

A cúpula em betão e a conclusão das obras de Santa Engrácia



Adriana Monteiro¹



António Sousa
Gago²



Eduardo Júlio³

RESUMO

A Igreja de Santa Engrácia, hoje ‘Panteão Nacional’, é constituída por uma estrutura de alvenaria cuja construção se iniciou no século XVII, permanecendo inacabada por um longo período. A sua conclusão veio a registar-se já no século XX, mais precisamente em 1966, com a construção da cúpula em betão armado, projetada pelo Prof. Edgar Cardoso.

No presente artigo, descreve-se o processo construtivo da cúpula de betão armado, explicando-se, também, a solução adotada de ligação à estrutura já existente, em alvenaria. Complementando o enquadramento histórico, apresentam-se análises estruturais estáticas e dinâmicas e estuda-se o funcionamento da estrutura.

Com recurso a modelos de elementos finitos tridimensionais, assumindo comportamento elástico linear, foram identificados os elementos estruturais fundamentais no funcionamento estrutural do edifício, quer para as solicitações verticais, sobretudo o peso próprio da estrutura, quer para as ações sísmicas. Tendo por base inspeções efetuadas, ensaios de caracterização dinâmica conduzidas *in situ* e simulações recorrendo ao método dos elementos finitos foi possível verificar qual o efeito que a construção da cúpula em betão armado teve sobre a estrutura de alvenaria, já existente, e avaliar o atual nível de segurança estrutural do edifício. Apresentam-se os resultados dos estudos realizados, discutem-se as metodologias de análise adotadas e extraem-se conclusões sobre a segurança estrutural do edifício.

Palavras-chave: Cúpula; Betão Armado; Panteão Nacional; Igreja de Santa Engrácia; Estrutura de alvenaria; Análise Estrutural.

1. INTRODUÇÃO

Os monumentos antigos foram, em geral, construídos recorrendo a estruturas de alvenaria e madeira, sendo cada um deles utilizado em função das suas características mecânicas e de durabilidade. A alvenaria tem a particularidade de apresentar uma razoável resistência quando sujeita a esforços de compressão, sendo, porém, muito limitada, quase nula, quando sujeita a esforços de tração ou flexão.

¹ Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, DECivil, Lisboa, Portugal. adriana.monteiro94@gmail.com

² Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, DECivil, CERIS, Lisboa, Portugal. antonio.gago@tecnico.ulisboa.pt

³ Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, DECivil, CERIS, Lisboa, Portugal. eduardo.julio@tecnico.ulisboa.pt

Estas suas características mecânicas não permitem a sua utilização em peças lineares e só com recurso a estruturas arqueadas, os arcos, as abóbadas e as cúpulas, é possível vencer vãos recorrendo exclusivamente ao material alvenaria. A geometria arqueada possibilita que as cargas gravíticas sejam equilibradas através de fluxos internos de tensões de compressão, sem a necessidade de tensões de tração, permitindo colmatar a dificuldade de vencer grandes vãos com materiais não resistentes à tração. O estudo do equilíbrio de estruturas arqueadas em alvenaria baseia-se na identificação de distribuição de tensões de compressão que equilibrem os esforços atuantes nas secções transversais, podendo resumir-se a verificação do equilíbrio à análise da posição da linha de pressões, a qual deve estar no interior da espessura do arco.

O Panteão Nacional, em Lisboa, antiga Igreja de Santa Engrácia, tem a particularidade de apresentar dois sistemas construtivos distintos, executados em épocas diferentes. O primeiro, construído no século XVII, é constituído por uma estrutura maciça de elevada robustez, em alvenaria de pedra, marcada pelas suas paredes exteriores ondulantes e as quatro meias abóbadas no topo. O segundo, construído no século XX, é uma estrutura em betão armado, constituída por um tambor cilíndrico e uma cúpula no topo de duas cascas, com a qual o monumento ficou finalmente concluído.

No presente artigo, apresenta-se um estudo sobre o processo construtivo da cúpula em betão armado e sobre o funcionamento estrutural do edifício. Neste último, recorreu-se à análise estática e dinâmica do edifício através do programa de cálculo *SAP2000*, utilizando um modelo tridimensional de elementos finitos, assumindo comportamento elástico linear. Analisou-se o comportamento da estrutura sujeita à ação do peso próprio, assim como, sujeita a uma ação sísmica regulamentar (EC8), identificando-se, desta forma, as zonas críticas da estrutura, em termos de segurança.

2. CASO DE ESTUDO – O PANTEÃO NACIONAL

2.1 Evolução histórica

A estrutura original da Igreja de Santa Engrácia é da autoria do mestre pedreiro João Antunes e a sua construção teve início em 1682. É uma estrutura de alvenaria de pedra, apresentando todas as paredes interiores e exteriores revestidas a calcário de lioz. O seu projeto é diferenciado por ter uma planta centralizada, em cruz grega, onde as paredes exteriores ondulantes unem os quatro braços de igual dimensão, marcadas nos cantos por torreões e, ainda, por ter proporções e escalas com referências italianas (Fig. 1).

No momento da morte do mestre João Antunes, o edifício ainda não estava concluído, faltando construir a cobertura e os acabamentos interiores. Foi, então, construída uma cúpula em madeira por forma a cobrir o edifício. O edifício, ainda inacabado, foi utilizado para depósitos de sucata, de carvão, de areias e de outros artigos necessários para as fábricas localizadas no campo de Santa Clara, através da Direção-Geral de Artilharia, Ministério da Guerra. Por esta altura, a estrutura de madeira da cúpula foi substituída por uma nova estrutura provisória em ferro.

A Igreja de Santa Engrácia assumiu a condição de Panteão Nacional no dia 29 de abril de 1916. Em 1956, foram tomadas medidas para a construção da cúpula e para a recuperação da estrutura existente. A proposta selecionada para o prosseguimento das obras da cúpula do Panteão era da autoria do Arquiteto Luís Amoroso Lopes. Entre os anos de 1960 e 1966 deu-se a conclusão do edifício, com a construção da cúpula em betão armado, sendo o Prof. Edgar Cardoso o responsável pelo estudo estrutural e pela orientação das obras da construção (Fig. 1) [1] e [2].

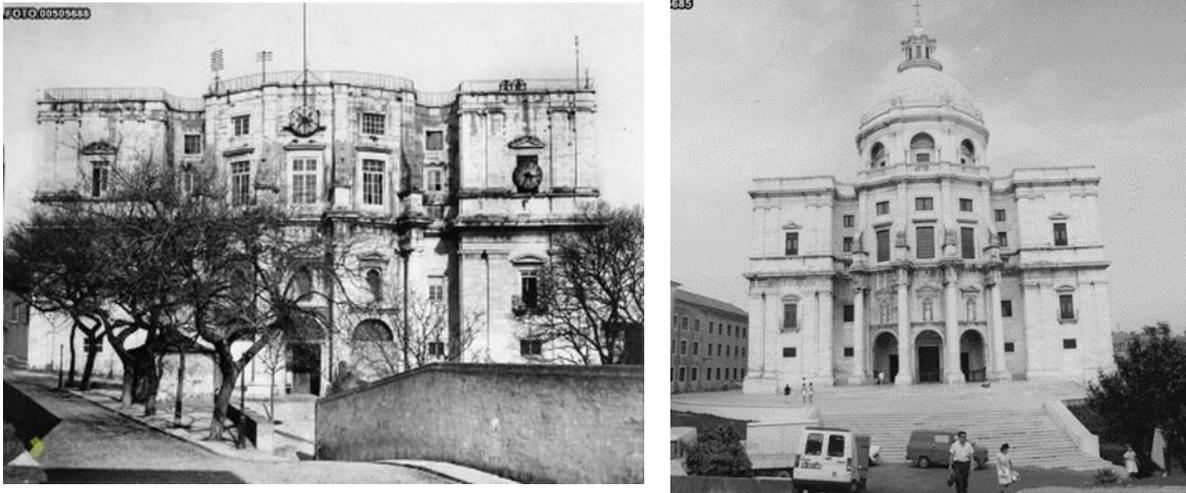


Figura 1. Esquerda: Fachada principal antes da construção da cúpula; Direita: O Panteão Nacional com as obras concluídas. Fonte: [2].

2.2 Processo construtivo da cúpula de betão armado

A cúpula em betão armado, construída a partir do ano de 1960, assenta na estrutura de alvenaria, em particular sobre os quatro cunhais de cantaria e os quatro arcos das meias abóbadas em cantaria. Tendo em conta a diferença dos tipos de materiais das duas estruturas – a existente em alvenaria e a nova em betão armado – foi necessário realizar uma ligação eficiente entre estas. Para esta ligação, o Prof. Edgar Cardoso considerou a construção de um anel de betão armado, indicando-se na Fig. 2 a sua localização, em alçado e em corte. Este anel foi construído a partir da cota 25 m da estrutura de alvenaria, tendo sido executada uma laje de betão armado, apoiada diretamente na cobertura da estrutura de alvenaria (Fig. 3). No interior da estrutura, a cota 25 m coincide com o topo dos arcos das meias abóbadas. O anel de betão armado apresenta 2 m de altura, sendo que a cota 27 m coincide com o nível do atual terraço, existindo, também nesta cota, uma laje de betão armado. Este anel é constituído por uma parede de betão armado com espessura de 0,60 m, existindo, adjacentes a esta parede, uma parede de pedra de cantaria e uma parede de alvenaria de tijolo. Na Fig. 3, observa-se a constituição das paredes do anel [3].

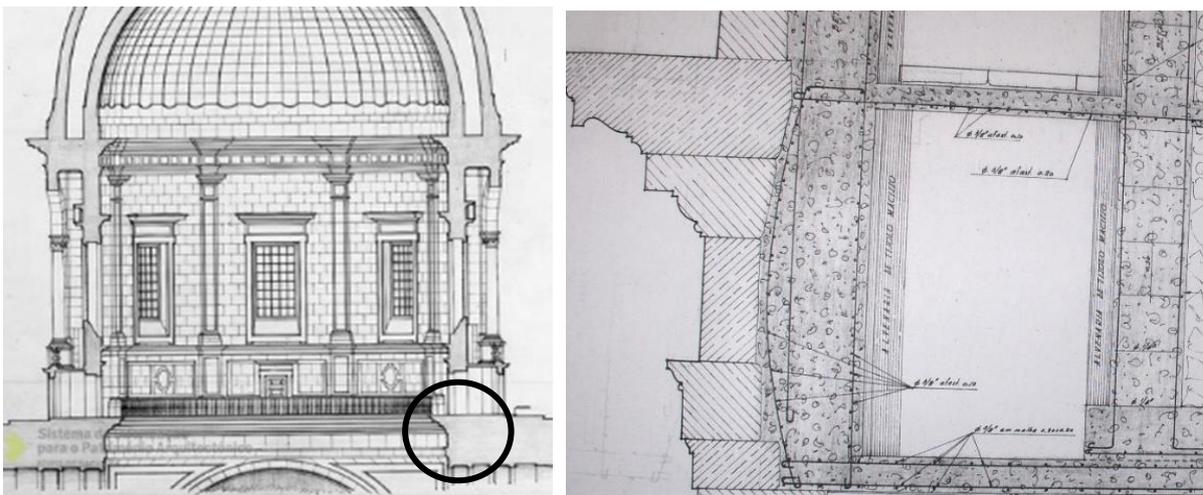


Figura 2. Esquerda: Localização do anel de betão armado, em alçado; Direita: Corte do anel de betão armado. Fonte: [2] e [4].

A partir da laje à cota 25 m arrancam, igualmente, as armaduras dos pilares da estrutura da cúpula. Estes encontram-se numa segunda camada paralela ao anel de betão armado constituída por paredes de alvenaria e paredes de betão ciclópico (Fig. 3).



Figura 3. Esquerda: Início da construção do anel de betão armado: laje de betão armado à cota 25 m; Direita: Pormenor da parede de betão armado e alvenaria de tijolo do corpo cilíndrico interior e parede de betão ciclópico do corpo cilíndrico exterior. Fonte: [2].

Acima do anel de betão armado localiza-se o tambor cilíndrico da cúpula. Este é constituído por dois corpos cilíndricos apresentando, até determinado nível, o mesmo sistema construtivo do anel de betão armado (Fig. 4). A partir da cota das varandas apenas ficam expostos os pilares de betão armado, revestidos a cantaria de pedra nas camadas exterior e interior (Fig. 4). No topo do tambor cilíndrico encontra-se um lintel de betão armado que efetua a ligação dos dois corpos cilíndricos do tambor e inicia o arranque das duas cúpulas de betão armado alinhadas com as paredes do tambor.

As duas cúpulas, de geometria parabólica, apresentam uma abertura no topo, fechada por um lanternim. O lanternim confere a ligação entre as cúpulas através de oito pilares de betão armado, revestidos a pedra de cantaria. Para o processo construtivo da cúpula interior foi utilizado um cimbre metálico, a partir do interior do edifício. As pedras de revestimento do interior da cúpula foram aplicadas sobre o cimbre, apresentando também a função de cofragem do betão. Acima das pedras de revestimento foi colocada a malha de armadura proveniente do lintel de betão armado (na base da cúpula), colocando-se sobre esta armadura um sistema de cofragens, sendo realizada posteriormente a betonagem da cúpula (Fig. 5). A superfície exterior desta cúpula não contém qualquer tipo de acabamento. O betão encontra-se à vista, tendo sido pintado anos mais tarde, [4].

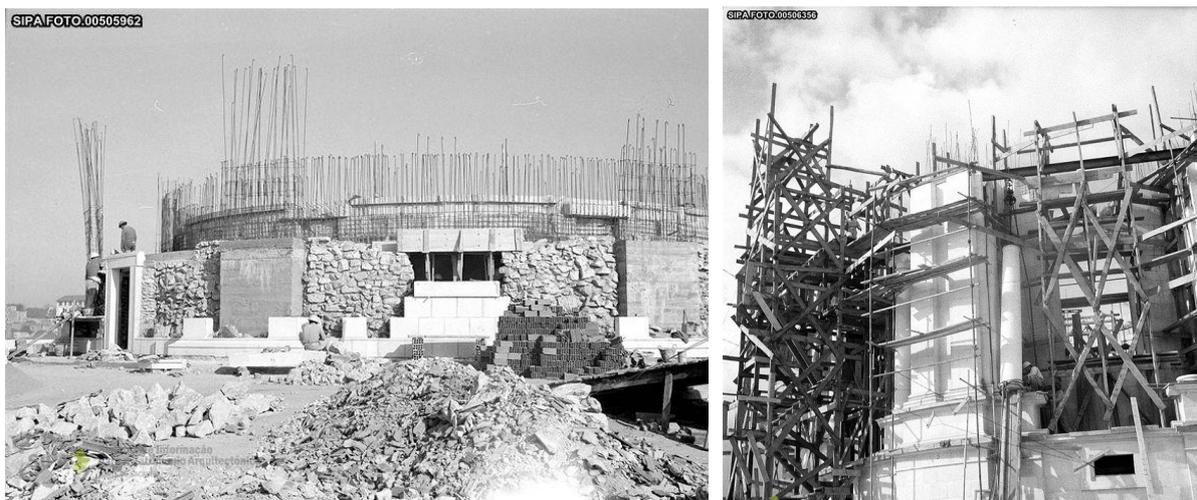


Figura 4. Construção do tambor da cúpula. Fonte: [2].



Figura 5. Esquerda: Construção da cúpula interior; Direita: Construção da cúpula exterior. Fonte: [2].

Na construção da cúpula exterior, foi criada uma estrutura tipo cimbria para se aplicar as cofragens. Esta estrutura, em madeira, encontra-se apoiada na cúpula interior, já construída. Após a aplicação da cofragem em madeira foram colocadas as malhas de armaduras. À semelhança da cúpula interior, na cúpula exterior, também a pedra de revestimento teve função de cofragem do betão armado pelo exterior. A betonagem foi realizada após a pedra de cantaria ser aplicada [4]. A ligação entre o betão armado das cúpulas e as pedras de revestimento foi feita pela adesão de argamassas de cimento e areia e através de elementos metálicos.

3. FUNCIONAMENTO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO DO PANTEÃO NACIONAL

3.1 Modelo numérico

Com a finalidade de estudar o comportamento estrutural do Edifício do Panteão Nacional recorreu-se a um modelo numérico tridimensional de elementos finitos com comportamento elástico linear [5] (Fig. 6) construído com recurso ao programa de cálculo *SAP2000* [6]. O modelo numérico teve algumas simplificações, de modo a reduzir o esforço computacional. Estas foram, em particular, a consideração de uma geometria com dupla simetria em planta e a não representação de pavimentos e aberturas de janelas. O modelo é constituído por uma estrutura de alvenaria em pedra, representada através de elementos sólidos. Estes possibilitaram uma melhor representação das áreas maciças que a estrutura de alvenaria dispõe, nomeadamente paredes de elevada espessura. A restante parte da estrutura, a cúpula de betão armado, foi simulada através de elementos de casca, sendo que apenas se simularam os elementos estruturais em betão armado. Os restantes elementos construtivos foram considerados como massa, influenciando na consideração de um peso volúmico equivalente nesta parte da estrutura. O modelo estrutural encontra-se apoiado com apoios fixos na base da estrutura de alvenaria, estando estes localizados em cada nó da malha que define a base da estrutura. Esta malha representa, unicamente, as zonas “maciças” da estrutura de alvenaria, procurando-se adotar uma configuração homogénea em planta e em altura, tendo em conta a disposição curva da arquitetura do edifício [5].

Relativamente aos materiais adotados no modelo numérico: na estrutura de alvenaria considerou-se o calcário de lioz e na estrutura de betão armado um betão C20/25. As propriedades mecânicas dos materiais aplicadas no modelo foram baseadas, inicialmente, nas referências [7] e [8]. No entanto, com a realização de ensaios de caracterização dinâmica *in situ* no edifício, efetuados em [5], procedeu-se à realização da calibração do modelo numérico por via do ajuste do módulo de elasticidade. Foram, deste modo, considerados os seguintes módulos de elasticidade: 3,65 GPa na estrutura de alvenaria e 15,00 GPa na estrutura de betão armado [5]. No que se refere ao peso volúmico considerou-se 27 kN/m³ [9] na estrutura de alvenaria, referente ao calcário de lioz, e adotou-se um peso volúmico equivalente de 61 kN/m³, na estrutura de betão armado, de forma a representar a massa total dos materiais existentes –

revestimento em pedra de cantaria, parede de alvenaria de tijolo e elementos de betão armado – nos 30 cm de espessura dos elementos de casca do modelo [5].

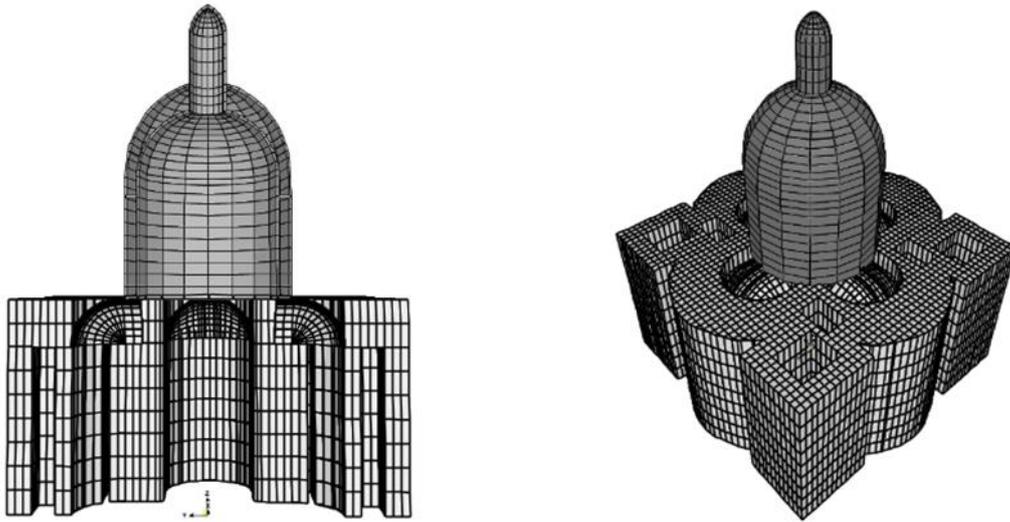


Figura 6. Esquerda: Corte transversal do modelo completo; Direita: Modelo completo [5].

3.2 Análise estática

De forma a avaliar as alterações do comportamento da estrutura do edifício do Panteão face à construção da cúpula de betão armado, e quais os impactos que esta representa na estrutura já existente – em alvenaria de pedra – foi analisada a resposta do funcionamento estrutural quando a estrutura se encontra sujeita apenas ao seu peso próprio. Desta forma, procedeu-se a uma análise estática, avaliando a distribuição das tensões verticais (σ_{33}) no modelo numérico da estrutura. Na estrutura de alvenaria verificou-se que a maior concentração de tensões de compressão se localiza no topo dos cunhais de cantaria (Fig. 7). A estrutura de betão armado apoia-se na estrutura de alvenaria, essencialmente nos quatro cunhais de cantaria e nos quatro arcos de cantaria das meias abóbadas. Porém, maioritariamente, é para os cunhais de cantaria que as cargas provenientes da estrutura de betão armado se encaminham, pelo facto destes elementos estruturais apresentarem uma maior rigidez face aos arcos [5].

Os cunhais de cantaria apresentam-se como os elementos fundamentais da estrutura de alvenaria no que respeita ao suporte da cúpula de betão armado, resistindo às cargas verticais oriundas desta. Os arcos de cantaria, embora contribuam no suporte da estrutura da cúpula de betão armado, acabam por, também, direcionar as cargas que suportam para os cunhais de cantaria. Os resultados obtidos da distribuição de tensões indicam que estas são inferiores à capacidade resistente da alvenaria de pedra, não se verificando problemas de esmagamento devido aos esforços de compressão. Com efeito, os valores máximos obtidos para as tensões de compressão, 2,3 MPa, são inferiores à resistência à compressão (f_c) da alvenaria de pedra, 6 MPa [10]. As tensões de tração e de corte obtidas com o modelo são de tal forma reduzidas que não suscitam preocupações [5].

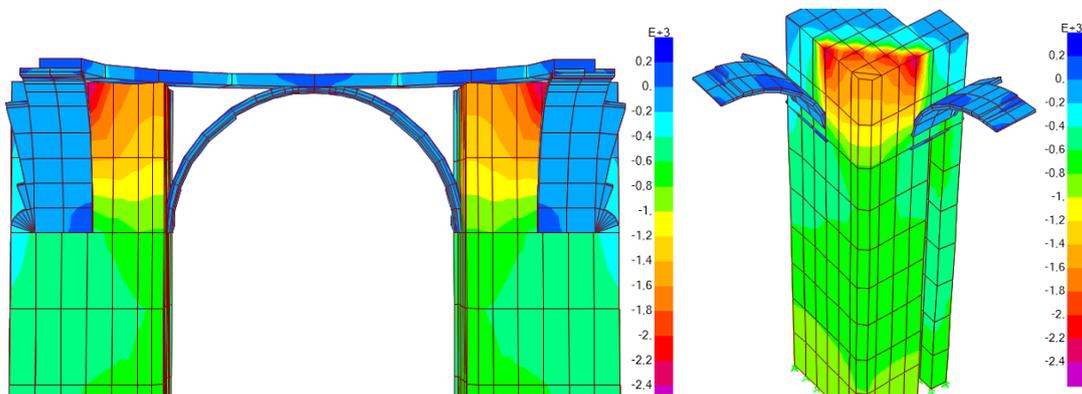


Figura 7. Distribuição das tensões verticais (σ_{33}) $\sigma_{\text{Min}} = -2,3$ MPa; $\sigma_{\text{Max}} = 0,1$ MPa, [5].

Na estrutura de betão armado, considerou-se a aplicação de uma carga distribuída, no bordo das aberturas no topo das duas cúpulas, referente ao peso próprio do lanternim. Procedeu-se ao estudo da distribuição das tensões circunferenciais (σ_{11}) e meridionais (σ_{22}), de modo a compreender o funcionamento da estrutura de betão armado face à ação do seu peso próprio (Fig. 8). Observou-se que no bordo das aberturas surge uma concentração de tensões circunferenciais (σ_{11}) de compressão [5]. Estas tensões de compressão resultam numa ação horizontal que equilibra o momento desestabilizador provocado pela ação vertical devido ao peso próprio dos elementos do bordo da abertura e ao peso do lanternim (Fig. 9) [11].

A aplicação da carga do lanternim produz, também, um efeito de flexão imediatamente abaixo do bordo das aberturas. Este, conduz ao aparecimento de tensões de tração na superfície exterior da cúpula e tensões de compressão na superfície interior. É de salientar que a estrutura de betão armado apresenta, em particular na direção meridional (σ_{22}), uma elevada concentração de tensões de compressão no alinhamento com os cunhais de cantaria. As fissuras que se identificam na superfície interior da cúpula do Panteão Nacional não são reproduzidas (em termos de tensões de tração nas direções meridional e circunferencial) no modelo numérico. Verifica-se no edifício a presença de pequenas fissuras meridionais, essencialmente, na cúpula maior, podendo estas estarem relacionadas com infiltrações de água pelo exterior da cúpula, devido ao mau isolamento das pedras de revestimento. Tendo em conta os resultados obtidos no modelo numérico e nas inspeções realizadas *in situ*, conclui-se que face à ação do seu peso próprio está garantida a segurança da estrutura [5].

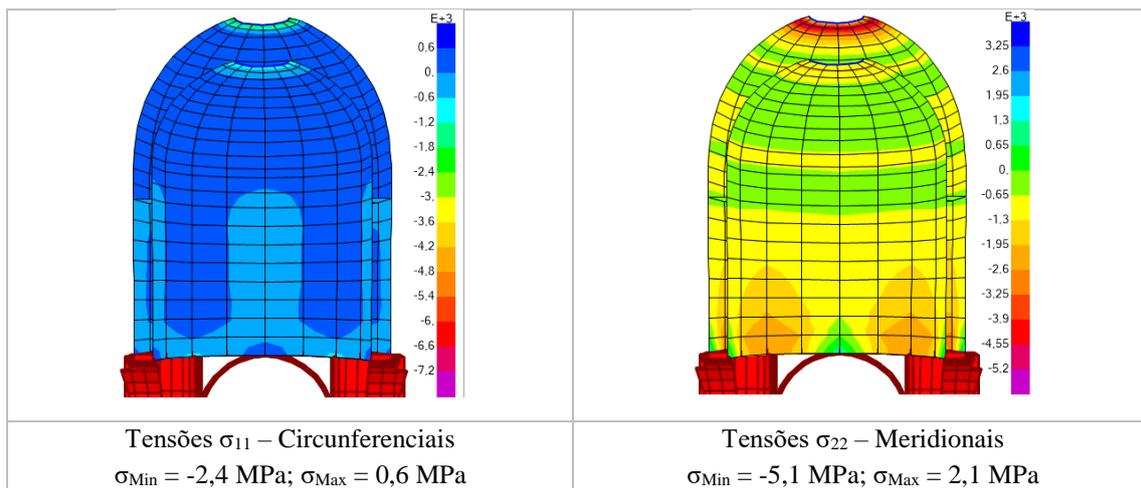


Figura 8. Tensões circunferenciais e meridionais na estrutura de betão armado na face interior [5].

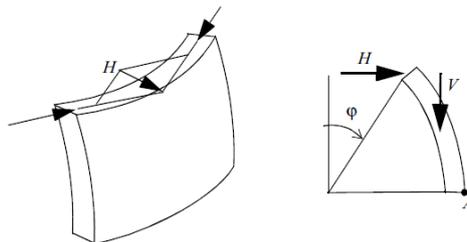


Figura 9. Equilíbrio do troço de uma cúpula esférica, [11].

3.3 Análise dinâmica

Antes da análise dinâmica estrutural, procedeu-se ao seu estudo de análise modal, Quadro 1. Através deste estudo, foi possível obter uma primeira perceção do comportamento da estrutura quando sujeita a ações horizontais, identificando-se os movimentos preponderantes em cada modo de vibração e os respetivos períodos e frequências. Verificou-se que os quatro primeiros modos de vibração correspondem a translações horizontais, em Y e em X. Estes repartem-se em dois conjuntos,

observando-se em cada um destes, uma translação em X e outra em Y, sendo que as frequências destas são praticamente iguais, resultando do facto de a estrutura ser praticamente simétrica nas duas direções [5].

Quadro 1 – Resultados da análise modal dos primeiros 5 modos de vibração [5].

Modo	Período [S]	Frequência [Hz]	Fator de Participação da Massa [%]			Valor Acumulado [%]			Movimento Preponderante
			UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY	ΣRZ	
1	0,37	2,72	0%	29%	0%	0%	29%	0%	Translação em Y
2	0,37	2,74	23%	0%	0%	23%	29%	0%	Translação em X
3	0,26	3,80	53%	0%	0%	76%	29%	0%	Translação em X
4	0,26	3,81	0%	44%	0%	76%	73%	0%	Translação em Y
5	0,20	4,88	0%	0%	78%	76%	73%	78%	Rotação em Z

Na avaliação do efeito da ação de um sismo na estrutura em estudo, recorreu-se à combinação de ações referente ao sismo do tipo 1 – sismo mais condicionante por conter as maiores acelerações espectrais nos quatro períodos principais – e à carga permanente, definida pelo Eurocódigo 8 (EC8-1) [12]. No entanto, foram adotados alguns critérios alternativos, nomeadamente na definição do coeficiente de comportamento da estrutura, o qual foi feito tendo por base os Regulamentos Italianos NTC-2008 [13] e OPCM [14]. Pretendeu-se avaliar a intensidade das tensões (de compressão e de tração) resultantes do efeito sísmico e identificar a localização das maiores concentrações de tensões (Fig. 10).

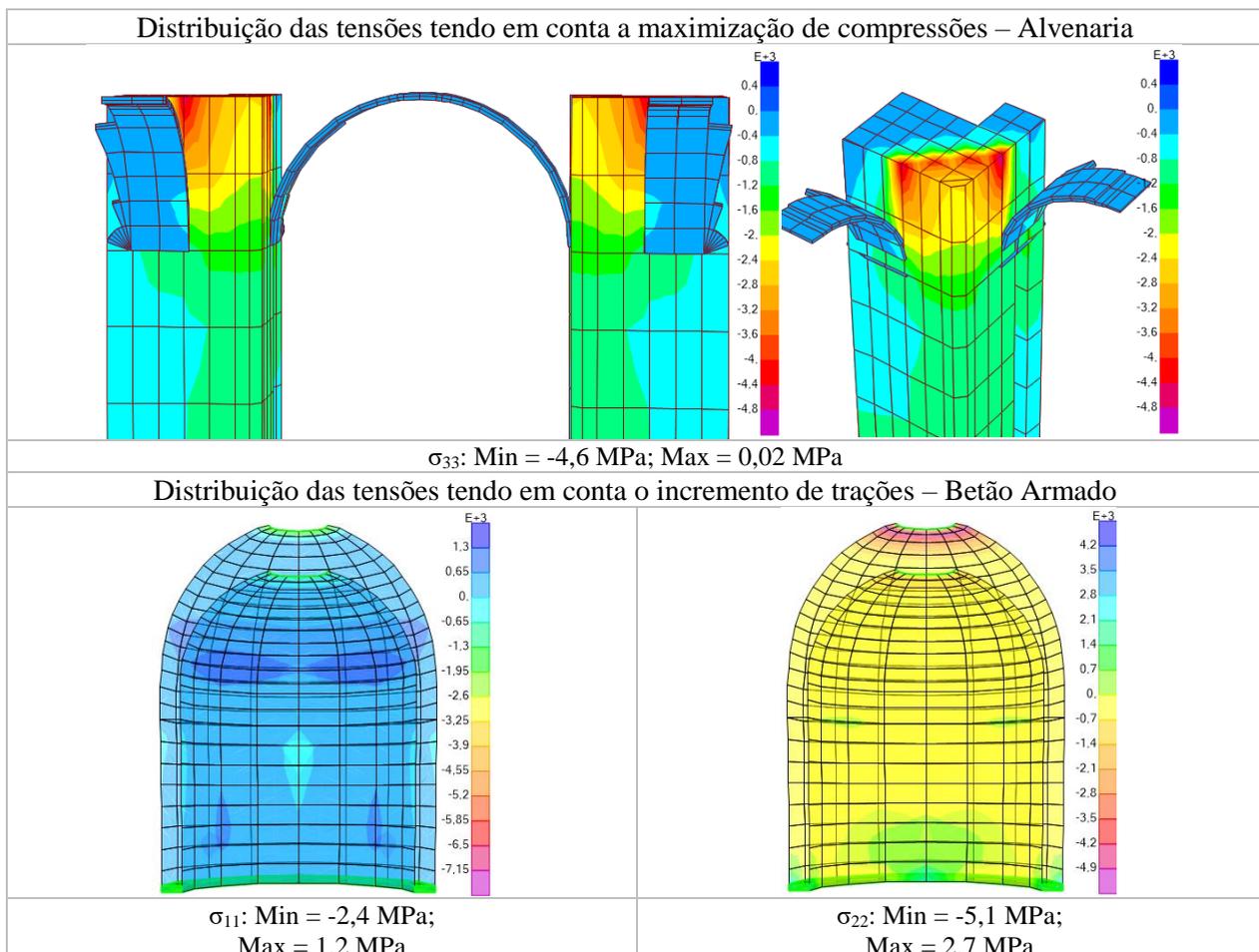


Figura 10. Distribuição das tensões verticais (σ_{33}) na estrutura de alvenaria e das tensões circunferenciais (σ_{11}) e meridionais (σ_{22}) na estrutura de betão armado, para a combinação de ações: Sismo 1 e Carga Permanente [5].

Sob a ação do sismo, observa-se que os cunhais de cantaria são os elementos estruturais com maior incidência de tensões de compressão, sendo igualmente os elementos fundamentais no suporte da estrutura de betão armado. Embora se verifique um aumento considerável no valor destas tensões, o seu valor máximo é, ainda, inferior à resistência à compressão da alvenaria de pedra, verificando-se, portanto, que não ocorrem problemas de esmagamento nesta parte da estrutura. As tensões de tração observadas, tendo em conta a combinação de ações, não apresentam valores condicionantes [5].

Na estrutura de betão armado, verifica-se a presença de tensões de compressão elevadas no alinhamento com os cunhais de cantaria. Contudo, avaliando a distribuição das tensões tendo em conta o incremento de tensões de tração provocado pelo sismo, verifica-se a existência de tensões de tração nos apoios, bem como acima dos alinhamentos do topo dos arcos de cantaria. Na análise estática verificou-se que os arcos de cantaria não oferecem uma participação ativa no suporte da cúpula de betão armado, sendo os elementos de suporte sujeitos a menores compressões. Neste sentido, sob a ação sísmica, as tensões de tração refletem-se com maior incidência nestes elementos, comparativamente aos cunhais de cantaria, os quais estão sujeitos a elevados esforços de compressão. As tensões de tração mais significativas localizam-se imediatamente abaixo do bordo das aberturas da cúpula e resultam do efeito de flexão provocado pela aplicação da carga do lanternim. Estas poderão levar ao aparecimento de fendas [5].

Tendo em conta os resultados obtidos no modelo numérico e nas inspeções realizadas *in situ*, conclui-se que o edifício satisfaz a segurança estrutural em relação à solicitação sísmica regulamentar [5].

4. CONCLUSÕES

No presente artigo, fornecem-se elementos relativos à conclusão da construção da Igreja de Santa Engrácia, nomeadamente à execução da sua cúpula em betão armado. Apresenta-se a descrição do processo construtivo da cúpula de betão armado, salientando-se a solução de ligação entre as duas estruturas – de alvenaria e de betão armado – constituída por um anel de betão armado localizado entre o topo dos arcos de cantaria e o atual nível do terraço, com 2 m de altura. Este anel de betão armado, para além de unir a nova estrutura à estrutura já existente permite, igualmente, garantir o eficiente encaminhamento das cargas verticais provenientes da estrutura de betão armado para a estrutura robusta de alvenaria de pedra. Na descrição da construção das cúpulas de betão armado evidenciou-se, ainda, o contributo das pedras de revestimento. Estas desempenharam a função de cofragem do betão fresco, tanto na cúpula interior como na exterior, permitindo, de certo modo, cooperar na resistência e equilíbrio das cúpulas de betão armado.

A criação de um modelo numérico de elementos finitos, de comportamento elástico linear, para simulação da estrutura do edifício permitiu estudar o seu funcionamento estrutural quando sujeito a ações estáticas e dinâmicas (ação sísmica regulamentar EC8-1). A realização de ensaios de caracterização dinâmica no edifício possibilitou a calibração do modelo numérico, obtendo-se, desta forma, resultados mais próximos da realidade.

Tanto na análise estática como na análise dinâmica verificou-se que os cunhais de cantaria são os elementos fundamentais da estrutura de alvenaria e constituem o suporte da estrutura de betão armado – a cúpula. É para estes elementos verticais que são encaminhadas grande parte das cargas provenientes da cúpula, estando, assim, sujeitos a concentrações de compressão no topo, em particular na zona de apoio da cúpula. Embora se verifiquem elevadas concentrações de tensões de compressão face à restante estrutura, estes valores não resultarão em situações de esmagamento, por serem valores inferiores aos limites admissíveis. Constatou-se, também, que nas duas situações de análise – estática e dinâmica – as tensões de tração são reduzidas. Concluiu-se, desta forma, que a segurança da estrutura de alvenaria é garantida.

Na estrutura de betão armado verifica-se a presença de tensões de tração imediatamente abaixo das aberturas no topo, resultando de um efeito de flexão provocado pela aplicação da carga do lanternim

distribuída no bordo das aberturas. Estas tensões de tração na análise estática não indicam a possibilidade de ocorrência de fissuras. Embora na análise dinâmica os valores observados sejam superiores à tensão de rotura à tração do betão, havendo a possibilidade de este fendilhar, estas tensões não oferecem perigo no que respeita à ocorrência de colapso da estrutura.

Assim, tendo em conta os estudos desenvolvidos, é possível afirmar com relativa confiança que a estrutura do Panteão Nacional se encontra em condições de segurança no que respeita à ação estática, ou seja, quando sujeita apenas à sua carga permanente. Constatou-se, de igual modo, que a estrutura quando sujeita a um sismo regulamentar apresenta uma resposta satisfatória, não resultando tensões significativas. Neste sentido, a segurança da estrutura está garantida.

AGRADECIMENTOS

A realização do presente estudo não seria possível sem o contributo, fundamental da Dr.^a Isabel Melo, Diretora do Panteão Nacional, que sempre se mostrou disponível para receber os autores e colaborar no presente estudo. A ela, também, se agradece a disponibilização dos elementos de projeto originais e outros elementos, nomeadamente, peças desenhadas, elementos fotográficos e memórias descritivas.

REFERÊNCIAS

- [1] Araújo, G; Melo, I; Neto, M. J. (s.d.). “Obras de Santa Engrácia – O Panteão na República”. Lisboa: Ministério da Cultura, Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico, Panteão Nacional
- [2] SIPA. (2017, setembro 11). SIPA, Igreja de Santa Engrácia/Panteão Nacional. Obtido de http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=4721
- [3] Cardoso, E. (1965). "Verificação da Estabilidade da Construção Existente". Lisboa: Panteão Nacional.
- [4] Delgado, J. (2006). "Projecto de Recuperação da cúpula, 1ª fase - Estudo prévio". Lisboa: Ázimo, Lda., IPPAR - Direcção Regional de Lisboa.
- [5] Monteiro, A. (2018). “Análise Estrutural da Cúpula e do Edifício do Panteão Nacional”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- [6] SAP2000®. (s.d.). Three Dimensional Static and Dynamic Finit Element Analysis and Design of Structures. CSI Computers & Structures, inc, Structural and Earthquake Engineering Software, Berkeley, Califórnia, EUA.
- [7] Lourenço, P.; Pagaimo, F.; Júlio, E. (2005). “Caracterização das Paredes de Alvenaria da Vila de Tentúgal”. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas 54: 35-42.
- [8] Guimarães, M. (2009). "Caracterização de Paredes de Alvenaria de Pedra por Técnica Sónica", Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto.
- [9] Primeira Pedra - Lioz Calcários. (2018, fevereiro 22). Obtido de: <http://www.primeirapedra.com/stones/lioz/>
- [10] Ferreira, V.; Farinha, B. (1977). "Tabelas Técnicas para Engenharia Civil", 8ª Edição. Lisboa: Associação dos Estudantes do I.S.T..
- [11] Gago, A. S. (2004). "Análise Estrutural de Arcos, Abóbadas e Cúpulas", Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- [12] EC8-1. (2004) NP EN 1998-1, Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios. CEN
- [13] NTC-2008 (2008), Norme Tecnica per le Costruzioni, NTC
- [14] OPCM. (2005). Ordinance PCM 3274 and Modifications OPCM 3431, Chapter 8 - Buildings with masonry structure, Chapter 11 - Existing masonry buildings. English version.