

OTIMIZAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDOS À FLEXÃO SIMPLES

Ernesto Paulo Fontinele da Fonseca (bolsista do ICV/UFPI), Maria de Lourdes Teixeira Moreira (Orientadora, Departamento de Estruturas, UFPI)

Palavras-chave: vigas; flexão; otimização; concreto.

1. Introdução

Giongo (2007) estima que o custo da estrutura, sem considerar as fundações, representa 20% a 25% do custo total de uma obra finalizada. O dimensionamento das estruturas de concreto armado nem sempre é realizado buscando-se a solução que apresenta o menor custo possível. Na prática, a estrutura é pré-dimensionada e, caso atenda aos requisitos estabelecidos por norma, será a solução adotada (Júnior e Oliveira, 2014).

A partir disso, esse trabalho, com o auxílio do software MS Excel, buscou encontrar uma maneira de simplificar essas escolhas visando o menor custo possível, seja de ferragem, de concreto ou até mesmo das formas para moldagem das vigas.

2. Metodologia

As atividades desenvolvidas nesse trabalho se iniciaram com um levantamento e revisão da bibliografia relacionada ao tema, seguido de um estudo a fundo sobre as planilhas eletrônicas e o software MS Excel. A partir daí foi elaborada uma planilha para dimensionamento de vigas analisando a flexão e o cisalhamento. Logo após, foi realizada uma otimização das seções da viga com intenção de diminuir ao máximo o custo total, e por fim, uma avaliação dos resultados e gráficos obtidos por meio das planilhas e elaboração do texto com a divulgação dos resultados.

3. Resultados e discussão

Com a utilização da planilha, foi calculado o custo médio de uma viga de concreto armado de 14 cm de largura por 40 cm de altura. O f_{ck} usado para análise foi de 30 MPa. Os valores são determinados analisando uma estrutura biapoiada com vão de 5 m e carregamento distribuído no valor de 15 kN/m.

Figura 1: Inserção de Dados e Cálculos Preliminares

Dados			Cálculos Preliminares	
Seção Transversal				
Altura (h)	40	cm	$f_{ys} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} =$	43,47826087 kN/cm ²
Largura (bw)	14	cm	$f_{cd} = \frac{f_{dk}}{\gamma_c} =$	2,142857143 kN/cm ²
Carregamento			$M_d = \gamma_f \times M =$	6562,5 kN.cm
Vão	5	m	Altura Útil (d) =	35,50 cm
Carga	15	kN/m	$x_{23} = \frac{3,5}{13,5} d =$	9,203703704 cm
Momento (Mk)	46,875	KN.m	$\epsilon_{ys} = \frac{f_{ys}}{E_s} =$	0,002070393
γ_f	1,4		$x_{34} = \frac{0,0035}{0,0035 + \epsilon_{ys}} d =$	22,3054265 cm
Concreto				
f_{ck}	30	MPa		
γ_c	1,4			
Aço				
Tipo	CA-50	*10 Mpa		
γ_s	1,15			
E_s	21000	kN/cm ²		
Densidade	7850	kg/m ³		
Adotados				
Agressividade	CAA-II			
Cobrimento (c)	3	cm		
ϕ estribos	5	mm		
ϕ barra	20	mm		

Fonte: O autor (2019).

A inserção de dados referentes ao cálculo acontece logo no início da planilha, nas células de cor cinza, após isso, são realizados alguns cálculos preliminares apresentados na Figura 1. O processo de cálculo foi desenvolvido com base na NBR 6118:2014, limitando-se ao cálculo apenas de vigas no domínio 2 ou 3. Caso o valor do K_x seja superior a 0,45, um novo quadro é mostrado para o cálculo da armadura dupla. A planilha também realiza o cálculo da armadura transversal para combater o esforço cortante seguindo a rotina do Modelo I da NBR 6118: 2014 e uma breve verificação da flecha.

Figura 2: Tabela de Custos e botões de acionamento da ferramenta SOLVER



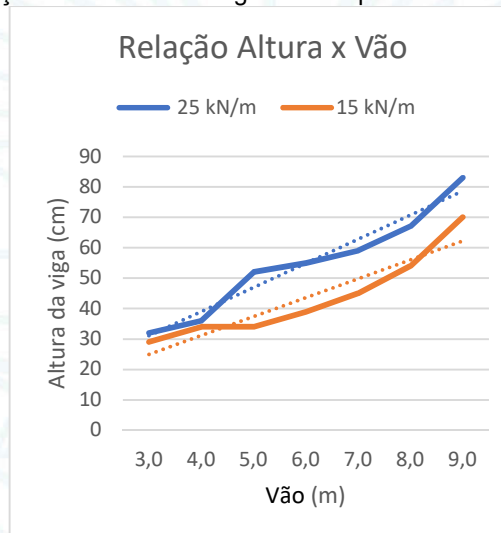
Fonte: O autor (2019).

Por fim, a Figura 2 apresenta um quadro com os custos associados a cada material por metro e o valor total para a viga em análise. Os valores dos serviços foram retirados das tabelas do SINAPI para a região do Piauí, com mês de referência janeiro de 2019. Além disso, na Figura 2 é possível notar os botões associados à rotina da ferramenta SOLVER, o método de solução GRG Não Linear, ou básico, que serve para problemas suaves e não lineares e o método Evolutionary, evolucionário ou avançado, ideal para problemas não suaves. Para a viga biapoiaada de seção 14x40, com um carregamento de 15kN/m e um fck de 30 MPa é possível notar que mais de 50% dos custos vêm do componente fôrmas de madeira, seguido pelos componentes de ferragem e por último o componente concreto com pouco mais de 10% do valor total do custo da viga.

Outras análises foram realizadas com a planilha, a primeira relacionou a influência da variação do fck no custo de uma viga de dimensões fixas 14x35cm submetida a um carregamento distribuído de 15kN/m em um vão de 5 metros. Os valores mostraram um alto custo nos fck de 20 e 18 MPa, devido ao fato de que, nesses casos, a altura reduzida conduz à necessidade de armadura dupla, com uma alta taxa de armação e alto valor associado. O teste foi repetido para uma viga de 14x40cm, e com uma folga maior foi possível perceber uma linearidade entre os valores do custo ao aumentar o fck.

Foi comparado também o valor usual de pré-dimensionamento para altura de vigas de 10% do vão com o valor da planilha para vigas de menor custo. Foram utilizados carregamentos de 15kN/m e 25 kN/m em 7 diferentes valores de vãos. Para o primeiro foi encontrada uma diferença entre o décimo do vão e o calculado na tabela de, em média, 25,11%, já para os valores de 25 kN/m, foi encontrada essa variação em 6,77%.

Gráfico 3 – Relação entre altura da viga e o vão para diferentes carregamentos.



Fonte: O autor (2019).

Para um valor fixo da seção da viga em 14cm de base e 40 cm de altura foram realizadas análises do custo para diferentes carregamentos, a fim de analisar uma possível linearidade no custo. Com a seção fixa, o valor das formas de madeira é constante, a variação do volume do concreto é entre 1,18% da armação mínima de aço e 4% para o máximo permitido. Com isso a variação ocorre pela mudança nas barras de aço, e foi possível notar certa linearidade, com o aumento da carga na seção o custo total se eleva.

Com intuito de explorar a ferramenta, foi realizada uma comparação para diferentes valores de fck (20, 25 e 30 MPa), analisando a altura da viga de menor custo de acordo com o carregamento distribuído. A situação definida no cálculo foi de uma viga biapoiada com vão de 5,0 metros e a largura da base da viga fixada em 14 cm. O resultado mostrou que em menores valores de fck será necessário um maior valor de altura de viga para as mesmas situações (carregamento e vão).

4. Conclusão

A influência dos custos relacionados às fôrmas de madeira, já incluindo serviços como aquisição da madeira, confecção e montagem das mesmas, apresenta uma contribuição majoritária em todas as composições geradas pela planilha, variando de 45%, chegando a apresentar até 60% do custo total das vigas em alguns casos. Logo em seguida, vêm os custos relacionados às ferragens das vigas, incluídos a aquisição, corte, dobra, montagem e colocação nas formas, com uma média de 30% dos custos totais, porém em algumas situações chegando a até 50%. Por último, vem o concreto, variando de 5% a 15 % do valor total de uma viga.

Ainda referindo-se aos custos de aço, notou-se que a presença de armadura dupla aumenta bastante a porcentagem do custo do aço na composição final, principalmente nas seções que se encontram nos limites inferiores de segurança.

Ao analisarmos a relação entre a altura viga de menor custo total e o valor de estimativa para pré-dimensionamento de 10% do vão, foi possível perceber que o valor é mais satisfatório para carregamentos acima de 20 kN/m. Nos testes realizados com 15kN/m, o valor calculado pela planilha apresentou grandes diferenças em relação à décima parte do vão. Cabe salientar, que a planilha não inclui os gastos com armaduras de pele para vigas acima de 60 cm, não garantindo completa precisão dos custos para esses casos.

A partir da análise da variação do carregamento foi possível notar uma certa linearidade no custo, fato esse advindo exclusivamente da variação do custo do aço para as diferentes situações, já que o valor das fôrmas está fixado juntamente com as dimensões da seção e a variação no valor do concreto é desprezível, tendo em vista que a taxa de armação varia entre o valor de 1,18% para a mínima armação possível e o valor de 4,00 % para o limite definido na NBR 6118: 2014.

Na última análise realizada, foi comparada a altura da viga de menor custo para cada valor de carregamento entre diferentes valores de fck, percebeu-se que vigas com menores valores de fck necessitam de uma maior altura para mesmas situações e carregamentos.

5. Referências

- ARAÚJO, J. M. Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado. 2ª Edição. Rio Grande: Editora Dunas, 232p. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.
- CARVALHO, R. C. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014, 4ª edição. EdUFSCar – São Carlos, São Paulo, 2014.
- GIONGO, J. S. Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2007.
- MUÑIZ JUNIOR, F. H. M. & OLIVEIRA, D. M., Otimização de vigas de concreto armado com seção retangular submetidas à flexão normal simples. Construindo, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, p. 51-67, Jan/jun. 2014.
- PINHEIRO, L. M. Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios. Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2007

6. Apoio

Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella.