

SIMULAÇÃO NUMÉRICA E MÉTODO DESIGN CONSTRUTAL APLICADOS À ANÁLISE GEOMÉTRICA DE PLACAS DE AÇO COM ENRIJECEDORES RETANGULARES OU TRAPEZOIDAIS

Vinícius Torres Pinto¹, Marcelo Langhinrichs Cunha², Kauê Louro Martins³, Prof. Dr. Luiz Alberto Oliveira Rocha⁴, Elizaldo Domingues dos Santos⁵, Prof. Dr. Liércio André Isoldi⁶

Resumo: Este estudo aplicou o método Design Construtal associado à modelagem computacional para analisar o comportamento de placas de aço com enrijecedores retangulares ou trapezoidais submetidas a carregamento transversal uniforme. Para isso, uma placa retangular sem enrijecedores foi tomada como referência e uma parcela do seu volume foi convertida em enrijecedores através do parâmetro ϕ que é a razão entre os volumes de material dos enrijecedores e da placa de referência. Assumindo $\phi = 0,3$, foram configurados cinco arranjos de placas com enrijecedores retangulares e cinco com enrijecedores trapezoidais. Os resultados mostraram que placas com enrijecedores trapezoidais podem reduzir a deflexão máxima em até 35,9% quando comparadas com placas com enrijecedores retangulares. Além disso, os resultados apontaram que as placas com enrijecedores trapezoidais possuem melhor desempenho em relação à minimização da deflexão máxima quando o comprimento da base menor do enrijecedor trapezoidal é 30% do comprimento de sua base maior.

Palavras-chave: Placas de aço, Enrijecedores retangulares, Enrijecedores trapezoidais, Simulação numérica, Constructal Design, Máxima deflexão.

¹viniciustorreseng@gmail.com-correspondente ²marcelolamcunha@hotmail.com

³kmartins@furg.br, ⁴luizor@unisinos.br, ⁶liercioisoldi@furg.br. Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), 96.203-900, Rio Grande-RS, Brasil.

⁵elizaldosantos@furg.br, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM), Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), 93.022-750, São Leopoldo-RS, Brasil.

1. Introdução

A influência da configuração geométrica de uma estrutura em seu comportamento mecânico é, sem dúvida, um relevante tema de pesquisa em diversas áreas da engenharia. Um dos objetivos de analisar geometricamente uma estrutura é estabelecer um arranjo estrutural capaz de resistir aos esforços solicitantes, ampliando a capacidade de carga e limitando as deflexões e tensões aos valores admissíveis (Salomom, 2000).

Placas enrijecidas são componentes estruturais aplicados nas mais diversas estruturas de engenharia, como fuselagem de aeronaves, tanques de armazenamento, estruturas navais (Figura 1a) e pontes (Figura 1b). Devido a sua esbeltez, a inserção de enrijecedores em placas de aço é uma prática bastante comum, possibilitando um grande acréscimo de rigidez, conservando a leveza característica e desejável das placas.

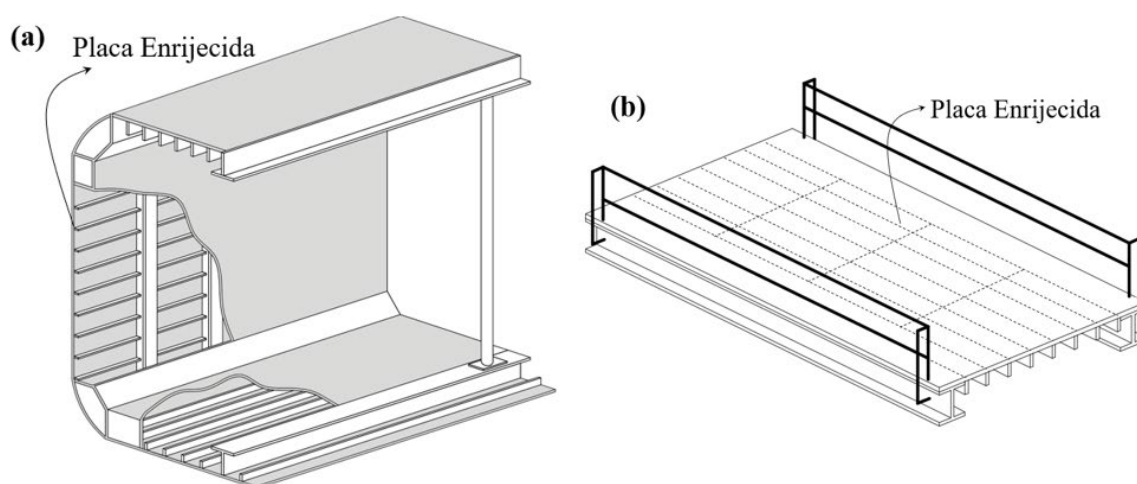


Figura 1 - (a) Seção transversal de um navio; (b) Seção transversal de uma ponte

As principais teorias existentes na literatura que tratam do comportamento de placas propõem equações diferenciais governantes de difícil solução analítica, restringindo-se apenas a casos simplificados de geometria, carregamentos e condições de apoio (Szilard, 2004). Dessa forma, os métodos numéricos tornam-se uma opção confiável para este tipo de problema.

Engenheiros, cientistas e matemáticos têm aprimorado a aplicação dos métodos numéricos através de simulação computacional para solucionar sistemas que exigem equações diferenciais complexas, utilizando softwares que tem como base, por exemplo, o Método dos Elementos Finitos (MEF). A simulação computacional é uma ferramenta fundamental para ciência e engenharia, possibilitando não apenas que hipóteses sejam testadas, mas também

que os resultados obtidos possam ser extrapolados até condições limites com segurança e precisão (Steinhauser, 2008; Rappaz et al., 2010)

O MEF destaca-se entre as diferentes técnicas numéricas pela sua versatilidade, sendo aplicado em diversos estudos envolvendo placas enrijecidas. Salomom (2000) desenvolveu alguns modelos de placas enrijecidas sujeitas à flexão aplicando o MEF considerando diferentes condições de contorno, e constatou a precisão dos elementos finitos bi e tridimensionais. Hasan (2007) utilizou o software NASTRAN[®] para aplicar o MEF e investigar as melhores posições de enrijecedores retangulares em placas submetidas a carregamento transversal uniforme. Já Silva (2010), utilizando o ANSYS[®] que é baseado no MEF, estudou a influência da excentricidade em lajes nervuradas. Assim como Singh e Pal (2016), que também fizeram uso do software ANSYS[®] para analisar o comportamento mecânico de placas enrijecidas compósitas submetidas à flexão.

Além disso, o MEF associado ao método Design Construtal (MDC) vem sendo aplicado na análise geométrica de placas de aço por diversos pesquisadores. Isoldi et al. (2013a, 2013b), assim como, Helbig et al. (2016, 2018) e Da Silva et al. (2019), realizaram estudos tratando do comportamento mecânico de placas perfuradas sujeitas à flambagem aplicando MEF e MDC. Usando a mesma metodologia, porém tratando de placas de aço enrijecidas, Lima et al. (2018) estudaram o efeito da flambagem. Além disso, Troina (2017), Cunha et al. (2018) e De Queiroz et al. (2019), utilizaram o MEF e MDC em associação, para analisar geometricamente placas com enrijecedores retangulares sujeitas a carregamento transversal uniforme na busca de arranjos geométricos otimizados de placas enrijecidas.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar o comportamento mecânico de placas de aço sujeitas à carregamento transversal uniforme com enrijecedores retangulares ou trapezoidais aplicando MDC utilizando modelos computacionais baseados no MEF, no intuito de propor arranjos geométricos que conduzam a ganhos no desempenho mecânico das placas enrijecidas quanto à minimização da deflexão máxima.

2. Modelagem Computacional

A premissa básica do MEF é a subdivisão do sistema estrutural em pequenos elementos individuais de dimensões finitas, de modo que, partindo do entendimento de cada parte seja possível compreender o funcionamento do todo. Esses elementos discretizam o sistema contínuo interconectando-se por pontos nodais e transformando a equação diferencial governante do sistema em um conjunto de equações algébricas solucionáveis através de um

sistema linear de equações, permitindo obter uma solução aproximada (Burnett 1987; Filho 2000).

Neste estudo a aplicação do MEF foi realizada através do software ANSYS® Mechanical APDL que possibilita análises estáticas lineares e não lineares, bem como, análises dinâmica e de flambagem. Dentre os diversos tipos de elementos finitos bidimensionais e tridimensionais disponíveis no ANSYS®, para as placas enrijecidas simuladas neste estudo foi adotado o elemento bidimensional SHEEL281 na versão triangular.

O SHEEL281 (Figura 2) é um elemento próprio para modelagem de placas finas e moderadamente espessas, disponível nas versões quadrilátera com 8 nós e triangular com 6 nós, com 6 graus de liberdade por nós, sendo 3 rotações e 3 translações em torno dos eixos x , y e z (ANSYS, 2019).

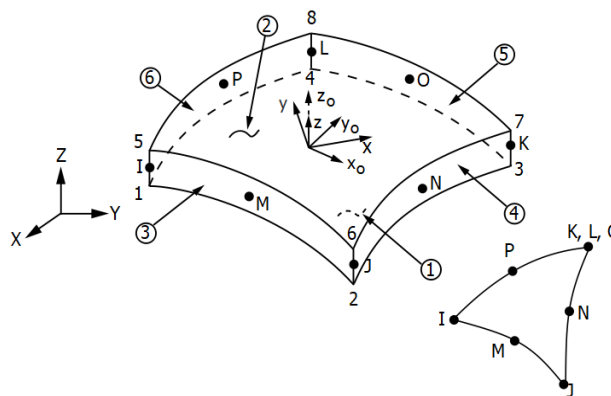


Figura 2 - Elemento SHELL281

(Fonte: ANSYS, 2019)

3. Método Design Construtal (MDC)

A Lei Construtal explica o fenômeno universal da geração e evolução do design na natureza (configuração, forma, estrutura, padrão e ritmo) para os mais diversos sistemas de fluxo animados e inanimados existentes. De acordo com essa lei o sistema é livre para transformar-se, sob restrições globais, na busca da melhor arquitetura possível, ou seja, aquela que maximiza o acesso ao fluxo minimizando as imperfeições (Bejan e Lorente, 2011; Bejan e Lorente, 2013). Entretanto, os sistemas de fluxo, embora bem estruturados, não conseguem eliminar tais imperfeições, mas reduzir seu efeito global através da configuração e reconfiguração do sistema, tornando-o cada vez menos imperfeito (Bejan e Zane, 2012).

Na análise de estruturas a Lei Construtal é aplicada seguindo a premissa de que uma estrutura ao ser solicitada responde como um sistema de fluxo, onde as tensões fluem entre os

seus componentes, sendo a configuração geométrica ótima aquela capaz de apresentar menos regiões de concentração de tensões (minimizar imperfeições) possibilitando uma distribuição uniforme do fluxo de tensões através do material disponível (Bejan e Lorente, 2008).

O MDC é o modo pelo qual a Lei Construtal é aplicada em problemas práticos, guiando o projetista em direção às configurações geométricas que apresentem melhor desempenho para as condições de acesso ao fluxo, de acordo com um princípio de restrições e objetivos, onde uma vez definidas as restrições do problema, graus de liberdade relacionados aos parâmetros geométricos são modificados visando avaliar sua influência em um indicador de desempenho pré-definido (Reis, 2006; Bejan e Lorente, 2008).

Neste estudo, uma placa não enrijecida foi tomada como referência para aplicação do MDC, portanto, uma parcela de material desta placa foi removida integralmente da espessura e convertida em enrijecedores retangulares ou trapezoidais, através do parâmetro ϕ que é a razão entre o volume de material dos enrijecedores e o volume de material da placa de referência. O valor de ϕ adotado foi igual a 0,3, representando 30% do material da placa de referência transformado em enrijecedores.

As equações que definem o parâmetro ϕ para as placas com enrijecedores retangulares e trapezoidais, respectivamente, são:

$$\phi = \frac{V_s}{V_r} = \frac{n_{sx}(ah_s t_s) + n_{sy}[(b - n_{sx}t_s)h_s t_s]}{abt} \quad (1)$$

$$\phi = \frac{V_s}{V_r} = \frac{\left\{ n_{sx} \left[\frac{(a+c)h_s t_s}{2} \right] + n_{sy} \left[\frac{(b+d)h_s t_s}{2} \right] \right\} - V_{int}}{abt} \quad (2)$$

onde, V_s é o volume de material dos enrijecedores e V_r o volume de material da placa de referência. O comprimento, a largura e a espessura da placa de referência são respectivamente: $a = 2000$ mm, $b = 1000$ e $t = 20$ mm; h_s representa a altura e t_s a espessura dos enrijecedores fixada em 19,21 mm ou (3/4"). O comprimento das bases menores dos enrijecedores trapezoidais nas direções x e y foram nomeadas c e d , respectivamente, e V_{int} representa o volume de material entre as intersecções dos enrijecedores trapezoidais.

Ressaltando que a espessura da placa de referência $t = 20$ mm passou a ser $t_p = 14$ mm, representando a espessura das placas enrijecidas. Além disso, para identificar os arranjos

de placas foi adotado o sistema $P(n_{sx}, n_{sy})$ e $PT(n_{sx}, n_{sy})$ para enrijecedores retangulares e trapezoidais, respectivamente, sendo n_{sx} e n_{sy} o número de enrijecedores nas direções x e y . Todos esses parâmetros supracitados podem ser observados nas Figuras 3 e 4.

É importante destacar que de acordo com o método Design Construtal todos os arranjos de placas analisados possuem o mesmo volume total de material, sendo essa a restrição principal do problema. Como indicador de desempenho foi adotado a máxima deflexão transversal, a qual deve ser minimizada.

Além disso, cabe informar que os arranjos de placas com enrijecedores trapezoidais foram definidos após um estudo prévio para definir qual a melhor razão entre suas bases de acordo com o indicador de desempenho, onde adotando a placa com maior número de enrijecedores trapezoidais $PT(6,6)$ a razão entre as bases c/a e d/b foi variada entre 0,0 e 1,0 em intervalos de 0,1.

Sendo assim, foram analisados neste estudo 10 arranjos de placas enrijecidas: 5 com enrijecedores retangulares e 5 com enrijecedores trapezoidais conforme o esquema apresentado na Figura 5.

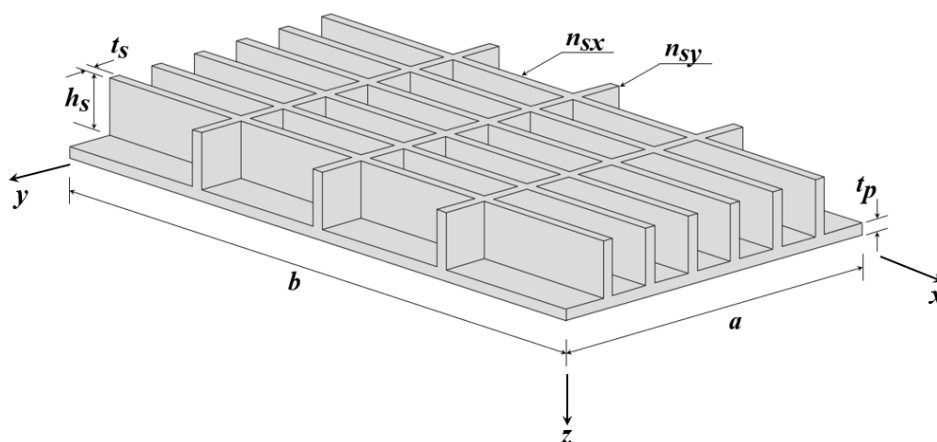


Figura 3 - Placa $P(6,3)$ com enrijecedores retangulares

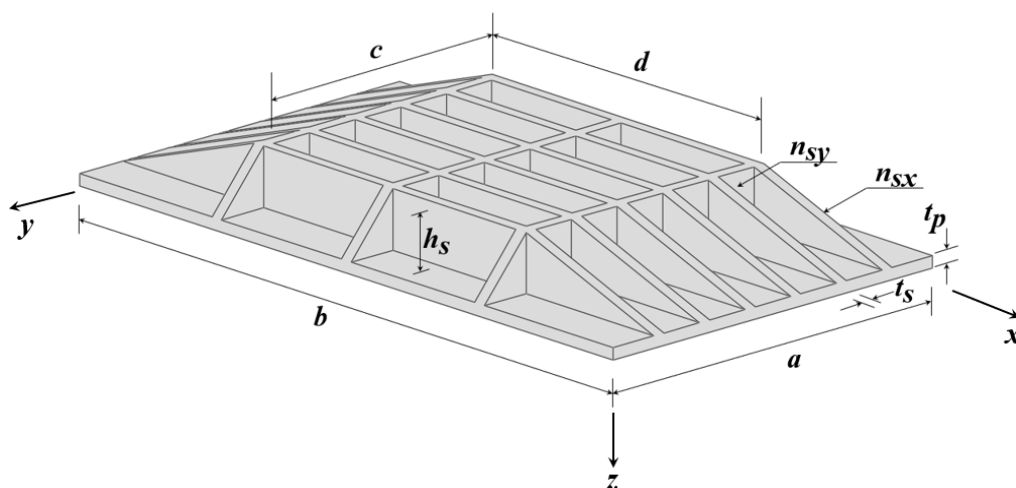


Figura 4 - Placa PT(6,3) com enrijecedores trapezoidais

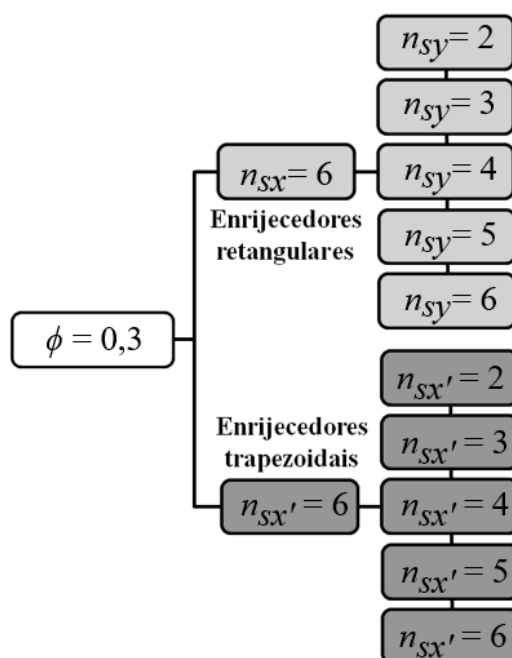


Figura 5 - Arranjos de placas analisados

4. Resultados e Discussões

Inicialmente foi realizado um processo de verificação do modelo numérico, seguido de um teste de convergência de malha com o objetivo garantir a precisão dos modelos apresentados na Fig. 5. Após, os resultados do estudo de caso proposto foram então apresentados e discutidos.

4.1. Verificação do modelo numérico

O problema adotado para verificação do modelo numérico usado neste estudo foi previamente analisado por Silva (2010) e Troina et al. (2018) utilizando o ANSYS®. Trata de

uma placa retangular com um enrijecedor central, conforme a Figura 6. A placa foi submetida a um carregamento transversal uniforme de 10 kPa com condições de contorno de bordas simplesmente apoiadas. O material da placa possui módulo de elasticidade de 30 GPa e coeficiente de Poisson de 0,3.

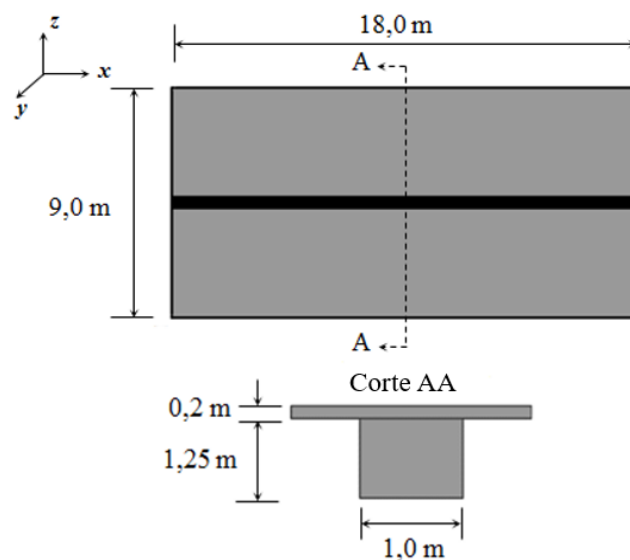


Figura 6 - Placa retangular com um enrijecedor central

Com base no teste de convergência de malha apresentado na Figura 7, foi adotada a malha independente composta por 18.470 elementos finitos do tipo SHELL281 na versão triangular com tamanho de 150 mm. As distribuições das deflexões utilizando a malha independente podem ser observadas na Figura 8.

Os resultados obtidos para deflexão central U_z são apresentados na Tabela 1. Além disso, foi realizada a comparação dos resultados com os encontrados por Silva (2010) (que empregou o elemento BEAM44 para modelar o enrijecedor e o elemento SHELL63 para a placa) e por Troina et al. (2018) (que fez uso do elemento SOLID95 nas versões tetraédrica e hexaédrica para modelar tanto a placa quanto o enrijecedor).

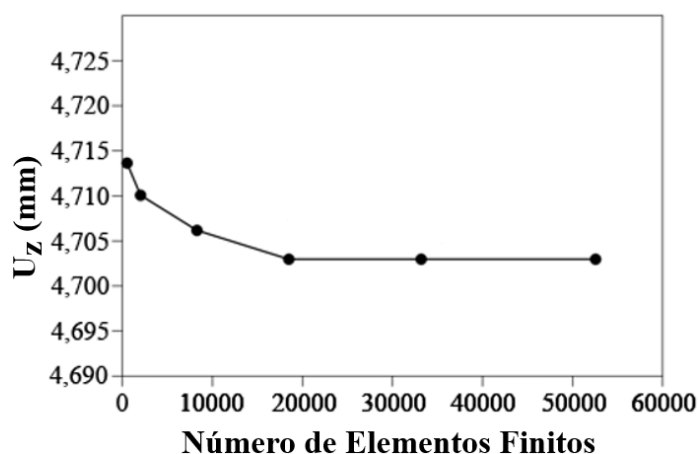


Figura 7 - Teste de convergência de malha para verificação do modelo numérico

Tabela 1: Resultados da verificação do modelo numérico

	U_z (mm)	Diferença (%)
Presente Estudo – SHELL281	4,703	---
Silva (2010) – BEAM44 e SHELL93	4,500	4,30
Troina et al. (2018) – SOLID95 Tetraédrico	4,690	0,30
Troina et al. (2018) – SOLID95 Hexaédrico	4,690	0,30

Conforme pode-se observar na Tabela 1, comparando o resultado deste com o resultado de Silva (2010) houve uma aceitável diferença que pode ser explicada devido ao uso de malhas pouco refinadas que totalizaram 220 elementos finitos, em comparação com as malhas bem mais refinadas utilizadas no presente estudo.

Entretanto comparando com os resultados apresentados por Troina et al. (2018) os resultados concordaram. As pequenas diferenças justificam-se pelo fato do elemento SOLID95 considerar o estado tridimensional de tensões e deformações, enquanto o elemento SHELL281, por ser bidimensional, sofre simplificações relativas ao estado plano de tensões. Sendo assim, pode-se considerar o modelo proposto como verificado.

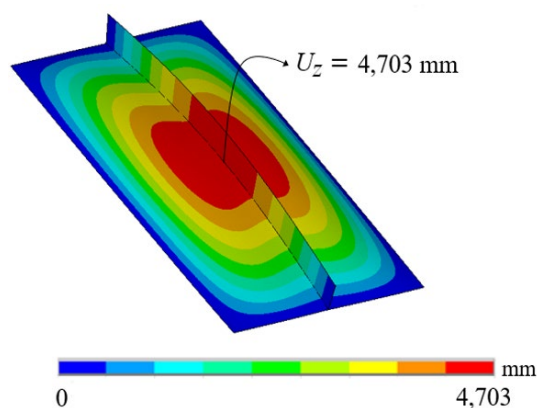


Figura 8 - Distribuição das deflexões para malha independente

4.2. Estudo de Caso

Primeiramente, é importante evidenciar que todas as placas simuladas no estudo de caso foram submetidas a um carregamento transversal uniforme de 10 kN/m^2 , com condições de contorno de bordas simplesmente apoiadas. O material da placa é o aço A-36 com módulo de elasticidade $E = 200 \text{ GPa}$ e coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$.

Para o teste de convergência de malha foi escolhida a placa PT(6,6) com razão c/a e d/b igual a 0,1, a qual possui o arranjo com maior complexidade geométrica entre todos os arranjos analisados. Foram testadas seis malhas, onde reduziu-se o tamanho dos elementos finitos a cada malha analisada, de acordo com a largura da placa ($b = 1000 \text{ mm}$), conforme mostra a Fig. 9.

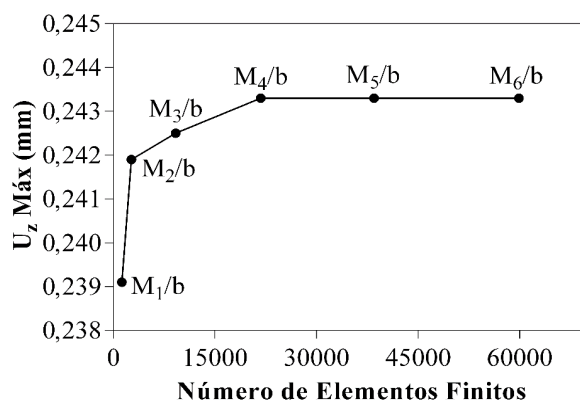


Figura 9 - Teste de convergência de malha para o estudo de caso

Com base na Figura 9 é possível notar que a partir da quarta malha M_4/b com elemento de $16,67 \text{ mm}$, os valores de deflexão máxima mantiveram-se constantes, sendo essa a malha adotada para as simulações seguintes.

Como indicado anteriormente, a primeira parte do estudo de caso teve como objetivo identificar qual a melhor razão entre as bases c/a e d/b dos enrijecedores trapezoidais (ver Fig. 4), adotando novamente a placa PT(6,6). A razão entre as bases dos enrijecedores trapezoidais foi variada de 0,0 até 1,0 em intervalos de 0,1, apurando em cada variação a máxima deflexão $U_zMáx$ conforme mostra a Fig. 10.

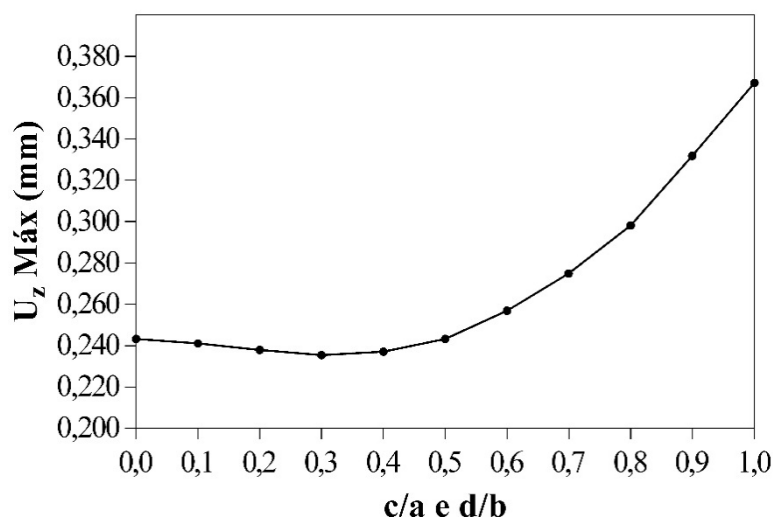


Figura 10 - Placa PT(6,6): variação das razões c/a e d/b

De acordo com a Figura 9 percebe-se que o menor valor de deflexão máxima encontrado foi para as razões c/a e d/b iguais a 0,3. Dessa forma, ficou estabelecido que esta seria a razão entre as bases dos enrijecedores trapezoidais analisados neste estudo.

Com isso, os resultados dos modelos de placas propostos conforme apresentado na Figura 4, simulados utilizando o elemento finito SHELL281 triangular com tamanho de 16,67 mm, são apresentados na Figura 11 no formato de gráfico de barras, possibilitando a comparação entre a deflexão máxima encontrada em cada um dos arranjos de placas com enrijecedores retangulares e trapezoidais.

Considerando os resultados apresentados na Figura 11, é possível notar que transformar parte do material da placa de referência em enrijecedores melhora o comportamento mecânico das placas em relação à deflexão máxima, visto que, todos os resultados apresentaram valores menores do que 0,679 mm obtido pela placa de referência. Também é possível observar que as placas com seis enrijecedores em cada direção (x e y), em ambas as formas de enrijecedores analisadas, foram as que apresentaram melhores resultados, isto é, menores deflexões máximas.

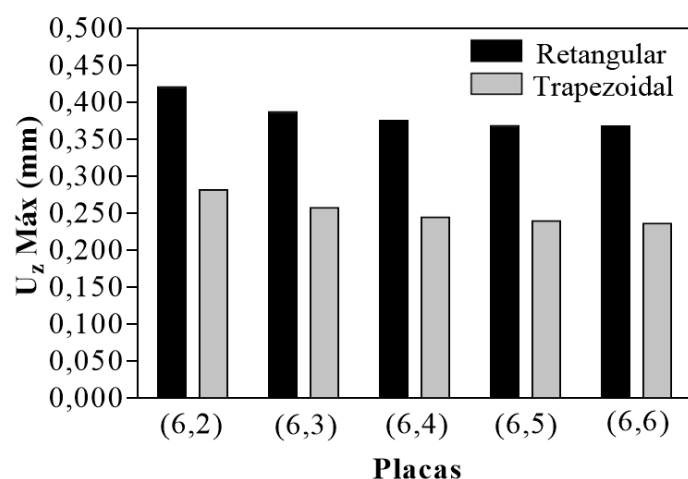


Figura 11 - Resultados do estudo de caso

Comparando a placa P(6,6) com enrijecedores retangulares e a placa de referência obteve-se uma redução de 47,30% da deflexão máxima. Entretanto, comparando a placa PT(6,6) com enrijecedores trapezoidais e a placa de referência, alcançou-se uma redução da deflexão máxima de 66,22%.

No que diz respeito à comparação direta entre as placas P(6,6) e PT(6,6), a placa com enrijecedores trapezoidais apresentou uma deflexão máxima 35,90% menor do que a deflexão máxima apresentada pela placa com enrijecedores retangulares. A Figura 12 mostra a distribuição das deflexões para ambas as placas, onde é possível observar a minimização da deflexão máxima alcançada pela placa PT(6,6) com enrijecedores trapezoidais (Figura 12b).

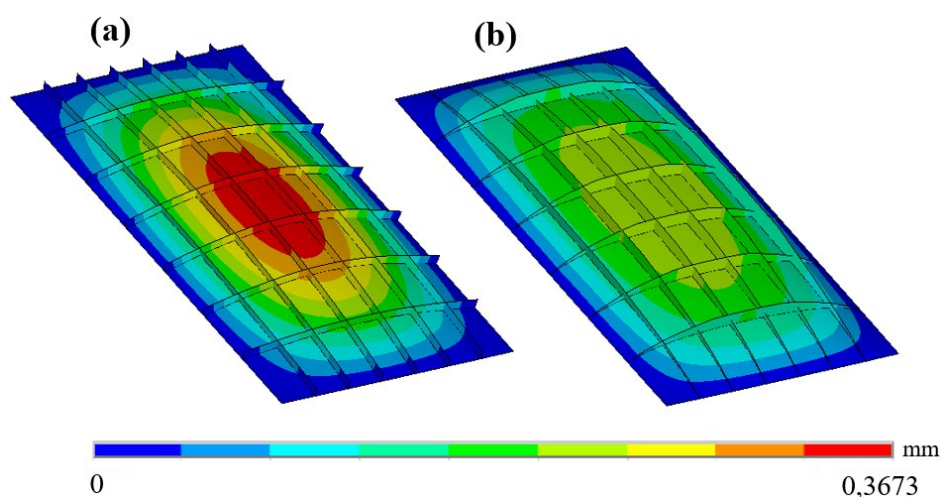


Figura 12 - Distribuição das deflexões: (a) P(6,6) ; (b) PT(6,6)

5. Conclusões

Com base nos resultados encontrados nota-se que transformar uma parcela de material de uma placa não enrijecida em enrijecedores melhora o seu comportamento mecânico, aumentando a rigidez e por consequência reduzindo a deflexão máxima. Além disso, comprovou-se que a utilização do método Design Construtal associado à simulação numérica é uma excelente combinação para análise do comportamento mecânico de placas enrijecidas.

Finalmente, pode-se concluir que placas com enrijecedores trapezoidais são mais eficazes quanto à redução da deflexão máxima quando comparadas com placas com enrijecedores retangulares; sendo que o comportamento dos enrijecedores trapezoidais com relação à máxima deflexão tendem a ser melhores quando o comprimento de sua base menor é 30% do comprimento de sua base maior.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências

- Bejan, A. and Lorente S. (2008). Design with Constructal Theory. Wiley, Hoboken, NJ, USA.
- Bejan, A. and Lorente, S. (2011). The constructal law and the evolution of design in nature. Physics of Life Reviews. v.8, n.3, p.209-240
- Bejan A. and Zane, J.P. (2008). Design in Nature: How the Constructal Law governs evolution in biology, physics, technology, and social organizations. Doubleday, New York, NY, USA.
- Bejan, A. and Lorente, S. (2013). Constructal law of design and evolution: Physics, biology, technology, and society. Journal of Applied Physics, v. 113, n. 15, p. 151301-1-151301-19

Burnett, D. (1987). Finite Element Analysis - From Concepts to Applications. Addison–Wesley, Massachusetts, MA, USA.

Cunha, M.L.; Troina, G.S.; Rocha, L.A.O.; Dos Santos, E.D.; Isoldi, L.A. (2018). Computational modeling and Constructal Design method applied to the geometric optimization of stiffened steel plates subjected to uniform transverse load. Research on Engineering Structures and Materials, v.4, n.3, p.139-149.

De Queiroz, J.; Cunha, M.L.; Pavlovic, A.; Rocha, L.A.O.; Dos Santos, E.D.; Troina, G.S.; Isoldi, L.A. (2019). Geometric Evaluation of Stiffened Steel Plates Subjected to Transverse Loading for Naval and Offshore Applications. Journal of Marine Science and Engineering. v.7, n.1, p.7-18

Da Silva, C.C.C.; Helbig, D.; Cunha, M.L.; Dos Santos, E.D.; Rocha, L.A.O.; Real, M.V. Isoldi, L.A. (2019). Numerical buckling analysis of thin steel plates with centered hexagonal perforation through constructal design method. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. v.41, n.8, p.309-1-309-18.

Filho, A.V. (2000). Elementos Finitos - A base da tecnologia CAE. Érica, São Paulo, SP, BRA.

Ansys Academic Research Mechanical, Release 19, Help System, Element Reference, ANSYS, Inc.

Hasan, M.M. (2007). Optimum design of stiffened square plates for longitudinal and square ribs. Al-Khwarizmi Engineering Journal. v.3, n.3, p. 13-30.

Helbig, D.; Da Silva, C.C.C.; Real, M.V.; Dos Santos, E.D.; Isoldi, L.A.; Rocha, L.A.O. (2016). Study About Buckling Phenomenon in Perforated Thin Steel Plates Employing Computational Modeling and Constructal Design Method. Latin American Journal of Solids and Structures. v.13, n.10, p.1912-1936.

Helbig, D.; Cunha, M.L.; Da Silva, C.C.C.; Dos Santos, E.D.; Iturrioz, I.; Real, M.V.; Isoldi, L.A.; Rocha, L.A.O. (2018). Numerical study of the elasto-plastic buckling in perforated thin steel plates using the constructal design method. *Research on Engineering Structures and Materials*. v.4, n.3, p.169- 187.

Isoldi, L.A.; Real, M.V.; Vaz, J.; Correia, A.L.G.; Dos Santos, E.D.; Rocha, L.A.O. (2013a). Numerical analysis and geometric optimization of perforated thin plates subjected to tension or buckling. *Marine Systems & Ocean Technology*. v.8, n.2, p.99-107.

Isoldi, L.A.; Real, M.V.; Correia, A.L.G.; Vaz, J.; Dos Santos, E.D.; Rocha, L.A.O. (2013b). *Constructal Law and the Unifying Principle of Design - Understanding Complex System. Flow of Stresses: Constructal Design of Perforated Plates Subjected to Tension or Buckling*. p.195- 127, Springer, New York, NY, USA.

Lima, J.P.S.; Rocha, L.A.O.; Dos Santos, E.D.; Real, M.V.; Isoldi, L.A. (2018). Constructal design and numerical modeling applied to stiffened steel plates submitted to elasto-plastic buckling. *Proceedings of the Romanian Academy Series A-Mathematics Physics Technical Sciences Information Science*. p.195-200.

Rappaz, M., Bellet M. and Deville, M. (2010). *Numerical Modeling in Materials Science and Engineering*. Springer, Heidelberg, GER.

Reis, A.H. (2006). Constructal theory: from engineering to physics, and how flow systems develop shape and structure. *Applied Mechanics Reviews*. n.59, v.5, p.269-281.

Salomon, A. (2000). *An Evaluation of Finite Element Models of Stiffened Plates*. Master Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

Silva, H.B.S. (2010). *Análise Numérica da Influência da Excentricidade na Ligação Placa-Viga em Pavimentos Usuais de Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

Singh, R.R. and Pal, P. (2016). Analysis of stiffened isotropic and composite plate. International Research Journal of Engineering and Technology. v.3, n.2, p. 1-7.

Steinhauser, M.O. (2008). Computational Multiscale Modeling of Fluids and Solids. Springer, Freiburg, GER.

Szilard, R. (2004). Theories and Applications of Plate Analysis: Classical Numerical and Engineering Methods. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.

Troina, G.S. (2017). Modelagem Computacional e Método Design Construtal Aplicados à Otimização Geométrica de Placas Finas de Aço com Enrijecedores Submetidas a Carregamento Transversal Uniforme. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.

Troina, G.S.; de Queiroz, J.P.T.P.; Cunha, M.L.; Rocha, L.A.O.; dos Santos E.D.; Isoldi, L.A. (2018). Verificação de modelos computacionais para placas com enrijecedores submetidas a carregamento transversal uniforme. CEREUS. v. 10, n. 2, p. 285-298.

NUMERICAL SIMULATION AND CONSTRUCTAL DESIGN APPLIED TO THE GEOMETRIC ANALYSIS OF STEEL PLATES WITH RECTANGULAR OR TRAPEZOIDAL STIFFENERS

Abstract: This study applied the Constructal Design method associated with computational modeling to analyze the behavior of steel plates with rectangular or trapezoidal stiffeners subjected to uniform transverse loading. To do so, a rectangular plate without stiffeners was adopted as reference and a portion of its volume was converted into stiffeners by the parameter ϕ which is the ratio between the material volume of the stiffeners and the total material volume of the reference plate. Assuming $\phi = 0.3$, five plate arrangements with rectangular stiffeners and five with trapezoidal stiffeners were configured. The results showed that plates with trapezoidal stiffeners can reduce the maximum deflection until 35.9% compared to plates with rectangular stiffeners. In addition, the results indicated that plates with trapezoidal stiffeners have better performance in relation to the minimization of the maximum deflection when the shortest base length of the trapezoidal stiffener is 30% of its longest base length.

Keywords: Steel plates, Rectangular stiffeners, Trapezoidal stiffeners, Numerical simulation, Constructal Design method, Maximum deflection.

CONCLUSIONS

Based on the obtained results, it is noticed that transforming a portion of the non-stiffened plate material into stiffeners improves the mechanical behavior, increasing the rigidity and consequently reducing the maximum deflection. In addition, it was showed that the use of the Constructal Design method associated with numerical simulation is an excellent tool for the analysis of the mechanical behavior of stiffened plates.

Finally, it can be concluded that plates with trapezoidal stiffeners are more effective in respect to reducing the maximum deflection when compared to plates with rectangular stiffeners; being that the trapezoidal stiffeners' behavior regarding maximum deflection tends to be better when its smaller base length is 30% of its larger base length.