
AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO CONFINADO EM PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO

EVALUATION OF CONFINED CONCRETE BEHAVIOR IN CONCRETE-FILLIED STEEL COLUMNS

Gustavo Almeida de Moura ¹

Vinícius Gabriel Parolin de Souza ¹

André Vitor Benedito ²

Vinícius Moura de Moura ²

Pablo Augusto Krahl ¹

Carlos Humberto Martins ¹

Resumo: Os pilares mistos preenchidos com concreto se destacam na indústria da construção devido às suas vantagens, como alta capacidade de carga e deformação. A pesquisa teve como objetivo investigar o comportamento do confinamento do concreto em pilares mistos sob diferentes condições paramétricas, utilizando-se simulações numéricas pelo software ABAQUS. Observou-se que o concreto confinado aumenta a resistência à compressão do pilar, porém, isso é acompanhado por uma perda de ductilidade à medida que a resistência do concreto aumenta. Também foi observado que pilares com proporções mais esbeltas tendem a apresentar instabilidade global antes que ocorra o confinamento total do núcleo de concreto. Esses resultados destaca-se a importância de considerar tais aspectos no projeto e dimensionamento de pilares mistos, visando-se garantir a segurança e eficiência das estruturas de concreto confinado.

Palavras-chaves: Pilar misto – aço concreto, concreto confinado, instabilidade, modelagem numérica.

Abstract: *Concrete-filled steel columns stand out in the construction industry due to their advantages, such as high load-bearing capacity and deformation. This study aimed to investigate the behavior of concrete confinement in composite columns under different parametric conditions, using numerical simulations via the ABAQUS software. It was observed that confined concrete increases the compression strength of the column; however, this is accompanied by a loss of ductility as the strength of the concrete increases. It was also observed that columns with slimmer proportions tend to exhibit global instability before complete confinement of the concrete core occurs. These findings underscore the importance of considering such aspects in the design and sizing of composite columns to ensure the safety and efficiency of confined concrete structures.*

Keywords: *Concrete-filled steel columns; concrete confinement, buckle, numerical model.*

¹Universidade Estadual de Maringá, Campus Maringá – Brasil, e-mail: pg404625@uem.br, pg404436@uem.br, pabloaugustokrahl@gmail.com e chmartins@uem.br

²Universidade Federal de São Carlos, Campus São Carlos – Brasil, e-mail: andrevitorbenedito@gmail.com, engenheiro.viniciusmoura@gmail.com

1 Introdução

Na indústria da construção, tem-se observado um aumento significativo na utilização de tubos de aço preenchidos com concreto, devido à sua versatilidade em diversas aplicações. Esses elementos estruturais oferecem várias vantagens, como alta capacidade de carga e deformação, tornando-os uma opção atrativa em projetos de construção (Carvalho et al., 2023; İpek; Güneyisi, 2022). Esse tipo de compósito é usualmente utilizado em arranha-céus de grande porte e pontes (Hu et al., 2023). Os pilares compostos preenchidos com concreto surgem como uma alternativa ao uso de pilares de concreto armado ou aço, pois tira-se proveito das melhores características de seus materiais constituintes. Quando um perfil de aço é preenchido com concreto, ele se torna menos propenso a instabilidades locais, e o concreto, contido pelo perfil de aço, adquire maior ductilidade (İpek; Güneyisi; Güneyisi, 2022). Além disso, esse tipo de pilar apresenta uma solução eficiente para regiões sísmicas, uma vez que pilares de concreto armado podem sofrer instabilidade muito cedo com tais ações. O aço melhora o comportamento do concreto devido ao seu confinamento, tornando-se assim uma solução ideal para projetos que necessitem da avaliação de abalos sísmicos (İpek; Güneyisi; Güneyisi, 2022).

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise paramétrica simplificada de modelos de pilares mistos retangulares sujeitos a força normal, por meio de simulação numérica utilizando-se o software de Elementos Finitos ABAQUS. O propósito foi avaliar o impacto do confinamento do concreto em diferentes resistências. A parametrização foi conduzida variando-se a espessura do perfil, o comprimento do pilar e a resistência à compressão do concreto.

2 Materiais e Métodos

2.1 Materiais e parâmetros

O pilar misto selecionado para o estudo foi um pilar com perfil metálico quadrado preenchido com concreto. As dimensões do pilar foram mantidas constantes para todos os modelos, sendo de 150 mm x 150 mm (Figura 1).

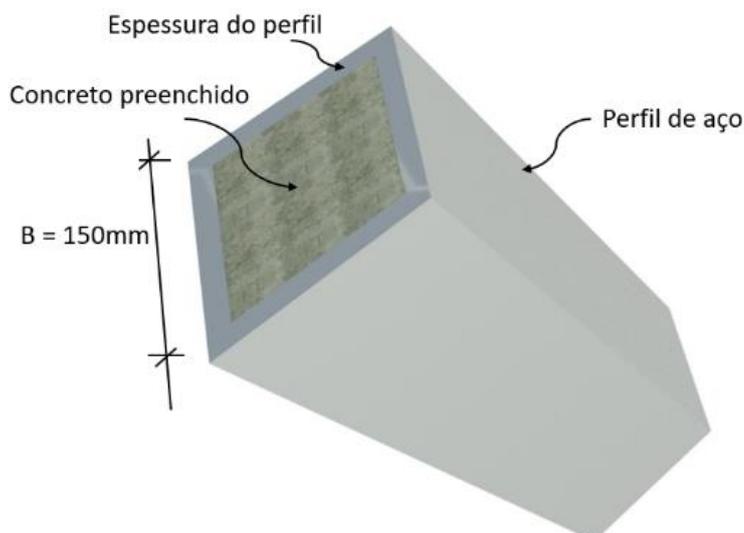


Figura 1. Modelo do pilar preenchido com concreto

Fonte: Autor (2024)

Realizou-se as seguintes variações geométricas: a relação entre a dimensão da base do pilar e a espessura do perfil do aço (B/t) de 25, 30 e 40; e, por fim, a relação entre o comprimento do perfil e a base do pilar (H/B) de 3, 5 e 7, sendo maior que a dimensão. Onde B representa a base do pilar, t é a espessura do perfil de aço e H é o comprimento do pilar misto. Também se variou a resistência característica à compressão do concreto em 30 MPa, 50 MPa e 70 MPa. A composição das variações das 27 análises é apresentada pelo fluxograma da Figura 2:

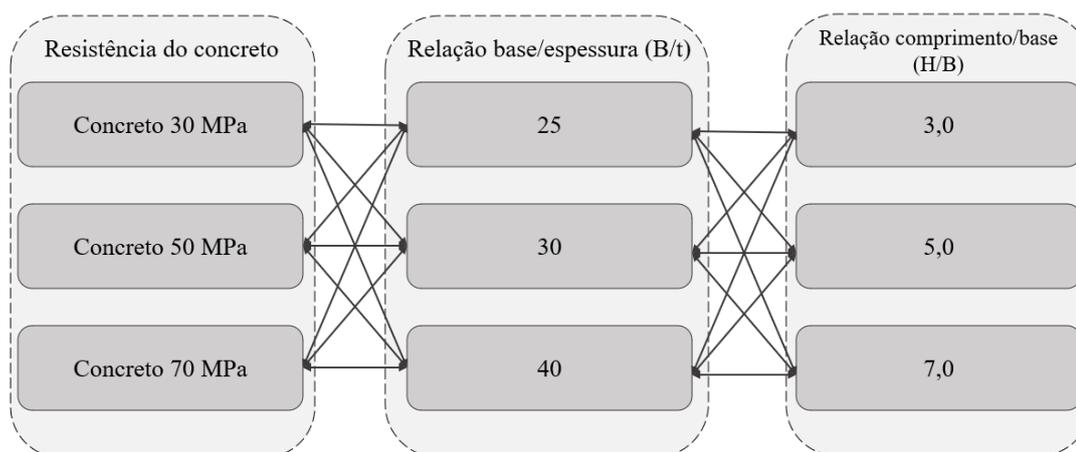


Figura 2. Fluxograma dos modelos

A Tabela 1, apresenta as propriedades mecânicas dos materiais empregados no estudo paramétrico:

Tabela 1 – Propriedades mecânicas dos materiais

Elementos	Eci (MPa)	v	fck (MPa)	fy (MPa)	fu (MPa)	Along.Min%
Concreto	32.83	0,2	30	-	-	-
Concreto	37.27	0,2	50	-	-	-
Concreto	40.74	0,2	70	-	-	-
Perfil I	200.000	0,3	-	345	450	21

Fonte: Autor (2024)

2.2 Modelo Numérico

Os modelos foram criados e analisados utilizando o software ABAQUS. Para representar numericamente o comportamento de pilar misto considerando imperfeições iniciais do aço foram realizadas duas etapas. Na primeira etapa realizou-se a análise de perturbação linear (buckle), e posteriormente, a análise não linear utilizando-se o step “dynamic/Implicit”, ambos presentes na biblioteca do ABAQUS. Para o aço do perfil, adotou-se o modelo constitutivo elastoplástico com encruamento linear positivo. Assim, considerou-se a deformação plástica igual a zero para a tensão de escoamento e deformação de 21% de alongamento mínimo para tensão de ruptura. Foi adotado o modelo CDP (Concrete Damage Plasticity) para o comportamento do concreto. Os parâmetros utilizados para caracterizar a não-linearidade incluem o ângulo de dilatação (ψ), a excentricidade (ξ), a razão entre a resistência à compressão uniaxial e biaxial (σ_{b0}/σ_{c0}), a razão entre os meridianos de compressão e tração (Kc), e o parâmetro de viscosidade que representa a relaxação (μ). A Tabela 2 contém os valores destes parâmetros que foram empregados no desenvolvimento do modelo numérico.

Tabela 2 – Parâmetros de entrada CDP

Parâmetro	ψ (o)	ξ	σ_{b0}/σ_{c0}	Kc	μ (s-1)
Valor	40	0,1 (Default)	1,16 (Default)	2/3 (Default)	0,0001

Fonte: Autor (2024)

Foi adotado o modelo constitutivo de Han, Yao e Tao (2007) para representar o comportamento à compressão e tração do concreto. As propriedades mecânicas do concreto foram determinadas com base no valor do fck (resistência característica à compressão aos 28 dias) – 38, 58 e 78 MPa. Tanto o perfil de aço como o concreto preenchido foram divididos em elementos sólidos C3D8R com dimensão de 20mm, que são hexaédricos de aproximação linear com oito nós, possuindo seis graus de liberdade por nó e integração reduzida. Por meio do elemento C3D8R, é possível realizar análise plástica e ainda permite a visualização de fissuras de acordo com o critério de resistência Concrete Damage Plasticity (Ferreira;

Martins; Nardin, 2020). Restringiu-se os deslocamentos (U_x , U_y e U_z) e rotações (UR_z) conforme a Figura 3. Foi utilizado a opção “coupling” para que toda face do topo e da base tivessem a mesma restrição. Para a interação perfil – concreto preenchido utilizou-se a opção interação de superfície (surface to surface interaction), em que o comportamento normal e tangencial é definido pelas opções “Hard contact” e “Penalty”, respectivamente. O coeficiente de atrito foi definido como 0,4, seguindo a referência de Rossi, et al. (2020).

As imperfeições iniciais dos perfis de aço exercem uma considerável influência na capacidade de carga dos mesmos (Rossi et al., 2020). Desta maneira, implementou-se a imperfeição geométrica pelo comando “IMPERFECTION”, onde é inserido uma curvatura inicial no primeiro autovetor positivo obtido na análise buckle. O valor da imperfeição foi de $L/1000$. Foi aplicado um deslocamento central no topo do pilar misto. Para análise da resistência considerou-se a força de pico da relação força-deslocamento.

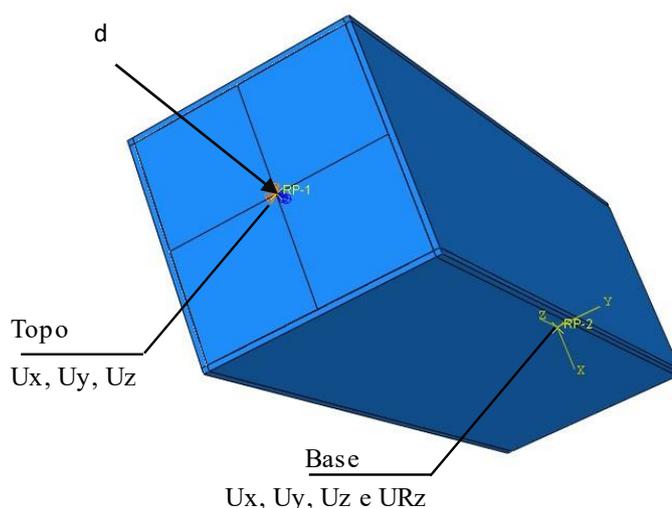


Figura 3. Condições de contorno nos pilares mistos

Fonte: Autor (2024)

3 Resultados e discussões

A análise utilizando a imperfeição geométrica foi realizada para todos os modelos, visto que, todos eles apresentaram vetores positivos na análise buckle (Figura 4). Todos os 27 modelos apresentaram instabilidade global. Pilares com seções de maior esbeltez ou comprimento maior que três vezes a base, de maneira geral, apresentam esse tipo de instabilidade em ensaios de compressão (Li et al., 2021b; Oliveira et al. 2009).

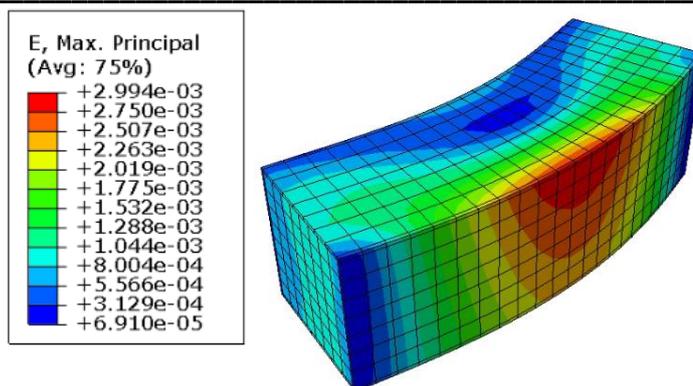


Figura 4. Instabilidade global para pilar misto de 450 mm

Fonte: Autor (2024)

Para análise dos resultados considerou-se a força de pico da relação força x deslocamento, como a resistência total do pilar misto. Os pilares mistos com relação B/H igual a 3 apresentou comportamento bem característico do confinamento do concreto para seções retangulares, onde o núcleo apresenta maior capacidade de resistência e a melhora na resistência não é tão pronunciada nas partes planas do perfil. Isto ocorre devido ao aço não apresentar rigidez suficiente para resistir à pressão lateral do concreto em expansão. Contudo para as seções mais esbeltas – relação B/H igual a 5 e 7 – a instabilidade global ocorreu antes do confinamento total do núcleo de concreto, conforme Li et al. (2021) demonstra em seu estudo. A Fig. 5, demonstra o comportamento de confinamento do concreto para diferentes comprimentos de pilares e diferentes resistências de concreto. A seção apresentada está localizada no meio do comprimento do pilar.

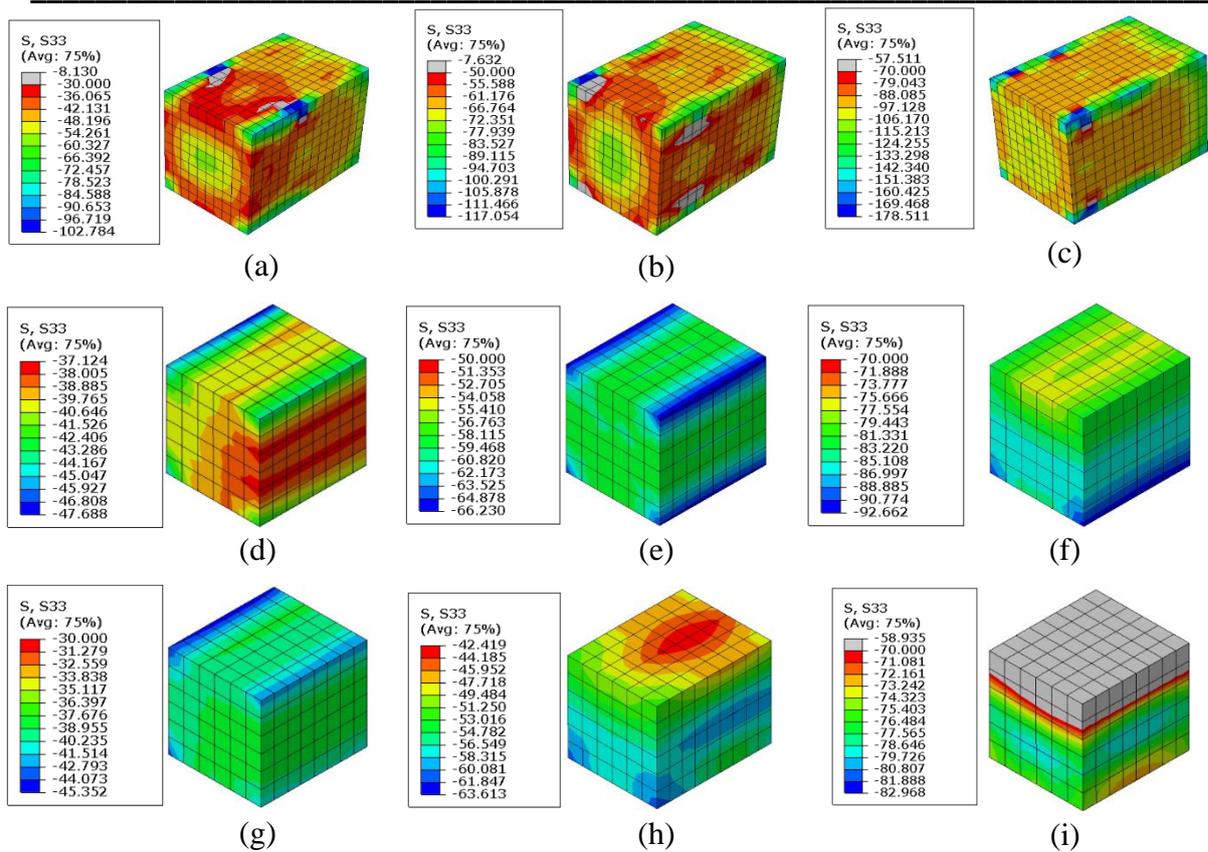


Figura 5. Comportamento do confinamento do concreto. Onde itens a, b, c - relação $B/H = 3$ e resistência do concreto de 38, 58 e 78 MPa, respectivamente. Itens d, e, f - relação $B/H = 5$ e resistência do concreto de 38, 58 e 78 MPa, respectivamente. E por fim, itens g, h - relação $B/H = 7$ e resistência do concreto de 38, 58 e 78 MPa, respectivamente.

A Figura 6 apresenta a relação força x deslocamento dos pilares de 1050 mm e espessura de 5,0mm e resistências do concreto de 38 MPa, 58 MPa e 78 MPa, sendo a relação (B/t) de 30, relação (H/B) de 7,0.

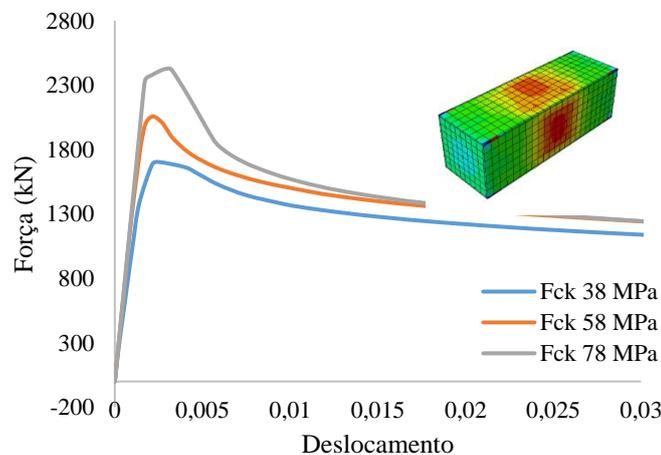


Figura 6. Relação força x deslocamento
Fonte: Autor (2024)

Pela Figura 6, percebe-se que o concreto confinado aumenta a resistência à compressão do pilar. No entanto, observa-se uma perda de ductilidade à medida que a resistência do concreto aumenta. Isso ocorre porque, ao aumentar a resistência do concreto, ele tende a se tornar mais frágil e menos capaz de se deformar sem romper. Conseqüentemente, o concreto dilata menos, o que reduz a eficácia do confinamento proporcionado pelo perfil de aço em sua capacidade de manter a integridade estrutural durante deformações significativas, tornando o pilar menos capaz de absorver energia antes da falha. A Fig. 5(i) demonstra o pilar com maior comprimento e maior resistência de concreto. Por meio dela, foi possível analisar que parte do concreto já havia perdido sua capacidade em suportar a carga, evidenciando sua maior fragilidade.

4 Conclusões

Realizou-se um estudo paramétrico em 27 modelos de pilares mistos preenchidos com concreto variando resistência a compressão do concreto, relação entre a dimensão da base do pilar e espessura do perfil do aço (B/t), e por fim, a relação entre o comprimento do perfil e a base do pilar (H/B) para avaliar o comportamento de confinamento do concreto. Realizou-se as modelagens no software ABAQUS.

A utilização de pilares mistos preenchidos são soluções eficazes para engenharia. O uso do confinamento do concreto aumenta sua resistência e ductibilidade dependendo da geometria da seção e altura do pilar se comparado com um pilar de concreto armado.

O uso de concreto confinado resulta em um aumento da resistência à compressão do pilar. No entanto, esse incremento é acompanhado por uma redução da ductilidade à medida que a resistência do concreto aumenta. Tal fenômeno decorre do fato do concreto mais resistente em se tornar mais frágil e menos capaz de se deformar sem ruptura. Além disso, observa-se que pilares com proporções mais esbeltas (relação entre altura e largura - B/H - maior que 3) tendem a apresentar instabilidade global antes que ocorra o confinamento total do núcleo de concreto.

Este resultado sugere que a rigidez do aço utilizado pode não ser suficiente para resistir à pressão lateral do concreto, especialmente em seções mais esbeltas. Portanto, destaca-se a importância de considerar esses aspectos no projeto e dimensionamento de pilares mistos, principalmente em relação à proporção entre altura e largura, assim como à resistência do concreto. A compreensão desses fenômenos é essencial para garantir a segurança e a eficiência das estruturas de pilares com concreto confinado.

Referências

CARVALHO, A. S. *et al.* Machine Learning-Based Design Approach for Concrete-Filled Stainless Steel Tubular Columns. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 48, n. 10, p. 14105–14118, 2023.

FERREIRA, F. P. V.; MARTINS, C. H.; NARDIN, S. Sensitivity Analysis of Composite Cellular Beams to Constitutive Material Models and Concrete Fracture. **International Journal of Structural Stability and Dynamics**, v. 21, n. 01, 2020.

HAN, L. H.; YAO, G. H.; TAO, Z. Performance of concrete-filled thin-walled steel tubes under pure torsion. **Thin-Walled Structures**, v. 45, n. 1, 2007.

HU, H. S. *et al.* Axial compressive behavior of square concrete-filled steel tube columns with high-strength steel fiber-reinforced concrete. **Engineering Structures**, v. 285, 2023.

İPEK, S.; GÜNEYISI, E.; GÜNEYISI, E. M. Data-driven models for prediction of peak strength of R-CFST circular columns subjected to axial loading. **Structures**, v. 46, n. July, p. 1863–1880, 2022.

İPEK, S.; GÜNEYISI, E. M. Application of Eurocode 4 design provisions and development of new predictive models for eccentrically loaded CFST elliptical columns. **Journal of Building Engineering**, v. 48, n. December 2021, 2022.

LI, G. C. *et al.* Experimental and numerical behavior of eccentrically loaded square concrete-filled steel tubular long columns made of high-strength steel and concrete. **Thin-Walled Structures**, v. 159, 2021.

OLIVEIRA, W. L. A. DE; DE NARDIN, S.; EL DEBS, A. L. H. DE C. Dimensionamento de pilares preenchidos de seção circular submetidos à compressão simples, segundo a NBR 8800:2008 e Eurocode 4:2004: comparação com resultados experimentais. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 1, 2009

ROSSI, A. *et al.* Numerical assessment of lateral distortional buckling in steel-concrete composite beams. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 172, p. 106192, 2020.