

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO LEVE COM PÉROLAS DE EPS

Artur Lenz Sartorti¹; Ricardo Carrazedo² & Libânio Miranda Pinheiro³

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo estudar o comportamento dinâmico de lajes maciças de concreto leve estrutural com pérolas de EPS, peso específico da ordem de 12 kN/m³, fazendo-se uma comparação com o comportamento dinâmico de lajes maciças de concreto comum (peso específico de 24 kN/m³). Para tanto, a pesquisa está fundamentada em uma revisão bibliográfica sobre dinâmica de estruturas. Posteriormente serão realizados ensaios de caracterização dinâmica e estática dos concretos utilizados. Na sequência, é desenvolvida uma análise numérica com o auxílio do software SAP 2000®. A análise numérica colabora com a análise experimental, definindo os pontos onde serão posicionados os acelerômetros e onde serão aplicados os impactos em ensaios de análise modal de lajes com dimensões reduzidas. A análise experimental fornece dados que são úteis para a compreensão do comportamento dinâmico das peças estruturais. Os dados da análise experimental servem também para calibrar o modelo numérico, possibilitando melhorar a análise teórica da estrutura.

Palavras-chave: Análise Dinâmica. Vibração. Concreto Leve com EPS. Lajes. Análise Modal.

ANALYSIS OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF MASSIVE SLABS OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH EPS BEADS

Abstract

This research aims to study the dynamic behavior of massive slabs of lightweight structural concrete with EPS beads, specific weight around 12 kN/m³, making a comparison with the dynamic behavior of massive slabs of ordinary concrete (specific weight of 24 kN/m³). Therefore, the research is based in a literature review on dynamic of the structures. Thereafter, dynamic and static characterization tests of the used concretes will be carried out. In the sequence, a numerical analysis with the help of SAP 2000® software is developed. The numerical analysis collaborates with the experimental analysis, defining the points where accelerometers are positioned and where the impacts in tests of slab modal analysis with reduced dimensions will be applied. The experimental analysis provides data that are useful for understanding of the dynamic behavior of the analyzed structural pieces. The data of the experimental analysis are also used to calibrate the numerical model, making possible to improve the theoretical analysis of the structure.

Keywords: Dynamic Analysis. Vibration. Lightweight Concrete with EPS. Slabs. Modal Analysis.

Linha de Pesquisa: Estruturas de Concreto e de Alvenaria.

¹ Doutorando em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, artur.sartorti@usp.br

² Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, carrazedo@sc.usp.br

³ Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, libanio@sc.usp.br



1 INTRODUÇÃO

O concreto leve estrutural com pérolas de EPS (poliestireno expandido) e peso específico da ordem de 12 kN/m^3 apresenta vantagens, pela redução do peso próprio das peças. Essa redução é explicada pela baixa densidade do EPS e por ele não absorver água. Conforme Aitcin (2000), os concretos leves têm sido utilizados desde a construção do Panteão romano, cerca de 1850 anos atrás.

Por outro lado, é necessário garantir conforto e segurança aos usuários, além da integridade estrutural. Entre outras exigências normativas, a limitação de vibrações é algo que precisa ser contemplado. Nóbrega (2004) e Almeida (2010) destacam a necessidade desse estudo, tendo em vista: necessidade de economia dos recursos energéticos; tendência arquitetônica de estruturas mais leves e esbeltas; desenvolvimento de materiais mais resistentes; adoção de técnicas construtivas mais rápidas, como o uso de elementos pré-moldados; alto grau de degradação e sérias patologias em edificações já existentes, devidas a excessos vibratórios; mudança, forma e intensidade de algumas ações e possibilidade da utilização de técnicas computacionais que refinam e agilizam a análise.

A análise dinâmica desenvolvida nesta pesquisa busca a determinação de três itens imprescindíveis em qualquer estudo desse tipo, que são as frequências naturais, os modos de vibração (deformadas modais) e o amortecimento estrutural. Esses parâmetros são de extrema importância quando é desenvolvido um projeto estrutural.

2 METODOLOGIA

A pesquisa baseia-se em revisão bibliográfica sobre dinâmica das estruturas e ensaios dinâmicos de caracterização do concreto leve com EPS (CLEPE). Com base na investigação bibliográfica, serão feitos ensaios laboratoriais para caracterizar o comportamento dinâmico de lajes maciças com CLEPE e concreto comum, em modelos reduzidos. A análise laboratorial é auxiliada pela análise numérica prévia pelo Método dos Elementos Finitos (MEF). A análise numérica posterior é realizada para a comparação dos resultados de laboratório com os obtidos pelo MEF, bem como para o aperfeiçoamento do modelo teórico.

3 DESENVOLVIMENTO

Em geral, as normas e os regulamentos definem um limite mínimo para a frequência natural da estrutura. A ideia inerente nesse conceito é afastar o máximo possível a frequência de excitação da frequência natural, evitando ressonância. As deformadas modais, além de indicarem a forma de movimentação da estrutura em uma determinada frequência natural, auxiliam na determinação dos pontos em que devem ser medidas as respostas da estrutura. Em casos nos quais os efeitos dinâmicos são excessivos, a elevação do fator de amortecimento é uma das soluções mais comuns. Portanto, a determinação do amortecimento da estrutura é importante para a análise dinâmica.

Essa análise em peças contínuas é denominada análise modal, que é um processo para determinação das características dinâmicas inerentes de um sistema, em forma de frequências naturais, fatores de amortecimento e modos de vibração, e para usá-los para formular um modelo matemático para o seu comportamento dinâmico, que é referido como o modelo modal do sistema, e as informações sobre as características são conhecidas como os seus dados modais (He e Fu, 2001).

Tanto a análise teórica (modelo em elementos finitos) quanto a análise experimental fazem parte da análise modal. A vantagem da utilização do modelo teórico e do experimental é a retroalimentação. Em outras palavras, o modelo teórico fornece dados iniciais para a otimização do modelo experimental, que por sua vez alimenta o modelo teórico com dados mais realistas, calibrando o primeiro e possibilitando futuras análises, com dados mais precisos.

Para que a análise dinâmica seja realizada com sucesso, o material precisa ter as características físicas (principalmente o módulo de elasticidade) avaliadas de forma dinâmica. Sendo assim, a determinação do módulo de elasticidade dinâmico do concreto, nesta pesquisa, é feita através do Sonelastic®, que é um equipamento acoplado a um *software* que, ao captar o som emitido pelo material, devido a um pequeno impacto, realiza uma transformada rápida de Fourier (FFT) e encontra a função de resposta em frequência (FRF) do corpo de prova. Com a FRF é possível a determinação das frequências naturais e do fator de amortecimento do material. Com a primeira frequência natural, é possível obter o denominado módulo de elasticidade dinâmico, imprescindível para a análise dinâmica. Destaca-se que esse ensaio é não destrutivo.

Após a caracterização do material, será executada a análise modal experimental. Para definir os pontos iniciais onde serão posicionados os acelerômetros e onde será aplicado o impacto, foram modelados oito sistemas estruturais (quatro para cada tipo de concreto) no *software* SAP 2000®, como indicado na Figura 1. Com esses modelos foram obtidas as 12 primeiras frequências naturais e seus modos de vibração, como exemplificado na Figura 2. Com esses dados foram definidos os pontos onde serão posicionados os acelerômetros e onde podem ser aplicados os impactos. Deve-se ter em mente que esses pontos não podem ser nós modais. A sistemática dos ensaios consiste em escolher um desses pontos para ser o de introdução da ação dinâmica de impacto, e outro ponto para se ter o acelerador de referência. Nos demais pontos, outros aceleradores serão posicionados, e mediante as sucessivas excitações, serão obtidas as respostas estruturais. Com essas respostas é feita uma FFT para a obtenção da FRF.

Para a análise experimental, foram construídas paredes de alvenaria, indicadas na Figura 3, simulando o caso de apoios de lajes em edifícios com alvenaria autoportante. Na Figura 4 tem-se a foto de uma forma em compensado naval, com a armação para concretagem de um painel de laje maciça com 5 cm de espessura. A armadura das lajes é composta de tela Q45, aço CA-60 e ganchos de içamento. O cobrimento adotado foi de 1,5 cm, garantido pela colocação de espaçadores plásticos.

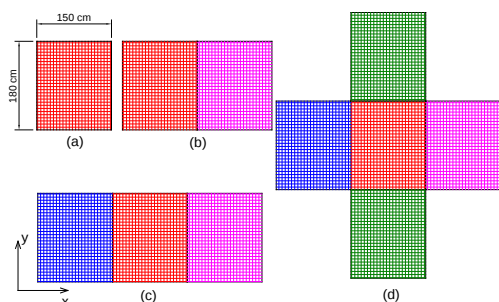


Figura 1 – Modelos analisados: (a) laje isolada, (b) laje com uma continuidade, (c) laje com duas continuidades, e (d) laje com quatro continuidades.

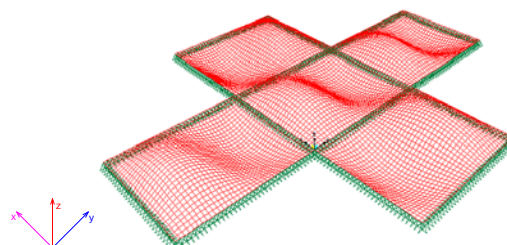


Figura 2 – Exemplo de deformada modal.



Figura 3 – Visão geral das paredes de sustentação.



Figura 4 – Forma e armação.

O plano experimental consiste em cinco etapas. A primeira é o ensaio de um painel isolado (Figura 1a). Na segunda são ensaiados dois painéis, colocados lado a lado, ligados por concreto fluído de alta resistência inicial, simulando uma continuidade (Figura 1b). Na terceira são considerados três painéis (Figura 1c). Na quarta são ensaiados cinco painéis (Figura 1d). Na quinta são considerados entalhes de 1,5 cm de profundidade em todas as ligações, e os ensaios são repetidos. A finalidade

dos entalhes é verificar a influência de danos localizados nas regiões de momentos negativos.

4 RESULTADOS ESPERADOS

Com os resultados experimentais, espera-se que sejam encontrados valores das frequências naturais modais e formas de vibração próximas às obtidas com a análise numérica prévia. Com os ensaios de caracterização dinâmica do material, pretende-se obter os valores do amortecimento do concreto leve com EPS e do concreto comum.

Finalmente, com os resultados obtidos, pretende-se avaliar as possibilidades de uso das lajes maciças com CLEPE, com base nas solicitações dinâmicas.

5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Com base nos resultados obtidos nas análises numéricas prévias, observa-se que:

- O primeiro modo de vibração de todos os modelos de um mesmo concreto têm frequências naturais iguais. Isto é justificado, pois o primeiro modo em todas as análises é o modo de flexão fundamental de uma laje retangular;
- As frequências naturais resultaram em valores elevados. A explicação para esse fenômeno é que os modelos (painéis de lajes) estão em escala reduzida. Essa redução aumenta a rigidez da peça, pelo fato dos vãos serem menores. O aumento da rigidez tende a diminuir o período, e consequentemente aumentar a frequência natural;
- Percebe-se que alguns modelos têm frequências naturais que se repetem além da primeira. Isso acontece pelo fato de alguns modos serem fundamentais para uma laje isolada e não são afetados pela continuidade;
- Todos os 12 modos em todos os modelos são flexionais;
- Os valores das frequências naturais para os modelos com CLEPE são menores que os de concreto comum. A explicação para isso é que o módulo de elasticidade do CLEPE é menor, diminuindo a rigidez do modelo e, portanto, elevando o valor do período e diminuindo a frequência natural.

6 AGRADECIMENTOS

Ao SET-EESC-USP e ao Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP).

7 REFERÊNCIAS

- AÏTCIN, P. C. (2000). **Concreto de alto desempenho**. Tradução: SERRA, G. G. São Paulo: Pini.
- ALMEIDA, S. F. (2010). **Análise experimental estática e dinâmica da rigidez de ligações viga-pilar de concreto pré-moldado**. 204f. Tese (Doutorado) – Escola e Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- HE, J.; FU, Z. (2001). **Modal analysis**. Oxford: Butterworth Heinemann.
- NÓBREGA, P. G. B. (2004). **Análise dinâmica de estruturas de concreto: estudo experimental e numérico das condições de contorno de estruturas pré-moldadas**. 285f. Tese (Doutorado) – Escola e Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.