



GÁS DA TERRA

PROJETO BIOMETANO ABRIGADA

FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO DE ORIGEM RENOVÁVEL DE ABRIGADA

Revisão 03

Lisboa, 17 de outubro de 2025



REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
0	28/02/2025	Emissão inicial
1	16/01/2025	Revisão Reservatório Incêndio
2	10/09/2025	Revisão da fundação dos digestores
3	17/10/2025	Revisão em conformidade com comentários



GÁS DA TERRA

PROJETO BIOMETANO ABRIGADA

FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO DE ORIGEM RENOVÁVEL DE ABRIGADA

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO	4
2	ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	4
3	CONDIÇÕES TÉCNICAS PARA EXECUÇÃO DE ATERROS SOB OS DIGESTORES	5
3.1	INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO	5
3.2	TRABALHOS PREPARATÓRIOS	6
3.2.1	LIMPEZA E DESMATAÇÃO	6
3.2.2	DECAPAGEM	6
3.2.3	PROTEÇÃO DA VEGETAÇÃO EXISTENTE	6
3.3	MÉTODOS CONSTRUTIVOS	7
3.3.1	DISPOSIÇÕES GERAIS	7
3.3.2	MATERIAIS A APLICAR NOS ATERROS E PRINCÍPIOS CONSTRUTIVOS	7
3.4	CONTROLE DOS ATERROS	8
3.5	ENSAIOS A REALIZAR E FREQUÊNCIA	8
3.5.1	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS	8
3.5.2	ENSAIOS DE CONTROLO DAS TERRAPLENAGENS	8
4	SOLUÇÃO ESTRUTURAL	9
4.1	EDIFÍCIO DE PROCESSAMENTO	9
4.2	EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS	10
4.3	DIGESTORES	10
4.4	LAJES DE ASSENTAMENTO DE EQUIPAMENTOS E TANQUE DE HIGIENIZAÇÃO	11
4.5	TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE LÍQUIDOS	11
4.6	TANQUES: COMBATE A INCÊNDIOS E ABASTECIMENTO DE ÁGUA	11
5	MATERIAIS	12
5.1	BETÕES	12
5.2	AÇOS	12
6	AÇÕES BASE DE CÁLCULO	12



6.1	AÇÕES GRAVÍTICAS	12
6.1.1	COBERTURAS NÃO ACESSÍVEIS	12
6.2	VARIAÇÕES DE TEMPERATURA	12
6.3	SISMO.....	13
6.4	VENTO	15
6.5	NEVE.....	16
6.6	SEGURANÇA AO FOGO	16
7	<u>COMBINAÇÕES DE AÇÕES</u>	<u>16</u>
7.1	COMBINAÇÕES PARA ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS	17
7.1.1	COMBINAÇÃO FUNDAMENTAL (SOBRECARGAS E VENTO)	17
7.1.2	COMBINAÇÃO FUNDAMENTAL (SISMO).....	17
7.2	COMBINAÇÕES PARA ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO	17
7.2.1	QUASE PERMANENTE	17
7.2.2	FREQUENTE.....	17
7.2.3	CARACTERÍSTICA	17
8	<u>VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA E DIMENSIONAMENTO</u>	<u>17</u>
9	<u>REGULAMENTOS E NORMAS</u>	<u>17</u>



GÁS DA TERRA

PROJETO BIOMETANO ABRIGADA

FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO DE ORIGEM RENOVÁVEL DE ABRIGADA

1 INTRODUÇÃO

A presente Memória Descritiva e Justificativa refere-se ao Projeto de Fundações e Estruturas da Unidade de Produção de Biometano de Origem Renovável de Abrigada, em Alenquer.

A Unidade de Produção de Biometano é composta por um edifício principal na qual se fazem as recolhas dos resíduos e biogás, sendo acompanhado por um conjunto de elementos auxiliares, resultando na seguinte listagem de edifícios:

- Edifício de Processamento
- Edifício de Escritórios
- Digestores
- Lajes de assentamento de equipamentos
- Tanques: Higienização, armazenamento de líquidos e combate a incêndio

2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

Para o presente projeto foi realizado um estudo geológico geotécnico levado a cabo pela empresa GEOVIA – Consultores de Geotecnia, em Outubro de 2024.

No estudo foram efetuados 10 ensaios de penetrómetro dinâmico médio (PDM) dispostos ao longo da implantação do mesmo, de modo a permitir uma correta interpretação do terreno, que tem uma inclinação natural e variações ao longo do mesmo.

Por recomendação do relatório, as zonas de nega ($N > 60$ pancada) correspondem a um terreno com uma capacidade admissível de 250 kPa.

Assim, tendo em conta o levantamento topográfico e os resultados dos ensaios, obteve-se a seguinte tabela sobre o cotado terreno com nega nos diversos ensaios.



Ensaio	Z ensaio	Prof Nega	Z (N>60)
(-)	(m)		
P1	108.75	3.75	105.00
P2	102.20	3.75	98.45
P3	111.75	2.25	109.50
P4	107.50	0.75	106.75
P5	101.50	2.00	99.50
P6	114.30	2.50	111.80
P7	110.30	2.75	107.55
P8	104.90	3.40	101.50
P9	112.30	1.40	110.90
P10	107.30	1.30	106.00

Assim, para cada um dos edifícios foi estimado a cota de terreno com nega com recurso a interpolações, de modo a definir o tipo de fundação, as quais serão descritas no capítulo seguinte.

3 CONDIÇÕES TÉCNICAS PARA EXECUÇÃO DE ATERROS SOB OS DIGESTORES

3.1 INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO

De acordo com o estudo geotécnico, a maioria dos materiais em presença apresenta características adequadas para aplicação em aterro, mesmo na perspetiva de os aterros garantirem condições de fundação aos pavimentos e apoios de estruturas a construir sobre eles.

No quadro seguinte apresenta-se o resumo dos resultados dos ensaios de caracterização de solos realizados (Geovia, outubro de 2024).

Quadro 18 – Resumo dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais efetuados em amostras remexidas

QUADRO RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DOS SOLOS																							
Amostra nº	Data	Local da Colheita	Descrição Visual	GRANULOMETRIA (% Passada)										Limites		T. A. %	G máx. s. g/cm³	T. H. %	C.B.R.		Classific. AASHTO	Classific. Unificada	OBSERVAÇÕES
				76,1	50,8	25,4	19	9,51	5	2	0,42	0,074	L.L.	U.L.	%				Exp. R.				
A.001	14/10/24	P1	Solo estranhado do aterro-argiloso	100	100	99	98	94	91	87	74	48,3	25,0	8,9	10,9	1,972	11,8	5,9	0,9	A-4	(3)	SC - Areia argilosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 200 metros
A.002	14/10/24	P2	Solo estranhado do aterro-argiloso	100	100	100	100	98	96	91	77	60,1	29,5	12,0	8,6					A-6	(6)	CL - Argila magra arenosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 140 metros
A.003	14/10/24	P3	Solo alho amarelado / alaranjado	100	100	100	100	100	99	94	78	49,0	23,7	9,1	7,8	2,015	9,4	6,2	1,0	A-4	(3)	SC - Areia argilosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 140 metros
A.004	14/10/24	P4	Solo amarelado alho	100	100	100	100	100	100	99	93	55,1	22,2	8,4	7,3					A-4	(4)	CL - Argila magra arenosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 140 metros
A.005	14/10/24	P5	Solo estranhado do / acastanhado o aterro-argiloso	100	100	100	100	96	92	86	76	53,1	25,7	9,9	8,1					A-4	(4)	CL - Argila magra arenosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 170 metros
A.006	14/10/24	P6	Solo amarelado alho	100	100	100	99	99	98	94	73	45,6	22,6	6,9	6,1	2,030	9,3	6,3	0,7	A-4	(2)	SC-SM - Areia argilo-silteosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 100 metros
A.007	14/10/24	P7	Solo estranhado do aterro-argiloso	100	100	100	100	100	99	95	80	56,2	29,6	11,4	9,2					A-6	(5)	CL - Argila magra arenosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 120 metros
A.008	14/10/24	P8	Solo acastanhado o aterro-argiloso	100	100	100	100	100	100	97	81	50,1	26,4	10,2	7,6	2,050	8,9	7,8	0,8	A-4	(3)	CL - Argila magra arenosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 120 metros
A.009	14/10/24	P9	Solo acastanhado o alho	100	100	100	100	100	99	97	93	65,1	27,9	10,5	8,8					A-6	(6)	CL - Argila magra arenosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 100 metros
A.010	14/10/24	P10	Solo amarelado alho	100	100	100	99	97	93	83	63	35,4	26,5	12,5	6,8	2,034	8,6	6,1	0,4	A-2-6	(6)	SC - Areia argilosa	Amostra colhida à profundidade 100 a 100 metros



Pode verificar-se que, dos dez solos ensaiados, um pertence ao grupo A-2-6 da classificação AASHTO, índice de grupo 0, seis ao grupo A-4, com índices de grupo entre 2 e 4, e os restantes três enquadram-se no grupo A-6, com índices de grupo 5 e 6.

A estes últimos, solos A-6 com índice de grupo 6, estão associadas percentagens de finos elevadas (mais de 60%), pelo que não se consideram adequados. Os restantes são solos que podem ser aplicados em aterro, com adequado desempenho.

Neste contexto, é importante que em obra se diferenciem os piores solos resultantes das escavações, devendo ser conduzidos a depósito, enquanto os mais adequados podem ser utilizados em aterros, nas condições abaixo descritas.

3.2 TRABALHOS PREPARATÓRIOS

3.2.1 LIMPEZA E DESMATAÇÃO

As superfícies de terrenos a escavar ou a aterrar devem ser previamente limpas de construções, pedra grossa, detritos e vegetação lenhosa (arbustos e árvores) conservando, todavia, a vegetação subarbustiva e herbácea, a remover com a decapagem.

A limpeza ou desmatação deve ser feita em toda a área abrangida pelo projeto, e inclui a remoção das raízes e do remanescente do corte de árvores.

3.2.2 DECAPAGEM

As áreas dos terrenos a escavar devem ser previamente decapadas da terra arável e da terra vegetal ou com elevado teor em matéria orgânica. Esta operação deve ser sempre estendida às áreas a ocupar pelos caminhos de obra ou outros equipamentos e ser executada de uma forma bastante cuidada para evitar posteriores contaminações dos materiais a utilizar nos aterros.

A terra vegetal proveniente da decapagem será aplicada imediatamente ou armazenada em locais adequados para aplicação posterior, ou conduzidas a depósito definitivo.

3.2.3 PROTEÇÃO DA VEGETAÇÃO EXISTENTE

A vegetação arbustiva e arbórea, nas áreas não atingidas por movimentos de terras, será protegida, de modo a não ser afetada com a localização de estaleiros, depósitos de materiais, instalações de pessoal e outras ou com o movimento de máquinas e viaturas. Compete ao Adjudicatário tomar as disposições adequadas para o efeito, designadamente instalando vedações e resguardos onde for conveniente ou necessário.

3.3 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

3.3.1 DISPOSIÇÕES GERAIS

Não é permitido o início da construção dos aterros sem que previamente a Fiscalização tenha inspecionado os trabalhos preparatórios e aprovado a área respetiva, e verificado se o equipamento de compactação proposto é o mais adequado e se estão instalados em obra os meios de controlo laboratorial necessários.

Na preparação da base onde assentam os aterros (fundação), deverá ter-se em atenção que, sempre que existam declives, deverá dispor-se a superfície em degraus de forma a assegurar a ligação adequada entre o material de aterro e o terreno natural. A altura dos degraus não deve em geral ser inferior à espessura das camadas.

Não é aconselhável a colocação, em camadas de aterros, de materiais com várias proveniências ou com características geotécnicas diferentes, tendo em vista garantir por um lado a representatividade do controlo de qualidade, e por outro garantir que o aterro tenha um comportamento homogéneo. Tal facto obrigará o Adjudicatário a efetuar uma adequada gestão dos materiais.

3.3.2 MATERIAIS A APLICAR NOS ATERROS E PRINCÍPIOS CONSTRUTIVOS

Os materiais a aplicar nos aterros serão resultantes das escavações, pertencentes às classes A-1, A-2, A-4 ou A6, estes últimos com índice de grupo máximo de 5, do sistema de classificação AASHTO. Para a sua caracterização deve realizar-se pelo menos um conjunto de ensaios por cada 5.000m³, compreendendo granulometria por peneiração, teor em água natural, limites de liquidez e de plasticidade, equivalente de areia, Azul de metileno e ensaio de compactação pesada.

A espessura das camadas, após compactação, não deverá ser superior a 40cm e a compactação relativa dos solos nos aterros, referida ao ensaio de compactação pesada (Proctor Modificado), deve ser de pelo menos 95%.

O teor em água natural dos solos antes de se iniciarem as operações de compactação deve ser tão próximo quanto possível do teor ótimo do ensaio de compactação pesada, devendo adaptar-se a energia de compactação a esse teor em água, o que implica compactação mais intensa no lado seco da curva (teores em água inferiores ao ótimo) e mais leve (com menos passagens por camada) se os teores em água forem superiores ao ótimo.

Os aterros que eventualmente se situem abaixo no nível freático, o que poderá acontecer nas zonas mais baixas, terão necessariamente de ser executados com material pétreo (rachão, por exemplo), envolto em geotêxtil com resistência à tração mínima de 25 kN/m, de preferência com saída de água dessa camada.

3.4 CONTROLE DOS ATERROS

Para garantir adequadas condições de fundação aos pavimentos e apoios de estruturas a construir sobre aterros dever-se-á garantir que estes sejam executados com bons materiais e bem compactados. Para além dos habituais métodos de controlo da compactação (com medições do teor em água e do grau de compactação referido ao ensaio Proctor mod.), a qualidade dos aterros deve ser testada com ensaios de carga em placa (NF P94-117-1), nas seguintes condições:

- os ensaios serão realizados com uma distribuição regular por toda a área, devendo cumprir-se um número mínimo correspondente a 1 ensaio por cada 1.500m² nas plataformas obtidas a cada duas camadas (aproximadamente 0,8m de altura de trabalho);
- deverão verificar-se os seguintes valores: $E_{v2} \geq 60 \text{ MPa}$ e $E_{v2} / E_{v1} \leq 2,2$.

3.5 ENSAIOS A REALIZAR E FREQUÊNCIA

3.5.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS

Para a caracterização dos materiais a aplicar em aterro estão previstos os seguintes ensaios e frequências mínimas:

Designação	Norma	Frequência (1 ensaio por ... m ³)
Compactação pesada	LNEC E 197 - 1966	5.000
Análise granulométrica	LNEC E 239 - 1970	5.000
Teor em água e Limites de Atterberg	NP 143 - 1969	5.000
Azul de metileno	NF P 94-068 - 1993	5.000
Equivalente de areia	LNEC E 199 - 1967	5.000

3.5.2 ENSAIOS DE CONTROLO DAS TERRAPLENAGENS

Para o controlo das terraplenagens estão previstos os seguintes ensaios e frequências mínimas:

Designação	Norma	Frequência (1 ensaio por ... m ³)
Teor em água e baridade in situ (método nuclear)	ASTM D 6938	500
Teor em água e baridade in situ (garrafa de areia)	LNEC E 204 - 1967	5.000
Ensaio de carga em placa	NF P 94-117-1 - 2000	1.200

4 SOLUÇÃO ESTRUTURAL

Pretendeu-se, na conceção estrutural destes edifícios, obter uma estrutura o mais económica possível que, indo inteiramente de encontro aos requisitos propostos no programa da Unidade de Produção de Biometano, permita uma construção utilizando processos construtivos simples e eficientes, adaptando-se a um reduzido prazo de construção, e cumprindo, obrigatoriamente, a sua função estrutural com total segurança.

4.1 EDIFÍCIO DE PROCESSAMENTO

O edifício de processamento trata-se de um edifício no qual se armazenam os resíduos se faz o processamento dos mesmos.

Para a estrutura principal, previu-se uma estrutura metálica em que a rigidez às ações horizontais se dá a partir de pórticos na direção do maior vão e contraventamentos na direção perpendicular. Os pórticos encontram-se em geral afastados entre os 6 a 7 m, permitindo assim uma solução económica.

A cobertura de duas águas foi feita com recurso a madres do tipo MADREMAX apoiadas nas vigas principais dos pórticos.

Adicionalmente, dada a quantidade de muros necessários para conter os resíduos (nomeadamente armazenamento de digestão sólido (zona 23) e armazenamento de sólidos no edifício de exploração de sólidos (zonas 25 e 26)), aproveitou-se esses muros para não só conterem o impulso provocado pelos materiais depositados, mas também para servir de apoio aos perfis metálicos de suporte da cobertura.

Para os muros da zona 23 (6 metros de altura) e das zonas 25 e 26 (3 metros de altura), previu-se um muro de suporte tradicional, tendo sido o impulso calculado assumindo um coeficiente de repouso 0.5 e o peso volúmico do respetivo material (1400kg/m³ para a zona 23, 1200 kg/m³ para a zona 25 e 1150 kg/m³ para a zona 26).

No que respeita a fundações, a generalidade do edifício encontra-se fundada entre a cota 106.90 e 108.90 (assumindo uma altura média de sapata de 0.60m e que a mesma está enterrada 0.50m, valor correspondente à altura da caixa de pavimento térreo), consoante a zona do edifício, devido à existência de um desnível de 2m em parte da área do mesmo.

O Edifício de Processamento encontra-se entre os ensaios P4, P6, P7 e P9. Enquanto na zona do ensaio P4 a cota da nega 106.75, no ensaio P6 a cota chega a 111.80m. Assim, foi assumida uma solução de fundação direta com tensão admissível de 250 kPa, sendo que no local se deve averiguar a necessidade de aplicação de betão ciclópico caso em algumas das zonas o extrato correspondente às 60 pancadas não seja intersetado.

Assim, para os pilares metálicos, houve 2 casos de carga condicionantes (considerando já os esforços na base da sapata incluindo o peso das terras acima da sapata), que levaram ao dimensionamento de uma sapata com dimensões 1.60mx3.20mx0.70m:

**CASO 1:**

$$N_{ed} = 920 \text{ kN}, M_{ed,x} = 250 \text{ kN.m}, M_{ed,y} = 25 \text{ kN.m} \rightarrow \sigma_{max} \\ = 234 \text{ kPa e } 100\% \text{ Sapata Ativa}$$

CASO 2:

$$N_{ed} = 530 \text{ kN}, M_{ed,x} = 250 \text{ kN.m}, M_{ed,y} = 25 \text{ kN.m} \rightarrow \sigma_{max} \\ = 158 \text{ kPa e } 97\% \text{ Sapata Ativa}$$

Relativamente ao assentamento de equipamentos (Bomba de Digestato Líquido) e tanques (Higienização), foi utilizada uma laje de assentamento de 25cm, verificando assim quer as tensões no terreno e garantindo que não ocorrem deformações consideráveis.

4.2 EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS

O edifício de escritórios trata-se de um pequeno edifício com uma área de 5.95m x 10.45m. Para o mesmo foi prevista uma estrutura metálica porticada com 3 pórticos afastados de 5.10m e com cobertura em madres C apoiadas nas vigas principais.

Esta solução é bastante leve e uma vez que se encontra sobre a zona do ensaio P6 (Z_{neg}=110.90m), recorreu-se a uma solução de sapatas diretas com dimensões 1.20m x 1.20m x 0.40m, com uma cota de base de fundação dentro do estrato com capacidade portante de 250 kPa.

4.3 DIGESTORES

Os digestores trata-se de 4 tanques (2 com 30m de diâmetro e 2 com 28m de diâmetro) sendo composto por uma estrutura de betão armado (fundações e paredes).

Os mesmos têm cota de base de 106.70, sendo que os ensaios próximos dos mesmos são os P5, P7 e P8. Tendo em conta os níveis de carga destes elementos, adotou-se uma solução com fundações diretas, considerando a laje de fundo como um ensoleiramento geral.

Assim, considerando os digestores com 30m de diâmetro, a carga vertical para a combinação característica resulta em tensões médias da ordem dos 120kPa, considerando o peso do material no digestor (1100 kg/m³), o peso da laje de fundação (0.70m de espessura), o peso das paredes em betão e a calote esférica (membrana dupla flexível polimérica).

Os 4 digestores estão implantados numa plataforma que em parte resulta de escavação e na restante em aterro. A base resultante da escavação tem capacidade para tensões instaladas superiores a 120kPa. Na área restante, em aterro, é necessário executar esse aterro de forma controlada, como descrito acima na presente memória, por forma a garantir condições de resistência e de deformabilidade.



4.4 LAJES DE ASSENTAMENTO DE EQUIPAMENTOS E TANQUE DE HIGIENIZAÇÃO

Para os vários equipamentos dispostos na Unidade de Produção de Biometano, independentemente da localização, foi estimada o peso de equipamentos e pesos de apoio comuns em projetos semelhantes, tendo-se obtido lajes com 0.25 m de espessura para garantir uma correta transição de cargas ao terreno, garantia da segurança ao punçoamento da laje no pé do equipamento e evitar assentamentos diferenciais no mesmo.

Para estas lajes de assentamento, assumiu-se uma tensão máxima de 50 kPa, de modo a cumprir para todas as zonas, mesmo nas que se encontram em zonas de aterro controlado, que deve garantir no mínimo esta tensão admissível.

Para os tanques de higienização foi assumido o mesmo controlo, mas onde resultou uma tensão admissível de 100 kPa. Uma vez que a cota de base da laje de fundação é aproximadamente 109.70m e dada a proximidade dos ensaios P7 e P9, se obteve uma cota de fundação próxima dos 109.70m, pelo que a tensão obtida cumpre os requisitos.

4.5 TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE LÍQUIDOS

O tanque de armazenamento de líquidos tem uma altura de 6m e um volume de 100 m³ de água.

Este tanque encontra-se na proximidade dos ensaios P7 e P9, obtendo-se uma cota de nega de aproximadamente 109.50m. Uma vez que a cota de fundo do reservatório é 106.70m, adotou-se uma solução de fundações diretas.

Considerando o peso das paredes, laje de fundo e água, obteve-se um esforço axial característico de 2160 kN, o que com a fundação com 0.35m de espessura e com um diâmetro de 7m, obteve-se uma tensão de cerca de 60kPa, verificando as condições de tensão admissível do terreno e obtendo assentamentos baixos.

4.6 TANQUES: COMBATE A INCÊNDIOS E ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Estão previstos três tanques: dois tanques de combate a incêndios e tanque para abastecimento de água. Entre os tanques de combate a incêndio existe também um edifício técnico.

Estes tanques encontram-se na proximidade dos ensaios P6 e P9, obtendo-se uma cota de nega de aproximadamente 110.40m. Uma vez que a cota de fundo dos reservatórios é 110.00m, adotou-se uma solução de fundações diretas.

Considerando o peso das paredes, laje de fundo e água, obteve-se uma tensão de cerca de 40kPa, verificando as condições de tensão admissível do terreno e obtendo assentamentos baixos. De modo a ter a mesma gama de assentamentos, o edifício técnico foi feito com recuso a laje mista, fundando assim à mesma cota dos reservatório.

5 MATERIAIS

5.1 BETÕES

O betão a utilizar nas fundações e nos muros periféricos, elementos em contacto com o solo, deverá ser do tipo C30/37 e da classe de exposição ambiental XC2.

Para os elementos de fundação, tendo em conta os recobrimentos adotados e a inexistência de elementos pré-esforçados, define-se uma dimensão máxima de inerte de 22mm e um teor de cloretos máximo de 0.4%.

5.2 Aços

O aço em varão será do tipo A500NR e será do tipo A500EL em malha electro soldada.

Para o aço da estrutura metálica adota-se o tipo S275JR para perfis abertos, tubulares e chapas.

Os parafusos e chumbadouros deverão ser da Classe 8.8.

6 AÇÕES BASE DE CÁLCULO

Foram consideradas as ações preconizadas no EC2 sendo combinadas de acordo com o prescrito nessa regulamentação, sendo as cargas descritas nos seguintes subcapítulos.

6.1 AÇÕES GRAVÍTICAS

6.1.1 COBERTURAS NÃO ACESSÍVEIS

Cargas permanentes

Revestimentos (em geral)	1.00 kN/m ²
Sobrecargas (SC)	0.40 kN/m ² ($\Psi_{0/1/2}=0.00/0.00/0.00$)

6.2 VARIAÇÕES DE TEMPERATURA

A ação da variação da temperatura foi considerada no dimensionamento da estrutura, tendo sido definida de acordo com a NP EN1991-1-5.

Foi considerado uma variação de temperatura de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ na estrutura.

De acordo com o Eudocódigo, os valores reduzidos da ação da temperatura são: $\psi_0=0,6$, $\psi_1=0,5$ and $\psi_2=0$.

6.3 SISMO

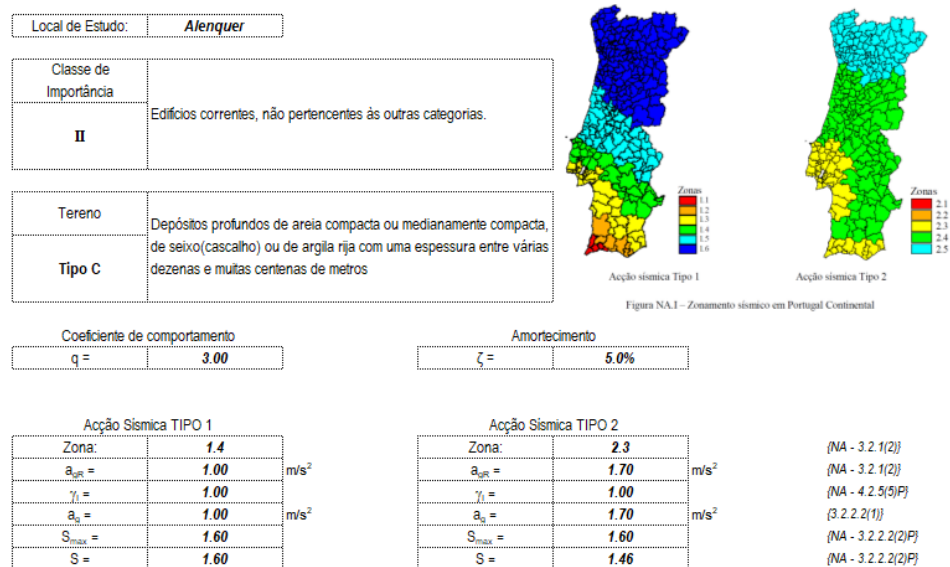
A ação sísmica foi quantificada de acordo com a norma NP EN 1998-1. Os valores da aceleração máxima nominal no terreno de fundação considerados foram definidos com base no tipo de terreno de fundação. De acordo com a análise efetuada considerou-se um terreno tipo C.

As massas e combinações de ações são obtidas para a situação de projeto sísmica.

A estrutura terá de possuir resistência e capacidade de dissipação energética, que dependem do nível de comportamento não linear pretendido. Na prática este equilíbrio é caracterizado pelos valores do coeficiente de comportamento e pela classe de ductilidade.

Para o edifício em questão foi efetuada uma análise modal por espectro de resposta para estudo da ação sísmica.

Estruturas de betão armado:



Estruturas de aço:

Local de Estudo: **Alenquer**

Classe de Importância

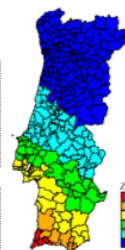
II

Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.

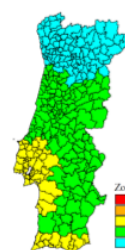
Tereno

Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo(cascalho) ou de argila rijas com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros

Tipo C



Ação sísmica Tipo 1



Ação sísmica Tipo 2

Figura NA1 – Zonamento sísmico em Portugal Continental

Coefficiente de comportamento

$q = 4.00$

Amortecimento

$\zeta = 2.0\%$

Ação Sísmica TIPO 1

Zona:	1.4	
a_{gr}	1.00	m/s^2
γ_i	1.00	
a_g	1.00	m/s^2
S_{max}	1.60	
S	1.60	

Ação Sísmica TIPO 2

Zona:	2.3	
a_{gr}	1.70	m/s^2
γ_i	1.00	
a_g	1.70	m/s^2
S_{max}	1.60	
S	1.46	

{NA - 3.2.1(2)}

{NA - 3.2.1(2)}

{NA - 4.2.5(5/P)}

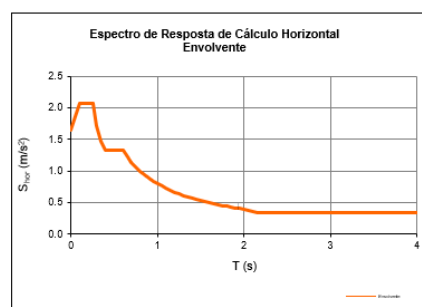
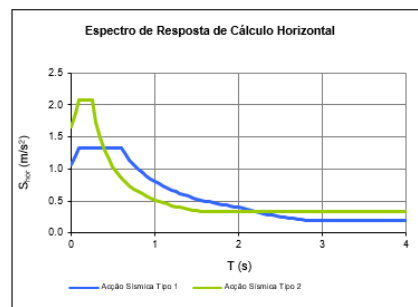
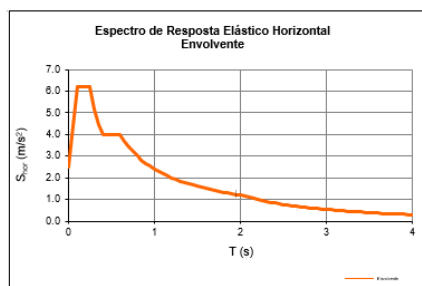
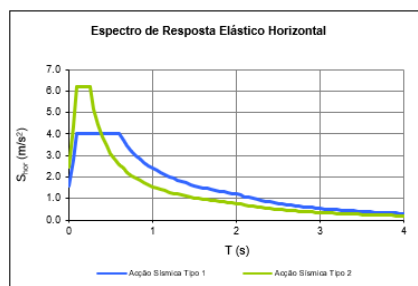
{3.2.2(1)}

{NA - 3.2.2.2(2/P)}

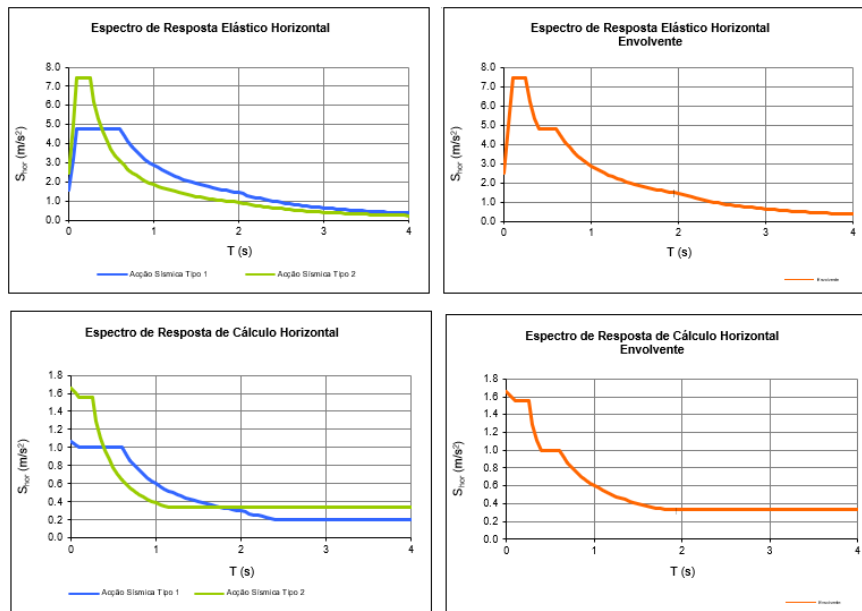
{NA - 3.2.2.2(2/P)}

Dos dados apresentados anteriormente, resultou o espectro de resposta de cálculo horizontal (envolvente) representado nas figuras seguintes.

Estruturas de betão armado:



Estruturas de aço:



6.4 VENTO

Na quantificação da ação do vento adotou-se o preconizado na NP EN 1991-1-4 (2010), para as situações de projeto aplicáveis, conforme EN 1990, 3.2.

Modelação das ações do vento:

A ação do vento é representada por um conjunto simplificado de pressões ou de forças cujos efeitos são equivalentes aos efeitos extremos do vento turbulento. As ações do vento são valores característicos (EN 1990, 4.1.2).

Para altura de referência (máxima, aproximada) entre 13.90 m, resultou uma pressão dinâmica de pico de 1.41 kN/m², conforme mostrado abaixo.



Zona Zona A

Valor de referência da velocidade do vento

$v_b =$	27.00 m/s	Valor de referência da velocidade	Secção 4
$c_{dir} =$	<u>1.00</u>	Coefficiente de direcção	4.2(2)P
$v_{b,0} =$	27.00 m/s	Valor básico da velocidade	NA-4.2(2)P, Nota 2
$c_{season} =$	1.0	Coefficiente de sazão	NA-4.2(1)P, Nota 2; Quadro NA.I
			4.2 (2)P Nota 3; 4.2(3); NA-4.2(2)P, Nota 3

Categoria de terreno / Coeficiente de rugosidade

$cat. =$	<u>I</u>	Zona costeira exposta a ventos de mar	Quadro NA 4.1
$z =$	<u>13.90</u> m	Altura de referência	Secção 7
$z_0 =$	0.005 m	Comprimento de rugosidade	4.3.2; Quadro NA 4.1
$z_{min} =$	1 m	Altura mínima	4.3.2; Quadro NA 4.1
$z_{max} =$	200 m	Altura máxima	4.3.2(1) Nota
$z_{0,II} =$	0.05 m		4.3.2(1)
$k_r =$	0.16	Coefficiente de terreno	Terrain Factor
$c_r(z) =$	1.28	Coefficiente de rugosidade	4.3.2(1)

Turbulência do vento

$k_1 =$	1.0	Coefficiente de turbulência	4.4(1) Nota 2
$c_0(z) =$	1.0	Coefficiente de orografia	4.3.1(1); 4.3.3
$I_w(z) =$	0.13	Intensidade de turbulência à altura z	4.4(1) Nota 2

Valor característico da pressão dinâmica de pico

$q_p(z) =$	1410.8 N/m ² 1.41 kN/m ²	Pressão dinâmica de pico	4.5(1); (4.8)
$\rho =$	<u>1.25</u> kg/m ³	Massa volumica do ar	4.5(1) Nota 2
$v_m(z) =$	34.63 m/s	Velocidade média do vento	4.3.1
$q_b =$	455.6 N/m ²	Pressão dinâmica de referência	4.5(1) Nota 1
$c_e(z) =$	3.10	Coefficiente de exposição	Basic Velocity Pressure 4.5(1) Nota 1

6.5 NEVE

A ação da neve não foi considerada dado o valor da sobrecarga considerada para a cobertura ser superior.

6.6 SEGURANÇA AO FOGO

A segurança ao fogo terá que ser concebida com recurso a pintura intumescente a aplicar na estrutura metálica, de modo a cumprir com uma resistência mínima de acordo com o tempo definido no projeto de segurança contra incêndios.

7 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

As combinações de ações consideradas tiveram em consideração o Eurocódigo, de acordo com as expressões seguintes.

7.1 COMBINAÇÕES PARA ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

7.1.1 COMBINAÇÃO FUNDAMENTAL (SOBRECARGAS E VENTO)

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} S_{Gik} + \gamma_q \left[S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0,j} S_{Qjk} \right]$$

7.1.2 COMBINAÇÃO FUNDAMENTAL (SISMO)

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \gamma_q S_{Ek} + \sum_{j=2}^n \psi_{2,j} S_{Qjk}$$

7.2 COMBINAÇÕES PARA ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

7.2.1 QUASE PERMANENTE

$$S_{qperm} = \sum_{i=1}^m S_{Gim} + \sum_{j=1}^n \psi_{2,j} S_{Qjk}$$

7.2.2 FREQUENTE

$$S_{freq} = \sum_{i=1}^m S_{Gim} + 1 S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2,j} S_{Qjk}$$

7.2.3 CARACTERÍSTICA

$$S_{caract} = \sum_{i=1}^m S_{Gim} + S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1,j} S_{Qjk}$$

8 VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA E DIMENSIONAMENTO

A verificação da segurança da estrutura, relativamente aos Estados Limite Últimos e Estados Limite de Utilização, foi realizada com base nos esforços determinados através da análise estrutural anteriormente descrita e com base na regulamentação em vigor que se especifica.

9 REGULAMENTOS E NORMAS

Para a elaboração do presente Projeto, foram utilizados os seguintes Regulamentos e Normas:



- NP EN NP EN 206:2013 + A2:2021 / Emenda 1:2024 - Betão - Especificação, desempenho, produção e conformidade.
- NP EN 13670:2011 + Emenda 3:2024 - Execução de estruturas de betão.
- LNEC E 464:2007 + Emenda 1:2022 (errata) - Betões. Metodologia prescritiva para uma vida útil de projeto de 50 e 100 anos face às ações ambientais.
- NP EN 1990:2009/A1:2019: *Eurocódigo - Bases para o projeto de estruturas*.
- NP EN 1991 -1 -1:2009: Eurocódigo 1 - Ações em estruturas — Parte 1 -1: Ações gerais — Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios.
- NP EN 1991-1-3:2009/A1:2017: Eurocódigo 1 - Ações em estruturas — Parte 1-3: Ações gerais — Ações da neve.
- NP EN 1991-1-4:2010/A1:2010: Eurocódigo 1 - Ações em estruturas — Parte 1-4: Ações gerais — Ações do vento.
- NP EN 1991 -1 -5:2009 - Eurocódigo 1 — Ações em estruturas — Parte 1 -5: Ações gerais — Ações térmicas;
- NP EN 1992-1-1:2010/AC:2012 - Eurocódigo 2 — Projeto de estruturas de betão — Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.
- NP EN 1993-1-1:2010/A1 2017 – Emenda à EN 1993-1-1
- NP EN 1997-1:2010/A1:2016/Errata 1:2019 - Eurocódigo 7 — Projeto geotécnico — Parte 1: Regras gerais.
- NP EN 1998 -1:2010: Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos — Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios.
- NP EN 1998 -5:2010: Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos — Parte 5: Fundações, estruturas de suporte e aspetos geotécnicos.

Lisboa, 17 de outubro de 2025