



Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2025**
10º Congresso Latino-americano da Construção Metálica
09 de Setembro de 2025, São Paulo - SP, Brasil

Tema: Estruturas de aço e mistas de aço e concreto: projeto; dimensionamento; fabricação; e montagem

INFLUÊNCIA DAS PERFURAÇÕES EM COLUNAS CURTAS COM SEÇÃO TIPO RACK DE PERFIS FORMADOS A FRIO

Diego Augusto Cunha Costa¹
Matheus Miranda de Oliveira²
Guilherme Cássio Elias³
Vinícius Nicchio Alves⁴
Arlene Maria Cunha Sarmanho⁵

Resumo

Perfis formados a frio (PFF) são amplamente utilizados em sistemas de armazenagem, especialmente em colunas de estruturas com seção transversal do tipo rack, as quais apresentam perfurações ao longo do comprimento que propiciam ligações na forma de encaixe. No entanto, a influência dessas aberturas no desempenho estrutural e na estabilidade das colunas ainda é pouco explorada. As abordagens existentes geralmente consideram simplificada apenas a redução da largura da perfuração para estimar a área mínima resistente, ou utilizam modelos experimentais de coluna curta. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência das dimensões das perfurações na capacidade de carga de colunas curtas submetidas à compressão centrada em seções tipo rack. Para isso, foram realizadas simulações numéricas com o método dos elementos finitos, utilizando o software ANSYS, variando-se a largura e a altura dos furos em diferentes larguras de alma. Em todos os modelos analisados, o modo de falha observado foi o escoamento da seção transversal. Os resultados demonstraram que, além da largura, a altura da perfuração também exerce influência significativa na resistência última da seção. Com base nesses resultados, foi proposta uma nova equação para estimativa da carga máxima, que incorpora ambas as dimensões das perfurações.

Palavras-chave: Estrutura metálica; Perfis formados a frio; Colunas perfuradas de seção rack; Elementos finitos;

INFLUENCE OF PERFORATIONS ON SHORT COLD-FORMED STEEL RACK UPRIGHTS

Abstract

Cold-formed steel (CFS) members are widely used in storage systems, particularly in rack uprights, which include perforations along their length to enable the connection of structural components. However, the influence of these openings on the structural performance and stability of the uprights is still not well explored. Existing approaches often simplify the problem by considering only the reduction in perforation width to estimate the effective cross-sectional area or rely on experimental data from short-column tests.

This study aims to evaluate the influence of perforation dimensions on the load-bearing capacity of short rack uprights under axial compression. Numerical simulations were conducted using the finite element method in ANSYS software, varying both the width and height of the perforations across different web widths. In all analyzed models, the observed failure mode was cross-section yielding. The results showed that, in addition to perforation width, the perforation height also has a significant effect on the ultimate strength of the section. Based on these findings, a new equation was proposed for estimating the maximum load, incorporating both perforation dimensions.

Keywords: Steel structures; Cold-formed steel; Perforated rack uprights; Finite element method;

¹Engenheiro Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

²Engenheiro Civil, Doutor, Pesquisador de Pós-doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

³Engenheiro Civil, Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

⁴Engenheiro de Controle e automação, Doutor, Professor de Nível Superior, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

⁵Engenheira Civil, Doutora, Professora de Nível Superior, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os perfis formados a frio (PFF) vêm se consolidando como elementos estruturais de grande relevância na engenharia civil moderna, principalmente pela sua leveza, economia de material, facilidade de fabricação e montagem. Esses elementos são produzidos por meio da conformação de chapas de aço em temperatura ambiente e apresentam, em geral, espessuras reduzidas, limitadas a 8 mm, conforme estabelece a norma brasileira ABNT NBR 14762:2010 [1]. Dentre as diversas aplicações dos PFF, destaca-se seu uso em sistemas de armazenagem industrial — conhecidos como racks — nos quais se empregam colunas com seções transversais específicas e perfurações ao longo do comprimento, com a finalidade de facilitar o acoplamento entre vigas e pilares.

A seção tipo rack, amplamente adotada nesses sistemas, caracteriza-se por ser uma seção aberta composta por alma, mesas, flanges de ligação e enrijecedores, podendo ainda conter furos e recortes que favorecem a montagem dos sistemas (Figura 1) [2]. Essa característica construtiva, embora funcione como um facilitador logístico e estrutural impõe desafios importantes ao desempenho estrutural dessas colunas. Os furos presentes na alma ou nos flanges das seções podem afetar de maneira significativa a distribuição de tensões, o comportamento em regime linear e não linear e os modos de colapso, especialmente quando o carregamento se dá por compressão axial.

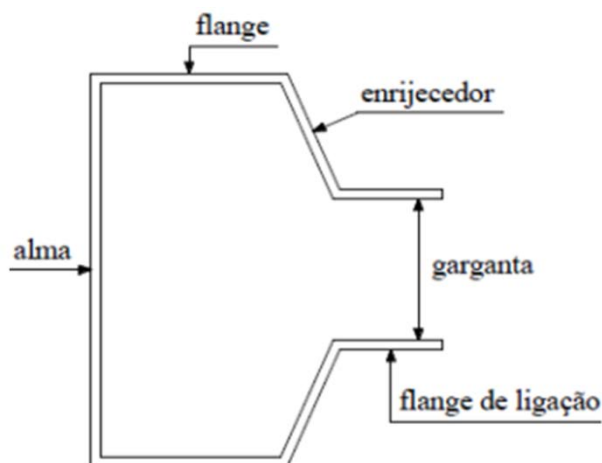


Figura 1 - Seção tipo rack ou garrafa. FONTE: FARIA,2016

Por serem constituídos por chapas finas, os PFF apresentam suscetibilidade elevada à instabilidade. Modos clássicos de flambagem como a global, local e distorcional são frequentemente observados nesses perfis [3–5]. Em colunas curtas, no entanto, a instabilidade predominante geralmente pode se dar pelo escoamento do aço, resultando em falhas por plastificação generalizada da seção, sem envolvimento de deslocamentos laterais ou instabilidades geométricas [6].

A presença de perfurações, apesar de funcionalmente necessária, pode influenciar no desempenho estrutural dessas colunas. Estudos apontam que as perfurações afetam diretamente os modos de

flambagem local e distorcional, alteram a rigidez da seção e reduzem sua capacidade resistente [7,8]. Moen e Schafer [9], por exemplo, demonstraram que a resistência última de perfis com furos pode ser significativamente distinta daquela prevista por equações clássicas, especialmente quando não se consideram adequadamente as dimensões, a posição e o espaçamento entre as aberturas. Ainda, pesquisas como as de Sarawit e Peköz [10] e Souza [11] evidenciam a complexidade de se modelar e prever o comportamento dessas seções perfuradas, sugerindo a necessidade de abordagens numéricas ou experimentais para obtenção de resultados confiáveis.

No Brasil, a norma ABNT NBR 14762:2010 [1], principal diretriz para o dimensionamento de PFF, não contempla explicitamente a presença de perfurações na determinação da resistência axial. A recente norma ABNT NBR 17150:2024 [12], voltada para estruturas porta-paletes, aborda o tema de forma empírica, condicionando o dimensionamento à realização de ensaios laboratoriais. Essa lacuna normativa evidencia a necessidade de propostas que aliem rigor técnico, simplicidade e aplicabilidade prática, permitindo estimativas mais precisas e menos dependentes de experimentação física.

Diversos estudos buscaram preencher essa lacuna normativa por meio de análises experimentais, teóricas e numéricas. Ribeiro [13] e Faria [14], por exemplo, realizaram ensaios experimentais com colunas perfuradas, observando reduções significativas na carga máxima devido à presença de furos. Já Sarmanho et al. [15] e Pinto [16] empregaram o Método dos Elementos Finitos (MEF) para modelar o comportamento estrutural de colunas com diferentes geometrias de perfuração, validando seus modelos com dados experimentais. Em ambos os casos, observou-se que tanto a altura quanto a largura das aberturas influenciam de maneira expressiva o comportamento resistente das seções.

Além disso, Yao e Rasmussen [17,18] investigaram a influência dos parâmetros geométricos das perfurações — como comprimento, largura e espaçamento — em colunas submetidas à compressão, concluindo que a largura da perfuração possui impacto mais relevante na resistência última do que o comprimento ou o espaçamento. Gomes et al. [19] reforçaram essa conclusão ao demonstrar, por meio de análises não lineares, que a introdução de enrijecedores nas bordas dos furos pode mitigar os efeitos da perfuração, aproximando o desempenho dos perfis perfurados ao dos não perfurados.

Dessa forma, evidencia-se a carência de formulações normativas e técnicas que considerem, de forma simultânea, as dimensões e a posição das perfurações no comportamento estrutural de colunas curtas de PFF. As abordagens atuais, em sua maioria, simplificam a estimativa da área mínima resistente ao considerar apenas a redução da largura da perfuração, ou então se baseiam em modelos experimentais de colunas curtas. O presente trabalho busca suprir essa lacuna por meio de um estudo numérico em elementos finitos de colunas curtas do tipo rack. O estudo paramétrico contempla a variação da largura e da altura das perfurações em três diferentes larguras de alma, resultando em um total de 135 modelos avaliados. A partir da análise dos resultados propõe-se uma nova equação para estimativa da carga máxima resistente, incorporando as dimensões das perfurações como parâmetros de ajuste. Com isso, pretende-se contribuir com o aprimoramento das diretrizes de dimensionamento e ampliar o entendimento técnico acerca do comportamento de colunas curtas perfuradas em sistemas de armazenagem industrial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi desenvolvido um modelo numérico utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF), que consiste na subdivisão de uma estrutura contínua em pequenos elementos, formando uma malha de elementos finitos. Utilizou-se o software ANSYS 18.2 [20] neste estudo. A implementação da análise foi conduzida por meio da linguagem de programação APDL (*Ansys Parametric Design Language*), que permite uma abordagem paramétrica, facilitando a variação geométrica das colunas.

2.1 Geometria e propriedade do material

Neste estudo, adotou-se uma coluna de perfil formado a frio com seção do tipo rack, contendo perfurações verticais distribuídas ao longo de seu comprimento. Foram consideradas três larguras distintas para a alma da seção (b): 80 mm, 90 mm e 100 mm. A espessura dos perfis foi mantida constante em todas as variações, sendo $t = 2$ mm. Na Figura 2 está apresentado um esquema das perfurações utilizadas e a seção estudada.

Foram considerados apenas furos retangulares (inclusive quadrados), uma vez que estudos anteriores, como os de Yao e Rasmussen [17,18], demonstraram que a forma do furo não exerce influência significativa sobre a resistência última das colunas. Dentre os diferentes formatos analisados, os furos retangulares tendem a resultar nas menores cargas máximas, funcionando como limite inferior para a resistência estrutural. Além disso, facilitam a geração de malha mais uniforme. Neiva [5] também concluiu que a inclinação dos furos não exerce influência significativa sobre a carga última das colunas.

As propriedades do aço utilizado nos modelos adotados, estão resumidas na Tabela 1. Na Figura 3 está apresentado o diagrama tensão–deformação adotado para representar a não linearidade física do aço, utilizado também por Neiva [5]. Nesse diagrama, o ponto A corresponde a uma tensão equivalente a 70% da tensão de escoamento ($0,70 f_y$), associada à deformação ϵ_1 . O ponto B indica o início do patamar de escoamento, ocorrendo quando a deformação atinge $3 \epsilon_y$. Já o ponto C marca o término dessa fase, com deformação igual a $10 \epsilon_y$. Por fim, o ponto D representa a tensão última (f_u), alcançada quando a deformação atinge $100 \epsilon_y$.

Tabela 1. Propriedades mecânicas do aço utilizado

Tensão de escoamento (f_y)	350 MPa
Tensão de ruptura (f_u)	450 MPa
Módulo de Elasticidade (E)	200 GPa
Coefficiente de Poisson (ν)	0,3

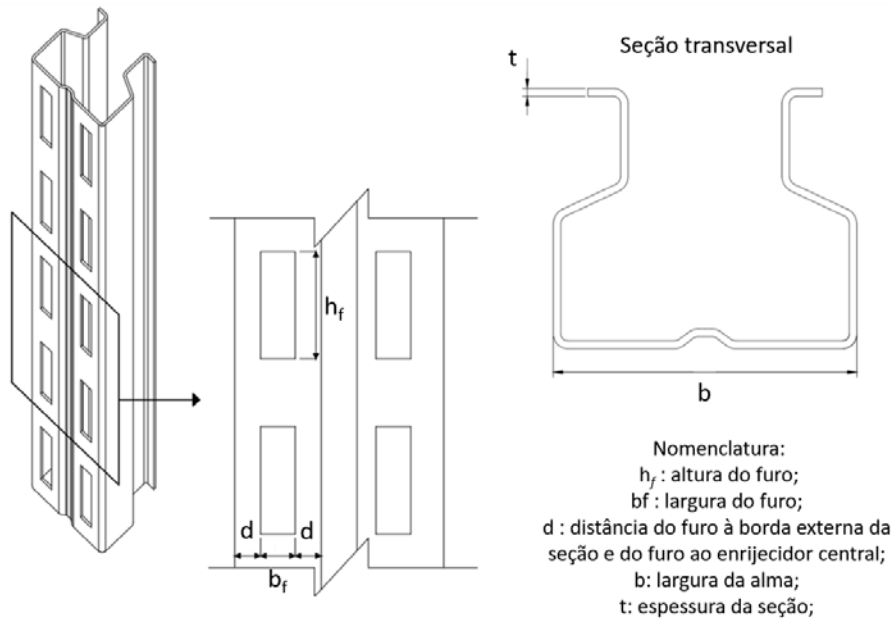


Figura 2. Detalhamento da seção e das perfurações estudadas

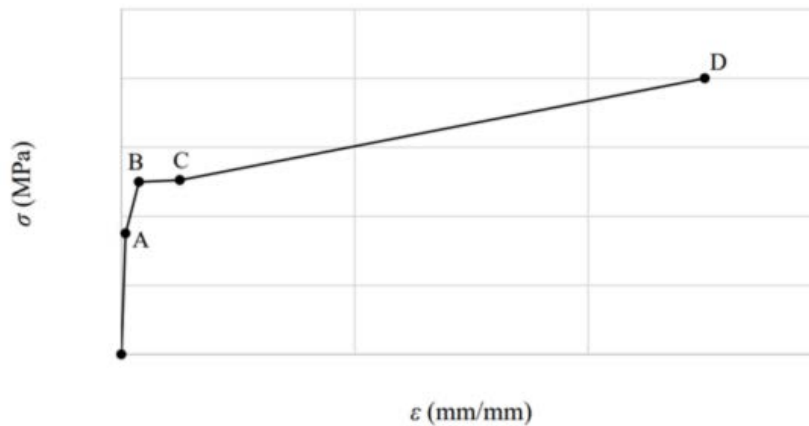


Figura 3. Diagrama tensão x deformação. Adaptado de[5].

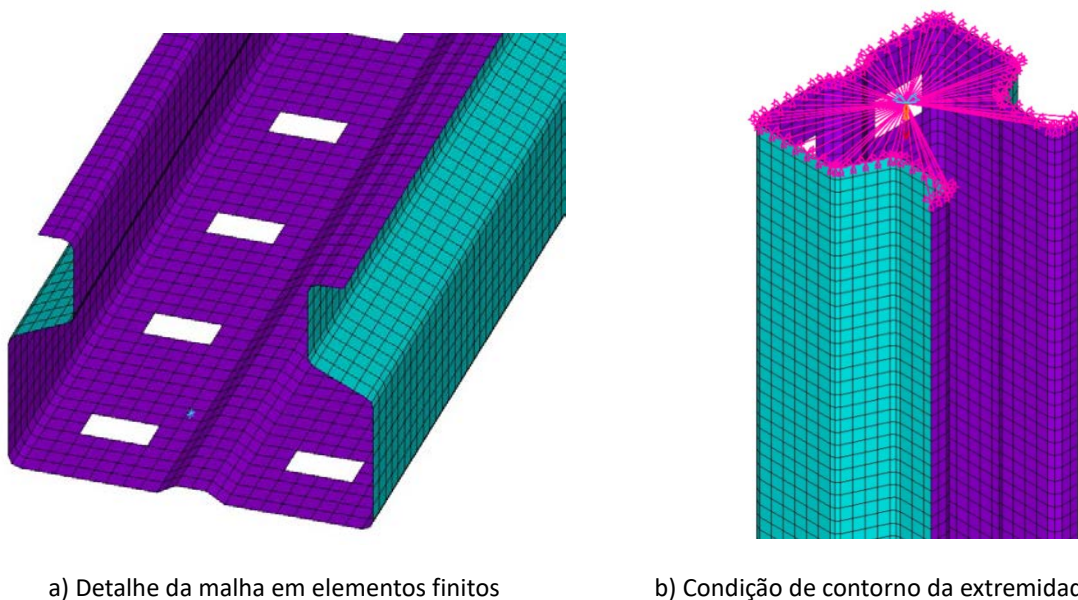
2.2 Elementos finitos, malha, condições de contorno e método de solução

Na modelagem das colunas no ANSYS, foi utilizado o elemento de casca SHELL181, apropriado para análises plásticas, conforme validado e utilizado por Souza [11] e Silva [6]. Esse elemento possui quatro nós, com seis graus de liberdade por nó (translações nas direções X, Y e Z, e rotações em torno dos mesmos eixos).

Para aliar precisão, baixo custo computacional e uniformidade da malha, adotaram-se elementos quadrangulares com lado de 5 mm. Esse formato também otimizou a distribuição da malha nas regiões próximas aos furos (Figura 4a).

As condições de contorno simularam uma coluna com uma extremidade engastada e a outra submetida à aplicação de deslocamento. Na extremidade engastada, todas as translações e rotações foram restringidas. Na extremidade oposta, os deslocamentos foram aplicados por meio de um nó mestre posicionado no centro geométrico da seção transversal, conforme ilustrado na Figura 4b).

A análise linear foi realizada inicialmente para determinar os modos de flambagem e as cargas críticas associadas. Em seguida, realizou-se a análise não linear com a introdução das não linearidades físicas (comportamento plástico do aço) e geométrica (imperfeições iniciais). O método de solução empregado foi o Newton-Raphson padrão, com atualização da geometria a cada incremento de carga, baseada no primeiro modo de flambagem obtido na análise linear.



a) Detalhe da malha em elementos finitos

b) Condição de contorno da extremidade da coluna

Figura 4. Nó do centro geométrico da seção

2.3 Estudo paramétrico

Embora não estejam disponíveis resultados experimentais específicos para validar modelos numéricos de colunas com seção tipo rack sob compressão, modelos similares desenvolvidos por outros autores, com geometrias diferentes, já foram validados, como Souza [11] e Neiva [5]. Dessa forma, o desenvolvimento de um estudo paramétrico contribui para o avanço das pesquisas sobre colunas perfuradas sob compressão, especialmente quanto à influência das perfurações no modo de falha e no comportamento da coluna, considerando as propriedades geométricas avaliadas neste estudo.

Com base no modelo numérico descrito, foi realizada uma análise paramétrica em colunas curtas com seção tipo rack, mantendo-se constantes as propriedades mecânicas apresentadas na Tabela 1.

As alturas e larguras dos furos foram variáveis, com incrementos de 2 e 4 mm. A distância entre o furo e a borda externa (d) foi ajustada de modo que se igualasse à distância ao enrijecedor central, centralizando os furos na alma. Na Tabela 3 estão apresentadas as combinações analisadas. Para facilitar a identificação dos modelos simulados, foi adotado um esquema de nomenclatura apresentado na Tabela 4.

Tabela 2. Estudo das dimensões das perfurações

Configuração	Altura (h_f)	Largura (b_f)	Total de Casos
Altura variável, largura fixa (20 mm)	5, 10, 15, 20	20	10 combinações
Largura variável, altura fixa (20 mm)	20	5, 10, 15, 20	10 combinações
Combinações completas	2, 6, 10, 14, 18	2, 6, 10, 14, 18	25 combinações (5×5)

Tabela 3. Nomenclatura adotada

Esquema de identificação: CC-WW-XX-YYY-ZZZ	
WW	Largura da alma (b_w): 80 mm, 90 mm e 100 mm
XX	Altura dos furos (h_f)
YYY	Largura dos furos (b_f)
ZZZ	Distância da borda externa

Este estudo restringe-se à análise de colunas curtas, para que o modo de colapso ocorra predominantemente por escoamento do aço, não ocorrendo flambagens local, global e distorcional. De acordo com a NBR 17150:2024[12], colunas curtas devem atender a dois critérios: (1) comprimento superior a três vezes a largura da alma (b_w), e (2) presença de, no mínimo, cinco perfurações ($5h_f$). Conforme mostrado na Tabela 5, Como a maior altura de furo utilizada foi de 20 mm, adotou-se $5h_f=100$ mm. Assim, foi definido o comprimento padrão de 350 mm para todas as colunas analisadas, de forma a atender simultaneamente todos os requisitos normativos

Tabela 4. Definição do comprimento das colunas

b_w (mm)	$3 b_w$ (mm)	h_{f5}	$h \geq \begin{cases} 3b_w \\ h_{f5} \end{cases}$ (mm)
80	240	100	350
90	270	100	350
100	300	100	350

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em todos os modelos analisados foi observado a falha por escoamento do aço. Na Figura 5 estão ilustradas, para algumas configurações de perfuração, as configurações deformadas e a distribuição de tensões de von Mises. Destaca-se o escoamento (em cinza) em toda a região central da alma do perfil.

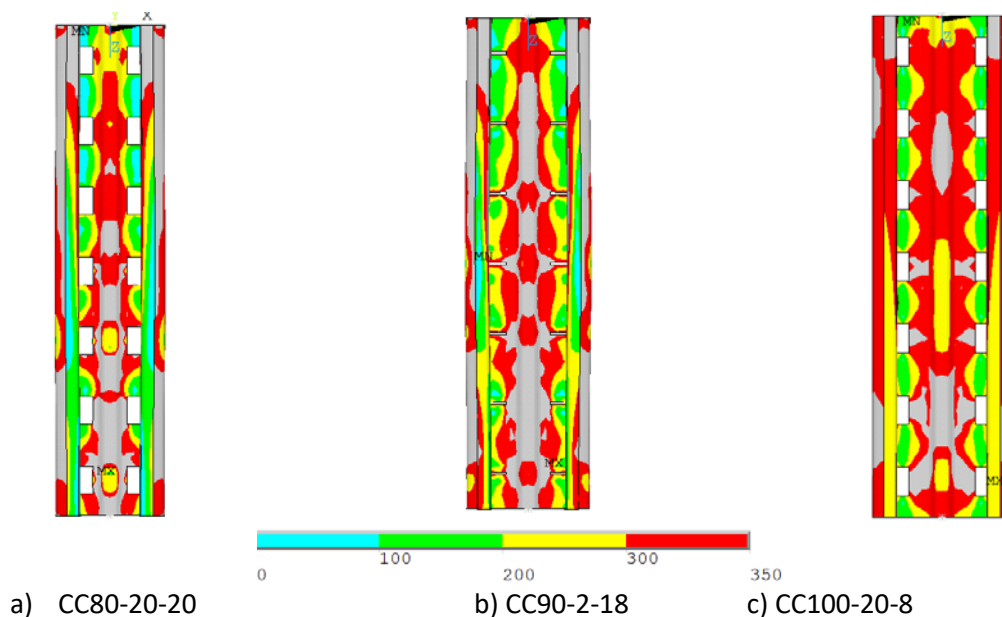


Figura 5. Configuração deformada e distribuição de tensões dos modelos: a) CC80-20-20; b) CC90-2-18; c) CC100-20-8.

Na Figura 6 são apresentados os gráficos com os resultados dos perfis em que a altura dos furos foi variada em incrementos de 2 mm, mantendo-se a largura fixa em 20 mm (Figura 6a), e daqueles em que a largura foi variada, com a altura mantida constante em 20 mm (Figura 6b). Observou-se que tanto o aumento da altura quanto da largura da perfuração contribuiu para a redução da carga máxima das colunas. Embora apenas essas variações estejam ilustradas nas figuras, o mesmo comportamento foi verificado em todas as demais configurações de perfuração analisadas.

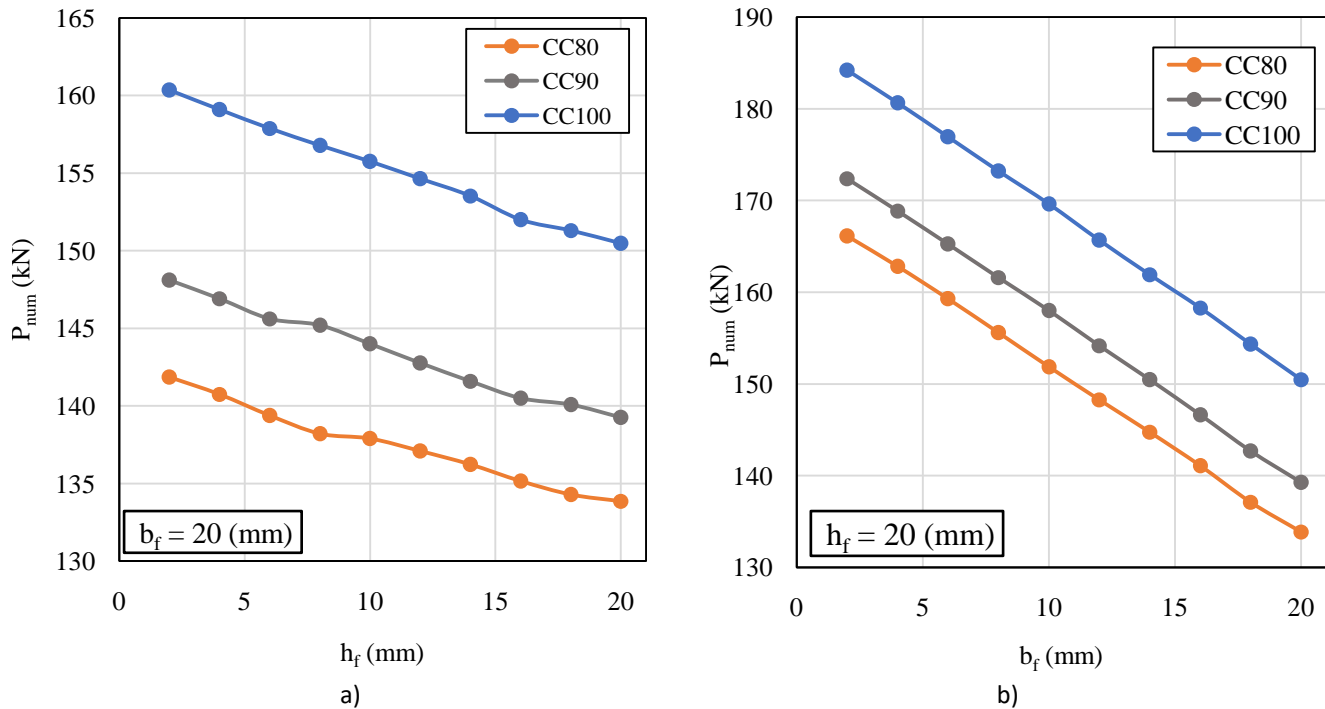
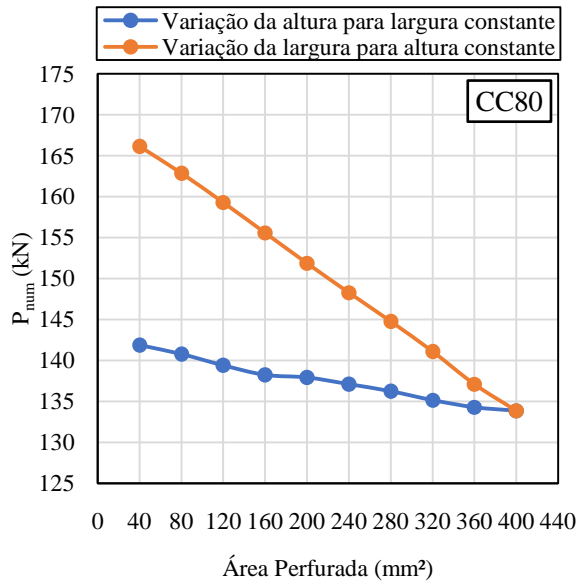


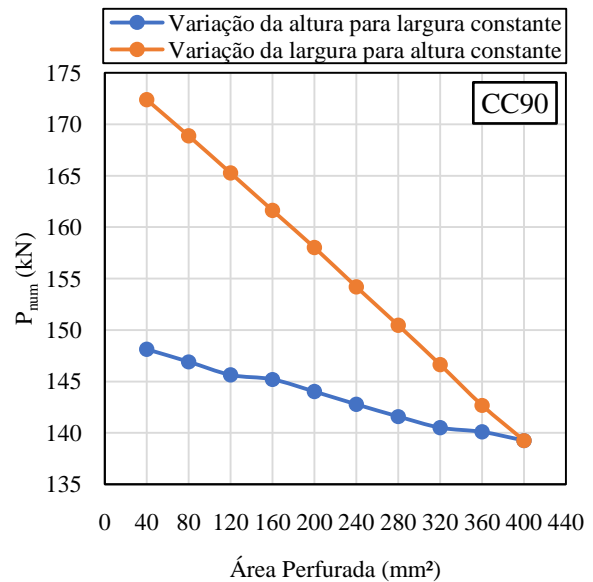
Figura 6. Carga última (P_{num}) em função dos parâmetros geométricos do furo: a) P_{num} vs h_f ; b) P_{num} vs b_f .

É mostrado na Figura 7 o comportamento da carga máxima em função da área perfurada para as colunas CC80, CC90 e CC100. O aumento dos parâmetros geométricos dos furos e, conseqüentemente, da área perfurada (conforme definido na Equação 1), promoveu uma redução significativa na resistência do perfil. Mesmo para áreas perfuradas iguais, a carga máxima pode variar de acordo com a forma como essa área está distribuída, sendo a largura o fator de maior influência. Ainda assim, a altura também demonstrou influência considerável sobre o comportamento resistente.

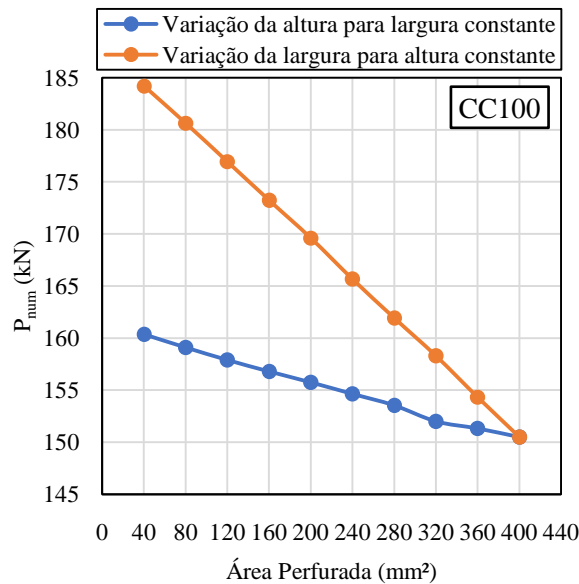
$$A_f = b_f \cdot h_f \quad (1)$$



a) CC80



b) CC90



c) CC100

Figura 7. Carga máxima em função da área perfurada: a)CC80; b)CC90; c)CC100.

Dado que a análise foi conduzida em colunas curtas, observou-se um mecanismo de falha por escoamento do aço, sem influência significativa de flambagem na perda de resistência. Nesta seção, avalia-se o dimensionamento de perfis formados a frio submetidos à compressão, conforme as prescrições das normas NBR 14762:2010 [1] e NBR 17150:2024 [12], esta última aplicável a perfis perfurados. A carga máxima teórica para escoamento da seção transversal é calculada por meio da

Equação (1). Para os casos com seções perfuradas que atendem aos mesmos critérios geométricos e de carregamento, considera-se a coluna sem furos, mas com área transversal equivalente à área líquida mínima ($A_{min,liq}$), ou seja, a menor área líquida ao longo do comprimento, geralmente na região com maior concentração de perfurações, dado pela Equação 2. Portanto, considerando as perfurações dos os perfis do estudo paramétrico o valor da carga máxima foi determinado pela Equação 3.

$$P_{teo} = A_g \cdot f_y \quad (1)$$

$$A_{min,liq} = A_g - n \cdot b_f \cdot t \quad (2)$$

$$P_{teo} = A_{min,liq} \cdot f_y \quad (3)$$

Onde: $P_{m\acute{a}x}$ é a carga máxima; f_y é a tensão de escoamento do aço; A_g é área bruta da seção transversal; n é o número de perfurações em uma linha transversal; b_f é o diâmetro ou largura do furo; t é a espessura da chapa.

É apresentado na Figura 8 o gráfico da razão entre os valores teóricos, calculados pela Equação 3, e os valores obtidos numericamente para cada modelo. Observa-se que todos os modelos apresentaram cargas numéricas inferiores às teóricas, o que indica que a equação, mesmo considerando a área líquida mínima, tende a superestimar a resistência à compressão das seções perfuradas. Com valores médios da relação entre valores teóricos e numéricos iguais a 1.06. Esse resultado evidencia a necessidade de se avaliar e considerar também a influência da altura do furo na determinação da carga máxima.

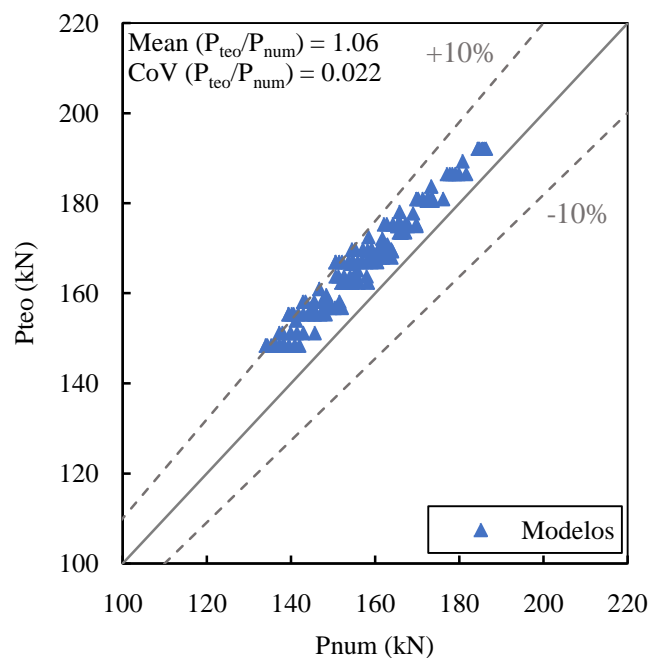


Figura 8. Comparação entre os resultados teóricos e numéricos

3.1 Proposta de formulação

Com base na análise numérica realizada por meio do Método dos Elementos Finitos, foram obtidos os valores das cargas máximas numéricas (P_{num}) para diferentes configurações geométricas de perfuração. A partir desses resultados, foi definida a área alvo (A_{alvo}), determinada pela Equação 4. A área alvo foi concebida como uma tentativa de estabelecer uma relação entre a área líquida mínima, a altura da perfuração e as cargas máximas obtidas numericamente.

$$A_{alv} = P_{num} / f_y \quad (4)$$

Após a definição da área alvo para todas as variações de perfuração, os dados foram processados no MATLAB, utilizando operações matriciais para análise interativa. A abordagem adotada envolveu a geração de um gráfico tridimensional, no qual o eixo Z representa a área alvo, o eixo Y corresponde à área líquida mínima (dependente da largura do furo), e o eixo X indica a altura da perfuração. A superfície resultante da interpolação dos dados é ilustrada na Figura 9.

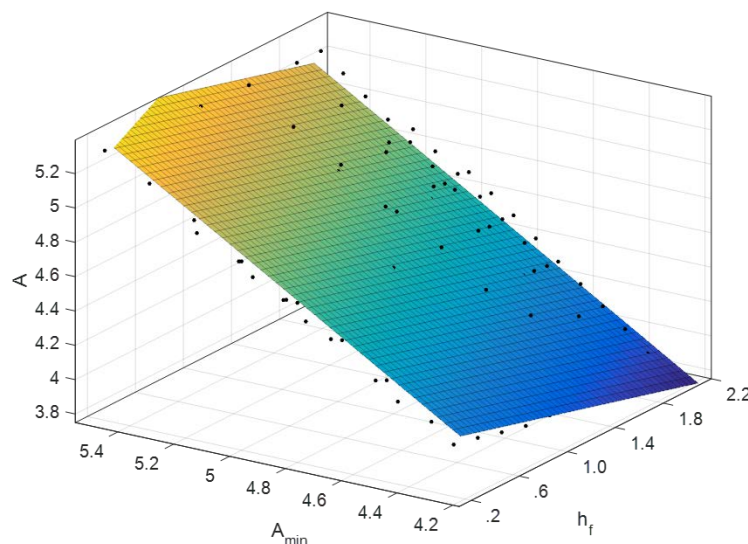


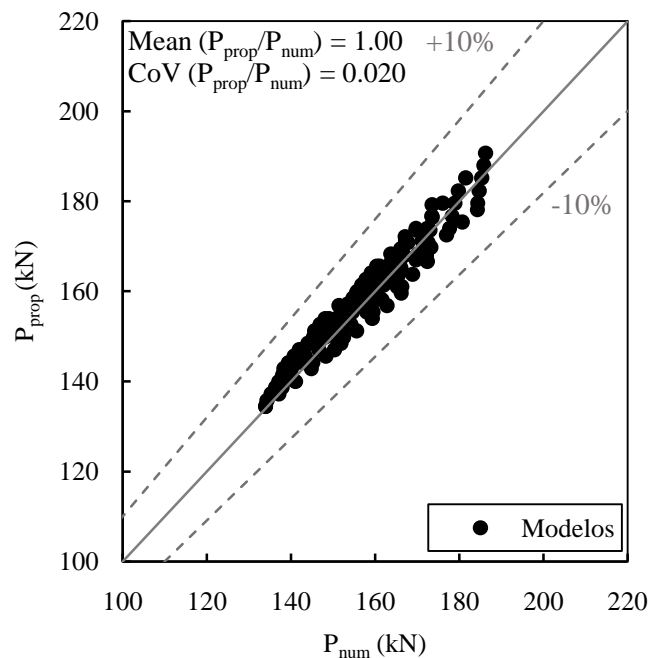
Figura 9 – Representação tridimensional da relação entre a área alvo, a área líquida mínima e a altura das perfurações

O objetivo principal dessa análise foi encontrar uma equação capaz de descrever o comportamento da área alvo em função da área líquida mínima e da altura do furo. Para isso, foram testadas diferentes expressões matemáticas, até se obter uma que apresentasse bom ajuste aos dados. A equação proposta é dada pela Equação 5.

$$A_{prop} = A_g - 2 \cdot t \cdot b_f - t \cdot h_f \quad (5)$$

Onde: A_{prop} é a definição da nova área proposta; A_g é a área bruta da seção; t é a espessura da chapa; b_f é a largura do furo; h_f é a largura do furo.

Como discutido anteriormente, a largura da perfuração exerce maior influência na resistência da seção, o que é refletido na equação proposta. No entanto, a altura também se mostrou relevante. Com base nessa formulação, foram calculadas novas áreas para os 135 modelos analisados quanto às dimensões da perfuração. A partir dessas áreas, foi possível estimar uma nova carga máxima, denominada P_{prop} . Os valores determinados pela equação proposta foram então comparados com as cargas máximas obtidas numericamente (P_{num}), e o resultado desse comparativo está apresentado na Figura 10.



A relação entre os valores obtidos pela equação proposta e os valores numéricos apresentou média igual a 1,00, indicando excelente aproximação. O coeficiente de variação (CoV), que representa o desvio médio por meio da razão entre o desvio padrão e a média, também confirmou a boa representatividade da equação, com variação inferior a 2%, o que reforça sua consistência para os casos analisados. Assim, a área mínima pode ser determinada considerando também a altura da perfuração.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho analisou numericamente a influência das dimensões das perfurações em colunas de perfis formados a frio com seção tipo rack, por meio de modelagem pelo Método dos Elementos Finitos no software ANSYS. Foram simulados 135 modelos com variações de altura e largura de furos para três larguras de alma (80, 90 e 100 mm), mantendo constante a espessura da chapa (2 mm) e o comprimento da coluna (350 mm), de modo a garantir o modo de falha por escoamento do aço.

Os resultados indicaram que tanto a altura quanto a largura das perfurações contribuem para a redução da carga máxima resistente. Em todos os casos, as cargas numéricas foram inferiores às previstas pela equação teórica baseada na área líquida mínima, com razão média de 1,06. Esses dados evidenciam que a equação tradicional tende a superestimar a resistência à compressão de colunas perfuradas e que a influência da altura dos furos também deve ser considerada no dimensionamento.

Com base nesses resultados, foi proposta uma nova área equivalente, denominada área alvo, correlacionando a carga máxima obtida numericamente com a geometria dos furos. A partir disso, foi desenvolvida uma equação para determinar a área líquida mínima que considera a largura e a altura perfuração. Essa formulação permitiu estimar cargas máximas com precisão, apresentando razão média de 1,0 em relação aos resultados numéricos e coeficiente de variação de 2%.

A equação proposta mostrou boa representatividade e consistência para os casos avaliados, revelando-se uma alternativa viável para o dimensionamento de colunas curtas perfuradas, especialmente frente às lacunas das normas brasileiras vigentes. Além de contribuir com um método simplificado e eficiente, este trabalho reforça a importância de considerar a geometria completa das perfurações na estimativa da capacidade resistente de perfis formados a frio.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

REFERÊNCIAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT; 2010.
2. Silva GG. Análise teórico-experimental de colunas curtas perfuradas [dissertação]. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas; 2011.
3. Silva LS, Simões R, Gervásio H, Vellasco P, Lima L. Dimensionamento de estruturas de aço: comparação entre o Eurocódigo 3 e a Norma Brasileira NBR 8800. 1ª ed. 2016.
4. Sales AECA. Análise da aplicação do método da resistência direta a perfis formados a frio com perfurações submetidos à compressão [dissertação]. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2017.
5. Neiva LHA. Análise da influência da variação de perfurações no comportamento e capacidade de carga de perfis formados a frio de seção tipo rack [dissertação]. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2017.
6. Silva GG. Análise teórico-experimental de colunas curtas perfuradas [dissertação]. Ouro Preto: UFOP; 2011.

7. Sarawit AT, Peköz T. Cold-formed steel frame and beam-column design. Research Report nº 03-03. Ithaca, NY: Cornell University; 2003.
8. Souza FT. Análise teórico-experimental da estabilidade de colunas perfuradas em perfis de aço formados a frio de seções tipo rack [tese]. Ouro Preto: UFOP; 2013.
9. Moen CD, Schafer BW. Direct strength design of cold-formed steel members with perforations: Research Report RP 09-1. Washington: AISI; 2009.
10. Sarawit AT, Peköz T. Cold-formed steel frame and beam-column design. Research Report nº 03-03. Ithaca, NY: Cornell University; 2003.
11. Souza FT. Análise teórico-experimental da estabilidade de colunas perfuradas em perfis de aço formados a frio de seções tipo rack [tese]. Ouro Preto: UFOP; 2013.
12. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 17150:2024 – Sistemas de armazenagem – Estrutura de armazenagem estática tipo porta-paletes – Parte 1 e 2. Rio de Janeiro: ABNT; 2024.
13. Ribeiro FS. Análise teórico-experimental de colunas curtas em perfis formados a frio de seção transversal tipo rack [dissertação]. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo; 2006.
14. Faria VO. Análise de estabilidade de perfis formados a frio com perfurações [dissertação]. Ouro Preto: UFOP; 2016.
15. Sarmanho AMC, Freitas MSR, Souza FT. Análise teórico-experimental de elementos formados a frio perfurados submetidos à compressão. REM: RevEsc Minas. 2004;57(1):59–63.
16. Pinto RAR. Análise numérica da influência das dimensões de perfurações em perfis formados a frio do tipo rack submetidos à compressão centrada sujeitos à flambagem distorcional [dissertação]. Ouro Preto: UFOP; 2021.
17. Yao Z, Rasmussen KJR. Inelastic local buckling behaviour of perforated plates and sections under compression. Thin-Walled Struct. 2012;61:49–70.
18. Yao Z, Rasmussen KJR. Perforated cold-formed steel members in compression. I: Parametric studies. J Struct Eng. 2016;143.
19. Gomes DM, Sarmanho AMC, Souza FT. Análise numérica de pilares formados a frio do tipo rack com perfurações de bordas enrijecidas. REEC – RevEletrEngCiv. 2023;19(1):78–91.
20. ANSYS. Ansys program version 18.0. Finite Element Software. S.I.: Ansys Inc.; 2017.