

OTIMIZAÇÃO PARAMÉTRICA POR MEIO DO PROGRAMA ANSYS WORKBENCH: ESTUDO DE CASO DE UMA VIGA DE AÇO

PARAMETRIC OPTIMIZATION USING ANSYS WORKBENCH: CASE STUDY OF A STEEL BEAM

Luhann Souza Cintra¹, Vanessa Cristina de Castilho²

¹*Graduando na Faculdade de Engenharia – FECIV, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Minas Gerais, Brasil – luhann.cintra@ufu.br*

²*Professora na Faculdade de Engenharia – FECIV, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Minas Gerais, Brasil - vanessa.castilho@ufu.br*

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a aplicação da otimização paramétrica em uma viga metálica, utilizando o *software* ANSYS Workbench. A análise estrutural foi realizada por meio do módulo *Static Structural*, com variação das condições de contorno, e teve como objetivo principal a minimização do volume da peça. Os resultados foram comparados com o estudo de Sousa (2020), que utilizou o programa computacional ANSYS APDL, e demonstraram que a ferramenta empregada foi capaz de gerar modelos otimizados tecnicamente viáveis e aplicáveis à realidade da engenharia estrutural. Adicionalmente, a comparação entre diferentes condições de apoio revelou potencial significativo de economia de material, chegando à redução de volume de até 43%. O estudo reforça a importância da análise estrutural e computacional no desenvolvimento de estruturas mais eficientes e econômicas.

Palavras-chave: Otimização estrutural; ANSYS Workbench; Viga metálica.

Abstract: This work presents a case study on the application of parametric optimization to a steel beam using the ANSYS Workbench software. Structural analysis was conducted through the *Static Structural* module, considering variations in boundary conditions, with the primary goal of minimizing the beam's volume. The results were compared with Sousa's (2020) study, which used ANSYS APDL software, and showed that the adopted method was capable of producing technically feasible and structurally applicable optimized models. Additionally, the comparison between different support conditions revealed a significant potential for material savings, reaching a volume reduction of 43%. The study reinforces the importance of computational analysis in the development of more efficient and cost-effective structures.

Keywords: Structural optimization; ANSYS Workbench; Steel beam.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia civil é uma importante área do conhecimento que promove o desenvolvimento tecnológico e econômico. A complexidade e as várias etapas construtivas de um projeto de engenharia criam margem para que otimizações ocorram, podendo essas ser aplicadas desde sua concepção até o método construtivo determinado, como por exemplo o método de construção enxuta (Lean Construction), que tinha como princípios adaptar processos construtivos e de gerenciamento do método de produção toyotista para a construção civil (KOSKELA, 1992). Filosofia essa que atualmente permeia grande parte das empresas de construção civil do país devido ao sucesso de seus métodos.

Dentre as diversas áreas que um engenheiro civil é capaz de atuar, destaca-se a análise estrutural. O objetivo da análise estrutural pode ser definido como o estudo dos efeitos de forças sobre uma dada estrutura, o que leva a observação de esforços e deslocamentos, através dos quais a estrutura é então dimensionada de forma a evitar seu colapso e reduzir deslocamentos excessivos durante sua vida útil (KRIPKA, 2020). Nesse contexto cabe ao engenheiro estrutural o discernimento das variáveis que compõem e agem na estrutura e como essa deve ser concebida para que a suporte.

Complementarmente, o profissional responsável pela análise estrutural, afim de reduzir uso de material e, consequentemente, custo de produção, pode se aprofundar na área de otimização estrutural. Define-se a otimização como o processo matemático aplicado à análise estrutural que visa o aumento de performance de uma estrutura com base em um objetivo definido, seja ele diminuição da massa, do volume, dos esforços etc. (WANG 2021).

Atualmente, o processo de otimização é facilitado por *softwares* de cálculo como é o caso do programa ANSYS Workbench, que, em suas versões mais recentes, conta com uma ferramenta de otimização paramétrica e topográfica interligada com seu sistema de análise estrutural. Dessa forma, a otimização da estrutura pode ser feita pelo calculista dentro dos limites permitidos em normas, que estabelecem valores mínimos e máximos para que a segurança seja mantida em projetos de construção no Brasil.

Diante disso, foi realizado um estudo de caso acerca da otimização de uma viga de aço, respeitando os parâmetros e limites de norma, utilizando as ferramentas de otimização do programa ANSYS e, ao fim, comparando com a otimização original, além de levantar outros pontos que podem ser relevantes para a análise proposta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Otimização estrutural

O processo de otimização estrutural na engenharia tem suas raízes no início do século XX, com o desenvolvimento de métodos analíticos para minimizar o peso de estruturas mantendo sua resistência. Um marco significativo foi estabelecido por Michell (1904), ao apresentar as bases teóricas para estruturas mínimas em tensão. Ao longo do tempo, avanços na matemática aplicada e na computação permitiram a evolução de técnicas mais sofisticadas, como programação linear, algoritmos genéticos e otimização topológica. Na engenharia civil, a otimização estrutural ganhou destaque na segunda metade do século XX, impulsionada pela necessidade de reduzir custos e melhorar o desempenho de edifícios, pontes e outras infraestruturas.

Na engenharia civil, a otimização estrutural tem sido crucial no projeto de estruturas sustentáveis, permitindo a redução do consumo de materiais sem comprometer a segurança. Exemplos incluem o uso de algoritmos evolutivos no projeto de pontes e a aplicação de otimização topológica em elementos pré-fabricados. Além disso, a integração com o Building Information Modeling (BIM) tem ampliado as possibilidades de otimização em fases iniciais de projeto.

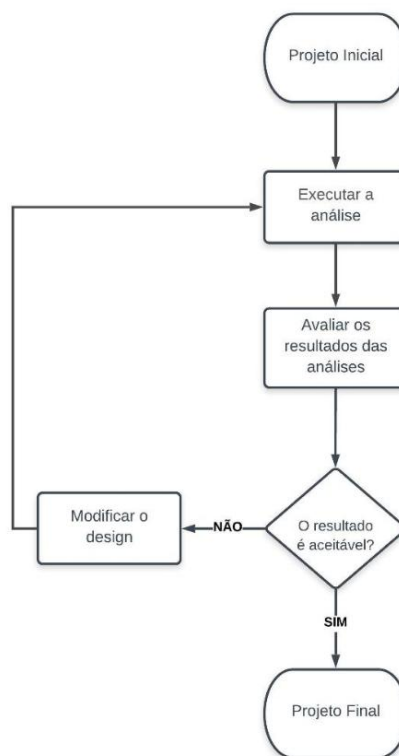
Entre os principais métodos utilizados atualmente destacam-se a otimização topológica, que define a distribuição ideal de material dentro de um domínio de projeto, e a otimização paramétrica, que ajusta variáveis geométricas para melhorar o desempenho estrutural. Essas técnicas são amplamente aplicadas no dimensionamento de vigas, lajes e estruturas reticulares, visando eficiência material e redução de custos. Programas como ANSYS, ABAQUS e Altair OptiStruct são frequentemente empregados para simulação e otimização, enquanto ferramentas como MATLAB e Python facilitam a implementação de algoritmos personalizados.

É fundamental destacar que o propósito central da otimização estrutural é alcançar um projeto – seja de um elemento isolado ou de um sistema estrutural – que resulte em ganhos econômicos significativos em comparação à configuração inicial, sem comprometer substancialmente seu desempenho técnico. Para isso, é importante que as soluções otimizadas atendam integralmente aos requisitos normativos, particularmente no que concerne aos Estados Limites Últimos (ELU), relacionados à segurança estrutural, e aos Estados Limites de Serviço (ELS), associados à funcionalidade e durabilidade. Esse princípio é especialmente relevante no

dimensionamento de vigas de concreto armado e perfis metálicos, cujas respostas mecânicas devem permanecer dentro dos parâmetros estabelecidos pelas normas técnicas aplicáveis.

Com isso em mente consegue-se definir a otimização como um processo que visa maximizar ou minimizar uma função objetivo que contém as variáveis de projeto, sujeito à algumas restrições. As variáveis podem ser classificadas em variáveis contínuas e discretas: as variáveis contínuas podem assumir qualquer valor, já as variáveis discretas estão limitadas a valores isolados. A Figura 1 apresenta um exemplo do processo de otimização.

Figura 1: Etapas sequenciais para realizar uma otimização



Fonte: SOUSA (2020)

2.2 Análise Computacional com ANSYS

O ANSYS é um dos programas computacionais de simulação mais utilizados na engenharia, especialmente para análises estruturais avançadas. Desenvolvido na década de 1970 pela ANSYS Inc., o programa foi inicialmente aplicado na indústria aeroespacial e automotiva, mas rapidamente se expandiu para a engenharia civil devido à sua capacidade de modelar estruturas complexas e prever o comportamento de materiais sob diferentes condições de carga (MOAVENI, 1999).

Com o avanço dos métodos numéricos, o ANSYS incorporou técnicas baseadas no Método dos Elementos Finitos (MEF), que é uma técnica numérica amplamente utilizada na engenharia para resolver problemas complexos de mecânica dos sólidos, dinâmica estrutural e transferência de calor. O método consiste em dividir um domínio contínuo em pequenas partes interconectadas chamadas elementos finitos, que formam uma malha sobre a estrutura analisada (BATHE, 2006). As equações diferenciais que governam o comportamento do material são aproximadas por um sistema de equações algébricas, resolvidas para determinar deslocamentos, tensões e deformações em cada elemento.

O MEF é especialmente útil na engenharia civil, pois permite a análise detalhada de estruturas de concreto armado e aço sob diversas condições de carregamento, considerando efeitos como não linearidade, flambagem e vibração (MOAVENI, 1999). Entretanto é importante apontar que, uma análise altamente detalhada utilizando esse método exige uma grande disponibilidade computacional, já que os resultados são refinados proporcionalmente ao número de elementos adotados e esses, por sua vez, dependem do poder computacional disponível.

Na atualidade, o ANSYS continua evoluindo, integrando recursos como análise não linear, simulações dinâmicas e compatibilidade com BIM (*Building Information Modeling*), tornando-se uma ferramenta indispensável para engenheiros estruturais. O programa também se tornou amplamente utilizado para otimização de projetos, possibilitando avaliações precisas de segurança, durabilidade e eficiência estrutural, especialmente em pontes, edifícios e fundações.

2.3 Referências sobre o tema

Diversos estudos demonstram a aplicação do processo de otimização estrutural associado ao uso do software ANSYS, variando tanto o módulo de análise empregado quanto a seleção das variáveis de projeto e da função objetivo. Um exemplo disso é o trabalho de Sousa (2020), que investigou a otimização de uma viga com perfil W utilizando o ANSYS APDL. Nesse estudo, a altura da alma da viga foi aumentada, enquanto a espessura da alma e as dimensões das abas foram reduzidas. Como resultado dessas alterações, houve uma redução de 22% no volume total da viga em comparação ao modelo inicial, além de uma diminuição de 11% no deslocamento máximo.

No que tange especificamente o uso do programa para otimização de estruturas de aço, o ANSYS apresentou resultados satisfatórios e que podem se equiparar àqueles obtidos com

outras ferramentas de otimização matemáticas como o MatLab (TORRES, 2001). A ferramenta demonstra que pode ser utilizada desde que sejam observadas as limitações de projeto, tornando, portanto, válido seu uso em uma análise comparativa como esta.

Pavlovic *et al.* (2004) investigaram uma função objetivo abrangente, que contempla os custos envolvidos na fabricação e montagem da estrutura como um todo. A formulação da função de custo incorporou todos os elementos essenciais dessas atividades, incluindo tanto os custos de fabricação quanto os custos de materiais. Ela foi estruturada de maneira a permitir que os usuários definam seus próprios parâmetros, conforme as características específicas de uma determinada linha de produção. A função de custo foi implementada em um sistema de otimização voltado para estruturas planas de aço.

De maneira semelhante, Mohammedali *et al.* (2021) desenvolveram um modelo tridimensional de elementos finitos para a otimização do volume de uma viga de aço tipo I, caracterizada por altura variável. As variáveis de projeto consideradas incluíram a altura da viga nos apoios, a largura e a espessura das flanges, a altura no meio do vão e a espessura da alma, enquanto as restrições impostas foram a tensão normal e o deslocamento no centro do vão. Os resultados obtidos evidenciaram uma expressiva redução de aproximadamente 52% no volume da viga após o processo de otimização.

Ampliando a aplicação dos métodos de otimização para estruturas mais complexas, Ferreira *et al.* (2022) realizaram o dimensionamento e a otimização de 36 modelos de edifícios industriais equipados com pontes rolantes, variando fatores como a carga içada, os vãos livres, os tipos de treliças de cobertura e as distâncias entre os pórticos. Nesse estudo, as áreas de seção dos perfis e os deslocamentos no topo dos pilares foram utilizados como parâmetros de projeto com o objetivo de minimizar o peso total da estrutura de aço. Como resultado, foi observada uma redução média de 23,76% no peso total de aço, demonstrando que a padronização das seções transversais dos perfis contribui significativamente para a eficiência estrutural e para a simplificação do processo construtivo.

3. METODOLOGIA

Como citado, Sousa (2020) fez um estudo de otimização acerca de uma viga de aço, componente de um sistema de ponte rolante, através do ANSYS APDL, utilizando para sua análise somente a ocorrência da flexão simples sobre a viga. Nesse trabalho foram explorados novos métodos de fazer essa otimização e pôde ser feita então uma comparação entre os

métodos e os resultados, apontando os melhores designs otimizados gerados pelo programa que permaneçam de acordo com o que é imposto pela ABNT NBR 8800:2024.

O programa disponibiliza diversas ferramentas de análise estrutural, como citado nesse trabalho foi utilizado o módulo *Static Structural* que permite fazer análises estáticas dos elementos, avaliando sua integridade bem como as tensões e deslocamentos que agem sobre o modelo (ANSYS Support) e *Direct Optimization* que efetua a otimização do problema.

Como se tratava de uma análise do tipo *Beam* (utilizando o elemento finito do tipo *Beam-188*) os principais resultados calculados foram *Maximum Bending Stress* e *Directional Deformation*. Esses valores representam a máxima tensão atuante na peça e deslocamento vertical causado pelo esforço aplicado, respectivamente. Esses resultados foram suficientes para fazer uma análise comparativa, antes e após o processo de otimização.

Foi solicitado ao programa que gerasse 150 possíveis designs otimizados tendo como objetivo principal minimizar o volume da peça. Dentre esses, 3 candidatos que melhor se encaixassem tanto na função objetivo proposto quanto aos limites impostos foram apresentados pelo programa. Deve-se salientar que o processo de otimização levou cerca de uma hora para encontrar a solução ótima, para cada condição de contorno analisada.

Esse trabalho teve como intuito minimizar o volume de uma viga de aço considerando as seguintes análises:

- Análise 1: comparação dos resultados da viga de aço obtidos por Sousa (2020);
- Análise 2: aplicação da otimização paramétrica da mesma viga com as mesmas propriedades e explorar diferentes condições de contorno;
- Análise 3: a partir da análise 2, os valores otimizados são ajustados para valores de perfis comerciais.

3.1 Análise 1

Esta análise foi realizada a fim de comparar resultados já avaliados e verificar a aplicação da ferramenta de otimização no ANSYS Workbench. Para dar início, foi definido o material que seria utilizado no projeto na aba *Engineering Data*. Seguindo o que foi proposto por Sousa (2020), o material utilizado foi o aço ASTM A-572, amplamente utilizado comercialmente. A Tabela 1 mostra as principais características do material.

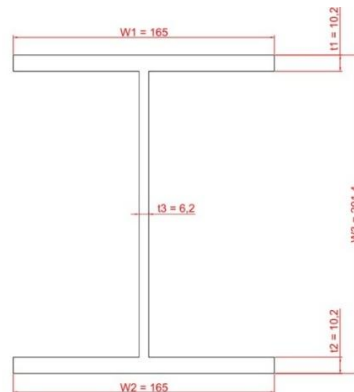
Tabela 1: Propriedades do material de projeto

Propriedades	AÇO ASTM A-572
Densidade (kg/m ³)	7850
Coefficiente de Poisson	0,3
Módulo de Young (MPa)	207000
Tensão limite de escoamento (MPa)	345
Tensão limite de ruptura (MPa)	450

Fonte: Autor

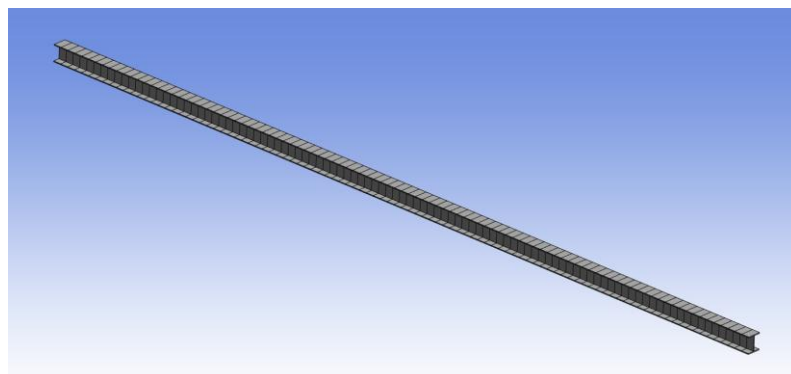
A próxima etapa foi a modelagem da estrutura de estudo. Esse processo foi feito diretamente no programa por meio da criação de perfis, utilizando o modelador integrado *Space Claim* na aba *Geometry* a partir do perfil determinado (W200 x 39,5) com 10 metros de vão livre e as características geométricas da viga (W1, W2, W3, t1, t2 e t3), conforme apresentado nas Figuras 2, a malha gerada conta com 100 elementos, que foram suficientes para boa convergência dos resultados, como mostra a Figura 3. A viga bi apoiada está submetida a um carregamento concentrado no meio do vão de 2100 kgf (aproximadamente 20590 N).

Figura 2: Modelo de perfil da viga de estudo (dimensões em mm)



Fonte: Autor

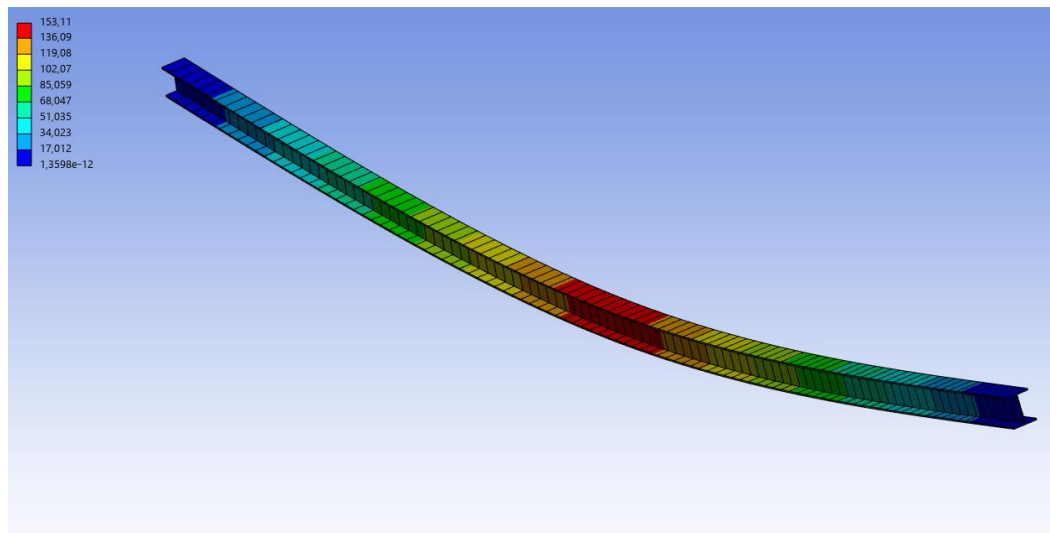
Figura 3: Modelo discretizado da viga com malha gerada



Fonte: Autor

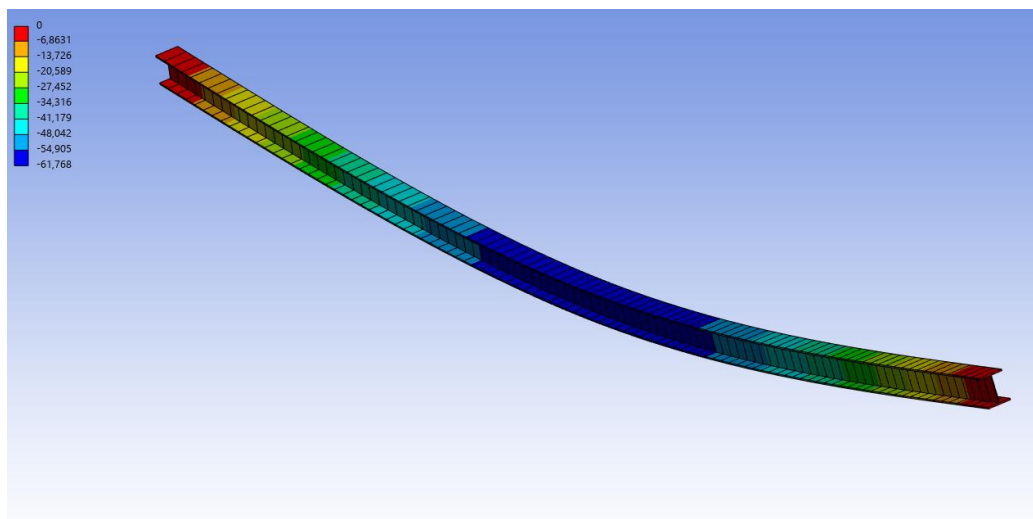
Partindo dos resultados obtidos pela análise estrutural, expostos nas Figuras 4 e 5, os quais se assemelharam aqueles reportados por Sousa (2020), foi possível iniciar o processo de otimização paramétrica.

Figura 4: Resultados de tensão máxima atuante da análise estrutural da viga original
(em MPa)



Fonte: Autor

Figura 5: Resultados de deslocamento vertical da análise estrutural da viga original
(em mm)



Fonte: Autor

As características da otimização foram:

- variáveis de projeto: as dimensões da viga ($W1$, $W2$, $W3$, $t1$, $t2$ e $t3$);

- restrições do problema: tensão máxima da estrutura definida entre 160 e 180 MPa e a flecha limite definida até 63mm;
- função objetivo: minimizar o volume da viga.

Deve-se ressaltar que as variáveis de projeto assumiram valores discretos a fim de facilitar a análise e a comparação com um perfil comercial posteriormente, conforme apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Restrições laterais das dimensões da viga

W1	x_{inf} : 80 mm	x_{sup} : 200mm
W2	x_{inf} : 80mm	x_{sup} :200 mm
W3	x_{inf} : 160 mm	x_{sup} : 280mm
t1	x_{inf} : 7 mm	x_{sup} : 14 mm
t2	x_{inf} : 7 mm	x_{sup} :14 mm
t3	x_{inf} : 4 mm	x_{sup} : 10 mm

Fonte: SOUSA (2020)

O método de otimização paramétrica utilizado foi o *Adaptive Multiple-Objective*. O programa respeitou os limites impostos e a flecha máxima não excedeu os 63 mm iniciais, como definidos por norma. A Tabela 4 mostra uma comparação entre a otimização feita por Sousa (2020) e os três candidatos provenientes da otimização paramétrica, obtidos pelo programa ANSYS Workbench.

Tabela 3: Comparação direta entre o resultado das otimizações

		ANSYS Workbench			Comparação C1 e Souza (2020)	
SOUSA (2020)		C1	C2	C3		
Bi apoiada (A-A)	Tensão (MPa)	179	179	160,52	161	-
	Volume (mm³)	34,6.10 ⁶	29,2.10 ⁶	37,2.10 ⁶	36,8.10 ⁶	-15,6 %
	Flecha (mm)	56	52,23	46,5	46,63	-6,7 %
	W1 (mm)	101	94	95	115	-6,9 %
	W2 (mm)	101	94	95	115	-6,9 %
	W3 (mm)	258	280	280	280	+8,5 %
	t1 (mm)	10	10	10	8	-
	t2 (mm)	10	10	10	8	-
	t3 (mm)	6	4	7	7	-33,3 %

Fonte: Autor

Como esperado os resultados se mostraram próximos àqueles obtidos por Sousa (2020). Considerando o candidato que atingiu o menor volume (C1), foi realizado uma comparação entre Souza (2020) e este trabalho. Pelos resultados obtidos, verifica-se que houve uma redução do volume de aço em torno de 15% mantendo-se a tensão com redução do valor da flecha limite. Além disso, nota-se que a espessura da alma e a altura total da viga atingiram valores mínimo e máximo da variável de projeto, respectivamente.

3.2 Análise 2

Com as características fornecidas anteriormente, foi realizada um estudo da mesma viga de Souza (2020) considerando diferentes condições de contorno. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos das otimizações feitas utilizando outras condições de contorno (engaste e apoio e bi engastada) além dos obtidos anteriormente. Pelos resultados obtidos pelo programa ANSYS Workbench, é possível notar a diferença referente aos tipos de condição de contorno da estrutura.

Tabela 4: Resultados das otimizações em diferentes situações de contorno

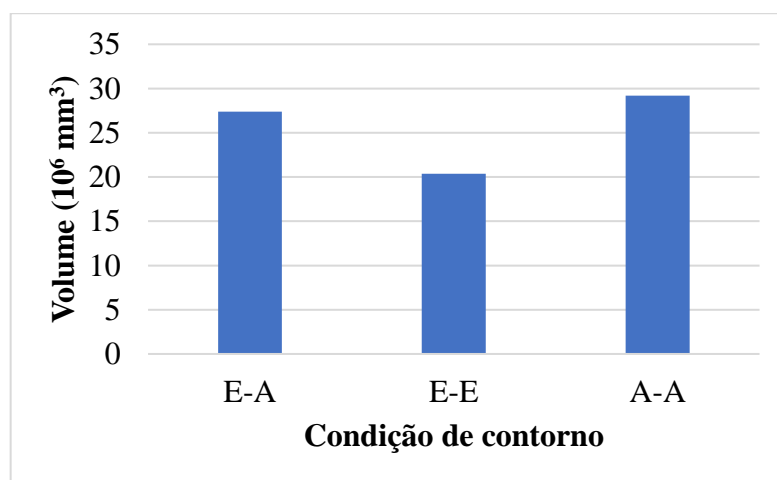
		ANSYS Workbench		
		C1	C2	C3
Bi apoiada (A-A)	Tensão (MPa)	179	160,52	161
	Volume (mm ³)	29,2.10 ⁶	37,2.10 ⁶	36,8.10 ⁶
	Flecha (mm)	52,23	46,5	46,63
	W1 (mm)	94	95	115
	W2 (mm)	94	95	115
	W3 (mm)	280	280	280
	t1 (mm)	10	10	8
	t2 (mm)	10	10	8
	t3 (mm)	4	7	7
		C1	C2	C3
Engaste e apoio (E-A)	Tensão (MPa)	168,94	173,41	170,98
	Volume (mm ³)	27,7.10 ⁶	27,4.10 ⁶	35,1.10 ⁶
	Flecha (mm)	33,74	33,34	39,52
	W1 (mm)	115	115	125
	W2 (mm)	115	115	125
	W3 (mm)	245	240	210
	t1 (mm)	7	7	7
	t2 (mm)	7	7	7
	t3 (mm)	5	5	9
		C1	C2	C3
Bi engastada (E-E)	Tensão (MPa)	179,75	178,39	173,12
	Volume (mm ³)	20,36.10 ⁶	23,18.10 ⁶	22,2.10 ⁶
	Flecha (mm)	36,12	43,24	34,66
	W1 (mm)	80	95	80

W2 (mm)	80	95	80
W3 (mm)	205	170	205
t1 (mm)	8	9	8
t2 (mm)	8	9	8
t3 (mm)	4	4	5

Fonte: Autor

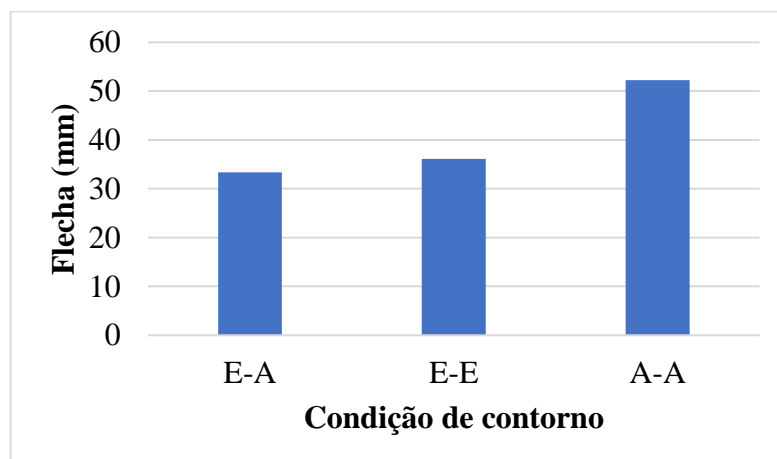
A partir da Tabela 4, foi escolhido o candidato que obteve o menor volume a fim de analisar o efeito das condições de contorno. Nas Figuras 6 a 8 são apresentados os valores finais do volume, da flecha e de tensões, respectivamente para a viga analisada.

Figura 6: Valores de volume para os melhores designs candidatos



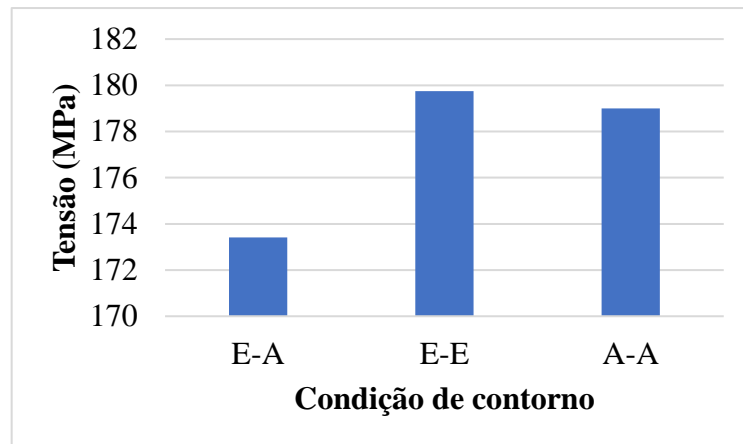
Fonte: Autor

Figura 7: Valores de flecha para os melhores designs candidatos



Fonte: Autor

Figura 8: Valores de tensão para os melhores designs candidatos



Fonte: Autor

Notou-se que a otimização se aproximou bastante daquela feita no ANSYS APDL, entretanto, ao serem alteradas as condições de contorno uma maior economia de material foi possível bem como uma diminuição significativa da flecha a qual a viga está submetida.

Pelos resultados obtidos verifica-se que a condição de contorno E-E (engaste-engaste) foi aquele com a menor função objetivo e contrapartida a condição A-A (bi apoiada) com maiores valores tanto do volume como da flecha. O volume para as condições de apoio E-A (engaste-apoio) e A-A são maiores 36,05% e 43,42%, respectivamente, se comparado com a condição E-E. As condições de contorno impactaram nos valores obtidos na função objetivo e nas restrições adotadas.

3.3 Análise 3

Após o estudo da Análise 2, as dimensões obtidas do perfil via otimização foram ajustadas para perfis comerciais. Desta forma, foi consultado o catálogo da Gerdau para perfis comerciais tipo W com o objetivo de determinar àqueles que possuam dimensões semelhantes aos designs otimizados. Na condição de viga A-A os perfis W250x28,4 e W250x38,8 se aproximam do que é proposto, sendo que o primeiro representa o resultado final da otimização feita por Sousa (2020). Já para as outras condições de contorno os perfis que mais se adequaram são apresentados na Tabela 5, juntamente à análise do melhor candidato do item anterior.

Tabela 5: Perfis comerciais escolhidos a partir da otimização (continua)

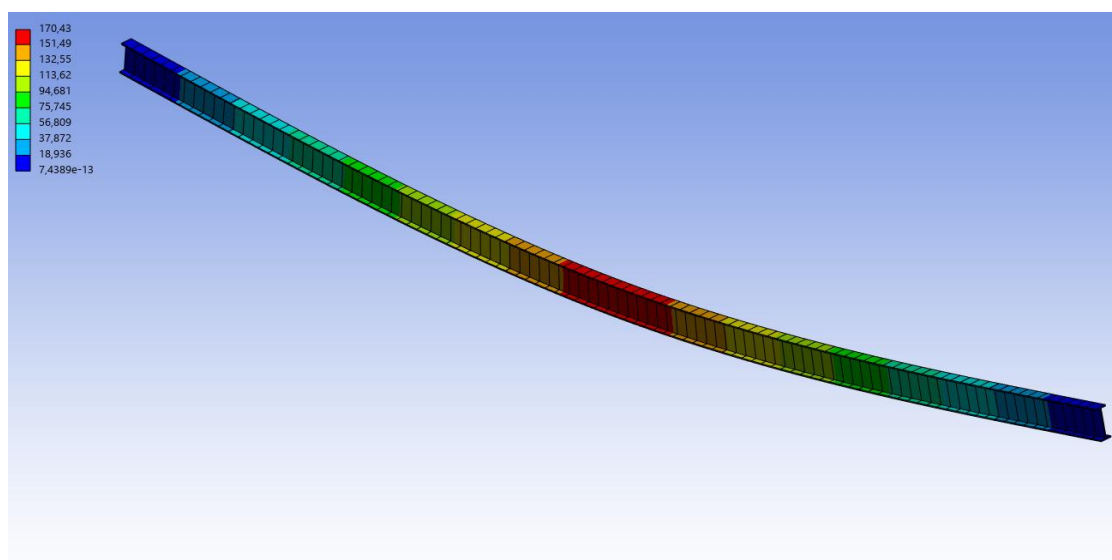
Bi apoiada (A-A)		W250x28,4	ANÁLISE 2
	Tensão (MPa)	170,43	179
	Volume (mm ³)	35,7.10 ⁶	29,2.10 ⁶
	Flecha (mm)	53,19	52,23
	W1 (mm)	102	94

	W2 (mm)	102	94
	W3 (mm)	260	280
	t1 (mm)	10	10
	t2 (mm)	10	10
	t3 (mm)	6,4	4
	W250x22,3		ANÁLISE 2
Engaste e apoio (E-A)	Tensão (MPa)	173,65	173,41
	Volume (mm ³)	28.10 ⁶	27,4.10 ⁶
	Flecha (mm)	33,35	33,34
	W1 (mm)	102	115
	W2 (mm)	102	115
	W3 (mm)	254	240
	t1 (mm)	6,9	7
	t2 (mm)	6,9	7
	t3 (mm)	5,8	5
	W200x22,5		ANÁLISE 2
Bi engastada (E-E)	Tensão (MPa)	135,61	179,75
	Volume (mm ³)	28,1.10 ⁶	20,36.10 ⁶
	Flecha (mm)	27,04	36,12
	W1 (mm)	102	80
	W2 (mm)	102	80
	W3 (mm)	206	205
	t1 (mm)	8	8
	t2 (mm)	8	8
	t3 (mm)	6,2	4

Fonte: Autor

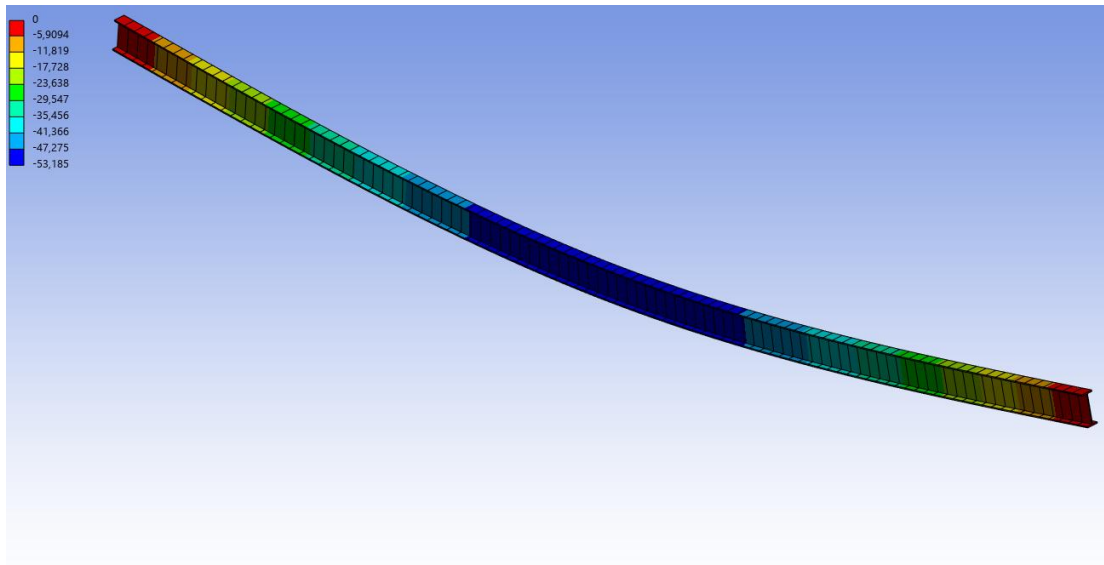
As Figuras 9 a 14 apresentam os valores das tensões máximas e deslocamentos obtidos para cada condição de contorno e o perfil com menor volume.

Figura 9: Tensão máxima do perfil W250x28,4 (A-A) (em MPa)



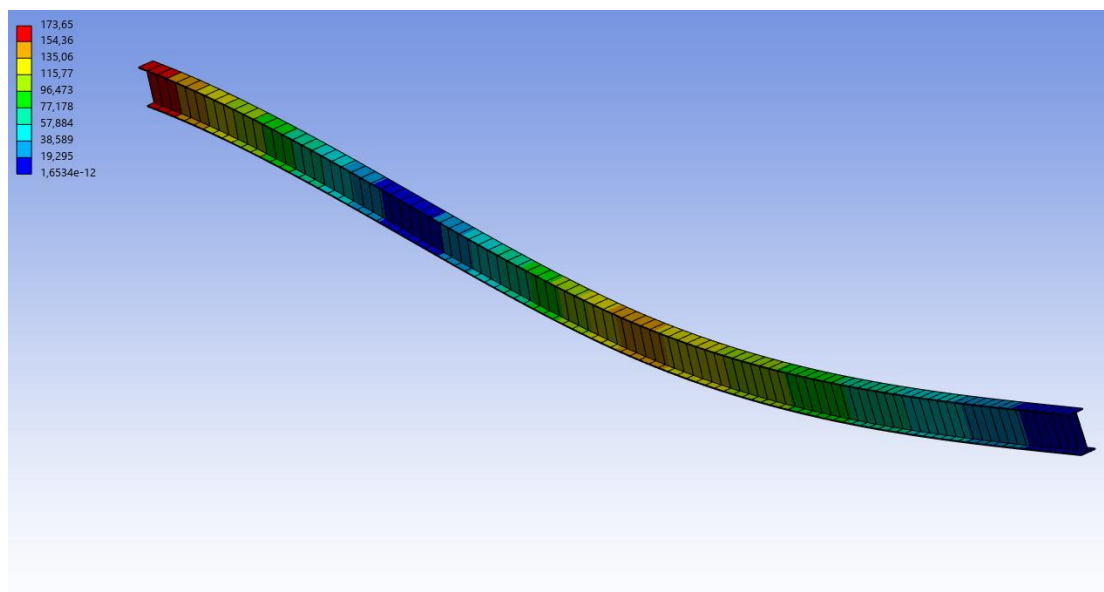
Fonte: Autor

Figura 10: Deslocamento do perfil W250x28,4 (A-A) (em mm)



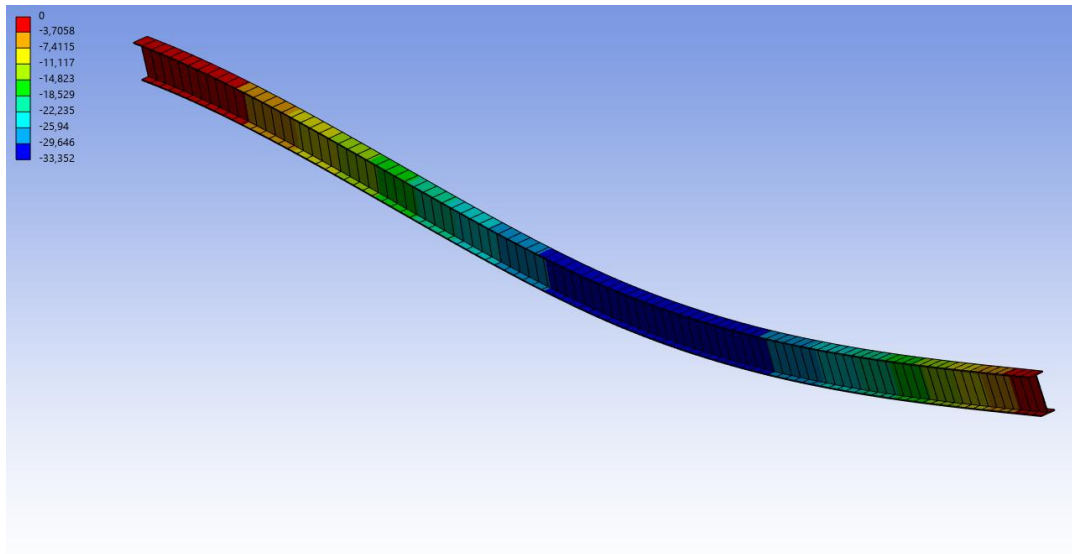
Fonte: Autor

Figura 11: Tensão máxima do perfil W250x22,3 (E-A) (em MPa)



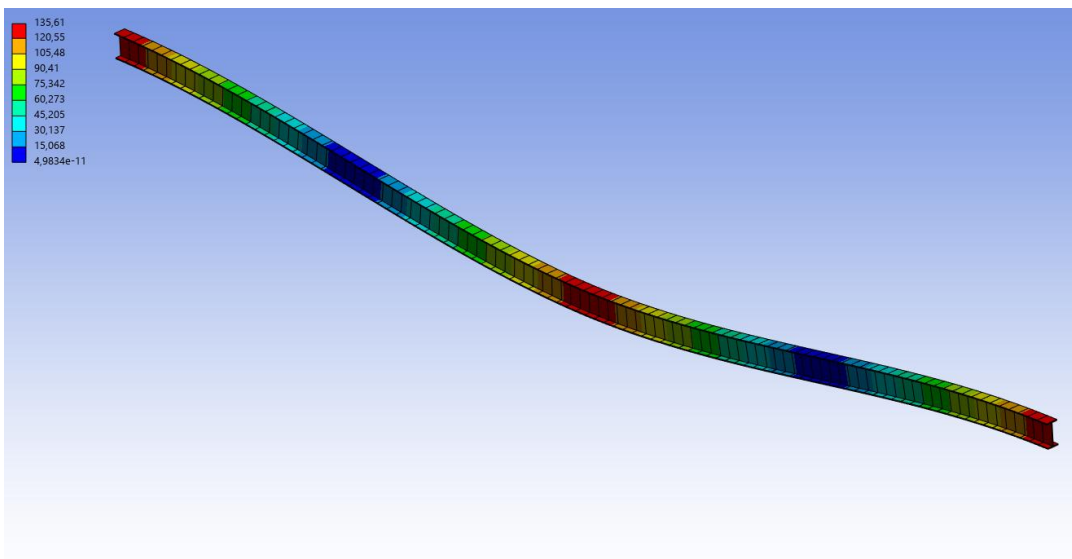
Fonte: Autor

Figura 12: Deslocamento do perfil W250x22,3 (E-A) (em mm)



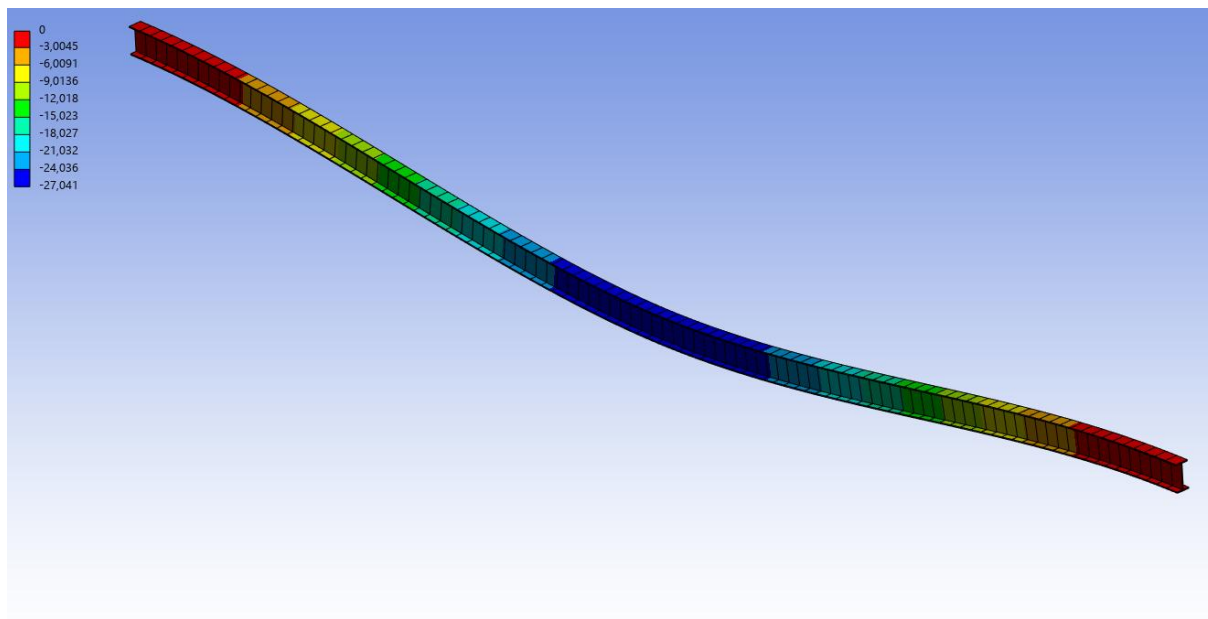
Fonte: Autor

Figura 13: Tensão máxima do perfil W200x22,5 (E-E) (em MPa)



Fonte: Autor

Figura 14: Deslocamento do perfil W200x22,5 (E-E) (em mm)



Fonte: Autor

Notou-se que, na situação de viga A-A, o perfil W250x28,4 representa a configuração ótima, mesmo estando submetida a uma maior tensão e deslocamento, já que representa uma redução de 20,49% no volume da peça quando comparada a configuração original (Figura 2).

Nesse contexto foi possível observar, por fim, que a mudança da situação de contorno da viga tornou possível um aproveitamento ainda melhor do processo de otimização, já que puderam ser obtidos perfis que satisfizessem todos os critérios. Na condição de E-A o perfil W250x22,3 manteve a tensão dentro do limite aceitável (menor que 180 MPa) enquanto promovia uma redução de 37,64% de volume e de 46% na flecha máxima em relação a viga não otimizada. Já na configuração de viga E-E proposta, o perfil W200x22,5, por exemplo, obteve também um bom desempenho.

4. CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo aplicar a otimização paramétrica, por meio do *software* ANSYS Workbench, a uma viga metálica submetida a diferentes condições de contorno. A comparação com o estudo desenvolvido por Sousa (2020) permitiu avaliar a efetividade do método adotado, demonstrando que o módulo *Static Structural* do ANSYS, aliado à ferramenta de otimização *Direct Optimization*, foi capaz de gerar soluções viáveis, próximas ao estudo observado. Além disso, os modelos e que respeitaram as restrições impostas, resultando em perfis com volume reduzido e flechas dentro de limites admissíveis, sem ultrapassar as tensões máximas estabelecidas por norma. Além disso o modelador *Space Claim* torna a etapa de

preparação do projeto mais interativa e direta já que possibilita a visualização da estrutura em 3D, sendo possível, por exemplo, importar arquivos do tipo CAD para compor o modelo.

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- durante a otimização as condições de contorno impactaram nas dimensões e consequentemente, no peso do material;
- a condição de contorno E-E foi aquela com menor volume e a condição A-A com maiores valores de volume e de flecha.
- o volume para as condições de apoio E-A e A-A são maiores 34,58% e 43,42%, respectivamente, se comparado com a condição E-E.

Os resultados obtidos evidenciam que, além da configuração tradicional de viga bi apoiada, outras condições de contorno, como engaste e apoio ou bi engastada, possibilitaram otimizações ainda mais expressivas em termos de economia de material. A seleção de perfis comerciais a partir dos dados otimizados comprovou a viabilidade prática das soluções encontradas, contribuindo para projetos estruturalmente eficientes e economicamente viáveis.

Em uma análise mais aprofundada, com o objetivo de uso real em uma estrutura desse tipo, estudos complementares devem ser feitos, como por exemplo a análise dos outros tipos de esforços aos quais a viga estará submetida, como por exemplo flambagem local da alma e da mesa. Além de ser possível analisar outras situações de carregamento como uma carga variável ou carga móvel.

Conclui-se, portanto, que a otimização paramétrica é uma ferramenta eficiente no auxílio ao dimensionamento de elementos estruturais metálicos, promovendo benefícios em desempenho estrutural e redução de custos. Juntamente a isso a análise da parte estrutural em si, como as condições de contorno da estrutura, podem promover ainda mais economia. Cabendo ao engenheiro estrutural a sensibilidade no momento da análise e otimização de estruturas, definindo, de maneira final, como a otimização pode ser bem aproveitado na prática.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BATHE, K. *Finite element procedures*. 1. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, Pearson Education, 2006.

BOITO, D.; KRIPKA, M. Parametric study of reinforced concrete plane frames structures through optimization. *Revista CIATEC-UPF*, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 51-60, 2020. DOI: 10.5335/ciatec.v12i1.10646. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/10646>. Acesso em: 20 abr. 2025.

FERREIRA, J. L.; PAULA, G. D.; SOUZA, F. T. Otimização de sistemas estruturais em aço para edifícios industriais com ponte rolante. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão*, Paranaguá, PR, v. 7, n. 3, p. 456-1–456-21, 2022.

KOSKELA, L. *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford: Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), 1992. (CIFE Technical Report, 72). Disponível em: <https://purl.stanford.edu>. Acesso em: 20 abr. 2025.

MEI, L.; WANG, Q. Structural optimization in civil engineering: a literature review. *Buildings*, Basel, v. 11, n. 2, p. 1–28, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/2/66>. Acesso em: 20 abr. 2025.

MOAVENI, S. *Finite element analysis: theory and application with ANSYS*. 1. ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 1999.

MOHAMMEDALI, T. K.; MOHHAMED, A. H.; KHALAF, R. D.; SAMMEN, S. S. Finite element model for the optimization of a steel I-beam with variable depth. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021.

PAVLOVCIC, L.; KRAJNC, A.; BEG, D. Cost function analysis in the structural optimization of steel frames. *Structural Multidisciplinary Optimization*, v. 28, p. 286–295, 2004.

SOUSA, M. M. S. *Procedimento padrão de otimização estrutural paramétrica usando o ANSYS APDL*. 2020. 84 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

TORRES, J. V. S. *Otimização de pórticos de concreto armado utilizando o sistema computacional ANSYS*. 2001. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.