

## **CONTRIBUIÇÃO DE LAJES E PAREDES DE VEDAÇÃO NA RESISTÊNCIA DE UM PÓRTICO ESPACIAL DE CONCRETO ARMADO FRENTE A SISMOS NA CIDADE DE FORTALEZA**

**Wandson L.Mota**

[wandsonloiola10@gmail.com](mailto:wandsonloiola10@gmail.com)

*Universidade Federal do Ceará, campus Crateús*

Rodovia BR-226, Km 03, s/n, 63700-000, São Vicente, Crateús-CE, Brasil.

**Carlos David Rodrigues Melo**

[cdavid@crateus.ufc.br](mailto:cdavid@crateus.ufc.br)

*Universidade Federal do Ceará, campus Crateús*

Rodovia BR-226, Km 03, s/n, 63700-000, São Vicente, Crateús-CE, Brasil.

**Resumo.** No projeto de estruturas em geral, é importante uma análise dos possíveis carregamentos estáticos e dinâmicos que venham a ocorrer. Casos comuns são cargas estáticas relativas à utilização da estrutura, a ação de ondas nos pilares de uma ponte, ação do vento, sismos etc. Um bom projeto estrutural deve ter rigidez suficiente para resistir aos possíveis carregamentos atuantes, ao passo que busca manter a configuração mais eficiente possível. Vários fatores influenciam na rigidez das estruturas, como a resistência dos materiais constituintes, área de seção transversal dos elementos, tamanho dos vãos, condições de apoio etc. No entanto, a literatura mostra que lajes e paredes também podem ter um papel importante na rigidez global dos edifícios. Considerando que a norma técnica brasileira NBR 15421 – Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos, em vigor desde 2006, considera que parte do nordeste, incluindo o Ceará, possui risco sísmico não desprezível, é importante conhecer o quanto esses elementos (lajes e paredes) influenciam na rigidez e até que ponto vale a pena considerá-los no modelo de cálculo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é estudar a influência das paredes de vedação e das lajes na rigidez e desempenho de um pórtico espacial de concreto armado submetido a um sismo. Para isso, foi projetado a estrutura de um edifício de utilização residencial com cinco pavimentos segundo a NBR 6118:2014 e através do software TQS. Em seguida, o efeito do sismo foi aplicado e sua resposta estudada através do programa Autodesk Robot Structural Analysis, baseado no Método dos Elementos Finitos. Para o estudo proposto, foram criados três modelos, a saber: pórtico espacial sem lajes e paredes, pórtico espacial apenas com lajes e pórtico espacial com lajes e paredes. Cada um foi analisado e as respostas comparadas. Os resultados apontam que modelos que consideram lajes e paredes de vedação tendem a ter deslocamentos, rotações e frequências naturais até 40% menores dos que não consideram. Além disso, não só a laje apresenta importante participação na rigidez e resposta a sismos, as paredes podem ter significativa importância e atuar como um amortecedor.

**Palavras-chave:** Sismos, concreto armado, lajes e elementos de vedação, análise dinâmica, método dos elementos finitos.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a NBR 15421[1], ações sísmicas são ações decorrentes da resposta de uma estrutura aos deslocamentos sísmicos no solo, que provoquem esforços e deformações na estrutura. Devido estar localizado no centro de uma placa tectônica, o Brasil apresenta baixas ocorrências de sismos. No entanto há regiões que apresentam historicamente alguma suscetibilidade a ocorrência deste evento. A mesma norma divide o Brasil em 5 zonas sísmicas numeradas de 0 a 4, onde quanto maior o número maior a probabilidade de ocorrência de sismos.

Um dos métodos utilizados para análise sísmica é o método espectral no qual uma estrutura de múltiplos graus de liberdade é decomposta em vários sistemas simples de um grau de liberdade independentes entre si. A resposta para cada um desses osciladores e a combinação destas pode ser feita por o método da raiz quadrada da soma dos quadrados das respostas obtidas em cada modo, de acordo com o indicado no item 10.3 da NBR 15421 [1]. A obtenção das frequências naturais de vibração e dos modos constitui um problema de autovalor e auto vetor, em que são levados em conta a distribuição de massa e rigidez na estrutura. Vale ressaltar ainda que de acordo com o item 10.1 da mesma norma o número de modos a ser considerado na análise deve ser suficiente para capturar ao menos 90% da massa total em cada uma das direções ortogonais consideradas.

Dessa forma, este artigo objetiva-se à análise da influência de lajes e paredes de vedação na rigidez e comportamento de um pórtico espacial de concreto armado frente a um sismo. Para isso, foi dimensionada a estrutura de um edifício residencial de 5 pavimentos de acordo com as normas nacionais por meio de uma versão comercial do *TQS* e realizada a análise dinâmica deste mediante a aplicação de um espectro de resposta através do *Autodesk Robot Structural Analysis*. Ao final, os resultados são comparados e um panorama é traçado.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Dimensionamento com o TQS

Por meio do TQS dimensionou-se um edifício em concreto armado de 5 pavimentos com área construída de 1157.8 m<sup>2</sup>, altura total em relação ao topo da fundação de 16.8 m onde a distância de piso a piso é 3.06 m e a profundidade da fundação é de 1.5 m. Para isto, utilizou-se como critérios mínimos de segurança as normas NBR 6118 [2], NBR 6120 [3], NBR 6123 [4] e NBR 8681 [5]. Empregou-se para dimensionamento concreto de fck de 25 MPa para todos os elementos e fez-se uso dos aços CA-25, CA-50 e CA-60 na armadura. O edifício é composto por lajes nervuradas e pelo pórtico espacial o qual está com suas respectivas seções mostrado na Fig.1(a). Como parâmetro de durabilidade usou-se a classe de agressividade II ficando assim definidos os cobrimentos.

Após determinação dos carregamentos e combinações para os estados limites últimos e estados limites de serviço de acordo com as normas nacionais alguns dos critérios de projeto foram a flexibilização das ligações viga/pilar, modelo enrijecido para viga de transição e como método para análise dos efeitos de segunda ordem fez-se uso da análise P-Delta, além disso foram feitas as verificações de estabilidade global.

### 2.2 Modelagem da estrutura no *Robot*

Foram modelados três casos para análise nomeados como caso 1, 2 e 3, sendo eles mostrados respectivamente na Figura 1(a), 1(b) e 1(c). O primeiro trata-se de um pórtico espacial, o segundo composto pelo primeiro caso com acréscimo das lajes nervuradas modeladas como diafragmas rígidos e o terceiro composto pelo segundo caso com acréscimo de paredes de alvenaria de vedação de tijolos cerâmicos furados e revestimento argamassado modelada como elemento de casca, considerou-se de acordo com o código de práticas N° 01 [6] tijolos com resistência de 3 MPa, módulo de deformação a compressão axial de 1.8 GPa, juntas de assentamento com argamassa de resistência de 5MPa, além de considerar a eficiência da parede em relação aos tijolos como 25%.

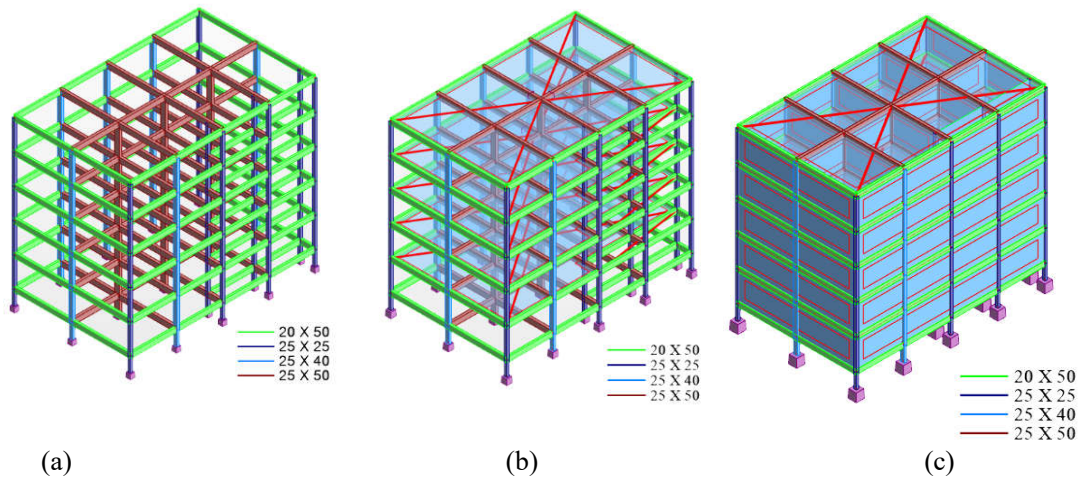


Figura 1 – Pórtico dimensionado pelo software comercial TQS. (a) Modelo de pórtico, (b) Modelo de pórtico com lajes, (c) Modelo de pórtico com lajes e vigas.

Com o intuito de verificar a influência da rigidez das lajes e paredes considerou-se a massa de todos os elementos nos três casos, dessa forma no caso 1 por meio do método das charneiras plásticas foram transferidos as cargas de peso próprio da laje e outras cargas permanentes além da carga de alvenaria para as vigas, no modelo 2 e 3 as cargas foram aplicadas diretamente nas lajes, vale ressaltar que nos casos apresentados, devido a modelagem dos elementos, o software aplica automaticamente o peso próprio destes.

### 2.3 Definição do espectro de projeto

De acordo com o item 6.1 da NBR 15421 [1] grande parte do Ceará encontra-se em uma zona de sismicidade 1, onde a aceleração sísmica horizontal característica normalizada para terrenos da classe B denotada por  $a_g$  encontra-se no intervalo  $0.025g \leq a_g \leq 0.05g$  conforme a tabela 1 desta mesma norma, a letra  $g$  denota a aceleração da gravidade adotada como  $9.81 \text{ m/s}^2$ , para este estudo adotou-se o caso extremo onde  $a_g = 0.05g$ . Com base na Tabela 2 da norma adotou-se um terreno de classe C.

Para definição do espectro de resposta do projeto onde obtém-se a aceleração horizontal ( $S_a$ ) em função do período natural ( $T$ ) considerando resposta elástica e um sistema de um grau de liberdade com razão de amortecimento crítico de 0.05, utiliza-se como base  $a_g$  e a classe do terreno. Entrando com estes dois parâmetros na Tabela 3 da NBR 15421 [1] obtém-se os coeficientes  $C_a$  e  $C_v$  que são respectivamente os fatores de amplificação sísmica para o solo nos períodos de 0.0 s e 1.0 s.

Desta forma, são determinadas as acelerações espectrais para os períodos 0.0 s e 1.0 s denotados por  $a_{gs0}$  e  $a_{gs1}$  respectivamente, utilizou-se a EQ.1 e a EQ.2.

$$a_{gs0} = C_a a_g \cdot 1$$

$$a_{gs1} = C_v a_g \cdot 2$$

Em seguida o espectro pode ser definido por meio da EQ.3, EQ.4 e EQ.5, equações essas dadas no item 6.2 da NBR 15421 [2].

$$S_a(T) = a_{gs0} \left( 18.75 T \frac{C_a}{C_v} + 1 \right) \cdot 3 \quad \left( \text{para } 0 \leq T \leq \frac{C_a}{C_v} \cdot 0.08 \right)$$

$$S_a(T) = 2.5 a_{gs0} \cdot 4 \quad \left( \text{para } \frac{C_a}{C_v} \cdot 0.08 \leq T \leq \frac{C_a}{C_v} \cdot 0.4 \right)$$

$$S_a(T) = \frac{a_{gs1}}{T} \cdot 5 \quad \left( \text{para } T \geq \frac{C_a}{C_v} \cdot 0.4 \right)$$

### 2.4 Análise modal e espectral

Utilizando o robot definiu-se casos modais em duas direções horizontais perpendiculares entre si denominados X e Y, sendo a direção X a de maior rigidez, além de um caso tridimensional, com 10 modos para cada análise modal, levando em conta a massa ativa em cada direção, além de matriz de massa consistente, o método de cálculo utilizado foi o de interação de subespaço. Para a análise espectral aplicou-se o espectro de projeto calculado no item 2.3 para cada uma das direções X e Y e depois combinadas assim como é recomendado por help. Autodesk [7]. Para obtenção das respostas elásticas finais utilizou-se a regra da raiz quadrada da soma dos quadrados, no robot denominada como combinação SRSS.

### 3 Resultados e discursões

Os parâmetros obtidos necessários a determinação do espectro de resposta, mostrado na Figura 4 são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do espectro de projeto

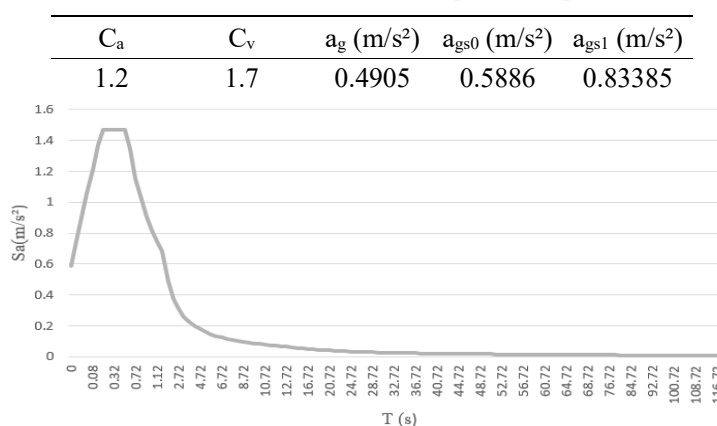


Figura 4. Espectro de resposta do projeto

Para os casos 1, 2 e 3 é apresentado na tabela 2 as frequências naturais de vibração da estrutura. Nota-se que comparando o segundo caso com o primeiro há em média um afastamento de 40.44% entre as frequências naturais, sendo que as últimas encontram-se com maior diferença, o que pode ser atribuído a não consideração da laje e de sua rigidez no caso 1, vale ressaltar que está sendo verificado sua contribuição para os modos naturais tendo em vista que esta é de fundamental importância na transmissão dos esforços horizontais para os elementos verticais. Comparando o caso 2 ao 3 percebe-se em média um afastamento 34.33% das frequências, sendo maiores nos três primeiros modos, mostrando assim a grande importância da rigidez das paredes de vedação mesmo estas não possuindo função estrutural significativa.

Tabela 2. Frequências naturais

Modo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Frequência caso 1 (Hz)	0.8	0.96	1.01	1.66	1.94	2.34	2.46	2.71	2.94	3
Frequência caso 2 (Hz)	0.78	0.93	0.98	2.34	2.86	2.99	3.83	4.92	5.06	5.11
Frequência caso 3 (Hz)	1.85	2.13	2.18	2.61	3.7	5.06	5.93	6.37	6.39	6.48

Na tabela 3 são mostrados os maiores deslocamento para a combinação SRSS, onde UX, UY e UZ são as translações nas direções X, Y e Z (Z é o eixo vertical); de forma análoga RX, RY e RZ são as rotações nas direções mencionadas. Os deslocamentos obtidos para o caso 2 são maiores que no

caso 1 em média 12.66% mostrando assim a influência das frequências naturais frente a ações sísmicas e a maior capacidade de transmissão dos esforços pela laje além da influência de sua rigidez, já os deslocamentos do caso 3 são menores em média 53,36% que do caso 2, novamente observa a significativa influência da rigidez das paredes de vedação embora não sejam elementos estruturais. Os deslocamentos máximos da estrutura ocorreram no sexto modo natural o que implica uma maior proximidade da frequência do sismo a sexta frequência natural que fazendo a média para os três casos é de 3.46 Hz.

Tabela 3. Deslocamentos máximos

	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
Caso 1	3.2839	33.9519	0.5774	1.8822E-03	1.0260E-04	8.1718E-04
Caso 2	5.0613	35.0003	0.5913	1.8900E-03	1.5900E-04	8.1300E-04
Caso 3	0.1535	10.1304	0.8989	7.6000E-04	7.1500E-05	8.6900E-05
Modo	6	6	6	6	6	6

## 4 Conclusão

A análise dos resultados obtidos leva a perceber que além de ser responsável pela transmissão de grande parte das ações sísmicas, as lajes tem grande influência nas frequências naturais de vibração e nos deslocamentos devido a sua rigidez, o que era esperado devido sua natureza estrutural. Quanto as paredes, observa-se também que apresenta grande influência nas frequências e deslocamento o que implica da contribuição da rigidez destas, além de serem grandes fontes de massa. As paredes de vedação mostraram-se um importante mecanismo de amortecimento dinâmico, onde no caso de estudo contribuíram de forma muito significativa na resposta final com o aumento das frequências naturais e diminuição dos deslocamentos. Logo, os resultados apresentados aqui apontam que modelos de cálculo que não consideram lajes e paredes tendem a apresentar maiores deslocamentos e menores frequências naturais. Isso pode implicar em projetos mais conservadores e/ou valores de frequências naturais inadequados a verificação da segurança da estrutura. Desta forma aconselha-se que o modelo de análise dinâmica inclua a rigidez e massa do pórtico, lajes e paredes, além das massas significantes que se espera estar presentes na estrutura durante sua vida útil.

## Agradecimentos

Agradecimentos a Universidade Federal do Ceará pelo apoio e contribuição a pesquisa.

## Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15421**: Projeto de estruturas resistentes a sismo - Procedimento. Rio de Janeiro: Abnt, 2006.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro: Abnt, 2014.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimentos. Rio de Janeiro: Abnt, 1980.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações – Procedimentos. Rio de Janeiro: Abnt, 1988.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimentos. Rio de Janeiro: Abnt, 2003.
- [6] CÓDIGO DE PRATICAS. **CÓDIGO DE PRÁTICAS N° 01**: ALVENARIA DE VEDAÇÃO EM BLOCOS CERÂMICOS. São Paulo, 2009.
- [7] <https://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2019/ENU/?guid=GUID-CBD64D76-847E-4CFC-A366-674F04CCC4D5>