



## **Estudo teórico para a obtenção do período fundamental de edifícios de concreto com alvenarias de preenchimento via formulação simplificada**

**Gerson Moacyr Sisniegas Alva<sup>1</sup>, Alessandro Onofre Rigão<sup>2</sup>, Marco Antônio Silva Pinheiro<sup>3</sup>, João Kaminski Junior<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia / Faculdade de Engenharia Civil / gmsalva@ufu.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria / Centro de Tecnologia / rigaoa@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria / Centro de Tecnologia / marco.pinheiro@ufsm.br

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria / Centro de Tecnologia / jkj@ufsm.br

### **Resumo**

Apresenta-se neste trabalho um estudo teórico para a estimativa do período fundamental de edifícios de múltiplos andares, simétricos em planta e sem irregularidades em planta e na vertical, com sistema estrutural formado por pórticos de concreto com alvenarias de preenchimento. A estimativa é feita por meio de expressões simplificadas, as quais foram obtidas por meio de regressão de resultados oriundos de análise modal de 288 edifícios, com características geométricas e mecânicas usuais no Brasil. Nas análises utilizou-se o modelo de pórtico com diagonais equivalentes, onde as alvenarias de preenchimento são simuladas por meio de diagonais comprimidas articuladas. As expressões simplificadas obtidas por regressão foram comparadas com a expressão aproximada recomendada na norma brasileira de projeto de estruturas resistentes a sismos - ABNT NBR 15421 (2023). As forças horizontais totais na base da estrutura, obtidas com as expressões investigadas, também foram comparadas, observando-se diferenças relevantes.

### **Palavras-chave**

Período fundamental; Pórticos de concreto; Alvenarias de preenchimento; Análise modal; Análise sísmica.

### **Introdução**

O período fundamental de vibração de um edifício é um parâmetro de suma importância para o projeto de estruturas resistentes a sismos, para a obtenção das forças sísmicas com o Método das Forças Horizontais Equivalentes, conforme diversas normas internacionais e a ABNT NBR 15421 (2023).

Nos projetos estruturais, as alvenarias de preenchimento fixadas nos sistemas estruturais de pórticos de concreto armado usualmente não são consideradas como elementos de contraventamento frente às ações horizontais. Dessa forma, despreza-se a rigidez dessas alvenarias, considerando-se apenas o correspondente peso e/ou a massa nas análises estáticas e dinâmicas.

Entretanto, diversas pesquisas encontradas na literatura internacional, tais como as de Amanat e Hoque (2006), Kose (2009), Ricci *et al.* (2011), Perrone *et al.* (2016), Asteris *et al.* (2016), Al-Balhawi e Zhang (2017) e Asteris *et al.* (2017), indicam que o período fundamental e o comportamento frente às ações horizontais sísmicas são bastante influenciados pela presença das alvenarias de preenchimento em estruturas de edifícios de concreto armado. Embora mais recente que no exterior, no Brasil têm sido realizadas investigações numéricas e experimentais sobre pórticos de concreto e de aço preenchidos com alvenarias submetidos a ações horizontais, com maior ênfase nos efeitos do vento, podendo ser citadas as de Alvarenga (2002), Santos (2007), Silva (2014), Souza (2014), Montandon (2018), Grandi (2018) e Rigão (2022). Mais recentemente, Silva (2021) e Alva *et al.* (2024) investigaram a influência das alvenarias de preenchimento sobre o período fundamental de edifícios de concreto, com ênfase na análise sísmica.

Sobre a avaliação aproximada do período fundamental, encontram-se na literatura diversas formulações, inclusive em códigos normativos. A maioria das formulações levam em conta apenas a altura total do edifício e o tipo de sistema estrutural. Sabe-se que, no comportamento real frente a um sismo, a estrutura principal interage com elementos considerados não estruturais. Nesse aspecto, SU *et al.* (2005), Kim *et al.* (2009) e

Asteris *et al.* (2016) indicam que a presença das alvenarias de preenchimento exerce grande influência sobre o período fundamental de vibração dos edifícios. O número e o comprimento dos vãos das vigas (distância entre pilares), a rigidez das alvenarias e a presença de aberturas nas mesmas também são parâmetros que influenciam o período fundamental. Na realidade, englobar em uma única expressão analítica todos os parâmetros intervenientes no período fundamental de uma estrutura de edifício é uma tarefa desafiadora.

Embora o período fundamental possa ser obtido via análise modal, o uso expressões analíticas para a estimativa deste parâmetro ainda é útil, especialmente para a aplicação em métodos simplificados de cálculo das forças sísmicas – como o Método das Forças Horizontais Equivalentes.

O objetivo central deste trabalho consiste na investigação de uma formulação analítica simplificada para a obtenção do período fundamental de edifícios de concreto, simétricos em planta e sem irregularidades verticais de massa e de rigidez, considerando-se as alvenarias de preenchimento. Para tal, foram realizadas simulações numéricas de 288 edifícios com diferentes características referentes à estrutura principal (comprimento dos vãos e número de vãos em planta) e às alvenarias de preenchimento (resistência à compressão dos blocos e percentagem de abertura), com a consideração ou não dos efeitos da fissuração. O modelo de diagonal equivalente foi empregado para considerar a presença da alvenaria de preenchimento no sistema estrutural sob ações horizontais, sendo os períodos fundamentais obtidos via análise modal. Com os resultados da análise modal foram determinadas expressões simplificadas para o período fundamental, sendo os resultados destas comparados com os fornecidos pela expressão aproximada da ABNT NBR 15421 (2023). Também foram calculadas e comparadas as forças horizontais totais na base da estrutura com o Método das Forças Horizontais equivalentes, empregando-se os períodos fundamentais obtidos com a expressões determinadas. Este trabalho dá continuidade às investigações de Alva *et al.* (2024), onde foram apresentados apenas os resultados de edifícios com base quadrada.

### Formulação simplificada investigada

O formato típico da expressão empregada por diversas normas internacionais para a estimativa do período fundamental ( $T$ ) da estrutura é dado pela Equação 1:

$$T = \alpha H^\beta \quad (1)$$

onde  $H$  é a altura total da estrutura acima da base.

Para o caso de pórticos de concreto com alvenarias de preenchimento fixadas a estes, entende-se que uma parte das forças sísmicas é resistida pelos pórticos e a outra parte é resistida pelas paredes de alvenaria. Neste caso, a classificação do item 9.2 da ABNT NBR 15421 (2023) indica “outras estruturas”, sendo  $\alpha = 0,0488$  e  $\beta = 0,75$ . Recentemente, a investigação experimental e numérica de Ditommaso *et al.* (2024) aponta  $\beta = 0,75$  para pórticos de concreto armado com alvenarias de preenchimento.

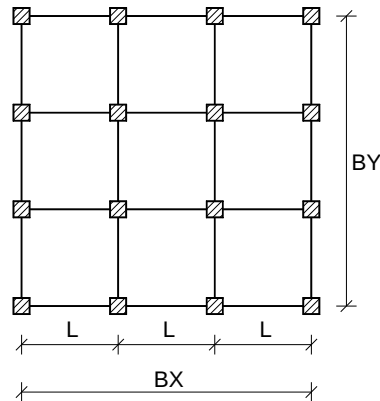
Dessa forma, a expressão investigada neste trabalho é a apresentada pela Equação 1, com  $\beta = 0,75$ .

### Características dos edifícios nas simulações numéricas

#### Configuração estrutural

- Edifícios retangulares e simétricos em planta, sem irregularidades verticais de massa e de rigidez.
- Pórticos de concreto nas duas direções ortogonais em planta.
- Seções de pilares e vigas constantes em toda a altura do edifício.
- Paredes de preenchimento em todas as vigas, com percentagens de aberturas definidas.
- Razão entre a maior dimensão (BX) e a menor dimensão (BY) em planta igual a 1,0 (edifícios de seção quadrada), 1,5 e 2,0 (edifícios de base não quadrada).
- Vãos teóricos (nas duas direções ortogonais):  $L = 4,0$  m;  $L = 5,0$  m;  $L = 6,0$  m.
- Número de vãos teóricos: 2; 3 e 4.
- Distância entre andares: 3,0 m.
- Número de andares: 3; 6; 9 e 12.

A Figura 1 ilustra um esquema geral simplificado em planta dos edifícios simulados, com a posição de pilares, vigas e lajes.



#### *Dimensões de pilares e de vigas (cm)*

- Pilares: 30x30; 45x45; 55x55; 65x65 para os edifícios de 3, 6, 9 e 12 andares, respectivamente.
- Vigas: 25x60 para  $L = 6,0$  m; 25x50 para  $L = 5,0$  m; 25x40 para  $L = 4,0$  m.

A base para a escolha das dimensões das seções dos elementos de concreto armado foi a investigação conduzida Silva (2021), o qual empregou combinações de ações do Estado Limite Último – normais e excepcionais (sismos) – para verificação dos elementos do pórtico e dimensionamento das armaduras dos mesmos. As forças sísmicas foram calculadas pelo Método das Forças Horizontais Equivalentes. As simulações de Silva (2021) empregaram exclusivamente  $L=6,0$ m, sendo as vigas de seção 25x60. Neste trabalho adotou-se para os demais vãos uma altura de viga igual a  $1/10$  do vão  $L$ .

#### *Espessura das lajes maciças*

- 10 cm para  $L = 4,0$  m; 11 cm para  $L = 5,0$  m, 13 cm para  $L = 6,0$  m.

#### *Classe de resistência do concreto*

- Concreto C25 para pilares, vigas e lajes.

#### *Características mecânicas e geométricas das alvenarias*

- Espessura: 19 cm.
- Blocos: cerâmicos de vedação com furos horizontais e com furos verticais.
- Resistência à compressão característica do prisma:  $f_{pk} = 0,75$  MPa (*weak infill*) e  $f_{pk} = 2,00$  MPa (*strong infill*).
- Módulo de elasticidade da alvenaria não fissurada: 450 MPa (*weak infill*) e 1200 MPa (*strong infill*).
- Expressão para o cálculo da largura da diagonal equivalente: Mainstone (1974).
- Percentagem de aberturas nas alvenarias: 20% e 40%.

Os valores de resistência à compressão foram escolhidos pensando-se em duas situações: i) uma é correspondente ao valor mínimo de resistência à compressão requerido para blocos cerâmicos de vedação com furos na horizontal, conforme a NBR 15270-1 (2023), que é de 1,5 MPa; ii) o outro valor é para prever blocos para alvenaria racionalizada com furos na vertical: mínimo 3,0 MPa para vedação e mínimo 4,0 MPa para estrutural. Cabe destacar que os valores de rigidez e resistência escolhidos estão condizentes com o estudo recente de Pereira *et al.* (2024) sobre avaliação de risco sísmico em edificações brasileiras. O fator de eficiência prisma-bloco admitido foi de 0,5 (de acordo com os valores de referência sugeridos no Anexo F da ABNT NBR 16868-1).

## Efeito das aberturas na rigidez lateral

Para considerar a perda de rigidez lateral devido a presença de aberturas, multiplicou-se a largura diagonal equivalente por um fator de redução de rigidez ( $F_{rr}$ ). Com base nas simulações via MEF de Silva *et al.* (2013) e Silva (2021), adotou-se para esse fator um valor intermediário (média) entre o obtido pela expressão de Al-Chaar, Lamb e Abrams (2003) e pela expressão de Asteris, Giannopoulos e Chrysostomou (2012).

### Total de edifícios simulados

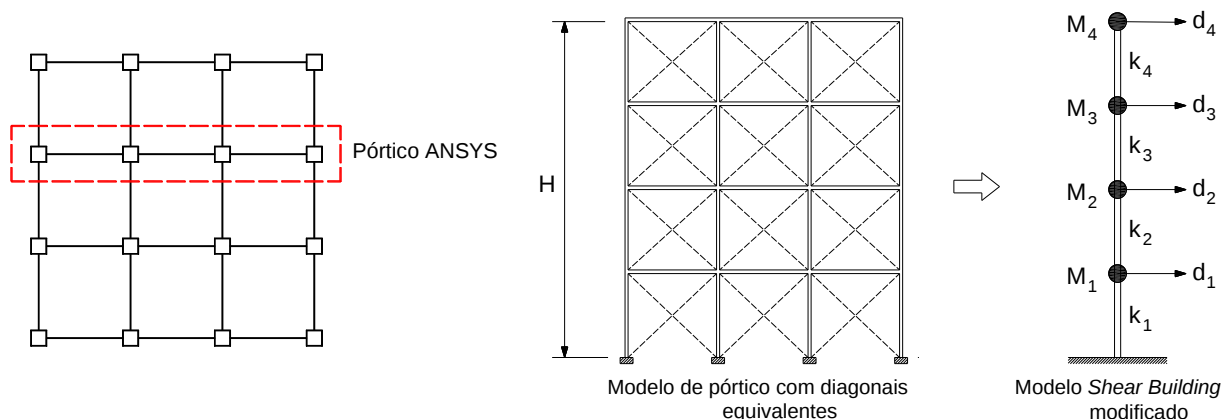
Para os edifícios de base quadrada ( $BX=BY$ ), foram realizadas 3 variações na quantidade dos vãos teóricos, 3 variações no comprimento do vão teórico, 4 números de andares diferentes, 2 alvenarias de resistência diferentes com 2 percentagens de aberturas distintas (144 edifícios). Para os edifícios de base não quadrada com  $BX/BY=1,5$ , foram 3 variações no comprimento do vão teórico, mantendo-se 2 vãos teóricos na direção X, 4 números de andares diferentes, 2 alvenarias de resistência diferentes com 2 percentagens de aberturas distintas (48 edifícios). Para os edifícios com  $BX/BY=2$ , foram 3 variações no comprimento do vão teórico, 2 variações na quantidade dos vãos teóricos, 4 números de andares diferentes, 2 alvenarias de resistência diferentes com 2 percentagens de aberturas distintas (96 edifícios). Assim, o número total de edifícios simulados foi de 288.

## Metodologia empregada nas simulações numéricas

### Modelo estrutural

O modelo de referência das análises foi o de pórtico com diagonais equivalentes (Figura 2), sendo estas modeladas com elemento de treliça LINK10 do programa ANSYS, ativando-se apenas a compressão axial, ou seja, a contribuição da alvenaria foi desprezada quando tracionada.

Em função do grande número de modelos simulados, empregou-se o modelo *Shear Building* modificado (Figura 2), no qual a rigidez lateral de cada andar foi estimada a partir do modelo de pórtico com diagonais equivalentes. A estimativa de rigidez lateral dos andares baseou-se no *Lateral Force-Deformation Method* apresentado por Vijayanarayanan *et al.* (2017). A simulação de alguns edifícios no programa ANSYS apontou pequenas diferenças entre os períodos fundamentais obtidos com o modelo *Shear Building* modificado e o modelo de referência (em torno de 8%).



**Figura 2 – Esquema geral dos modelos estruturais empregados**

### Consideração da fissuração

Para os pilares e as vigas de concreto, a fissuração foi considerada via reduções de momento de inércia à flexão dos elementos, conforme indicado no item 15.7.3 da NBR 6118 (2023). Para as alvenarias de preenchimento, a fissuração foi considerada via redução da rigidez axial da diagonal comprimida, conforme o anexo D (D.2.3.4.2) da ABNT NBR 16868-1 (2020).

### Trechos rígidos e consideração da rigidez da laje

Na região de interseção entre vigas e pilares, foram considerados os trechos rígidos (*rigid-end offsets*). Para fins práticos, consideraram-se trechos rígidos apenas nos eixos das vigas, com comprimentos definidos a partir da recomendação da ABNT NBR 6118 (2023).

A contribuição da rigidez da laje foi considerada nas propriedades geométricas da viga (área e momento de inércia à flexão) no modelo de pórtico. A largura colaborante da laje foi obtida a partir da recomendação da ABNT NBR 6118 (2023). Para o cálculo do momento de inércia à flexão da viga, considerou-se a excentricidade da mesma em relação ao centro de gravidade do pavimento, conforme recomendado por Araújo (2008).

#### *Módulo de elasticidade do concreto*

Em todas as análises foi utilizado o módulo de elasticidade dinâmico, que está relacionado com o módulo de elasticidade estático do concreto, segundo a expressão apresentada por Gidrão (2015). Já o módulo de elasticidade estático foi estimado a partir da expressão da ABNT NBR 6118 (2023), admitindo-se granito como agregado graúdo. Para maior precisão nos resultados, o aumento do módulo de elasticidade dos elementos devido à presença das armaduras foi considerado, utilizando-se a expressão indicada em Su *et al.* (2005).

#### *Módulo de elasticidade da alvenaria*

O módulo de elasticidade da alvenaria (blocos cerâmicos) foi avaliado a partir da expressão contida na Tabela 1 da ABNT NBR 16868-1 (2020).

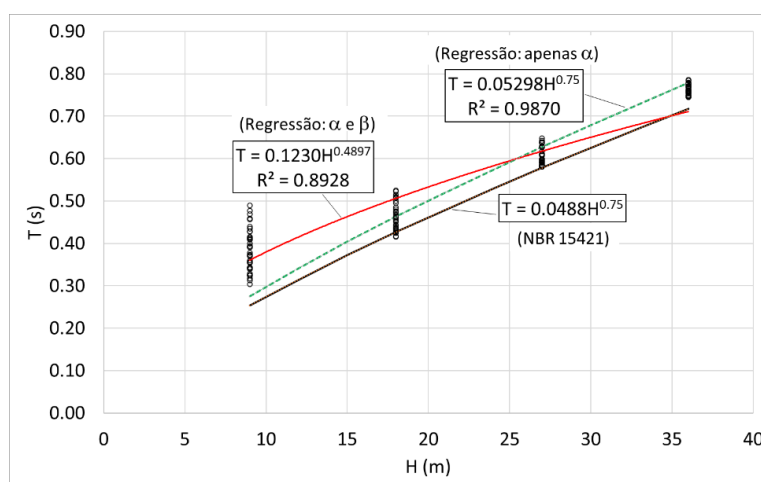
### **Análise de resultados**

Uma vez que para edificações de concreto os elementos podem ser admitidos como fissurados segundo o item 8.7.3 da ABNT NBR 15421 (2023), as análises foram realizadas admitindo-se elementos sem fissuração e com fissuração. A partir dos períodos fundamentais obtidos via análise modal dos 288 edifícios simulados, foram obtidas, por regressão, duas curvas: i) uma em que se encontram os valores de  $\alpha$  e  $\beta$ ; ii) outra em que se fixa  $\beta = 0,75$  e se obtém  $\alpha$ .

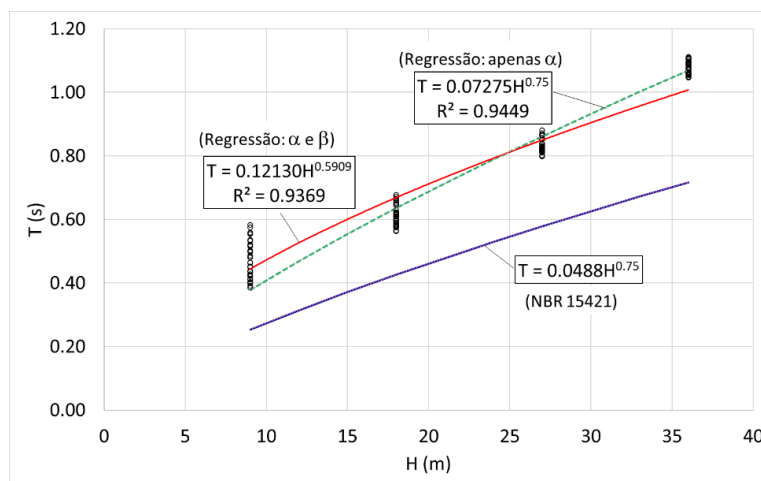
#### *Edifícios com base quadrada:*

Conforme se nota nas Figuras 3 e 4, as curvas em que  $\beta = 0,75$  se ajustam melhor aos resultados numéricos das análises modais, confirmando a constatação de Ditommaso *et al.* (2024).

Nas Figuras 3 e 4 também foi inserida a curva da expressão aproximada da ABNT NBR 15421 (2023), com  $\alpha = C_T = 0,0488$  (onde  $C_T$  é o coeficiente de período da estrutura). Percebe-se que a curva obtida para a situação de elementos sem fissuração é a que mais se aproximada da expressão da norma brasileira. Por sua vez, a curva obtida com a situação de elementos fissurados resultou em períodos fundamentais cerca de 49% maiores que os obtidos com a expressão aproximada na norma brasileira.



**Figura 3 – Curva da NBR 15421 e as obtidas por regressão: elementos sem fissuração (BX=BY)**

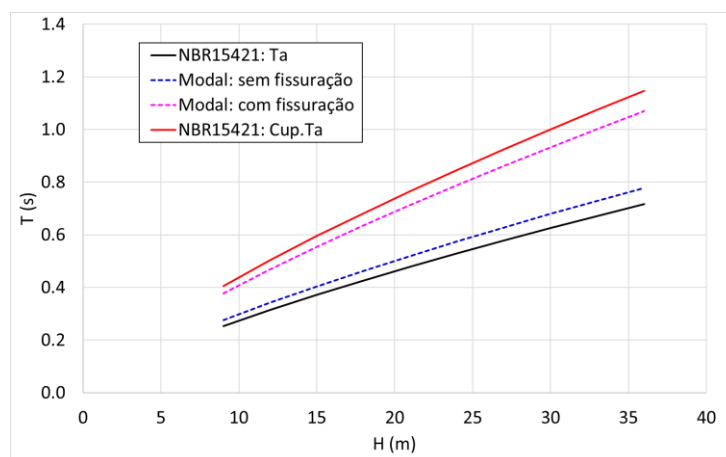


**Figura 4 – Curva da NBR 15421 e as obtidas por regressão: elementos com fissuração (BX=BY)**

Na Tabela 1 apresenta-se um resumo das expressões investigadas. Na Figura 5, apresenta-se uma comparação gráfica dessas expressões.

**Tabela 1 – Coeficientes para a obtenção dos períodos fundamentais (BX=BY)**

| Descrição                                                                              | $\alpha$ | $\beta$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|
| Expressão aproximada da NBR 15421: $T = T_a$                                           | 0,0488   | 0,75    |
| Limite superior da NBR 15421: $T = C_{up}T_a$<br>( $C_{up} = 1,6$ para Zona Sísmica 3) | 0,0768   | 0,75    |
| Expressão obtida por regressão: análise modal<br>com elementos sem fissuração          | 0,05298  | 0,75    |
| Expressão obtida por regressão: análise modal<br>com elementos com fissuração          | 0,07275  | 0,75    |

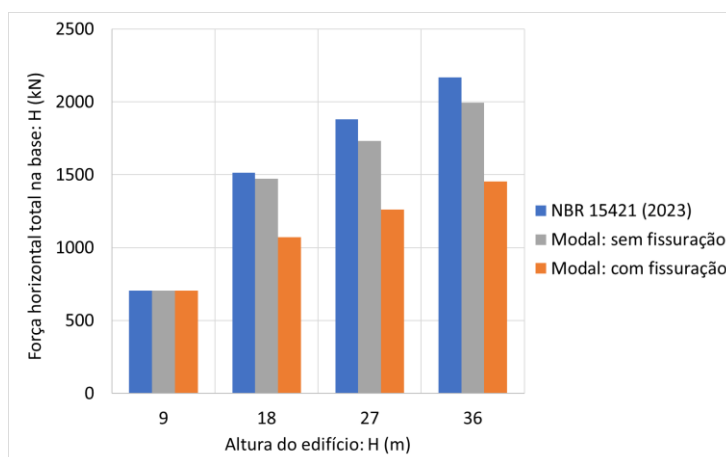


**Figura 5 – Comparativo entre as curvas da NBR 15421 e as obtidas por regressão (BX=BY)**

Na análise sísmica com o Método das Forças Horizontais Equivalentes, a ABNT NBR 15421 (2023) não permite que o período fundamental obtido via análise modal seja maior que  $C_{up}$  vezes o período fundamental obtido de forma aproximada ( $T_a$ ), onde  $C_{up}$  é o coeficiente de limitação do período. Dessa forma, apresenta-se também na Figura 5 a expressão que fornece esse limite superior de período, assumindo-se Zona Sísmica 3 ( $C_{up} = 1,6$ ). Percebe-se que a curva que fornece maiores períodos fundamentais (elementos com fissuração) não ultrapassou o limite superior prescrito pela norma.

Para verificar como as diferenças entre as expressões de período fundamental se traduzem em termos de forças sísmicas, foram calculadas as forças horizontais totais na base da estrutura para os edifícios em que  $L = 5,0$  m (vão teórico),  $NB = 3$  (número de vãos), as alvenarias de preenchimento possuem módulo de elasticidade de 1200 MPa (strong infill) e a percentagem de abertura das paredes é de 20%. A Figura 6 contém uma

comparação gráfica das forças horizontais totais na base – obtidas com as expressões de período fundamental investigadas – empregando-se o Método das Forças Horizontais Equivalentes.

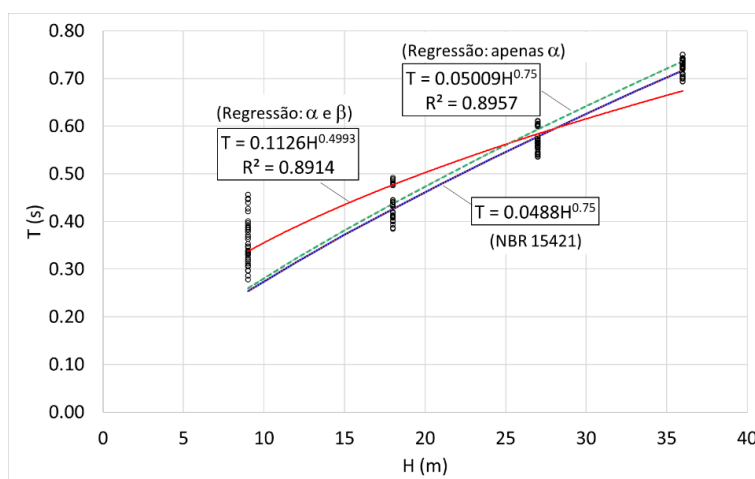


**Figura 6 – Força horizontal total na base: NBR 15421 e forças obtidas por análise modal (elementos sem e com fissuração. BX=BY)**

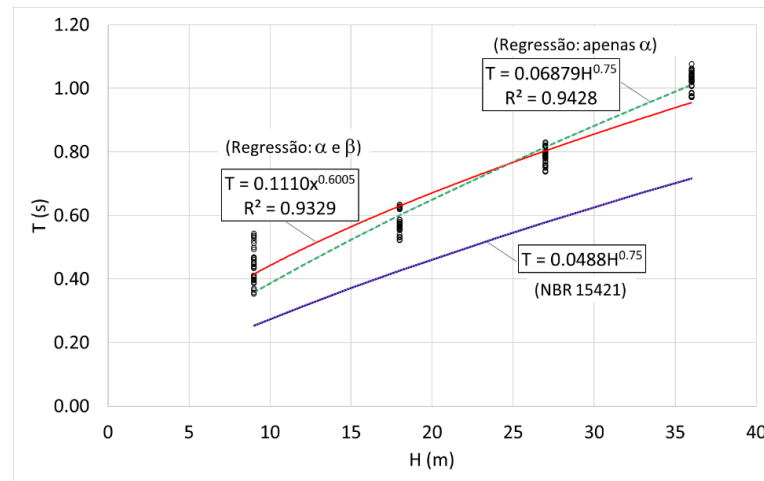
Pela Figura 6, percebe-se que não há diferença alguma entre as expressões para o caso de edifícios baixos (neste caso, o de 3 andares) na obtenção das forças sísmicas. Para os edifícios de maior altura (neste caso, os de 6, 9 e 12 andares) houve diferenças entre as expressões, sendo a da ABNT NBR 15421 (2023) sempre mais conservadora. Em relação à expressão obtida com elementos sem fissuração, a expressão da norma forneceu resultados entre 3% a 9% maiores para a força total horizontal na base da estrutura; em relação à expressão obtida considerando-se os elementos fissurados, esses valores foram entre 41% a 49% maiores.

*Edifícios com base não quadrada:*

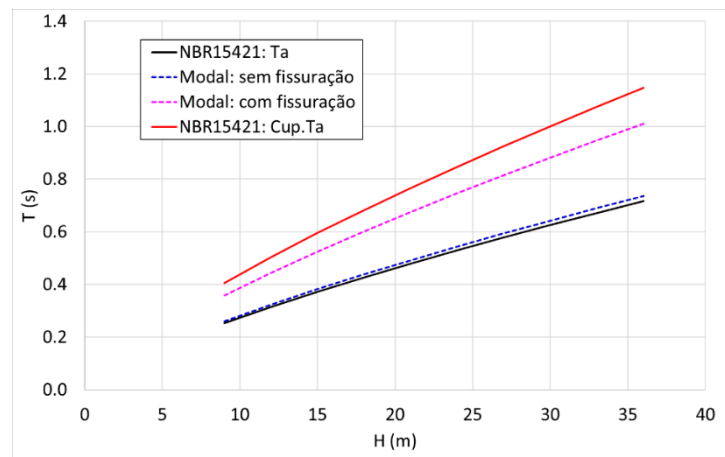
De forma análoga à realizada para os edifícios de base quadrada, apresentam-se nas Figuras 7 a 9 os resultados para o caso de edifícios de base não quadrada, sendo o resumo desses apresentados na Tabela 2.



**Figura 7 – Curva da NBR 15421 e as obtidas por regressão: elementos sem fissuração (BX≠BY)**



**Figura 8 – Curva da NBR 15421 e as obtidas por regressão: elementos com fissuração (BX≠BY)**



**Figura 9 – Comparativo entre as curvas da NBR 15421 e as obtidas por regressão (BX≠BY)**

**Tabela 2 – Coeficientes para a obtenção dos períodos fundamentais (BX≠BY)**

| Descrição                                                                              | $\alpha$ | $\beta$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|
| Expressão aproximada da NBR 15421: $T = T_a$                                           | 0,0488   | 0,75    |
| Limite superior da NBR 15421: $T = C_{up}T_a$<br>( $C_{up} = 1,6$ para Zona Sísmica 3) | 0,0768   | 0,75    |
| Expressão obtida por regressão: análise modal<br>com elementos sem fissuração          | 0,05009  | 0,75    |
| Expressão obtida por regressão: análise modal<br>com elementos com fissuração          | 0,06879  | 0,75    |

Assim como constatado nos edifícios de base quadrada, percebe-se que as curvas com  $\beta = 0,75$  se ajustam melhor aos resultados numéricos das análises modais, sendo que a curva obtida para a situação de elementos sem fissuração é a que mais se aproxima da expressão da norma brasileira. A curva obtida com a situação de elementos fissurados resultou em períodos fundamentais cerca de 41% maiores que os obtidos com a expressão aproximada na norma brasileira.

Analogamente às comparações feitas para os edifícios analisados na Figura 6, percebeu-se que não houve diferença alguma entre as expressões para o caso de edifícios baixos (3 andares) na obtenção das forças sísmicas. Para os edifícios de maior altura (6, 9 e 12 andares) houve diferenças entre as expressões, sendo a da ABNT NBR 15421 (2023) a mais conservadora. Em relação à expressão obtida com elementos sem fissuração, a expressão da norma forneceu resultados cerca de 3% maiores para a força total horizontal na base da estrutura; em relação à expressão obtida considerando-se os elementos fissurados, esses valores foram entre 34% a 41% maiores.

## Conclusões

Neste trabalho apresentou-se um estudo teórico de formulação simplificada para a estimativa do período fundamental de edifícios de múltiplos andares, simétricos em planta (base quadrada e não quadrada) e sem irregularidades verticais de massa e de rigidez, com sistema estrutural formado por pórticos de concreto com alvenarias de preenchimento. Este trabalho complementa as investigações de Alva *et al.* (2024), onde foram apresentados apenas os resultados referentes aos edifícios com base quadrada. Foram investigadas expressões com o formato preconizado por diversas normas internacionais (Equação 1 deste trabalho).

Com base nas simulações numéricas realizadas, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

- O valor de  $\beta = 0,75$  se mostrou adequado para o caso de estruturas de pórticos preenchidos com alvenaria, confirmando-se a constatação de Ditommaso *et al.* (2024);
- A expressão aproximada da ABNT NBR 15421 (2023) forneceu resultados menores de período fundamental em relação às expressões obtidas por regressão de resultados via análise modal, aproximando-se mais da situação em que não se considera a fissuração dos elementos estruturais;
- Na aplicação do Método das Forças Horizontais Equivalentes, a expressão aproximada da ABNT NBR 15421 (2023) conduziu a valores mais conservadores para as forças sísmicas na estrutura em relação às expressões obtidas por regressão de resultados via análise modal;
- Uma diferença relevante de resultados em termos de forças sísmicas foi observada entre as curvas obtidas com elementos estruturais fissurados e não fissurados, sendo esta última a situação mais conservadora (forças sísmicas entre 34% e 49% maiores, considerando todas as simulações).

Por fim, cabe ressaltar que tais conclusões estão delimitadas a edifícios com características geométricas e mecânicas similares aos simulados neste trabalho, em especial quanto à altura (até 36 m, ou 12 andares) e quanto a base do edifício (seção retangular quadrada e não quadrada).

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro em projeto de pesquisa referente ao processo 403378/2023-0.

## Referências

- AL-BALHAWI, A., ZHANG, B., Investigations of elastic vibration periods of reinforced concrete moment-resisting frame systems with various infill walls, *Engineering Structures*, v. 151, pp. 173-187, 2017.
- AL-CHAAR, G., LAMB, G. E., ABRAMS, D. P., Effect of openings on structural performance of unreinforced masonry infilled frames, *ACI Special Publication*, v. 211, pp. 247-262, 2003.
- ALVA, G.M.S.; RIGÃO, A.O.; KAMINSKI JUNIOR, J.; PINHEIRO, M.A.S. Formulação simplificada para a estimativa do período fundamental em edifícios de concreto com alvenarias de preenchimento em análise sísmica. In: IV Seminário Sul Brasileiro de Pontes e Estruturas, Porto Alegre, 2024.
- ALVARENGA, R. C. S. S. Análise teórico-experimental de estruturas compostas de pórticos de aço e preenchidos com alvenaria de concreto celular autoclavado, Tese de D. Sc., Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2002.
- AMANAT, K.M., HOQUE, E., A rationale for determining the natural period of RC building frames having infill, *Engineering Structures*, v. 28, pp. 495-502, 2006.
- ARAÚJO, J.M. Avaliação dos métodos simplificados para cálculo de lajes maciças apoiadas em vigas flexíveis. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n.12, p.1-11, outubro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15270-1: Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1- Requisitos, Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15421: Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16868-1. Alvenaria estrutural – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto, Rio de Janeiro, 2023.
- ASTERIS, P. G., REPAPIS, C. C., FOSKOLOS, F., et al., Fundamental period of infilled RC frame structures with vertical irregularity, *Structural Engineering and Mechanics*, v. 61, n. 5, pp. 663-674, 2017.
- ASTERIS, P. G., REPAPIS, C. C., REPAPI, E.V., et al., Fundamental period of infilled reinforced concrete frame structures, *Structure and Infrastructure Engineering*, v. 13, n. 7, pp. 929-941, 2016.

- ASTERIS, P. G., GIANNOPOULOS, I. P., CHRYSOSTOMOU, C.Z. Modeling of infilled frames with openings, *The Open Construction and Building Technology Journal*, v. 6, p. 81-91, 2012.
- DITOMMASO, R., LAMARUCCIOLA, N., PONZO, F.C. Prediction of the fundamental period of infilled RC framed structures considering the maximum inter-story drift at different design limit states, *Structures*, v. 63, 106422, 2024.
- GIDRÃO, G.M.S. Propriedades dinâmicas do concreto e relações com sua microestrutura. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- GRANDI, A. B. C. Avaliação experimental por meio de ensaios cíclicos de pórtico de aço preenchido com alvenaria participante, Dissertação de M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.
- KIM, J.Y; YU, E.; KIM, D.Y; KIM, S.D. Calibration of analytical models to assess wind-induced acceleration responses of tall buildings in serviceability level. *Engineering Structures*, v.31, p.2086-2096, 2009.
- KOSE, M.M., Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls, *Engineering Structures*, v. 31, pp. 93-102, 2009.
- MAINSTONE, R. J., Supplementary note on the stiffness and strengths of infilled frames, Building Research Station, Garston, UK, 1974.
- MONTANDON, G. A. Modelos estruturais para a análise de pórticos preenchidos com blocos cerâmicos em edifícios de concreto armado, Dissertação de M. Sc., Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2018.
- PEREIRA, E.M.V.; ANDRADE, R.B.; LEITÃO, F.F; CAROBENO, C.L; SIQUEIRA, G.H. Seismic risk evaluation of non-ductile low-rise RC buildings in Brazil: Time-based and intensity-based assessments considering different performance metrics. *Engineering Structures*, v.88, 109147, 2024.
- PERRONE, D., LEONE, M., AIELLO, M.A., Evaluation of the infill influence on the elastic period of existing RC frames, *Engineering Structures*, v. 123, pp. 419-433, 2016.
- RICCI, P., VERDERAME, G.M., MANFREDI, G., Analytical investigation of elastic period of infilled RC MRF buildings, *Engineering Structures*, v. 33, pp. 308-319, 2011.
- RIGÃO, A.O. Modelagem de pórticos de concreto armado preenchidos com alvenaria participante. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.
- SANTOS, E. M. Influência da alvenaria no comportamento estrutural de edifícios altos de concreto armado, Dissertação de M. Sc., Universidade Católica de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, 2007.
- SILVA, L. R. Modelagem de pórticos de concreto armado preenchidos com a consideração de aberturas nos painéis de alvenaria, Dissertação de M. Sc., Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2014.
- SILVA, E. R. Influência das alvenarias de preenchimento na determinação do período fundamental de edifícios de concreto armado, Dissertação de M. Sc., Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.
- SILVA, L.R.; ALVA, G.M.S; KAMINSKI JUNIOR, J. Avaliação e aprimoramento do modelo de diagonal equivalente na análise estrutural de pórticos de concreto preenchidos com alvenaria. In: 62º Congresso Brasileiro do Concreto, Gramado, 2013.
- SOUSA, P. V. A. Efeito dos painéis de vedação nas características dinâmicas de edificações de concreto armado, Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.
- SU, R.K.L; CHANDLER, A.M.; SHEIKH, N.N.; LAM, N.T.K. Influence on non-structural components on lateral stiffness of tall buildings. *The Structural Design of Tall Buildings and Special Buildings*, v.14, p.143-164, 2005.
- VIJAYANARAYANAN, A.R.; GOSWAMI, R.; MURTY, C.V.R. Estimation of storey stiffness in multi-storey buildings. In: 16<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering (16WCEE), Santiago, 2017.