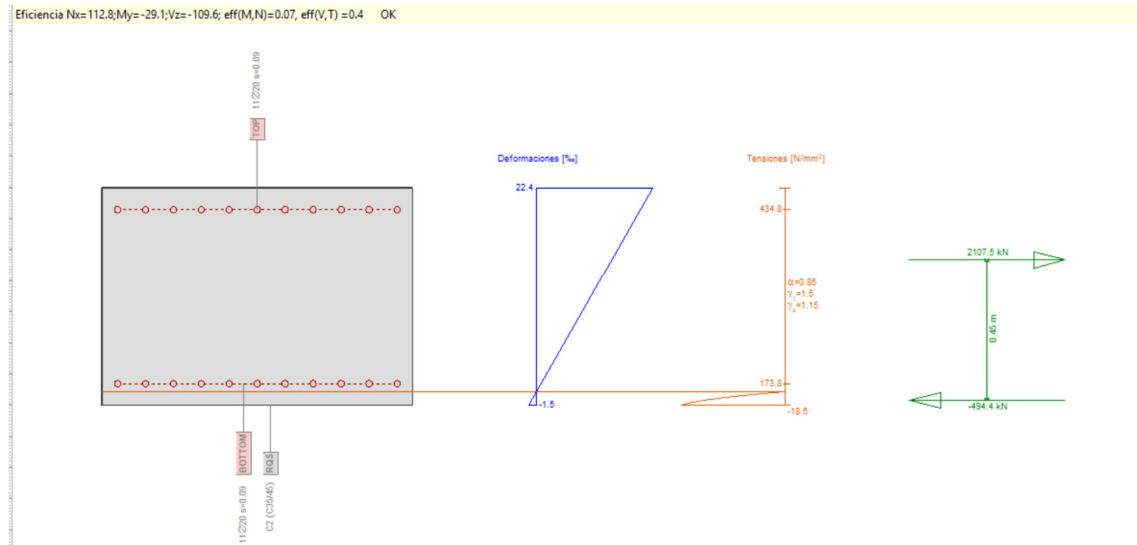
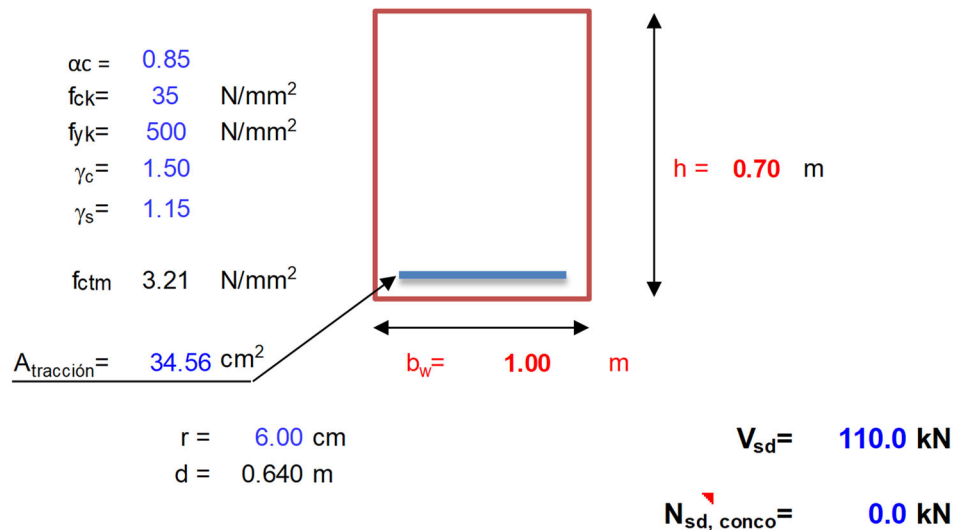


Ilustração 40.- Ensaio de cisalhamento

A capacidade de corte da secção é verificada $V_d=109.6 \text{ kN} > V_u= 368.5 \text{ kN}$ e, por conseguinte, não é necessária qualquer armadura de corte.



Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		07/05/2025	02.0	64 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

$$V_{u2} = \text{MÁX} \begin{cases} 318.93 & \text{kN} \\ 368.52 & \text{kN} \end{cases} \longrightarrow V_{u2} = 368.52 \text{ kN} \quad \text{art. 6.2.}$$

$$V_{u2} > V_{sd}$$

NO SE NECESITA ARMADURA DE CORTANTE

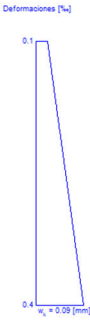
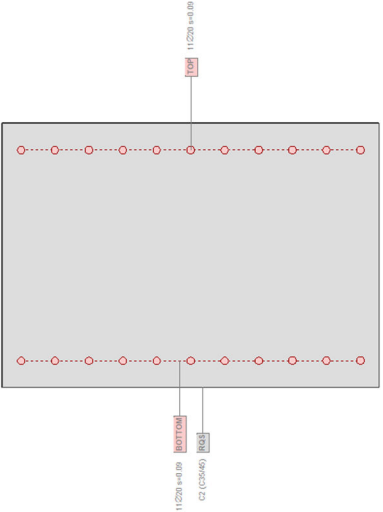
Armadura Mín. Montaje: 21,24 cm²/m

$$A_{\alpha 90d} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Instrucción: EC-2

Também é realizada a verificação da abertura de fissura, obtendo um valor de fissura de 0,09 mm.

Análisis de tensiones dadas las fuerzas Nx=324.2; My=44.1; Vz=42.8;



Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 65 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Com base nesta armadura e considerando as forças descritas na secção 6.8.3.2, a verificação da unidade para a armadura é $UC=0,46 < 1$, portanto OK.

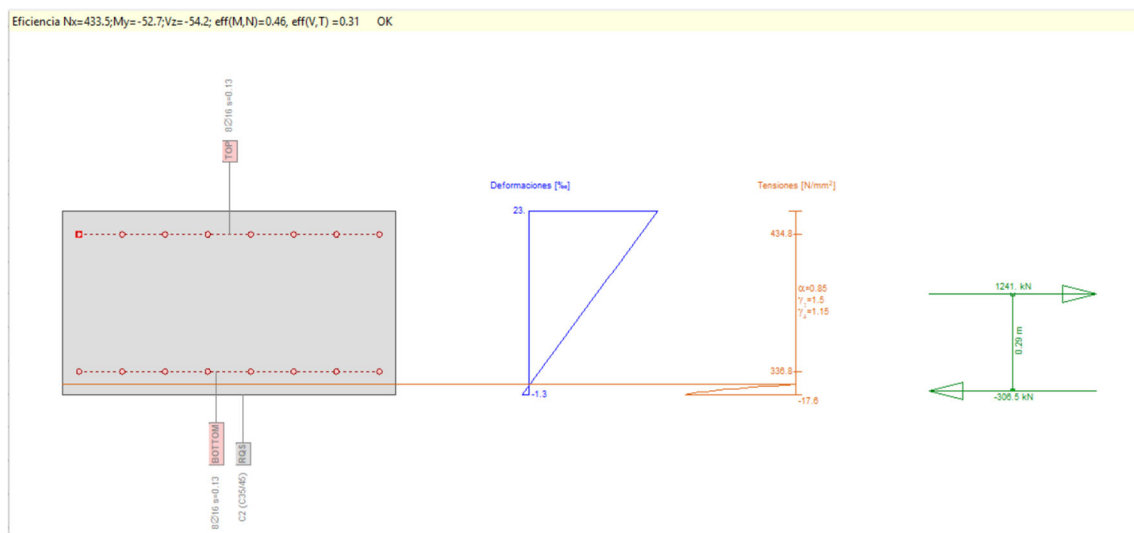


Ilustração 41.- Ensaio de flexão

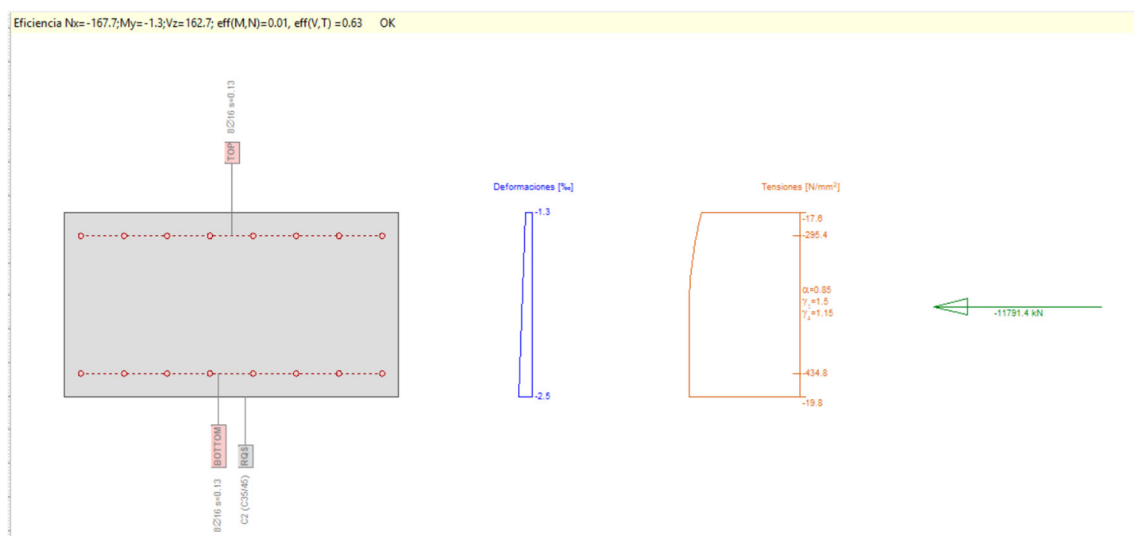
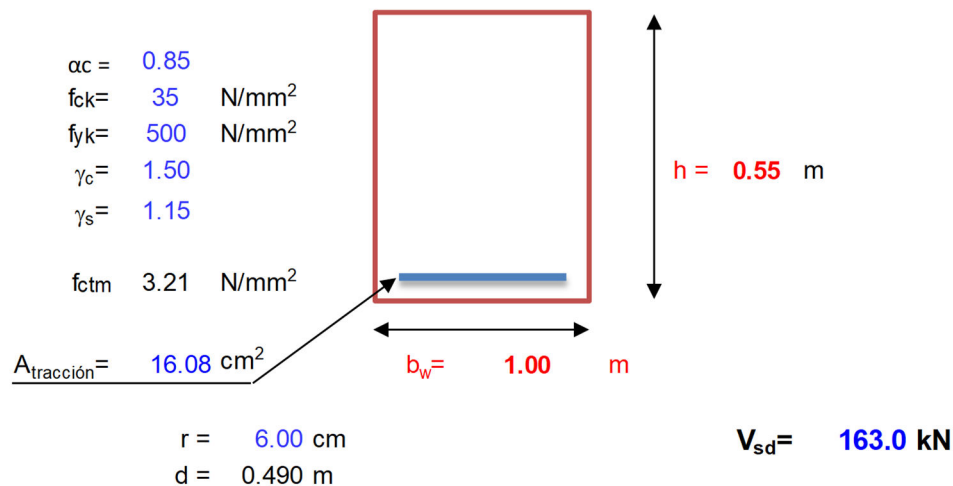


Ilustração 42.- Ensaio de cisalhamento

A capacidade de corte da secção é verificada $V_d=109.6 \text{ kN} < V_u= 304.1 \text{ kN}$ e, por conseguinte, não é necessária qualquer armadura de corte.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 66 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		



$$V_{u2} = \text{MÁX} \begin{cases} 217.45 \text{ kN} \\ 304.10 \text{ kN} \end{cases} \longrightarrow V_{u2} = 304.10 \text{ kN} \quad \text{art. 6.2.}$$

$$V_{u2} > V_{sd}$$

NO SE NECESITA ARMADURA DE CORTANTE

Armadura Mín. Montaje: 21,24 cm²/m

$$A_{\alpha 90d} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Instrucción: EC-2

Também é realizada a verificação da abertura de fissura, obtendo um valor de fissura de 0,25 mm.

Análisis de tensiones dadas las fuerzas N=322.8; My=43.9; Vz=42.6;

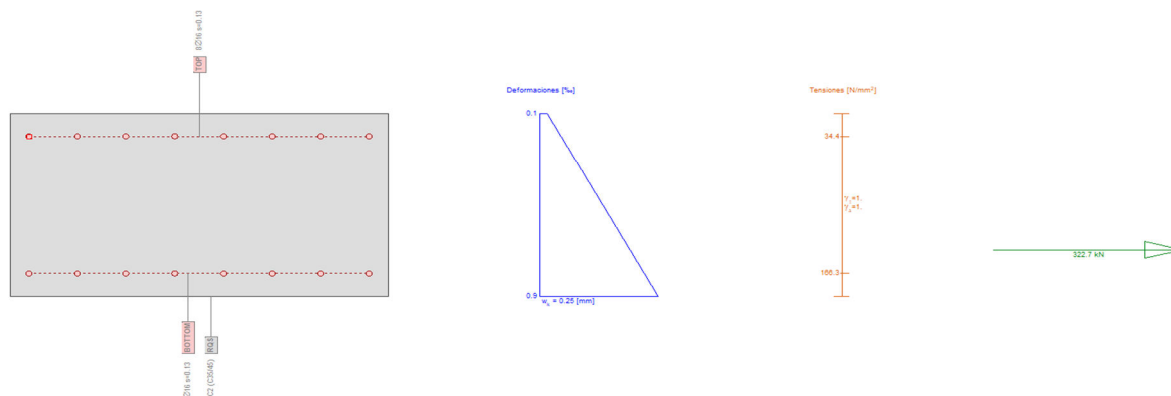


Ilustração 43.- Ensaio de fissura

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 67 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.5.2.2. Secção intermédia

Propõe-se o seguinte reforço:

PAREDES (SECÇÃO INTERMÉDIA)		
Reforço vertical (face interior e exterior)	Reforço horizontal (face interior e exterior)	Reforço de cisalhamento
Ø16/150	Ø16/150	-

Tabela 28.- Paredes (Secção intermédia) Reforço - ULS

Com base nesta armadura e considerando as forças descritas na secção 6.8.3.2, a verificação da unidade para a armadura é $UC=0,06 < 1$, portanto OK.

Eficiencia Nx=71.9;My=-1.7;Vz=-17.1; eff(M,N)=0.06, eff(V,T)=0.1 OK

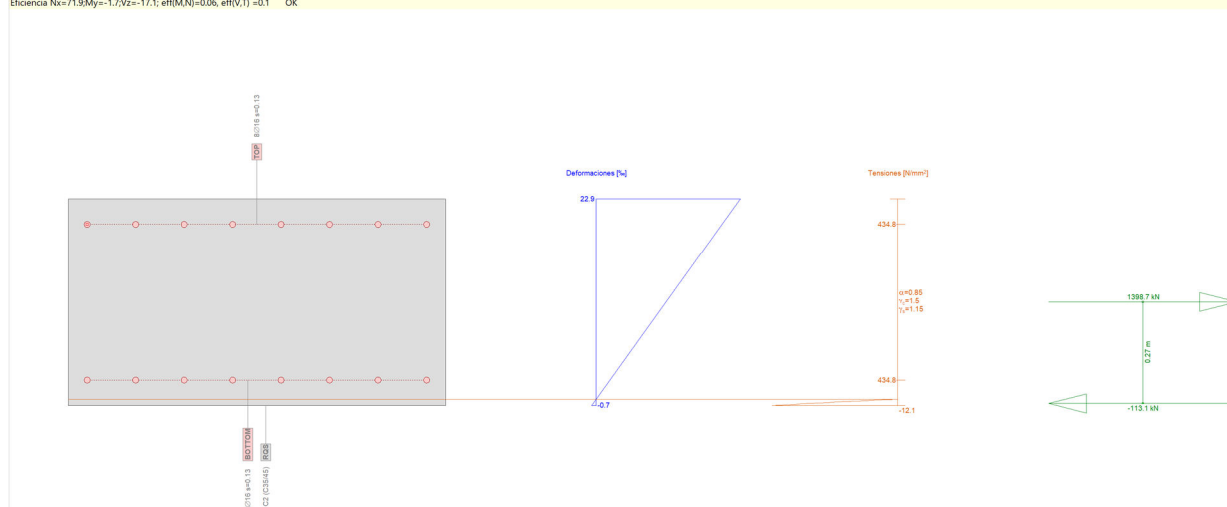
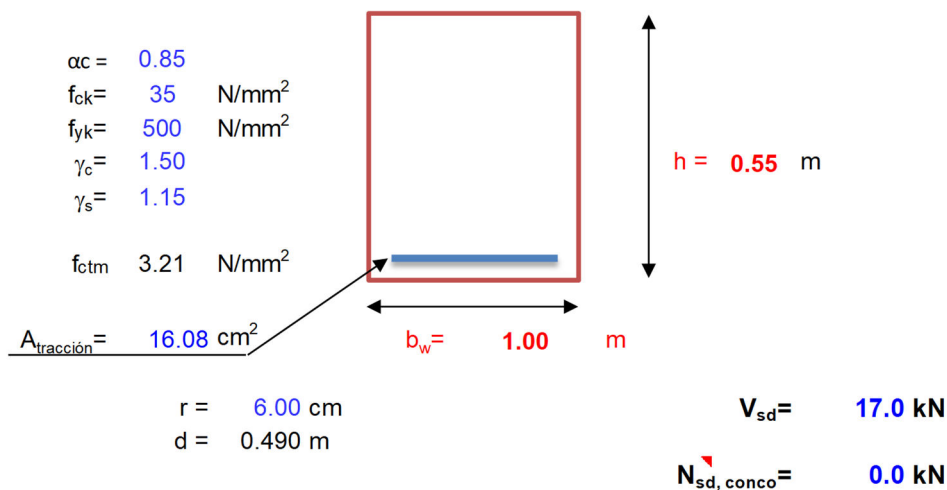


Ilustração 44.- Ensaio de flexão e cisalhamento

A capacidade de corte da secção é verificada $V_d=17 \text{ kN} < V_u= 304.1 \text{ kN}$ e, por conseguinte, não é necessária qualquer armadura de corte.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 68 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		



$$V_{u2} = \text{MÁX.} \begin{cases} 217.45 & \text{kN} \\ 304.10 & \text{kN} \end{cases} \longrightarrow V_{u2} = 304.10 \text{ kN} \quad \text{art. 6.2.}$$

$V_{u2} > V_{sd}$

NO SE NECESITA ARMADURA DE CORTANTE

Armadura Mín. Montaje: 21,24 cm²/m

$A_{\alpha 90d} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$

Instrucción: EC-2

Também é realizada a verificação da abertura de fissura, obtendo um valor de fissura de 0,02 mm.

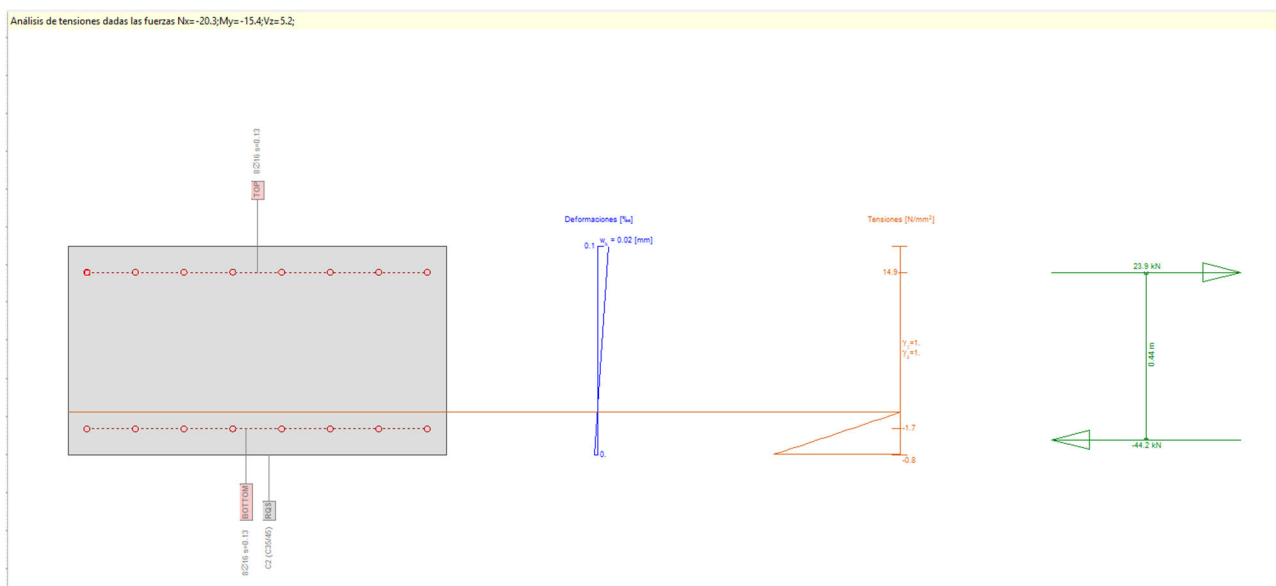


Ilustração 45.- Ensaio de fissura

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 69 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.5.2.3. Secção inferior

Propõe-se o seguinte reforço:

PAREDES (SECÇÃO INFERIOR)		
Reforço vertical (face interior e exterior)	Reforço horizontal (face interior e exterior)	Reforço de cisalhamento
Ø16/150	Ø16/150	-

Tabela 29.- Paredes (Secção inferior) Reforço - ULS

Com base nesta armadura e considerando as forças descritas na secção 6.8.3.2, a verificação da unidade para a armadura é $UC=0,06<1$, portanto OK.

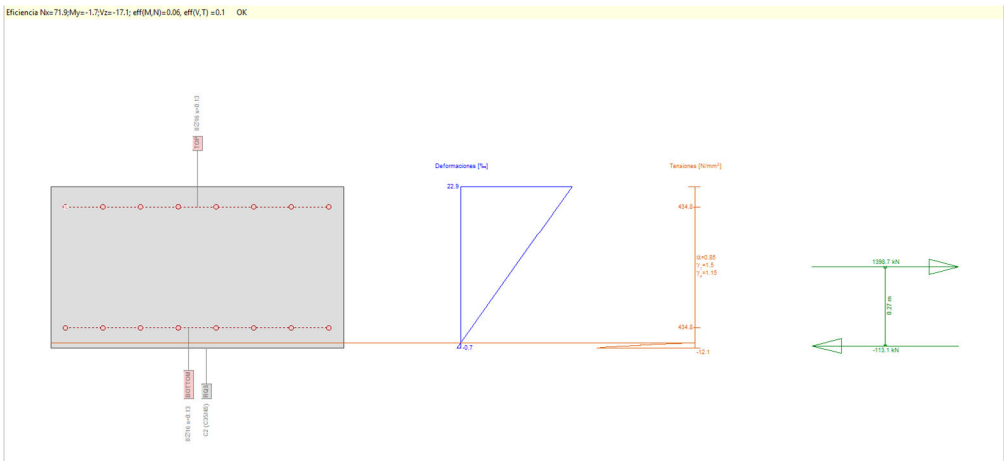


Ilustração 46.- Ensaio de flexão

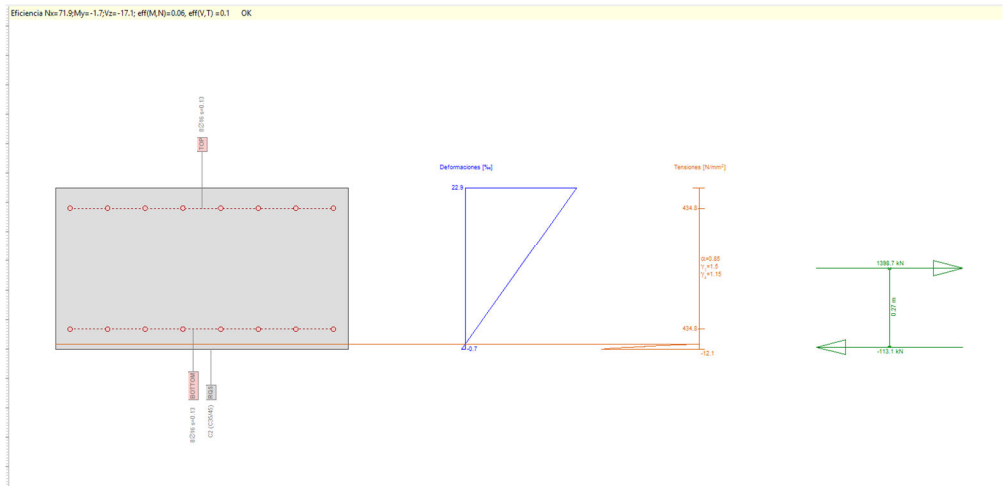
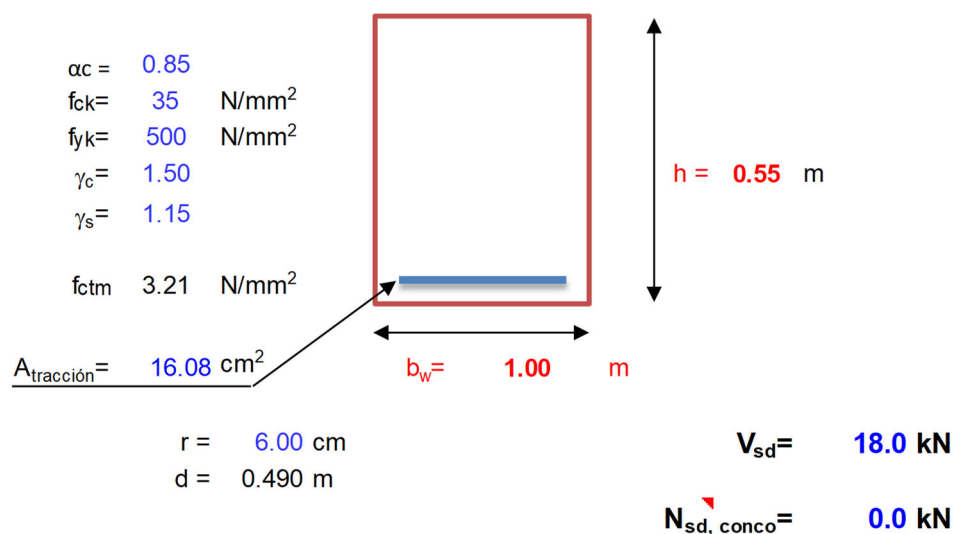


Ilustração 47.- Ensaio de cisalhamento

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 70 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

A capacidade de corte da secção é verificada $V_d = 17.1 \text{ kN} < V_u = 304.1 \text{ kN}$ e, por conseguinte, não é necessária qualquer armadura de corte.



$$V_{u2} = \text{MÁX} \begin{cases} 217.45 \text{ kN} \\ 304.10 \text{ kN} \end{cases} \longrightarrow V_{u2} = 304.10 \text{ kN} \quad \text{art. 6.2.}$$

$$V_{u2} > V_{sd}$$

NO SE NECESITA ARMADURA DE CORTANTE

Armadura Mín. Montaje: 21,24 cm²/m

$$A_{\alpha 90d} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Instrucción: EC-2

Também é realizada a verificação da abertura de fissura, obtendo um valor de fissura de 0,2 mm.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 71 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Análisis de tensiones dadas las fuerzas Nx=262.4; My=-30.5; Vz=-1.8;

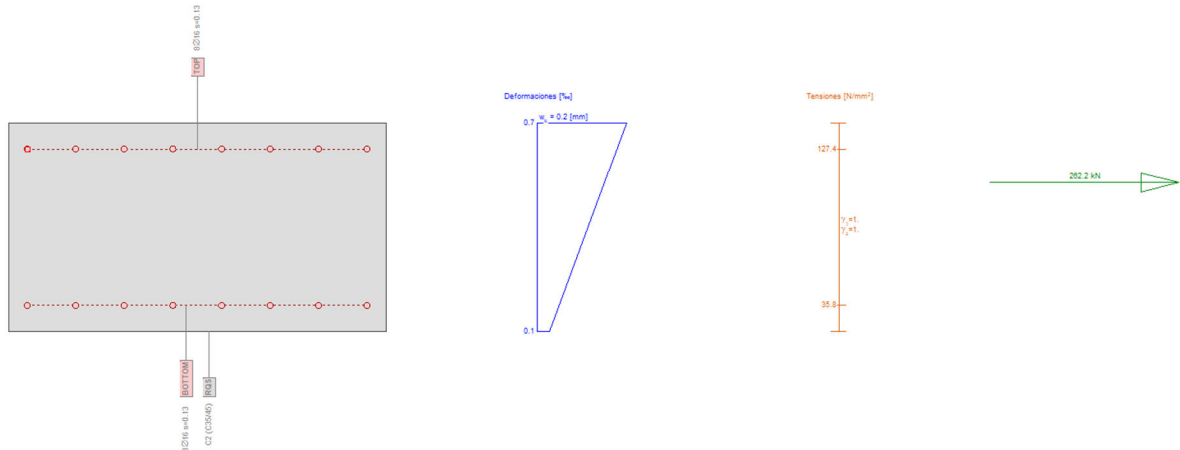


Ilustração 48.- Ensaio de fissura

Será colocado um reforço na área adjacente à seção por onde passa a tubulação, conforme indicado na imagem a seguir:

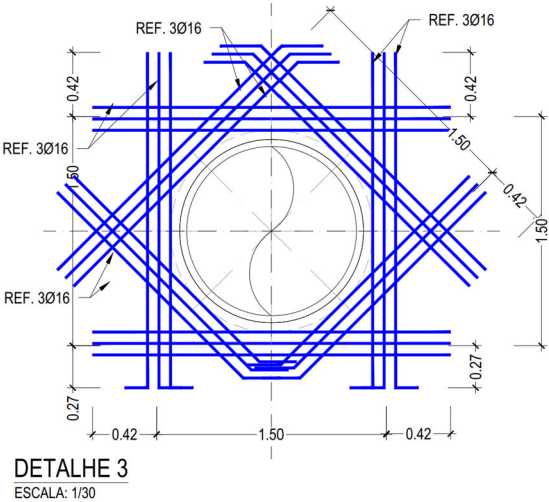


Ilustração 49.- Reforço

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 72 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.5.3. Laje de fundo

Propõe-se o seguinte reforço:

LAJE DE FUNDO		
Reforço longo. (face superior)	Reforço trans. (face inferior)	Reforço de cisalhamento
Ø20/150	Ø20/150	2Φ16/100+7Φ16/300

Tabela 30.- Laje de fundo) Reforço - ULS

Com base nesta armadura e considerando as forças descritas na secção 6.8.3.3, a verificação da unidade para a armadura é $UC=0,53 < 1$, portanto OK.

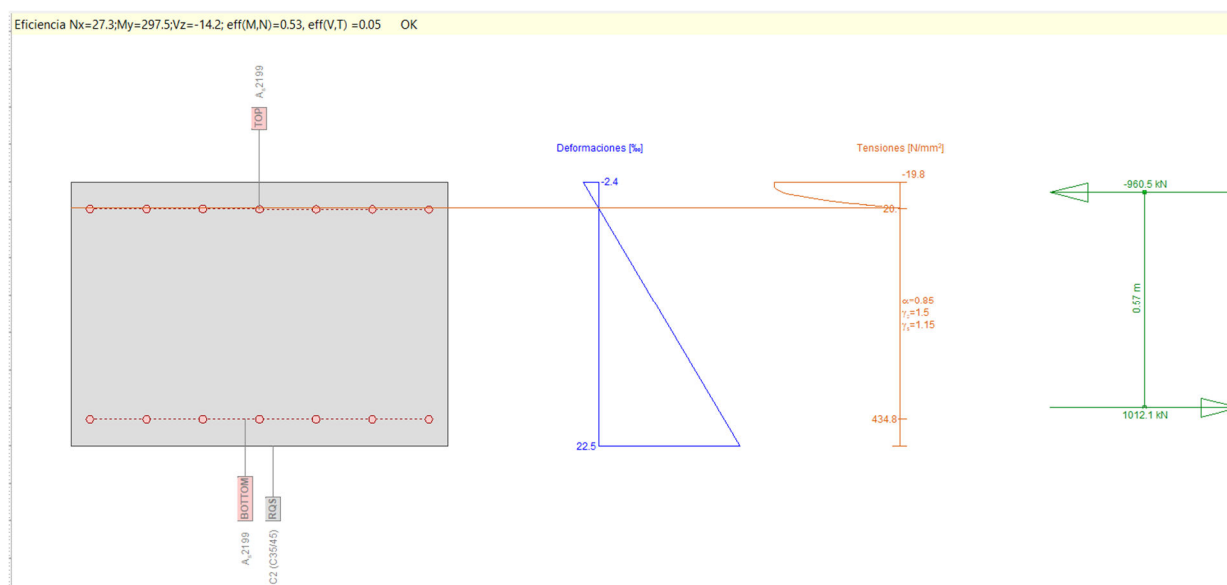


Ilustração 50.- Ensaio de flexão

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 73 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Eficiencia Nx=601.6;My=-5.0;Vz=-457.3; eff(M,N)=0.32, eff(V,T) =2.19 no admisible

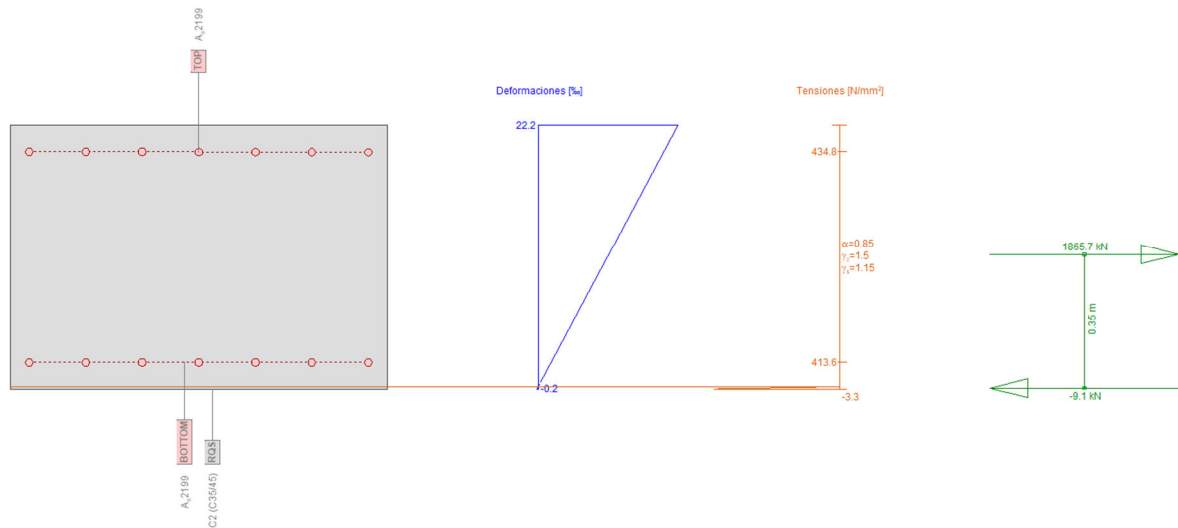
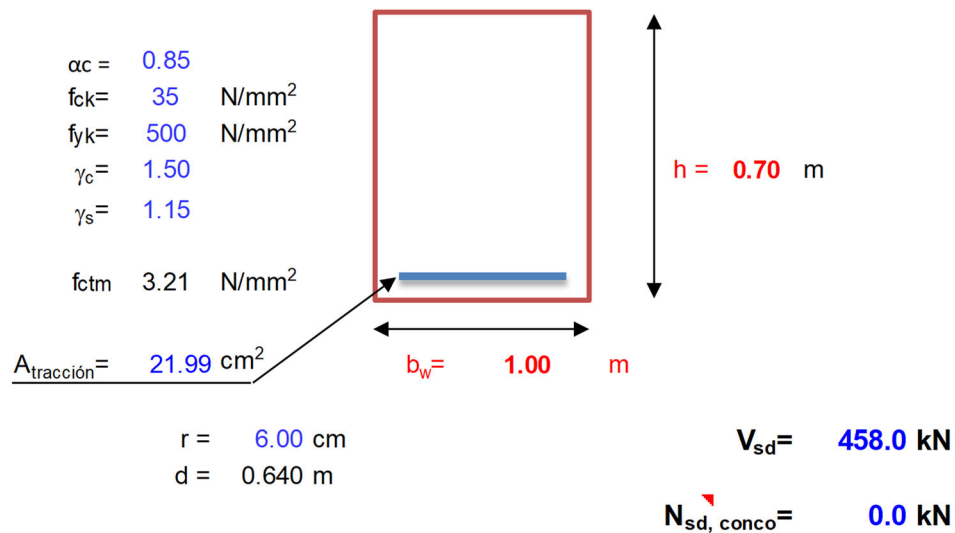


Ilustração 51.- Ensaio de cisalhamento

A capacidade de corte da secção é verificada $V_d=457,3 \text{ kN} > V_u= 368,5 \text{ kN}$ e, portanto, é necessária uma armadura de corte.



Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 74 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

$$V_{u2} = \text{MÁX} \begin{cases} 274.32 & \text{kN} \\ 368.52 & \text{kN} \end{cases} \longrightarrow V_{u2} = 368.52 \text{ kN} \quad \text{art. 6.2.}$$

$$V_{u2} < V_{sd}$$

ARMADURA DE CORTANTE NECESARIA

$$A_{\alpha 90d} = 19.88 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Instrucción: EC-2

Também é realizada a verificação da abertura de fissura, obtendo um valor de fissura de 0,09 mm.

Análisis de tensiones dadas las fuerzas Nx=-88.1;My=130.6;Vz=141.4;

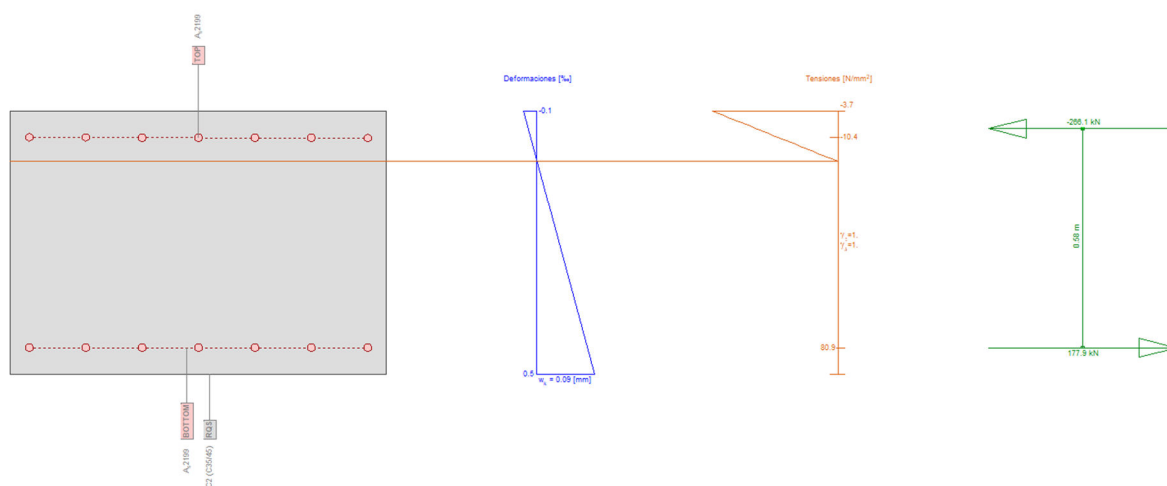


Ilustração 52.- Ensaio de fissura

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 75 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.5.4. Colunas

COLUNAS	
Reforço longitudinal	Reforço de cisalhamento
21Ø16	Ø16/100

Tabela 31.-Colunas Reforço - ULS

Com base nesta armadura e considerando as forças descritas na secção 6.8.3.4, a verificação da unidade para a armadura é $UC=0,53 < 1$, portanto OK.

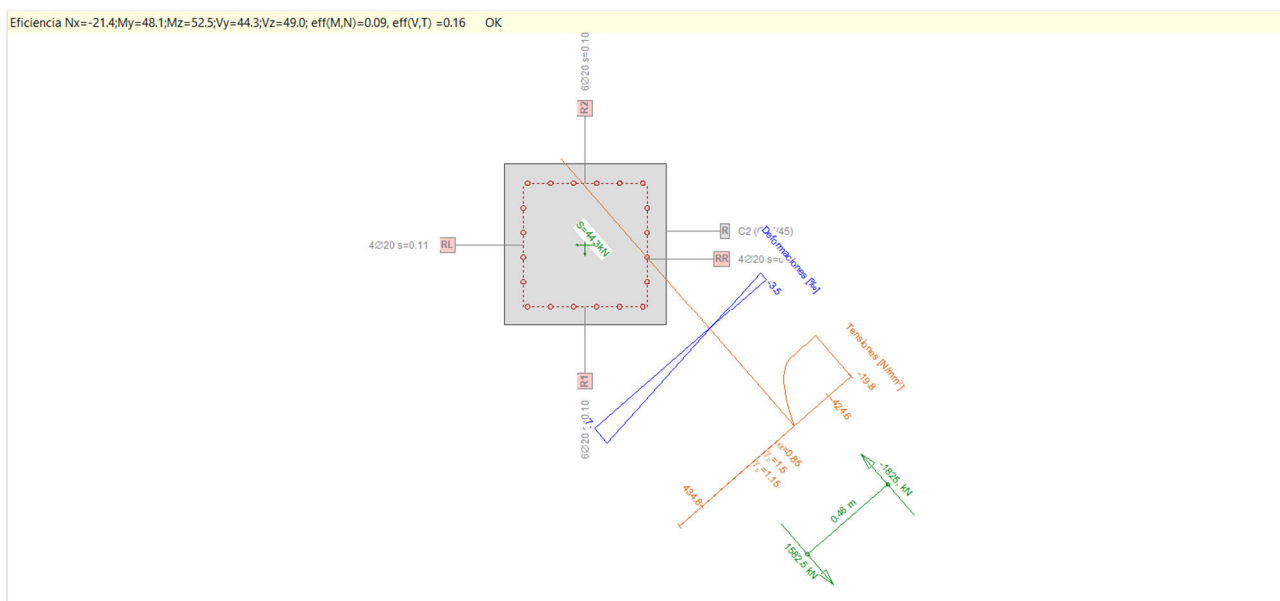


Ilustração 53.- Ensaio de flexão

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 76 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

Também é realizada a verificação da abertura de fissura, obtendo um valor de fissura de 0,03 mm.

Análisis de tensiones dadas las fuerzas $N_x=-40.5; M_y=13.4; M_z=17.8; V_y=18.6; V_z=23.3;$

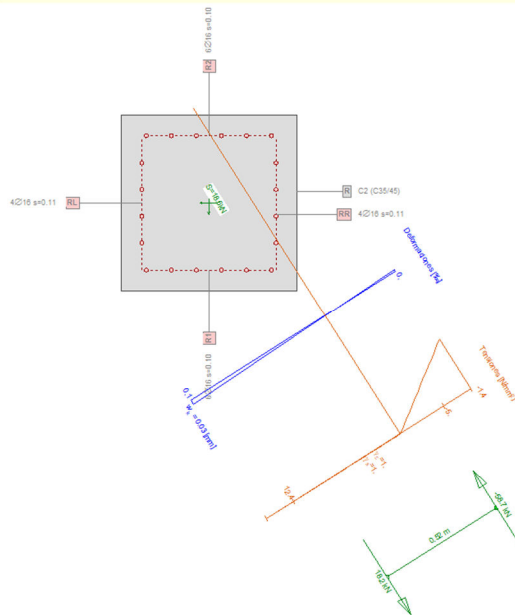


Ilustração 54.- Ensaio de fissura

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 77 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6. Levantamento dos módulos

O levantamento dos módulos foi igualmente analisado.

6.8.6.1. Modelos 3-D

- Módulo 1 (laje de fundo): a elevação deste módulo será efectuada verticalmente, utilizando 8 pontos de elevação. Para as linguas, foi considerado no projeto um ângulo de 60 graus com a horizontal. No entanto, recomenda-se que a elevação dos módulos seja efectuada verticalmente, utilizando uma viga de sustentação ou similar.

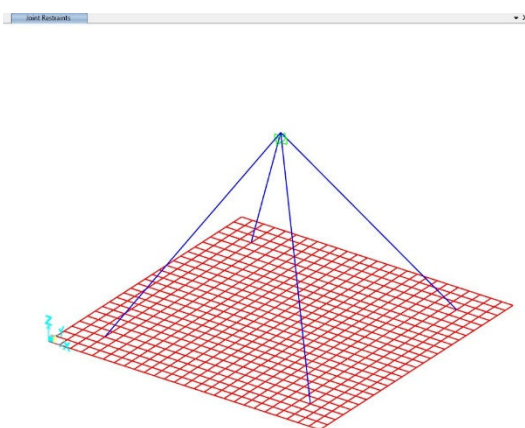


Ilustração 55.- Levantamento do Módulo 1

- Módulo 2 (Secção superior intermédia): a elevação deste módulo será efectuada verticalmente por meio de 8 pontos de elevação:

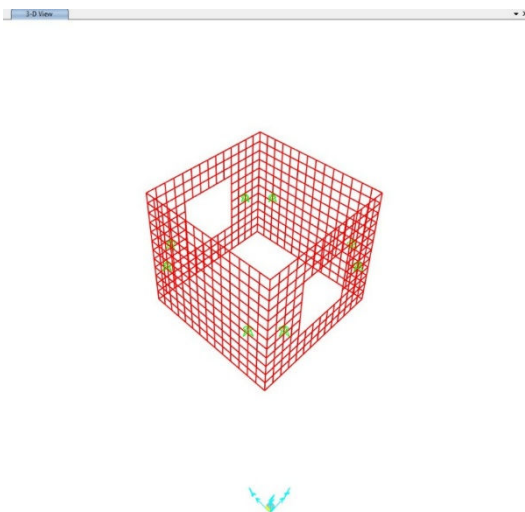


Ilustração 56.- Levantamento do Módulo 2

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 78 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

- Módulo 3: a elevação deste módulo será efectuada verticalmente por meio de 8 pontos de elevação.

3-D View

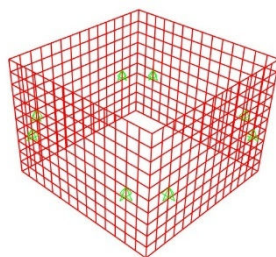


Ilustração 57.- Levantamento do Módulo 3

- Módulo 4: a elevação deste módulo será efectuada verticalmente por meio de 8 pontos de elevação.

3-D View

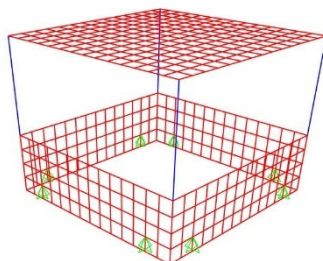


Ilustração 58.- Levantamento do Módulo 4

Cliente		Empreiteiro EPC			
					
Projeto nº.	Projeto		Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve		07/05/2025	02.0	79 de 114
Código AdA			Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002			AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.2. Resultados – Levantamento

6.8.6.2.1. Laje de fundo

De seguida, é apresentado um resumo das forças obtidas para o módulo superior a partir do modelo 3D:

Levantamento da laje						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
752.92	752.92	328.75	328.75	-77.04	-77.04	35.43
-938.07	-938.07	-454.45	-454.45	-207.64	-207.64	-22.80
752.92	752.92	35.43	328.75	-77.04	-77.04	35.43
-938.07	-938.07	-22.80	-454.45	-207.64	-207.64	-22.80
-132.75	-43.13	457.34	333.90	5.01	-10.51	4.82
-3.81	601.58	-457.34	333.90	-115.78	-4.99	43.43
-43.13	-132.75	333.90	457.34	-10.51	5.01	4.82
601.58	-3.81	333.90	-457.34	-4.99	-115.78	43.43
-75.01	-0.87	-9.24	-3.44	142.24	3.92	-0.01
-938.07	-938.07	-454.45	-454.45	-207.64	-207.64	-22.80
-0.87	-75.01	-3.44	-9.24	3.92	142.24	-0.01
-938.07	-938.07	-454.45	-454.45	-207.64	-207.64	-22.80
48.25	-246.60	-237.78	-237.78	-67.88	-43.05	44.04
48.25	-246.60	237.78	237.78	-67.88	-43.05	-44.04

Tabela 32.- Resultados SAP200

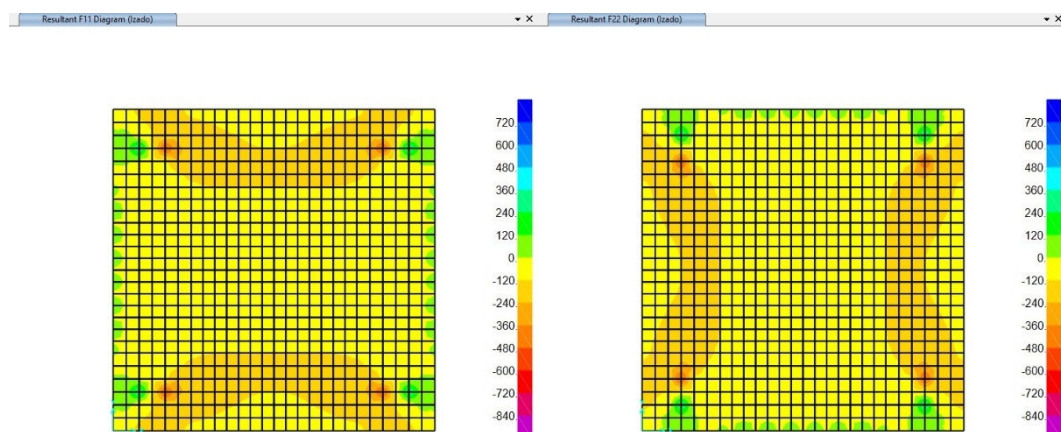


Ilustração 59.- F11 e F22

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		07/05/2025	02.0	80 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

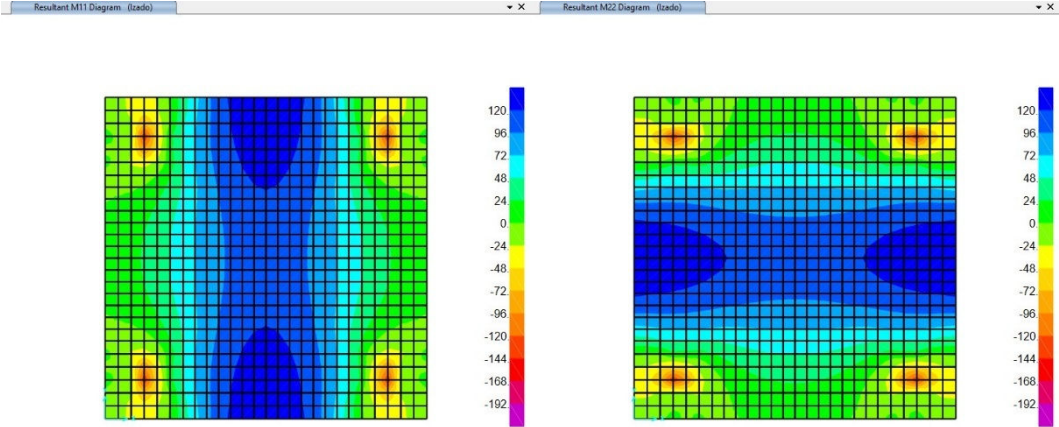


Ilustração 60.- M11 e M22

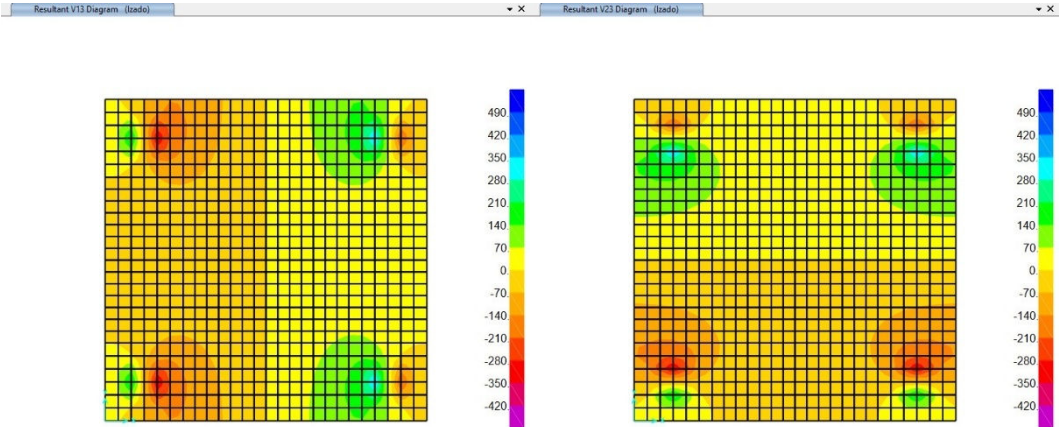


Ilustração 61.- V13 e V23

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 81 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.3. Resultados – Paredes

Para efeitos de cálculo, o módulo intermédio foi dividido em 3 secções cuja armadura varia. O cálculo destas secções é apresentado a seguir.

6.8.6.3.1. Módulo 2

Levantamento do Módulo 2						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
87.96	439.81	1.20	3.05	-0.14	-0.01	-0.46
-87.96	-439.81	-1.20	3.05	0.14	0.01	-0.46
87.96	439.81	-0.46	1.20	-0.14	-0.01	-0.46
-87.96	-439.81	-0.46	-1.20	0.14	0.01	-0.46
-21.11	-16.85	6.42	1.05	1.97	2.26	0.17
-0.19	87.73	-6.42	1.05	0.40	1.53	0.06
24.00	7.92	3.32	7.23	1.17	1.10	-0.14
-2.05	35.10	3.81	-3.76	1.10	1.22	0.06
-21.11	-16.85	6.42	1.05	1.97	2.26	0.17
21.11	16.85	-6.42	1.05	-1.97	-2.26	0.17
-16.01	-15.83	6.17	0.71	1.93	2.37	0.27
16.01	15.83	-6.17	0.71	-1.93	-2.37	0.27
17.74	-23.39	7.23	7.23	0.36	1.38	0.54
17.74	-23.39	7.23	7.23	0.36	1.38	-0.54

Tabela 33.- Resultados SAP2000

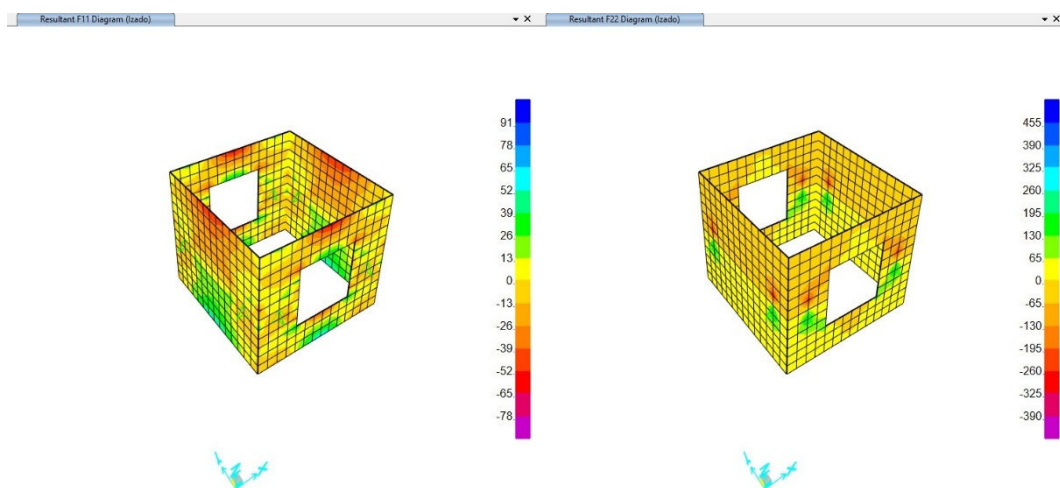


Ilustração 62.- F11 e F22

Cliente		Empreiteiro EPC		
				
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	82 de 114
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

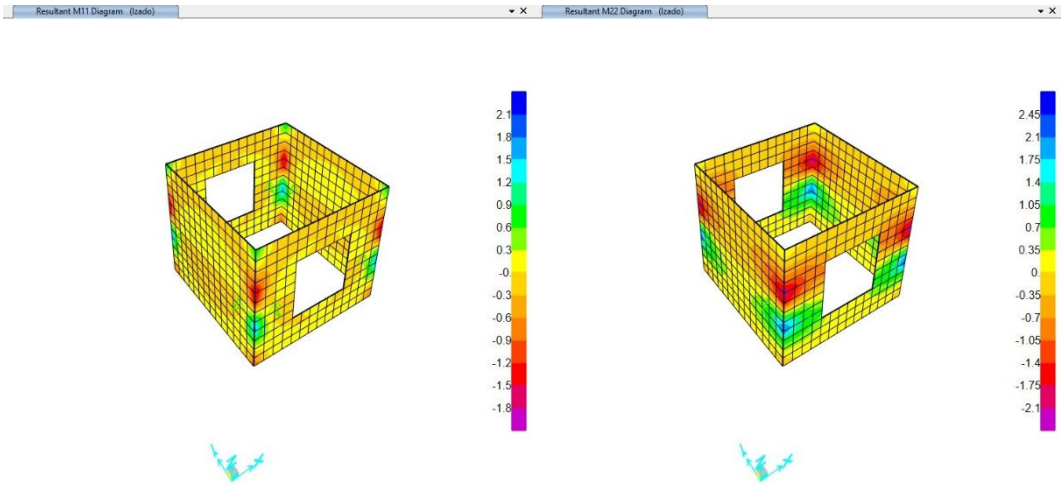


Ilustração 63.- M11 e M22

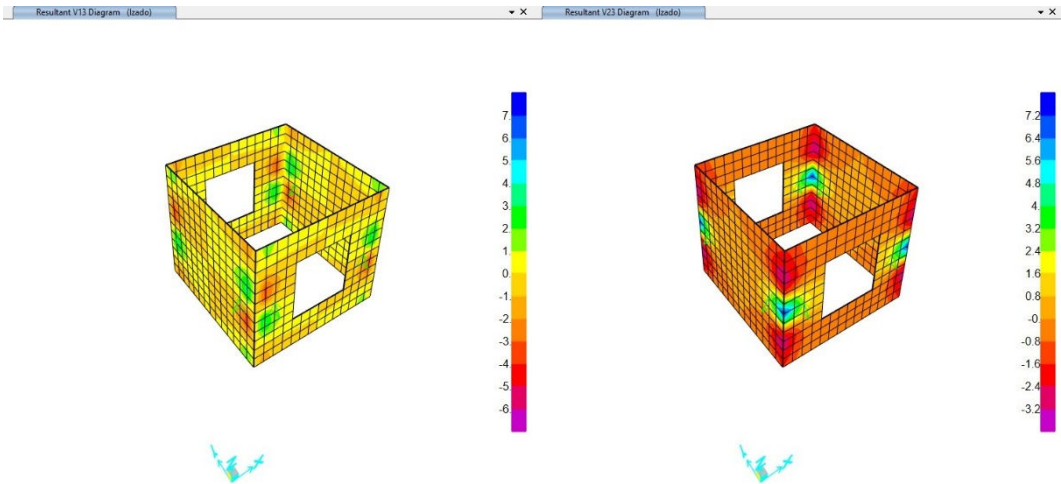


Ilustração 64.- V13 e V23

Cliente		Empreiteiro EPC			
					
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.	
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	83 de 114	
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002			

6.8.6.3.2. Módulo 3

Levantamento do Módulo 3						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
74.21	371.06	0.94	2.26	-0.10	0.01	-0.32
-74.21	-371.06	-0.94	2.26	0.10	-0.01	-0.32
74.21	371.06	-0.32	0.94	-0.10	0.01	-0.32
-74.21	-371.06	-0.32	-0.94	0.10	-0.01	-0.32
-15.50	-19.89	5.50	0.55	1.60	1.89	0.21
2.07	67.92	-5.50	0.55	0.26	1.13	-0.03
24.25	6.33	2.80	5.92	0.94	0.88	-0.14
-1.24	22.06	2.89	-4.01	0.74	0.71	0.03
-15.50	-19.89	5.50	0.55	1.60	1.89	0.21
15.50	19.89	-5.50	0.55	-1.60	-1.89	0.21
-15.50	-19.89	5.50	0.55	1.60	1.89	0.21
15.50	19.89	-5.50	0.55	-1.60	-1.89	0.21
17.90	-25.41	5.92	5.92	0.26	1.06	0.47
17.90	-25.41	5.92	5.92	0.26	1.06	-0.47

Tabela 34.- Resultados SAP2000

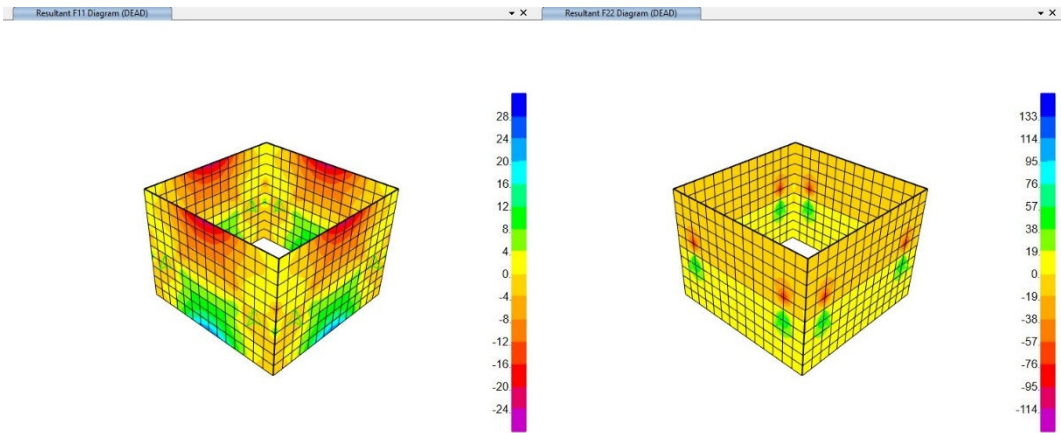


Ilustração 65.- F11 e F22

Cliente		Empreiteiro EPC			
					
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.	
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	84 de 114	
Código AdA		Código ACE			
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002			

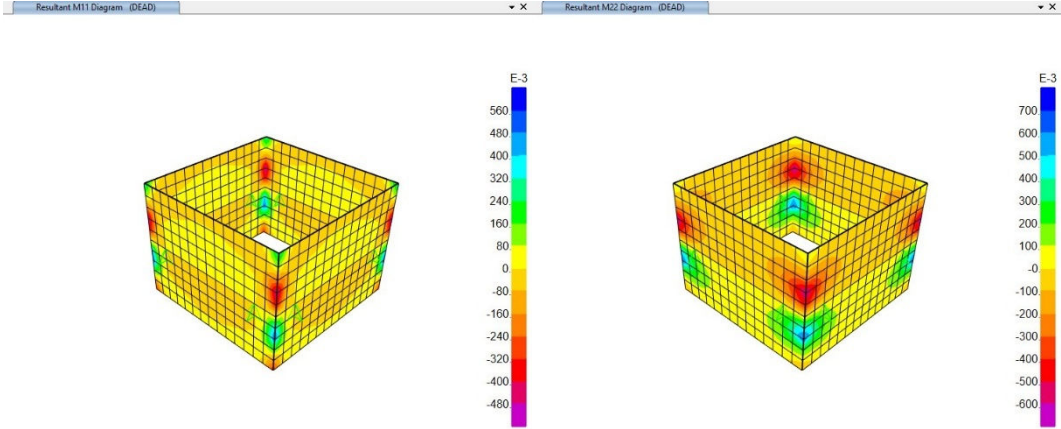


Ilustração 66.- M11 e M22

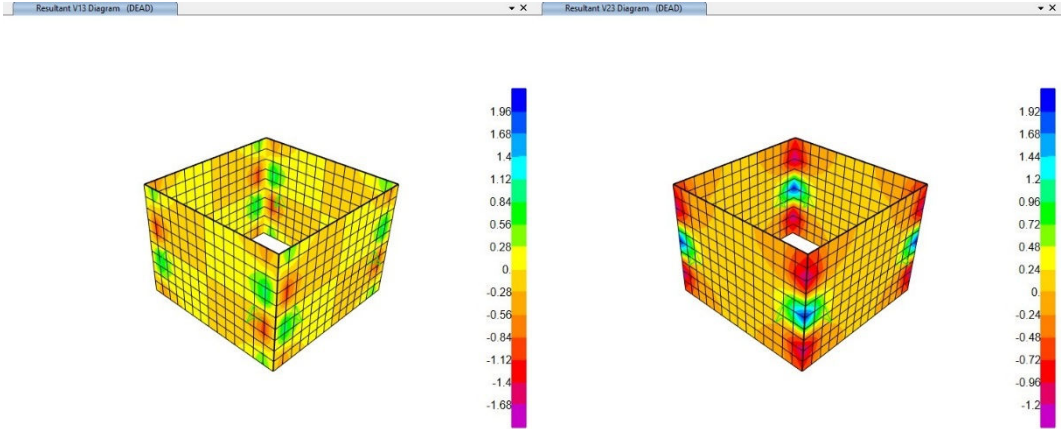


Ilustração 67.- V13 e V23

Cliente		Empreiteiro EPC			
					
Projeto nº.	Projeto		Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve		07/05/2025	02.0	85 de 114
Código AdA			Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002			AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.3.3. Módulo 4

Levantamento do Módulo 4						
F11	F22	V13	V23	M11	M22	M12
240.79	68.20	-3.36	1.79	-3.11	-4.73	5.94
-212.57	-112.97	0.59	1.26	-0.45	-0.36	-0.20
50.64	208.76	-0.60	0.59	-0.61	0.04	-0.60
-25.71	-568.74	-5.96	-18.50	-4.53	-13.54	-5.96
-54.35	-3.89	195.15	-195.15	-62.97	-27.88	29.64
-66.96	-66.96	-195.15	-195.15	-110.51	-110.51	-90.51
-3.89	-54.35	-195.15	195.15	-27.88	-62.97	29.64
-66.96	-66.96	-195.15	-195.15	-110.51	-110.51	-90.51
-3.62	-0.10	-4.12	-1.56	25.96	1.80	0.04
-66.96	-66.96	-195.15	-195.15	-110.51	-110.51	-90.51
-0.10	-3.62	-1.56	-4.12	1.80	25.96	0.04
-66.96	-66.96	-195.15	-195.15	-110.51	-110.51	-90.51
-66.96	-66.96	195.15	195.15	-110.51	-110.51	90.51
-66.96	-66.96	-195.15	-195.15	-110.51	-110.51	-90.51

Tabela 35.- Resultados SAP2000

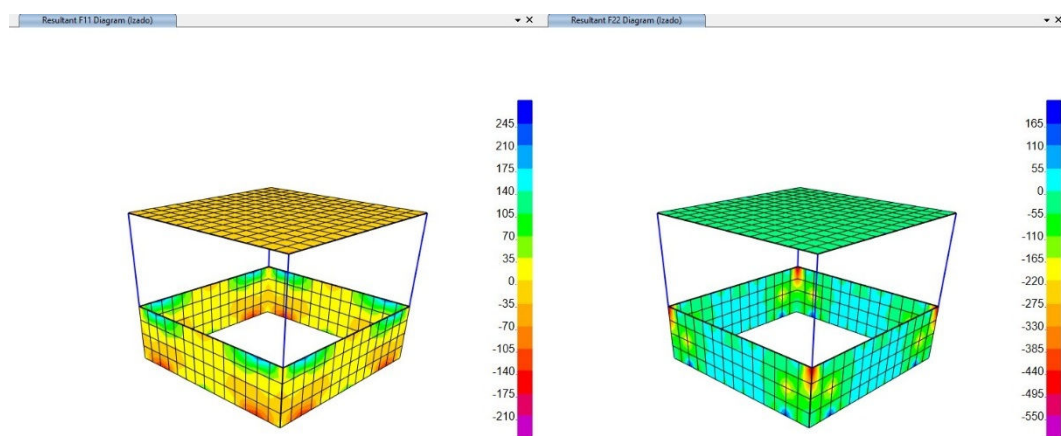


Ilustração 68.- F11 e F22

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	86 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

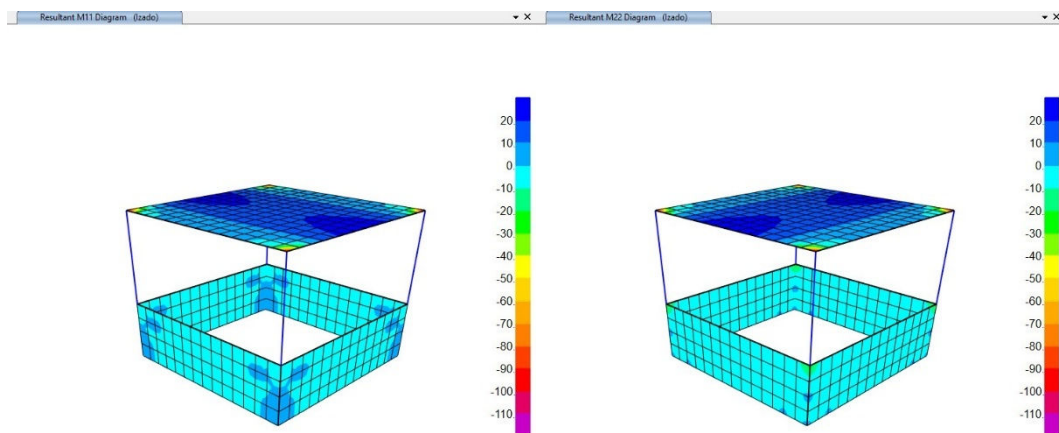


Ilustração 69.- M11 e M22

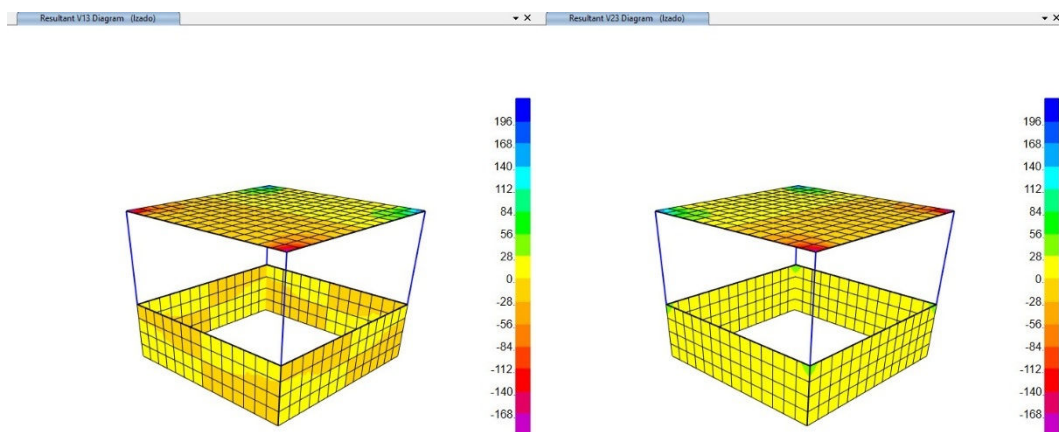


Ilustração 70.- V13 e 23

6.8.6.4. Verificações de levantamento

Uma vez que as forças descritas na secção 1.8.6.3 para a situação de elevação são, em todos os casos, inferiores às forças calculadas para o ULS, considera-se que a armadura proposta no ULS é adequada para a situação de elevação e não são necessárias verificações adicionais.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 87 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.5. Cálculo dos olhais de elevação

São necessárias duas verificações principais para a conceção das olhais de elevação, a capacidade da própria olhal de elevação e a fixação da olhal de elevação às secções de betão. São também apresentadas verificações adicionais dos olhais de elevação e da resistência à rutura do betão de acordo com a norma EN 1992-4.

A geometria das olhais de elevação por módulo é apresentada de seguida:

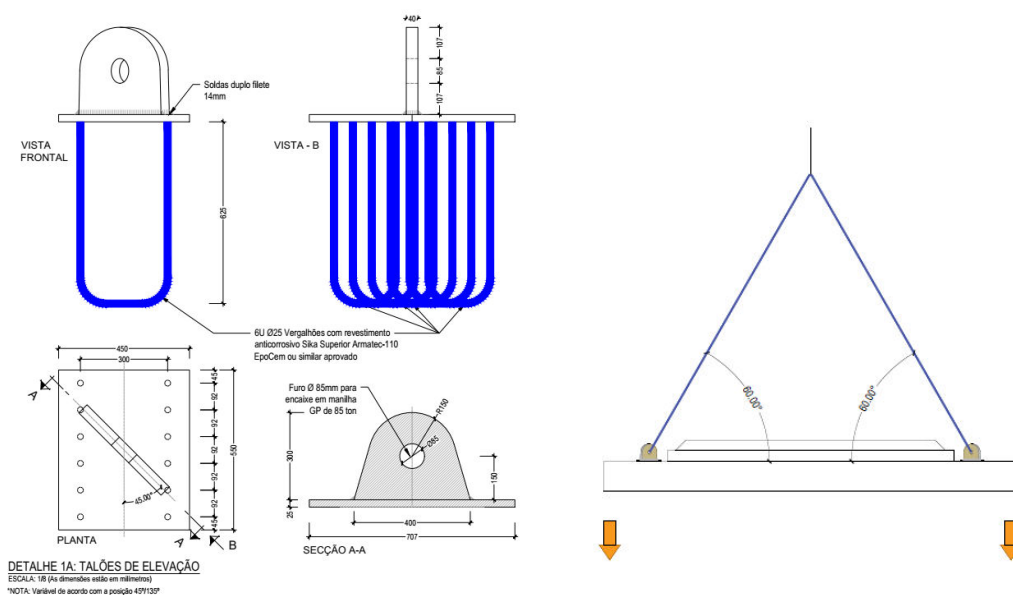


Ilustração 71.- Olhais de elevação no módulo exterior da laje inferior

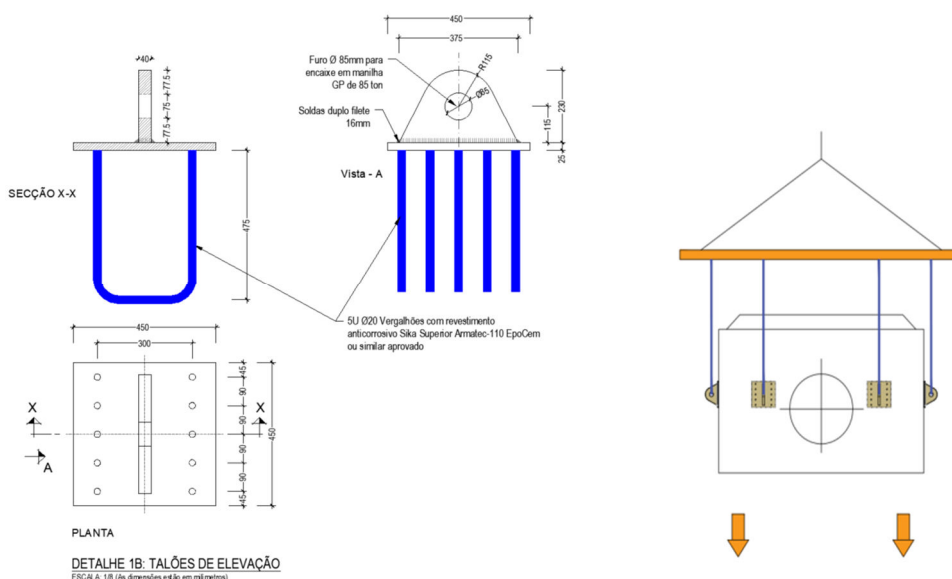


Ilustração 72.- Olhais de elevação no módulo 2

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 88 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

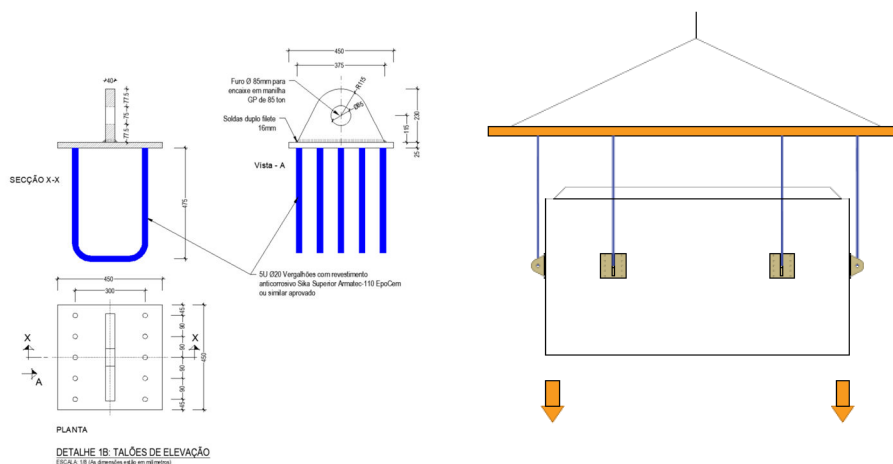


Ilustração 73.- Olhais de elevação no módulo 3

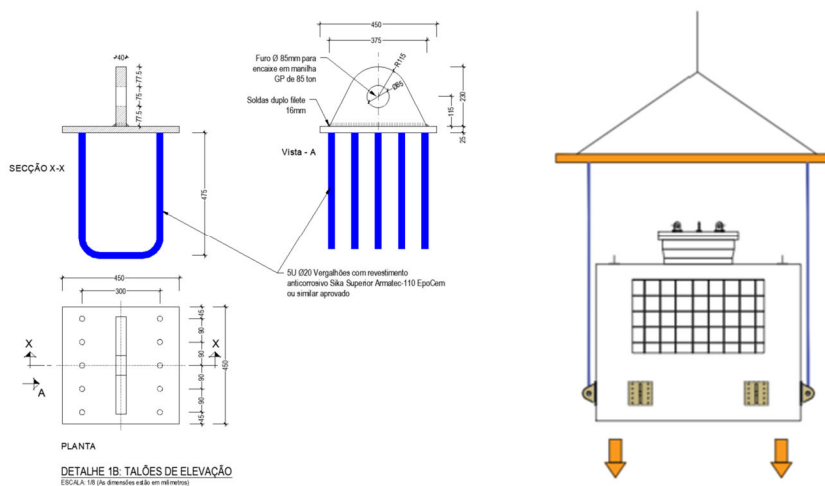


Ilustração 74.- Olhais de elevação no módulo 4

São apresentadas as verificações da geometria dos olhais de elevação para as cargas de elevação. É considerado um fator de segurança de 2,00 para o cenário de elevação. As reacções em cada ponto de elevação são obtidas a partir dos modelos 3D SAP2000. Todos os cálculos dos olhais de elevação estão em conformidade com a norma EN 1993-1.

Se colocarão barras de Ø16 para melhorar a aderência e a fixação na ancoragem das orelhas, conforme mostrado no detalhe a seguir:

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	89 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

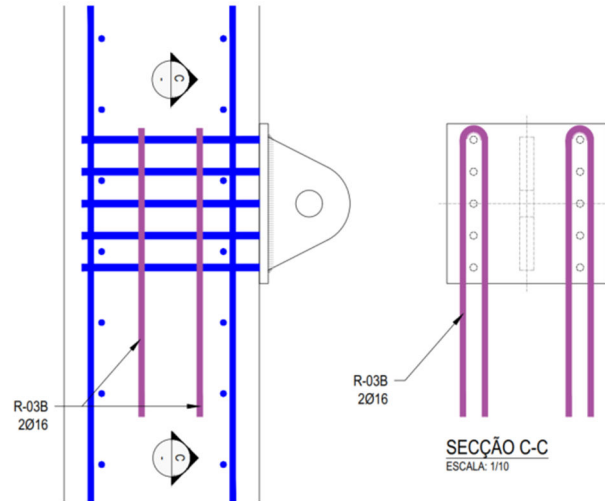


Ilustração 75.- Detalhe das barras de reforço

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 90 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.5.1. Laje de fundo

De seguida, apresenta-se o cálculo dos olhais de elevação para a laje de fundo. Se for considerada uma configuração diferente, a conceção dos olhais de elevação deve ser novamente verificada.

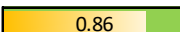
I.- MATERIAIS			
Propriedades do material			
Resistência ao escoamento	$f_y =$	355.00	MPa
Resistência à tração	$f_u =$	410.00	MPa
Fator de material	$\gamma_{M0} =$	1.05	
Fator de material	$\gamma_{M2} =$	1.25	
II.- DEFINIÇÃO DAS CARGAS DE IÇAMENTO			
Peso a içar			
Módulo	$W =$	789.90	kN
Fator de carga	$\gamma =$	2.89	
Valor de projeto para içamento	$F_d =$	2282.81	kN/m
Alfa	$\alpha =$	60.00	°
Alfa	$\alpha =$	1.05	rad
Número de orelhas	$n =$	4.00	lugs
Força atuante na orelha	$F_{dl} =$	658.99	kN
Ângulo fora do plano	$\alpha_o =$	15.00	°
Força de içamento fora do plano	$F_{op} =$	170.56	kN
Componente transversal (conservador com $\alpha=45^\circ$)	$F_t =$	465.98	kN
III.- GEOMETRIA DA ORELHA DE IÇAMENTO (PADEYE)			
Tipo de parafuso		Crosby Alloy Bolt Type Shackle	
Resistência do parafuso		$WLL =$	850.00 kN
Diâmetro do parafuso		$dp =$	85.00 mm
Requisitos mínimos de geometria da orelha de içamento			
Diâmetro do furo do pino	$dh =$	89.00	mm
Raio da placa principal	$rm =$	149.00	mm
Raio da placa lateral	$rc =$	128.00	mm
		Min.	Max.
Espessura da placa principal	$tm =$ ✓	21.25	34 mm
Espessura da placa lateral	$tc =$ ✓	12.75	25.5 mm
Tamanho da perna da solda	$w =$ ✓	8.50	12.75 mm
Geometria da orelha de içamento			
Diâmetro do furo do pino	$dh =$	85.00	mm
Raio da placa principal	$rm =$	150.00	mm
Raio da placa lateral	$rc =$	0.00	mm
Espessura da placa principal	$tm =$	30.00	mm
Espessura da placa lateral	$tc =$	0.00	mm
Tamanho da perna da solda	$w =$	20.00	mm
Altura da placa principal	$hm =$	300.00	mm
Comprimento da placa principal	$lm =$	400.00	mm
Conexão das placas laterais	$tp =$	0.00	mm

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	91 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

IV.- VERIFICAÇÕES DE TENSÃO DA ORELHA DE IÇAMENTO (PADEYE)

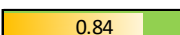
Tensão do rolamento do furo do pino

Tensão do rolamento	$\sigma_{br} =$	258.4 MPa
Tensão de cedência	$f_y =$	335.00 MPa

Fator de capacidade  0.86

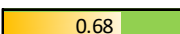
Tensão de corte na secção α - α

Área considerada α - α	$A_{\alpha} =$	3225 mm ²
Tensão de cisalhamento	$\tau =$	112.4 MPa

Fator de capacidade  0.84

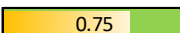
Tensão de tração na secção β - β

Área considerada β - β	$A_{\beta} =$	6450 mm ²
Tensão de tração	$\sigma =$	102.2 MPa

Fator de capacidade  0.68

Tensão de rutura na secção γ - γ

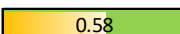
Comprimento γ - γ	$L_{\gamma} =$	220 mm
Área	$A_{\gamma} =$	6600 mm ²
Tensão de rutura	$\tau =$	99.8 Mpa

Fator de capacidade  0.75

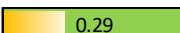
V.- VERIFICAÇÃO DE TENSÕES NA LIGAÇÃO À PLACA

Placa principal, secção A-A

Área considerada A-A	Area A-A =	12000 mm ²
Tensão de tração devido a Fdl	$\sigma =$	54.9 MPa
Momento devido a Fop	$M_{op} =$	25.6 kNm
Tensão de tração devido a Mop	$\sigma =$	32.0 MPa

Verificação da unidade, tensão  0.58

Tensão de corte devido a Ft	$\tau =$	38.8 MPa
-----------------------------	----------	----------

Verificação da unidade, cisalhamento  0.29

V.- LIGAÇÕES DE PLACAS DE SOLDADURA

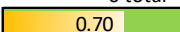
Placa principal de soldadura - placa inferior

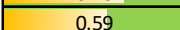
Força atuante	$F_d =$	658.99 kN
Tamanho da soldadura (placa principal - placa inferior)	$w_1 =$	20.00 mm
Tensão devida a Fd	$\tau_{perp} =$	41.19 MPa
	$\sigma_{perp} =$	41.19 MPa

Tensão devida a Ft

$F_{dt} =$	341.12 kN
$\tau_{par} =$	30.15 MPa
$\sigma_{perp} =$	47.97 MPa
$\tau_{perp} =$	47.97 MPa

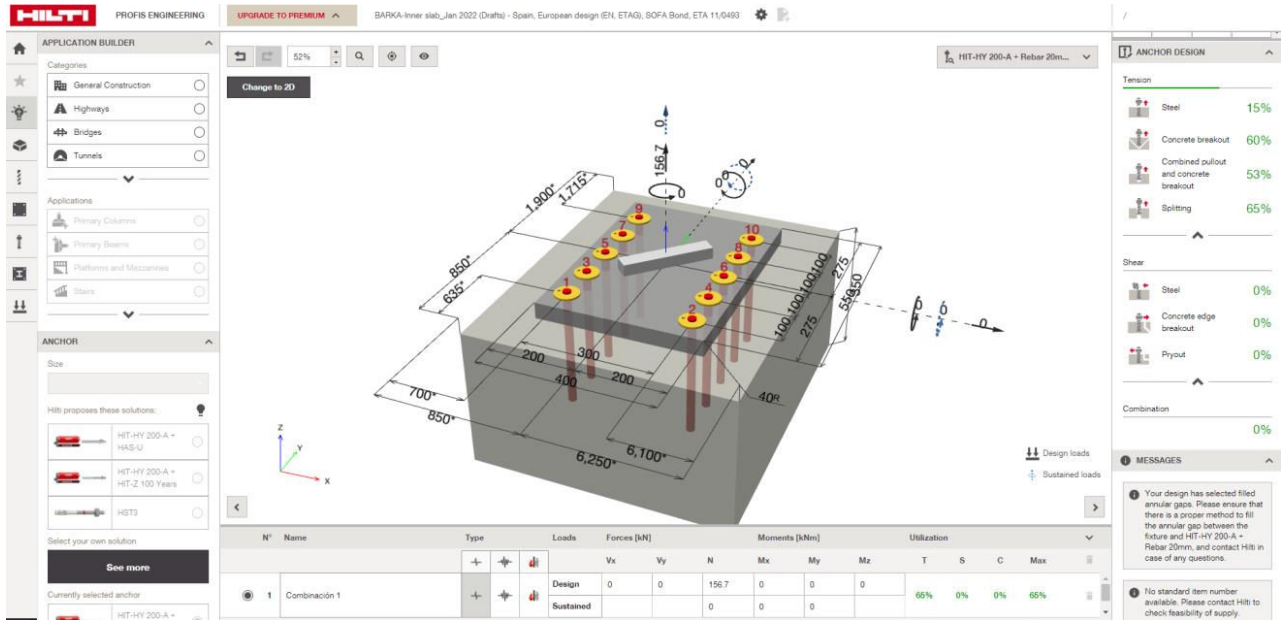
Tensão de corte	$\tau_{total} =$	94.12 Mpa
	$\sigma_{total} =$	89.16 MPa

Fator de capacidade, Tensão de corte  0.70

Fator de capacidade, Tensão de tração  0.59

Cliente		Empreiteiro EPC			
		  			
Projeto nº.	Projeto		Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve		07/05/2025	02.0	92 de 114
Código AdA			Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002			AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

As verificações das ancoragens foram efectuadas com o software HILTI, considerando as cargas extraídas dos modelos SAP durante a elevação.



ANCHOR DESIGN

Tension

Material	Utilization
Steel	15%
Concrete breakout	60%
Combined pullout and concrete breakout	53%
Splitting	65%

Shear

Material	Utilization
Steel	0%
Concrete edge breakout	0%
Pulout	0%

Combination

Material	Utilization
Steel	0%

MESSAGES

- Your design has selected filled annular gaps. Please ensure that there is a proper method to fill the annular gap between the fixture and HIT-HY 200-A - Rebar 20mm, and contact Hilti in case of any questions.
- No standard item number available. Please contact Hilti to check feasibility of supply.

Neste caso, existe uma falha por fendilhação devido à carga de tração e uma rutura da borda do betão devido à carga de corte. Por conseguinte, foi considerada uma armadura suplementar para suportar essas forças na ligação, de acordo com a norma BS EN 1992-4. As verificações da armadura são descritas abaixo:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	93 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

I.- MATERIAIS

Concreto:				
Resistência do concreto		$f_{ck} =$	35.00	N/mm ²
Aço de reforço:				
Resistência ao escoamento		$f_y =$	500.00	N/mm ²
Fator de material		$\gamma =$	1.15	
Resistência de projeto		$f_{yd} =$	435.00	N/mm ²
Diâmetro da barra de aço		$\phi =$	25.00	mm
Área		$A_s =$	4.91	cm ²

II.- DEFINIÇÃO DAS ORELHAS E CARGAS DE IÇAMENTO

Configuração das orelhas:				
Quantidade de orelhas		$N_{Lugs} =$	4.00	Lugs
Ganchos por orelha		$N_{Hooks} =$	6.00	Hooks/lug
Barras por gancho		$N_{Bars} =$	2.00	Bars/hook
Peso próprio:				
Carga		$W =$	789.90	kN
Fator de carga		$\gamma =$	2.89	kN
Carga total de projeto		$W_d =$	2282.00	kN
Carga de projeto por orelha		$W_{d, Lug} =$	570.50	kN/lug
Carga de projeto por barra		$W_{d, Bar} =$	48.00	kN/bar

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	94 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

III.- CAPACIDADE DAS BARRAS DE REFORÇO					
Situação de operação de içamento					
Tensões:					
Tensão de projeto por barra		$\tau_d, \text{Barr} =$	170.00	N/mm ²	
Resistência de projeto		$\tau_{yd} =$	251.00	N/mm ²	
	Fator de capacidade		0.68		
Situação acidental de içamento					
Tensões:					
Tensão de projeto por barra		$\tau_d, \text{Barr} =$	223.00	N/mm ²	
Quantidade de orelhas		$N_{\text{Lugs}} =$	3.00	Lugs	
Resistência de projeto		$\tau_{yd} =$	252.00	N/mm ²	
	Fator de capacidade		0.88		
Posição de ancoragem:					
Posição de ancoragem			LbI		
Comprimento de ancoragem		$L_b =$	0.75	m	
Comprimento da barra		$L =$	0.65	m	
Capacidade de içamento					
Capacidade operacional de içamento:					
Reação em cada orelha			570.50	kN/lug	
Distância até a face do concreto			0.19	m	
Momento na base da orelha			108.40	mkN	
Espaçamento entre os ramos			0.30	m	
Tensão nos ramos inferiores			361.32	kN	
Número de ramos tensionados			6.00	ramas	
Tensão por ramo			60.22	kN	
Capacidade de um ramo a 100%			213.53	kN	
Capacidade real de um ramo			185.06	kN	
	Capacity factor		0.33		
Capacidade acidental de içamento:					
Reação em cada orelha			760.67	kN/lug	
Distância até a face do concreto			0.19	m	
Momento na base da orelha			144.53	mkN	
Espaçamento entre os ramos			0.30	m	
Tensão nos ramos inferiores			481.76	kN	
Número de ramos tensionados			6.00	ramas	
Tensão por ramo			80.29	kN	
Capacidade de um ramo a 100%			213.53	kN	
Capacidade real de um ramo			185.06	kN	
	Capacity factor		0.434		

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	95 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.5.2. Módulo 2 e 3

De seguida, apresenta-se o cálculo dos olhais de elevação para os módulos 2 e 3. Se for considerada uma configuração diferente, a conceção dos olhais de elevação deve ser novamente verificada.

I.- MATERIAIS			
Propriedades do material			
Resistência ao escoamento	$f_y =$	355.00	MPa
Resistência à tração	$f_u =$	410.00	MPa
Fator de material	$\gamma_{M0} =$	1.05	
Fator de material	$\gamma_{M2} =$	1.25	
II.- DEFINIÇÃO DAS CARGAS DE IÇAMENTO			
Peso a içar			
Módulo	$W =$	508.53	kN
Fator de carga	$\gamma =$	2.89	
Valor de projeto para içamento	$F_d =$	1469.64	kN/m
Alfa	$\alpha =$	90.00	º
Alfa	$\alpha =$	1.57	rad
Número de orelhas	$n =$	4.00	lugs
Força atuante na orelha	Fdl =	367.41	kN
Ângulo fora do plano	$\alpha_o =$	15.00	º
Força de içamento fora do plano	Fop =	95.09	kN
Componente transversal (conservador com $\alpha=45^\circ$)	Ft =	259.80	kN
III.- GEOMETRIA DA ORELHA DE IÇAMENTO (PADEYE)			
Tipo de parafuso		Crosby Alloy Bolt Type Shackle	
Resistencia do parafuso		$WLL =$	850.00 kN
Diâmetro do parafuso		$dp =$	85.00 mm
Requisitos mínimos de geometria da orelha de içamento			
Diâmetro do furo do pino	$dh =$	89.00	mm
Raio da placa principal	$rm =$	149.00	mm
Raio da placa lateral	$rc =$	128.00	mm
		Min.	Max.
Espessura da placa principal	$tm =$	21.25	34 mm
Espessura da placa lateral	$tc =$	12.75	25.5 mm
Tamanho da perna da solda	$w =$	8.50	12.75 mm
Geometria da orelha de içamento			
Diâmetro do furo do pino	$dh =$	85.00	mm
Raio da placa principal	$rm =$	115.00	mm
Raio da placa lateral	$rc =$	0.00	mm
Espessura da placa principal	$tm =$	30.00	mm
Espessura da placa lateral	$tc =$	0.00	mm
Tamanho da perna da solda	$w =$	16.00	mm
Altura da placa principal	$hm =$	230.00	mm
Comprimento da placa principal	$lm =$	375.00	mm
Conexão das placas laterais	$tp =$	0.00	mm

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	96 de 114
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

IV.- VERIFICAÇÕES DE TENSÃO DA ORELHA DE IÇAMENTO (PADEYE)

Tensão do rolamento do furo do pino

Tensão do rolamento $\sigma_{br} = 144.1 \text{ MPa}$
Tensão de cedência $f_y = 335.00 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.48

Tensão de corte na secção $\alpha\text{-}\alpha$

Área considerada $\alpha\text{-}\alpha$ $A_\alpha = 2175 \text{ mm}^2$
Tensão de cisalhamento $\tau = 92.9 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.69

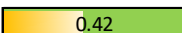
Tensão de tração na secção $\beta\text{-}\beta$

Área considerada $\beta\text{-}\beta$ $A_\beta = 4350 \text{ mm}^2$
Tensão de tração $\sigma = 84.5 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.56

Tensão de rutura na secção $\gamma\text{-}\gamma$

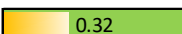
Comprimento $\gamma\text{-}\gamma$ $L_\gamma = 220 \text{ mm}$
Área $A_\gamma = 6600 \text{ mm}^2$
Tensão de rutura $\tau = 55.7 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.42

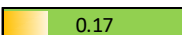
V.- VERIFICAÇÃO DE TENSÕES NA LIGAÇÃO À PLACA

Placa principal, secção A-A

Área considerada A-A $\text{Area A-A} = 11250 \text{ mm}^2$
Tensão de tração devido a Fdl $\sigma = 32.7 \text{ MPa}$
Momento devido a Fop $M_{op} = 10.9 \text{ kNm}$
Tensão de tração devido a Mop $\sigma = 15.6 \text{ MPa}$

Verificação da unidade, tensão  0.32

Tensão de corte devido a Ft $\tau = 23.1 \text{ MPa}$

Verificação da unidade, cisalhamento  0.17

V.- LIGAÇÕES DE PLACAS DE SOLDADURA

Placa principal de soldadura - placa inferior

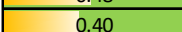
Força atuante $F_d = 367.41 \text{ kN}$
Tamanho da soldadura (placa principal - placa inferior) $w_1 = 16.00 \text{ mm}$
Tensão devida a Fd $\tau_{perp} = 30.62 \text{ MPa}$
 $\sigma_{perp} = 30.62 \text{ MPa}$

Tensão devida a Ft

$F_{dt} = 190.19 \text{ kN}$
 $\tau_{par} = 22.41 \text{ MPa}$
 $\sigma_{perp} = 29.16 \text{ MPa}$
 $\tau_{perp} = 29.16 \text{ MPa}$

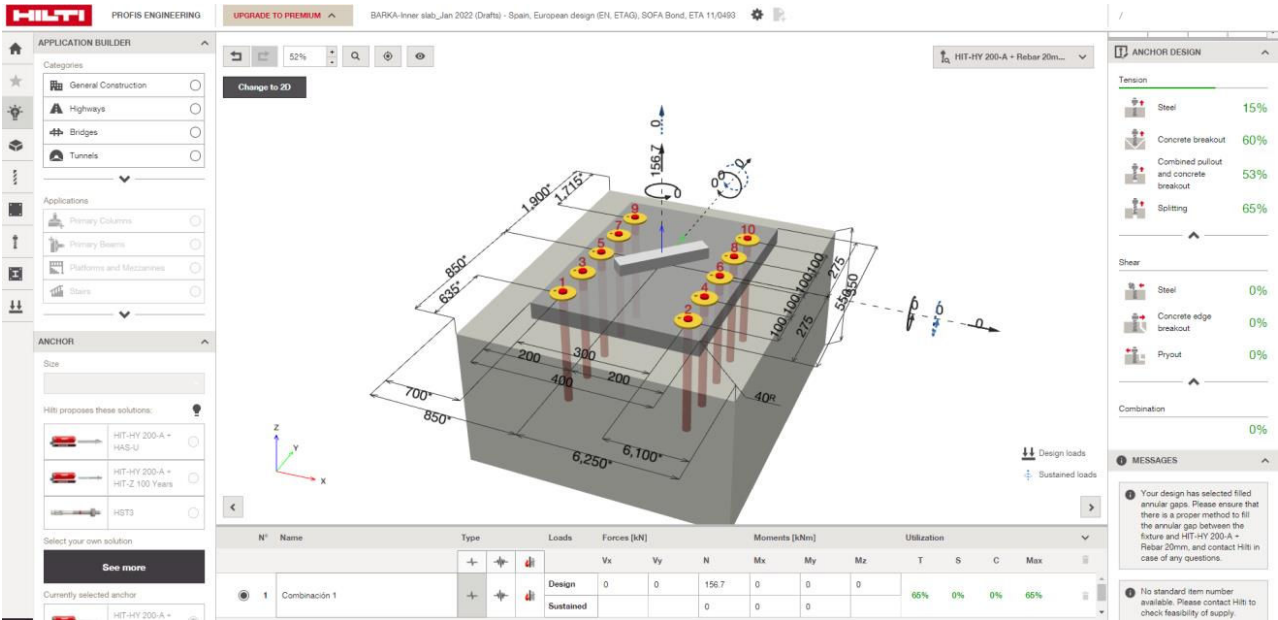
Tensão de corte $\tau_{total} = 63.84 \text{ MPa}$
 $\sigma_{total} = 59.78 \text{ MPa}$

Fator de capacidade, Tensão de corte  0.48

Fator de capacidade, Tensão de tração  0.40

Cliente		Empreiteiro EPC			
		  			
Projeto n.º	Projeto		Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve		07/05/2025	02.0	97 de 114
Código AdA			Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002			AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

As verificações das ancoragens foram efectuadas com o software HILTI, considerando as cargas extraídas dos modelos SAP durante a elevação.



Neste caso, existe uma falha por fendilhação devido à carga de tração e uma rutura da borda do betão devido à carga de corte. Por conseguinte, foi considerada uma armadura suplementar para suportar essas forças na ligação, de acordo com a norma BS EN 1992-4. As verificações da armadura são descritas abaixo:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	98 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

I.- MATERIAIS

Concreto:				
Resistência do concreto		$f_{ck} =$	35.00	N/mm ²
Aço de reforço:				
Resistência ao escoamento		$f_y =$	500.00	N/mm ²
Fator de material		$\gamma =$	1.15	
Resistência de projeto		$f_{yd} =$	434.00	N/mm ²
Diâmetro da barra de aço		$\phi =$	25.00	mm
Área		$A_s =$	4.91	cm ²

II.- DEFINIÇÃO DAS ORELHAS E CARGAS DE IÇAMENTO

Configuração das orelhas:				
Quantidade de orelhas		$N_{Lugs} =$	8.00	Lugs
Ganchos por orelha		$N_{Hooks} =$	5.00	Hooks/lug
Barras por gancho		$N_{Bars} =$	2.00	Bars/hook
Peso próprio:				
Carga		$W =$	508.53	kN
Fator de carga		$\gamma =$	2.89	kN
Carga total de projeto		$W_d =$	1470.00	kN
Carga de projeto por orelha		$W_{d, Lug} =$	183.75	kN/lug
Carga de projeto por barra		$W_{d, Bar} =$	19.00	kN/bar

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	99 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

III. - CAPACIDADE DAS BARRAS DE REFORÇO					
Situação de operação de içamento					
Tensões:					
Tensão de projeto por barra		$\tau_{d, Barr} =$	68.00	N/mm ²	
Resistência de projeto		$\tau_{yd} =$	250.00	N/mm ²	
	Fator de capacidade		0.27		
Situação accidental de içamento					
Tensões:					
Tensão de projeto por barra		$\tau_{d, Barr} =$	130.00	N/mm ²	
Quantidade de orelhas		$N_{Lugs} =$	4.00	Lugs	
Resistência de projeto		$\tau_{yd} =$	250.00	N/mm ²	
	Fator de capacidade		0.52		
Posição de ancoragem:					
Posição de ancoragem				LbI	
Comprimento de ancoragem		$L_b =$	0.75	m	
Comprimento da barra		$L =$	0.48	m	
Capacidade de içamento					
Capacidade operacional de içamento:					
Reação em cada orelha			183.75	kN/lug	
Distância até a face do concreto			0.19	m	
Momento na base da orelha			34.91	mkN	
Espaçamento entre os ramos			0.15	m	
Tensão nos ramos inferiores			232.75	kN	
Número de ramos tensionados			5.00	ramas	
Tensão por ramo			46.55	kN	
Capacidade de um ramo a 100%			213.04	kN	
Capacidade real de um ramo			134.92	kN	
	Fator de capacidade		0.35		
Capacidade accidental de içamento:					
Reação em cada orelha			367.50	kN/lug	
Distância até a face do concreto			0.19	m	
Momento na base da orelha			69.83	mkN	
Espaçamento entre os ramos			0.15	m	
Tensão nos ramos inferiores			465.50	kN	
Número de ramos tensionados			5.00	ramas	
Tensão por ramo			93.10	kN	
Capacidade de um ramo a 100%			213.04	kN	
Capacidade real de um ramo			134.92	kN	
	Fator de capacidade		0.69		

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	100 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.5.3. Módulo 4

De seguida, apresenta-se o cálculo dos olhais de elevação para o módulo 4. Se for considerada uma configuração diferente, a conceção dos olhais de elevação deve ser novamente verificada.

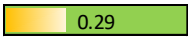
I.- MATERIAIS			
Propriedades do material			
Resistência ao escoamento	$f_y =$	355.00	MPa
Resistência à tração	$f_u =$	410.00	MPa
Fator de material	$\gamma_{M0} =$	1.05	
Fator de material	$\gamma_{M2} =$	1.25	
II.- DEFINIÇÃO DAS CARGAS DE IÇAMENTO			
Peso a içar			
Módulo	$W =$	616.79	kN
Fator de carga	$\gamma =$	2.89	
Valor de projeto para içamento	$F_d =$	1782.53	kN/m
Alfa	$\alpha =$	90.00	°
Alfa	$\alpha =$	1.57	rad
Número de orelhas	$n =$	8.00	lugs
Força atuante na orelha	$F_{dl} =$	222.82	kN
Ângulo fora do plano	$\alpha_o =$	15.00	°
Força de içamento fora do plano	$F_{op} =$	57.67	kN
Componente transversal (conservador com $\alpha=45^\circ$)	$F_t =$	157.55	kN
III.- GEOMETRIA DA ORELHA DE IÇAMENTO (PADEYE)			
Tipo de parafuso		Crosby Alloy Bolt Type Shackle	
Resistencia do parafuso		$WLL =$	850.00 kN
Diâmetro do parafuso		$dp =$	85.00 mm
Requisitos mínimos de geometria da orelha de içamento			
Diâmetro do furo do pino	$dh =$	89.00	mm
Raio da placa principal	$rm =$	149.00	mm
Raio da placa lateral	$rc =$	128.00	mm
		Min.	Max.
Espessura da placa principal	$tm =$	21.25	34 mm
Espessura da placa lateral	$tc =$	12.75	25.5 mm
Tamanho da perna da solda	$w =$	8.50	12.75 mm
Geometria da orelha de içamento			
Diâmetro do furo do pino	$dh =$	85.00	mm
Raio da placa principal	$rm =$	115.00	mm
Raio da placa lateral	$rc =$	0.00	mm
Espessura da placa principal	$tm =$	30.00	mm
Espessura da placa lateral	$tc =$	0.00	mm
Tamanho da perna da solda	$w =$	16.00	mm
Altura da placa principal	$hm =$	230.00	mm
Comprimento da placa principal	$lm =$	375.00	mm
Conexão das placas laterais	$tp =$	0.00	mm

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	101 de 114
Código AdA		Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

IV.- VERIFICAÇÕES DE TENSÃO DA ORELHA DE IÇAMENTO (PADEYE)

Tensão do rolamento do furo do pino

Tensão do rolamento $\sigma_{br} = 87.4 \text{ MPa}$
Tensão de cedência $f_y = 335.00 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.29

Tensão de corte na secção $\alpha\text{-}\alpha$

Área considerada $\alpha\text{-}\alpha$ $A_\alpha = 2175 \text{ mm}^2$
Tensão de cisalhamento $\tau = 56.3 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.42

Tensão de tração na secção $\beta\text{-}\beta$

Área considerada $\beta\text{-}\beta$ $A_\beta = 4350 \text{ mm}^2$
Tensão de tração $\sigma = 51.2 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.34

Tensão de rutura na secção $\gamma\text{-}\gamma$

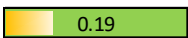
Comprimento $\gamma\text{-}\gamma$ $L_\gamma = 220 \text{ mm}$
Área $A_\gamma = 6600 \text{ mm}^2$
Tensão de rutura $\tau = 33.8 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.25

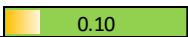
V.- VERIFICAÇÃO DE TENSÕES NA LIGAÇÃO À PLACA

Placa principal, secção A-A

Área considerada A-A $\text{Area A-A} = 11250 \text{ mm}^2$
Tensão de tração devido a Fdl $\sigma = 19.8 \text{ MPa}$
Momento devido a Fop $M_{op} = 6.6 \text{ kNm}$
Tensão de tração devido a Mop $\sigma = 9.4 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.19

Tensão de corte devido a Ft $\tau = 14.0 \text{ MPa}$

Fator de capacidade  0.10

V.- LIGAÇÕES DE PLACAS DE SOLDADURA

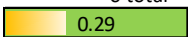
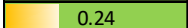
Placa principal de soldadura - placa inferior

Força atuante $F_d = 222.82 \text{ kN}$
Tamanho da soldadura (placa principal - placa inferior) $w_1 = 16.00 \text{ mm}$
Tensão devida a Fd $\tau_{perp} = 18.57 \text{ MPa}$
 $\sigma_{perp} = 18.57 \text{ MPa}$

Tensão devida a Ft

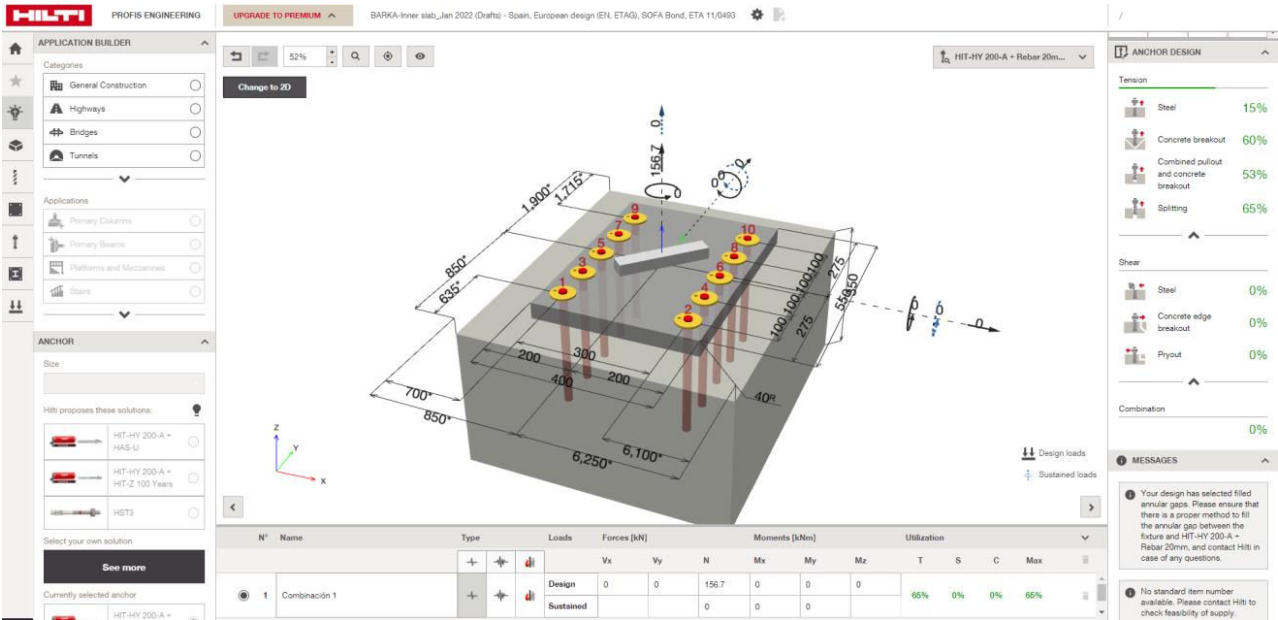
$F_{dt} = 115.34 \text{ kN}$
 $\tau_{par} = 13.59 \text{ MPa}$
 $\sigma_{perp} = 17.69 \text{ MPa}$
 $\tau_{perp} = 17.69 \text{ MPa}$

Tensão de corte $\tau_{total} = 38.72 \text{ MPa}$
 $\sigma_{total} = 36.25 \text{ MPa}$

Fator de capacidade, Tensão de corte  0.29
Fator de capacidade, Tensão de tração  0.24

Cliente		Empreiteiro EPC			
		  			
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.	
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	102 de 114	
Código AdA		Código ACE			
AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		AL-PRO-0000-MW-CAC-00002			

As verificações das ancoragens foram efectuadas com o software HILTI, considerando as cargas extraídas dos modelos SAP durante a elevação.



Neste caso, existe uma rutura da borda do betão devido a uma carga de cisalhamento. Por conseguinte, foi considerada uma armadura suplementar para suportar essas forças na ligação, de acordo com a norma BS EN 1992-4. As verificações da armadura são descritas abaixo:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	103 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

I.- MATERIALS

Concreto:				
Resistência do concreto		$f_{ck} =$	35.00	N/mm ²
Aço de reforço:				
Resistência ao escoamento		$f_y =$	500.00	N/mm ²
Fator de material		$\gamma =$	1.15	
Resistência de projeto		$f_{yd} =$	434.00	N/mm ²
Diâmetro da barra de aço		$\phi =$	25.00	mm
Área		$A_s =$	4.91	cm ²

II.- DEFINIÇÃO DAS ORELHAS E CARGAS DE IÇAMENTO

Configuração das orelhas:				
Quantidade de orelhas		$N_{Lugs} =$	8.00	Lugs
Ganchos por orelha		$N_{Hooks} =$	5.00	Hooks/lug
Barras por gancho		$N_{Bars} =$	2.00	Bars/hook
Peso próprio:				
Carga		$W =$	616.79	kN
Fator de carga		$\gamma =$	2.89	kN
Carga total de projeto		$W_d =$	1783.00	kN
Carga de projeto por orelha		$W_{d, Lug} =$	222.88	kN/lug
Carga de projeto por barra		$W_{d, Bar} =$	23.00	kN/bar

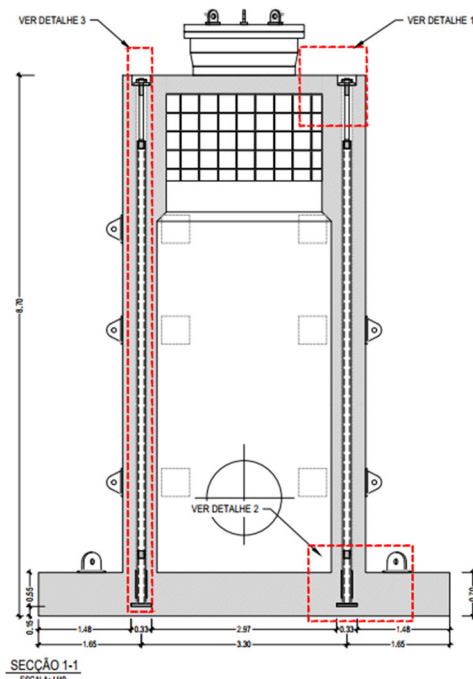
Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	104 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

III.- CAPACIDADE DAS BARRAS DE REFORÇO				
Situação de operação de içamento				
Tensões:				
Tensão de projeto por barra		$\tau_d, \text{Barr} =$	82.00	N/mm ²
Resistência de projeto		$\tau_{yd} =$	250.00	N/mm ²
	Capacity factor		0.33	
Situação acidental de içamento				
Tensões:				
Tensão de projeto por barra		$\tau_d, \text{Barr} =$	158.00	N/mm ²
Quantidade de orelhas		$N_{\text{Lugs}} =$	4.00	Lugs
Resistência de projeto		$\tau_{yd} =$	250.00	N/mm ²
	Fator de capacidade		0.63	
Posição de ancoragem:				
Posição de ancoragem			LbI	
Comprimento de ancoragem		$L_b =$	0.75	m
Comprimento da barra		$L =$	0.48	m
Capacidade de içamento				
Capacidade operacional de içamento:				
Reação em cada orelha			222.88	kN/lug
Distância até a face do concreto			0.19	m
Momento na base da orelha			42.35	mkN
Espaçamento entre os ramos			0.30	m
Tensão nos ramos inferiores			141.15	kN
Número de ramos tensionados			5.00	ramas
Tensão por ramo			28.23	kN
Capacidade de um ramo a 100%			213.04	kN
Capacidade real de um ramo			134.92	kN
	Fator de capacidade		0.21	
Capacidade acidental de içamento:				
Reação em cada orelha			445.75	kN/lug
Distância até a face do concreto			0.19	m
Momento na base da orelha			84.69	mkN
Espaçamento entre os ramos			0.30	m
Tensão nos ramos inferiores			282.31	kN
Número de ramos tensionados			5.00	ramas
Tensão por ramo			56.46	kN
Capacidade de um ramo a 100%			213.04	kN
Capacidade real de um ramo			134.92	kN
	Fator de capacidade		0.42	

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 105 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.6. Conexão entre módulos

Os três módulos pré-fabricados (laje inferior, intermédia e superior) são ligados entre si por um tirante do tipo **ASDO500 M90/68** em cada canto. Os tirantes são ligados à laje inferior através de um casquilho soldado a uma placa de base.



Foram efectuadas verificações estruturais para garantir que a ligação é adequada. As principais verificações efectuadas são:

- Capacidade de aço do tirante sujeito a cargas operacionais (ULS).
- Rotura do cone de betão devido a cargas de tração e de corte na ligação da laje inferior.
- Verificações de falha de reforço suplementar.

Os cálculos são efectuados de acordo com a norma BS EN 1992-4:2018.

6.8.6.6.1. Modelo estrutural

Foi realizado um modelo 3D SAP2000 para obter as forças de reacção na laje inferior-módulo intermédio, que são a ligação determinante da torre.

As acções e combinações de cargas consideradas para as verificações da ligação são as cargas operacionais (peso próprio, ondas e pressão do solo). O modelo 3D é semelhante ao descrito na secção 6.8.2, exceto que o módulo da laje inferior é substituído por 4 pontos de ligação (tirantes) modelados por apoios:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 106 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

3-D View ▼ X

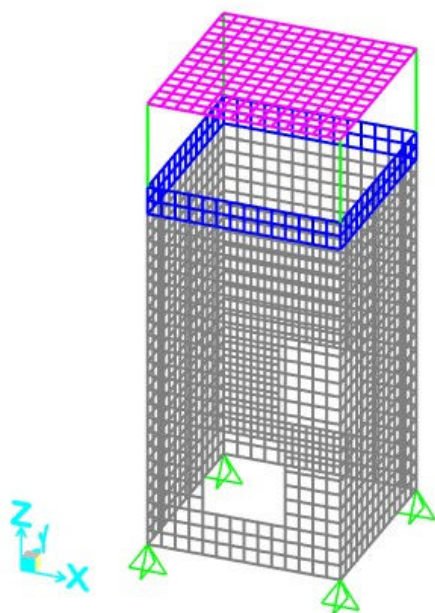


Ilustração 76.- Ligação entre módulos - modelo 3D SAP2000

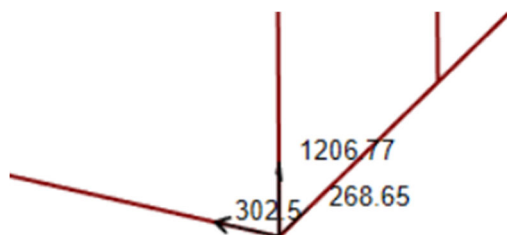
6.8.6.6.2. Resultados do modelo

Os resultados do modelo mostram que as forças de reação determinantes na ligação ocorrem quando a onda está na direção diagonal. A força de tração máxima está concentrada num tirante, com as seguintes forças de reação ao corte e à tração (ULS):

$T_d = 1207 \text{ kN}$

$V_{dx} = 269 \text{ kN}$

$V_{dy} = 303 \text{ kN}$



Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 107 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.6.3. Verificações da capacidade do aço

A capacidade de tração da ancoragem selecionada **ASDO500 M90/68**, considerando um valor de $k_t=0,6$, é $F_t, R_d = 1771$ kN. Por conseguinte, o fator de segurança para a capacidade do aço torna-se:

$$\begin{aligned} N_{rk,d} &= 1771 \\ N_d &= 1207 \\ FoS &= 1.47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{dx} &= 269 \\ V_{dy} &= 303 \\ V_d &= 405.18 \\ k_6 &= 0.5 \\ F_{ur,d} &= 2397 \\ V_{rk,s,0} &= 1198.5 \\ FoS &= 2.96 \end{aligned}$$

Combined shear and tension

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}} \right)^2 \leq 1$$

$$0.58 < 1.00$$

6.8.6.6.4. Verificações da capacidade do aço estrutural

Na laje inferior, são verificados os diferentes elementos da ligação:

- Barra roscada:

1. Threaded rod

$$\begin{aligned} \text{Ext. Diameter} &= 130 \text{ mm} \\ \text{Thickness} &= 20 \text{ mm} \\ \text{Int. Diameter} &= 90 \text{ mm} \\ f_{yk} &= 500 \text{ Mpa} \\ A &= 3632 \text{ mm}^2 \\ F_t &= 1637.00 \text{ kN} \\ F_d &= 1207 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$FoS = 1.36$$

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	108 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

- Soldar a barra roscada à placa de base:

2. Weld to base plate

Weld leg size **16** mm
 Ext diameter 130 mm
 Weld throat 11.3 mm
 Aweld 4620.60 mm²

Design force at weld 853.5 kN
 $\sigma_{\text{perp}} = \tau_{\text{perp}}$ 184.71 MPa
 σ_{VM} 369.42 MPa
 $\sigma_{\text{allowable}}$ 435.56 MPa

FoS	1.18
------------	-------------

- Placa de base

3. Base plate

Length **300** mm
 Thickness **45** mm
 fyk 355 MPa
 Area 76726.8 mm²
 Tension stress 15.7 MPA
 Edge to rod 85 mm

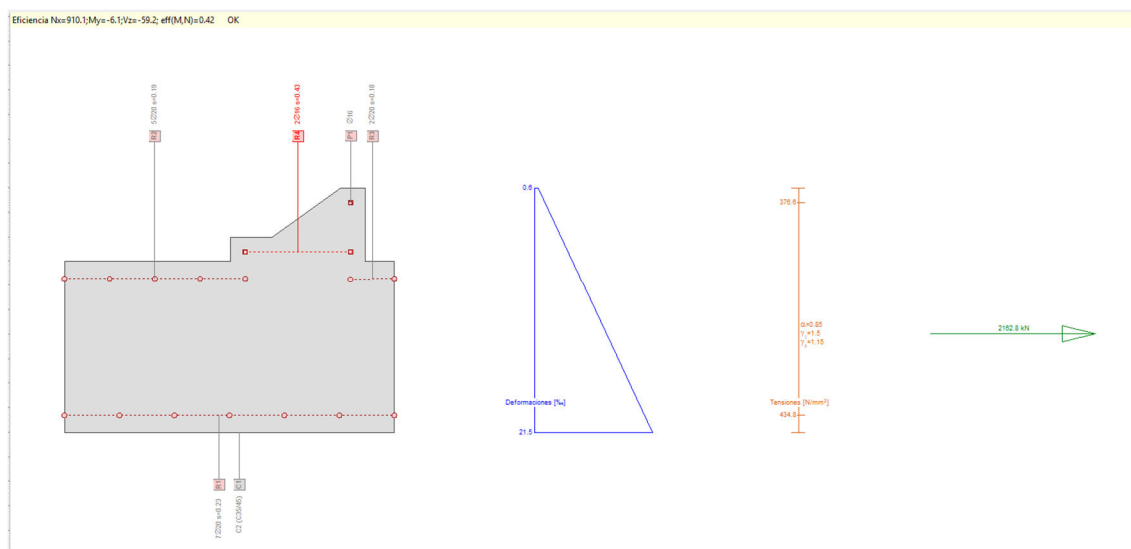
Bending moment 56.8 KNm/m
 σ due to Md 112.3 Mpa
 Wsection 0.00050625 m³

FoS	3.01
------------	-------------

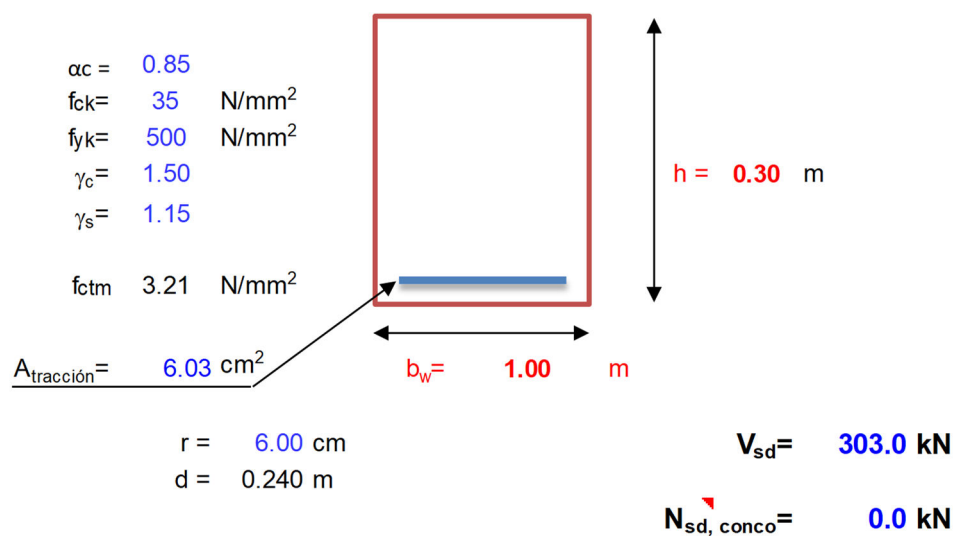
Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 109 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.6.6.5. Verificações de armaduras suplementares (cisalhamento)

A armadura atual pode resistir aos momentos flectores com um máximo $UC = 0,42 < 1,00$ (aceitável).



As forças de torção e de corte causadas no anel são analisadas para obter a armadura longitudinal e de corte adicional necessária:



Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 110 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

$$V_{u2} = \text{MÁX} \begin{cases} 113.72 & \text{kN} \\ 187.82 & \text{kN} \end{cases} \longrightarrow V_{u2} = 187.82 \text{ kN} \quad \text{art. 6.2.}$$

$V_{u2} < V_{sd}$

ARMADURA DE CORTANTE NECESARIA

$A_{\alpha 90d} = 35.07 \text{ cm}^2/\text{m}$

[Instrucción: EC-2](#)

As barras de cisalhamento $\phi 16/100$ são colocadas na secção.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		07/05/2025	02.0	111 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.7. Reforço – Resumo

No quadro seguinte é apresentado um resumo das armaduras descritas nas secções anteriores:

Secção		Reforço longo. (face superior)	Reforço trans. (face inferior)	Reforço
Laje superior		Ø16/150	Ø16/150	24Ø16/200 (entrada de homem)
Colunas ⁽³⁾		21Ø16	4Ø16/100	-
Paredes	Módulo 3 (h=0.7m)	Ø20/150 2*6Ø25	2Ø16/200 Ø16/200	
	Módulo 3 (h=0.55m)	Ø20/150	2Ø20/150	-
	Módulo 2	Ø16/150	Ø16/150	-
	Módulo 1	Ø16/150	Ø16/150	24Ø16 (condutas)
Laje inferior		Ø20/150 8Ø32 ⁽²⁾ 4Ø25 ⁽²⁾	Ø20/150	Ø16/150x150 7Ø16/300 2Ø16/100

Tabela 36.-Reforço - Resumo

Notas:

- (1) Para assegurar a fixação correta dos talões de elevação, deve ser previsto um 2Ø16 adicional por olhais de elevação (R-03B).
- (2) Barras adicionais de reforço construtivo, quantidade total.
- (3) Quantidade por coluna.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 07/05/2025	Rev. 02.0	Pág. 112 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

6.8.8. Cálculo da grelha

Os ecrãs são também verificados estruturalmente em relação à carga das ondas que os atravessam. As barras verticais e horizontais são barras rectangulares de 10x100mm feitas de GRP. O tamanho do ecrã exposto à carga das ondas é de 2,68 x 1,80 m. A distância entre os centros das barras verticais é de 300 mm e a distância entre os centros das barras horizontais é de 300 mm. Os painéis são instalados através de uma abertura na laje superior. O modelo de cálculo do painel é apresentado de seguida:

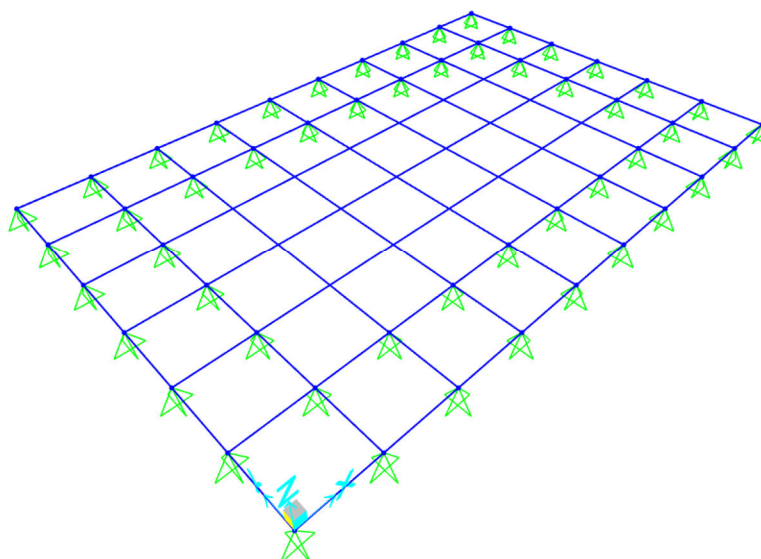


Ilustração 77.- Modelo de grelha

A carga de onda obtida é $Q = 0,17 \text{ kN/m}$ para as barras de 10 mm de espessura quando o fluxo é perpendicular à janela e $Q = 0,15 \text{ kN/m}$ quando o fluxo é transversal à grelha. Por conseguinte, foram considerados dois casos de carga diferentes.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data	Rev.	Pág.
		07/05/2025	02.0	113 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

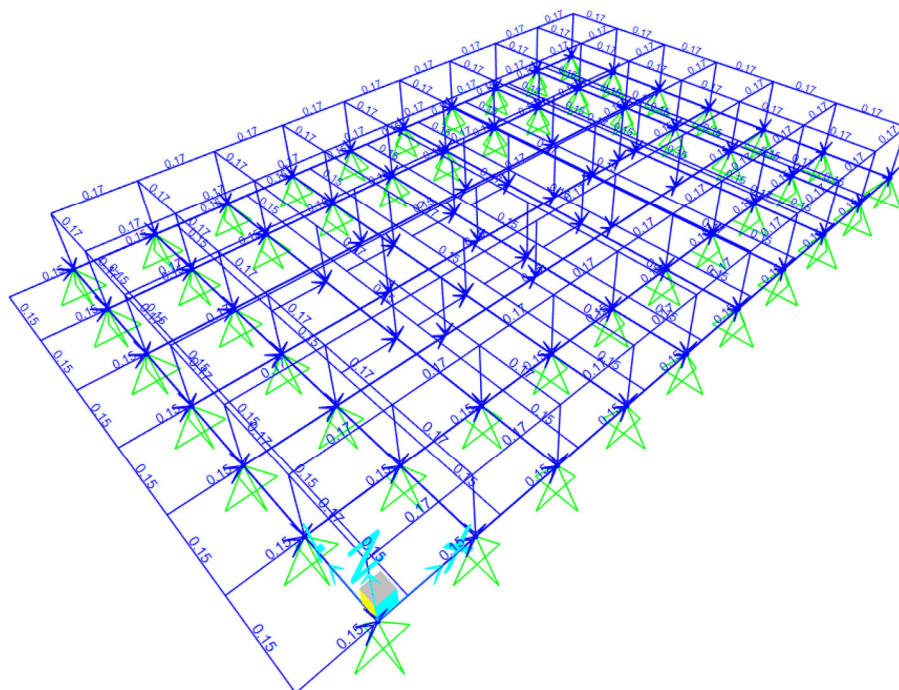


Ilustração 78.- Cargas

Considerando um fator de carga de 1,50 em ULS, o momento fletor máximo obtido é $M_d = 0,25 \text{ kNm}$. Para uma secção, o momento resistente $M_{Rd} = 0.72 \text{ kNm}$. Portanto, o $FoS = 0.72/0,25 = 2,88 \text{ OK}$.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	07/05/2025	02.0	114 de 114
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00002		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00002		

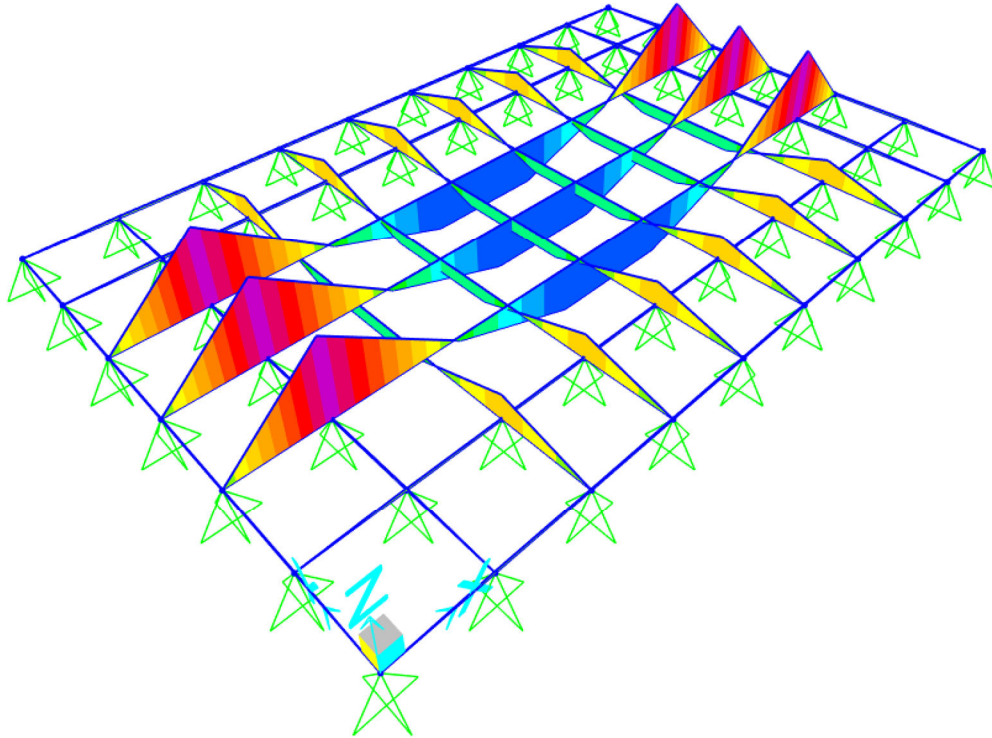


Ilustração 79.- Resultados ULS - Md (kNm)