



OTIMIZAÇÃO DE TRELIÇAS METÁLICAS UTILIZANDO A FERRAMENTA SOLVER DO MICROSOFT EXCEL

Lucas Aragão Alves da Costa

Carlos David Rodrigues Melo

lucas.arags@gmail.com

cdavid_civil@hotmail.com

Centro Universitário Christus – Unichristus.

Avenida Dom Luís 911, 60160-230, Ceará, Fortaleza, Brasil.

Resumo. Quando se procura projetar uma estrutura metálica treliçada, é comum a busca por uma estrutura que seja o mais leve possível e que desempenhe corretamente a função de resistir a determinadas cargas, ou seja, uma solução ótima. Ao passo que a complexidade do problema aumenta, encontrar uma solução ótima sem um devido auxílio computacional pode demandar muito tempo e ficar muito sucessível a erros. O conceito de otimização desenvolvido por meio de métodos matemático-lógicos com o auxílio da computação, visa à obtenção da solução ótima. Neste estudo utilizou-se a ferramenta Solver do Microsoft Excel para otimizar uma estrutura metálica treliçada. Tanto a função objetivo como as restrições geométricas e do material são de caráter não-linear, sendo o vão e a carga total considerados como dados de entradas do modelo. Além disso, uma análise de sensibilidade é aplicada entre três tipos de perfis no experimento, sendo estes o perfil em U, perfil em L e uma combinação dos perfis L e U em trechos diferentes da estrutura. Foi realizado também um estudo em relação ao número total de painéis da estrutura. Ao final, os resultados apontam o perfil em L como a melhor solução dentre os perfis analisados, com algumas ressalvas que são discutidas ao longo do texto. Como sugestão para trabalhos futuros sugere-se analisar esta situação com outros métodos como o Algoritmo Genético, dado o número de variáveis e a complexidade de alguns casos onde a ferramenta Solver mostra-se limitada e de difícil utilização.

Palavras-chave: Otimização, Treliças Metálicas, Solver.

1 INTRODUÇÃO

Ao se projetar uma estrutura treliçada metálica, várias variáveis e hipóteses de solução devem ser desenvolvidas e analisadas, tendo embasamento nas restrições impostas pelo problema. Tais restrições podem ser de característica geométrica e de resistência do material. Para isso constroem-se modelos que simulem da melhor forma possível os diversos fenômenos físicos que a estrutura estará submetida. Arora (2004) relata que analisar todos os modelos em busca da solução ótima demandaria muito tempo e deixaria muito sucessível ao erro de cálculos.

O auxílio de métodos computacionais na engenharia estrutural é uma maneira de tornar problemas complexos mais palpáveis, reduzindo o erro humano e o tempo demandado para desenvolvimento de um projeto. Goldberg (2000) afirma que a programação computacional é um elemento fundamental para ampliar os limites de processamento de dados. Criam-se assim modelos de otimização, onde se busca a solução ótima para uma determinada problematização. Nesta pesquisa otimizou-se uma viga treliçada isostática, para isto utilizou-se o Microsoft Excel e a ferramenta Solver.

2 FERRAMENTA SOLVER DO MICROSOFT EXCEL

O Microsoft Excel é um programa que possibilita a criação de planilhas e a interação matemática para diversos tipos de cálculos, entre seu conjunto de programas podemos destacar a ferramenta de análise hipotética Solver. O corpo do *software* se resume a grupos de células denominadas variáveis de decisão que satisfazem os limites das células de restrição e por meio de interações matemáticas, produzem o resultado ótimo na célula da função objetiva. Lachtermacher (2004) comenta a importância da utilização do Solver como ferramenta de otimização para diversas problematizações.

O Solver é um programa de otimização onde podemos trabalhar com problemas de caráter linear, com o método Simplex, e não-linear, com o método do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG). Neste trabalho, utiliza-se o GRG em virtude do caráter não-linear do experimento. Sacoman (2012) destaca o método Gradiente Reduzido Generalizado como um dos melhores métodos computacionais para a solução de problemas com não-linearidade.

3 PROBLEMATIZAÇÃO E DADOS DO EXPERIMENTO

Para demonstrar a otimização por meio do Solver aqui proposto, escolheu-se uma treliça isostática de simetria bilateral tendo como função objetivo minimizar seu peso a partir das restrições geométricas e de resistência do experimento. Os dados de entrada para este experimento são a carga total e o vão a que se deseja otimizar, sendo os mesmos estudados para diferentes configurações.

Na treliça variou-se o comprimento das barras e a sua área de seção, com isso o número de painéis da treliça alterou de acordo com a melhor solução encontrada pelo programa construído. Na Figura 1 é possível ver a viga treliçada a qual se deseja otimizar.

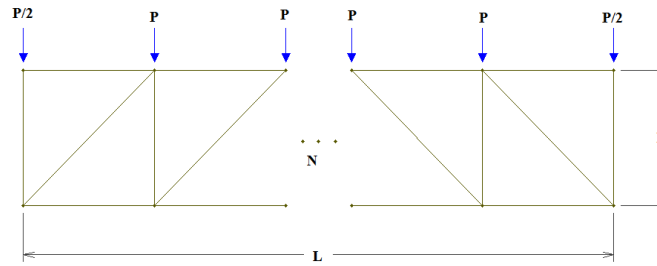


Figura 1. Estrutura da treliça

A estrutura é composta de perfis de aço laminado, tendo como coeficiente de poisson de 0,3, peso específico de 7850 Kg/m³, modo de elasticidade de 210 GPa e tensão axial admissível de 250 MPa. Para este trabalho estabeleceu-se três situações possíveis com os perfis em formato L e em U, a primeira com a estrutura toda em perfil L, a segunda somente em U e a terceira com o perfil em U nos banzo e montantes externos e o perfil em L para o interior da estrutura treliçada. Na Figura 2 é possível visualizar os dois perfis e suas respectivas incógnitas.

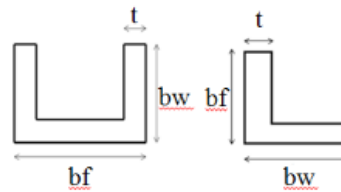


Figura 2. Detalhamento dos perfis L e U

4 RESTRIÇÕES CONSIDERADAS

Procurando aproximar-se o máximo possível dos tamanhos geométricos mais usuais em projetos de estruturas metálicas, submeteu-se a estrutura a restrições geométricas no comprimento das barras e nos valores das seções, também normalizou as tensões de resistência da estrutura em menor ou igual à zero. A Tabela 1 mostra os valores selecionados.

Tabela 1. Restrições geométricas dos perfis U e L

	Perfil U	Perfil L
comprimento seção	$0,03 \leq bf \leq 0,080$	$0,040 \leq bf \leq 0,100$
comprimento seção	$0,07 \leq bw \leq 0,310$	$0,040 \leq bw \leq 0,100$
espessura seção	$0,005 \leq t \leq 0,013$	$0,003 \leq t \leq 0,009$
altura barra	$0,500 \leq h \leq 4,000$	$0,500 \leq h \leq 4,000$
comprimento barra	$0,800 \leq b \leq 2,000$	$0,800 \leq b \leq 2,000$
paineis	$4 \leq N \leq 40$	$4 \leq N \leq 40$
Tensão	$\sigma \leq 0$	$\sigma \leq 0$
Flambagem	$\sigma \leq 0$	$\sigma \leq 0$

Com a determinação das restrições geométricas, levou-se em consideração os fenômenos de tensão admissível e flambagem do material, sendo os mesmos embasados na NBR 8800:2008, admitiu-se três tipos de flambagem, por flexão, por torção e localizada das chapas. O *software* Ftool foi a ferramenta usada para análise das tensões para localizar as barras com maiores esforços. A treliça foi submetida a variações geométricas e de cargas totais, na Figura 3 é possível visualizar as duas barras que apresentam maior esforço em todos os testes.

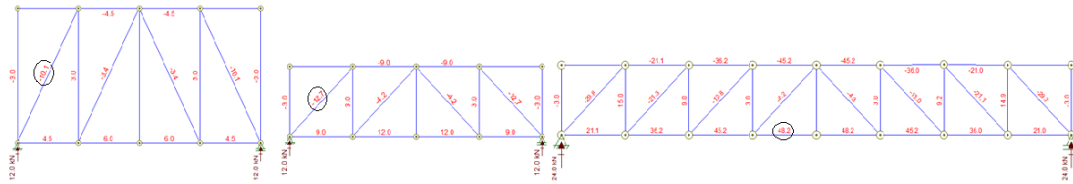


Figura 3. Análise dos esforços nas barras com o software Ftool

5 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Tabela 2. Formulação das equações para o experimento

	Equação
Área da seção L	$L = t \times (bf + bw - t)$
Área da seção U	$U = t \times (bf + 2 \times bw - 2 \times t)$
Momento de Inércia L	$L = \frac{t^3 - (6 \times t^4 \times L) + (11 \times t^2 \times L^2) - (10 \times t^2 \times L^2) + (5 \times t \times L^3)}{(24 \times L) - (12 \times T)}$
Momento de Inércia U	$U = \left\{ \left[\frac{1}{12} \times bf \times t^3 + bf \times t \times \left(bw - (0,5 \times t) - \frac{(bw - t)^2 \times t + bf \times (bw - 0,5 \times t) \times t}{2 \times (bw - t) \times t + bt \times t} \right) \right]^2 + (bw - t) \times t \right. \\ \left. \times \left(0,5 \times (bw - t) - \frac{(bw - t)^2 \times t + bf \times (bw - 0,5 \times t) \times t}{2 \times (bw - t) \times t + bf \times t} \right)^2 + \frac{1}{12} \times (bw - t)^2 \times t \right\}$
Comprimento barras em L	$Cl = (N - 1) \times h + N \times \sqrt{\left(\frac{L}{h}\right)^2 + (h)^2}$
Comprimento barras em U	$Cu = 2 \times L + 2 \times h$
Comprimento total barras	$Ctotal = 2 \times L + (N + 1) \times h + N \times \sqrt{\left(\frac{L}{h}\right)^2 + (h)^2}$
Esforço máximo na barra diagonal	$\left\{ -\frac{Q}{2} \times \left(N - \frac{1}{N}\right) \times \left[\sqrt{\left(\frac{L}{h}\right)^2 + (h)^2}\right] \right\} / h \times \text{Área do perfil} - \sigma_{adm} \leq 0$
Esforço máximo na barra horizontal	$\left\{ \left[-L \times \frac{Q}{4} \times \left(1 - \frac{N}{N}\right) - L \times \left[\sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{N-i}{N}\right) \times \frac{Q}{N^2}\right]\right] \right\} / h \times \text{Área do perfil} - \sigma_{adm} \leq 0$
Tensão na barra diagonal	$f_{max1} = \frac{\left\{ -\frac{Q}{2} \times \left(N - \frac{1}{N}\right) \times \left[\sqrt{\left(\frac{L}{h}\right)^2 + (h)^2}\right] \right\}}{h}$
Tensão na barra horizontal	$f_{max2} = \frac{\left\{ \left[-L \times \frac{Q}{4} \times \left(1 - \frac{N}{N}\right) - L \times \left[\sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{N-i}{N}\right) \times \frac{Q}{N^2}\right]\right] \right\}}{h}$
Esforço compressão	$N_{crd} = \frac{X \times Q \times Ag \times fy}{y \alpha 1}$
Esbelteza máxima	$\frac{L_{ef}}{r} \leq 200$
índice de esbelteza reduzido	$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \times Ag \times fy}{Ne}}$
Força axial de flambagem elástica	$Ne = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_{ef}^2} \times k^2$
Flambagem na barra diagonal	$\frac{f_{max1}}{\text{Área do perfil}} - \frac{N_{crd}}{\text{Área do perfil}} \leq 0$

6 RESULTADOS

Ao gerar as soluções para a situação de uma carga constante de 20 kN e vão com variação de 5 metros, assim como para vão constante de 15 metros e carga variando em 5 kN, foi possível observar que a estrutura composta apenas com o perfil L foi a que se mostrou mais leve entre os casos estudados na maior parte do tempo, conforme mostram os gráficos na Figura 4 (a) e (b). Ao submeter à estrutura a uma carga constante e variação do vão, observou-se não haver uma distinção clara no número de painéis ótimo, ver Figura 4 (c). No entanto, ao analisar o número total de painéis no caso com vão constante e carga variando, é possível observar que a estrutura somente em perfil em L necessitou de mais painéis, Figura 4 (d), fato este que pode inviabilizar esta solução dado necessidades construtivas. Ao longo de todos os testes, o perfil em L e U mostrou-se intermediário, revelando uma opção onde pode-se obter uma diminuição do peso e preservar um número de painéis mais adequado as situações comuns de projeto, mesmo este não sendo a opção com menor massa.

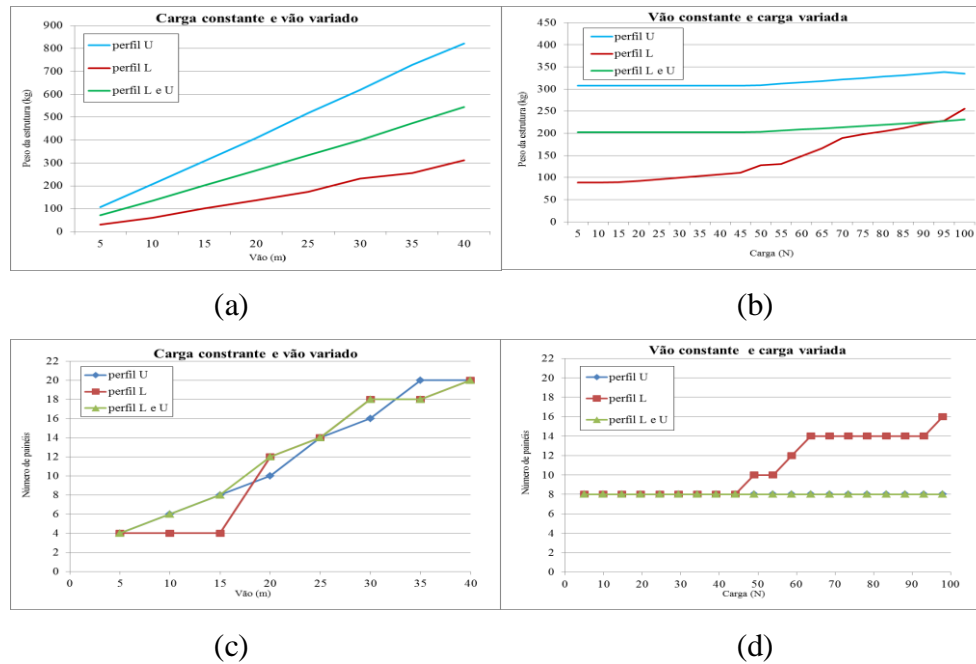


Figura 4. Dados obtidos ao otimizar a treliça

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados do experimento, pode-se afirmar que a estrutura com o perfil em L apresentou ter o menor peso entre os casos analisados para situações até certo limite de carga, como observado na Figura 4 (a), onde o aumento da carga superior a 90kN, fez com que o perfil em L não se torna-se mais a solução ótima. Não é possível afirmar com certeza que as soluções apresentadas sejam globais, apesar das inúmeras repetições das soluções e testes realizados. Ao longo dos testes, o Solver mostrou-se eficiente para os casos analisados, porém, ao passo que o problema se torna mais complexo, pode-se ter limitações quanto a identificação de mínimos locais e na sua eficiência em si. Dessa forma, para casos mais complexos percebe-se a necessidade de utilizar métodos mais avançados como o Algoritmo genético.

REFERÊNCIAS

ARORA, Jasbir S. **Introduction to Optimus Design**. London: Elsevier Academic Press, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800 : 2008 : Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifício. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 237 p.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNAR, Henrique Pacea L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

SACOMAN. M. A. R.. Otimização de projetos utilizando GRG, Solver Excel. Bauru, São Paulo, dez. 2012. Disponível em <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/103911.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2016.