

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro de 2019

OTIMIZAÇÃO DE VIGAS DE PONTE RODOVIÁRIA POR MEIO DE ALGORITMO GENÉTICO.

July Gomes Evangelista Reis ¹
Florisvaldo Cardozo Bomfim Jr ²

Matheus Pereira Gondim ³
Tarnie Vilela Nunes Narques ⁴

^{1, 2, 3, 4} Universidade de Uberaba
julygomes70@gmail.com; tarnienarques@outlook.com

Resumo

O presente artigo tem como principal objetivo otimizar seções transversais de vigas de concreto protendido de pontes rodoviárias. Optou-se por trabalhar com Algoritmo Genético por sua simplicidade de implementação e por seu bom desempenho na otimização de problemas contendo muitas variáveis e restrições. A escolha do tipo de estrutura se deu devido ao grande número de pontes protendidas existentes no país e por serem estruturas de custo elevado. Após a implementação do programa computacional que contou com dimensionamento de armadura ativa e verificações de Estados Limites Últimos e de Serviço o mesmo foi aplicado para otimizar 4 casos de pontes, sendo 3 com vão longitudinal de 8 metros e uma última com vão longitudinal de 12 metros. Em todas as aplicações o programa convergiu para seções transversais de vigas de baixo custo que respeitaram a todas as restrições do problema.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Concreto Protendido. Otimização.

1 Introdução

Os elementos estruturais de pontes rodoviárias têm, em sua grande maioria, dimensões significativas, em consequência de seus grandes vãos e da magnitude das solicitações impostas a eles. Dos diversos sistemas estruturais existentes para pontes o que tem maior aceitação atualmente, devido a sua

versatilidade e simplicidade executiva é o sistema de pontes em vigas isostáticas de concreto protendido.

Sirca Jr. (2005) cita que nos Estados Unidos aproximadamente 25% das pontes rodoviárias são em concreto protendido. É possível perceber que no Brasil esta porcentagem também é bem significativa, mas não é possível quantificá-la pela falta de um cadastro nacional de pontes.

De uma forma geral a modelagem de uma estrutura é dependente de uma série de tomadas de decisões do projetista, que além de buscar o melhor posicionamento dos elementos que a compõem, também deve se preocupar com suas dimensões, de tal maneira que todo o conjunto seja capaz de suportar as diversas solicitações impostas, garantir as condições mínimas de segurança e se apresentar como a solução mais econômica possível.

Ainda hoje, mesmo com tantos recursos computacionais, a busca pela melhor solução se pauta em processos de tentativa e erro, que tomam como referência inicial experiências anteriores de projetistas (SIRCA JR; ADELI, 2005).

Esta rotina, além de não ser nada científica e consumir um tempo razoável do projetista, não garante que a solução final encontrada represente a solução ótima do problema, ou que ao menos esteja próximo a ela, por se restringir a algumas poucas tentativas podendo conduzir os projetistas em alguns casos a adoção de soluções antieconômicas.

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro de 2019

Tendo em vista o porte das estruturas de pontes, o grande número de variáveis e restrições que permeiam o dimensionamento de seus elementos e os pontos acima citados sobre a sistemática tradicional dos projetistas, torna-se relevante o estudo de métodos de otimização neste tipo de estrutura, visando a minimização de seus custos.

Dentre os vários métodos de otimização existentes um que se destaca por sua simplicidade de implementação, facilidade de adaptação a diversos problemas e por apresentar bons resultados em várias pesquisas relacionadas a otimização é o Algoritmo Genético (AG).

O AG é um método de otimização probabilístico baseado na teoria evolutiva de Darwin que tem como vantagens, em relação aos métodos tradicionais de otimização a independência de conhecimentos matemáticos aprofundados e facilidade para resolver problemas com grande número de variáveis e restrições que são características básicas dos problemas de otimização de estruturas.

Diante do exposto, pretende-se com essa pesquisa otimizar via Algoritmo Genético seções transversais de vigas de concreto protendido de pontes rodoviárias.

2 Materiais e Métodos

Apresenta-se neste subcapítulo, a descrição da metodologia aplicada para atingir os objetivos propostos da pesquisa. Inicialmente será discutido as particularidades do problema de otimização em questão e posteriormente apresentar as características principais do programa desenvolvido.

Será considerado nas simulações, estruturas com dois comprimentos longitudinais diferentes (8 metros e 12 metros), já a seção transversal, como foi considerada que a estrutura em questão atende a uma rodovia de pista simples, pertencente à Classe de Projeto III, sendo sua seção transversal composta por duas faixa de acostamento, duas faixas de rolamento e duas barreiras de concreto moldada “in loco” de 40 centímetros, terá uma largura de tabuleiro total de 10,8 metros, respeitando as dimensões pré-estabelecidas no Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais do DNER.

A pesquisa visa otimizar uma ponte rodoviária com seção transversal composta por vigas protendidas isostáticas e tabuleiro em laje maciça, a figura 1 apresenta um detalhamento esquemático da estrutura.

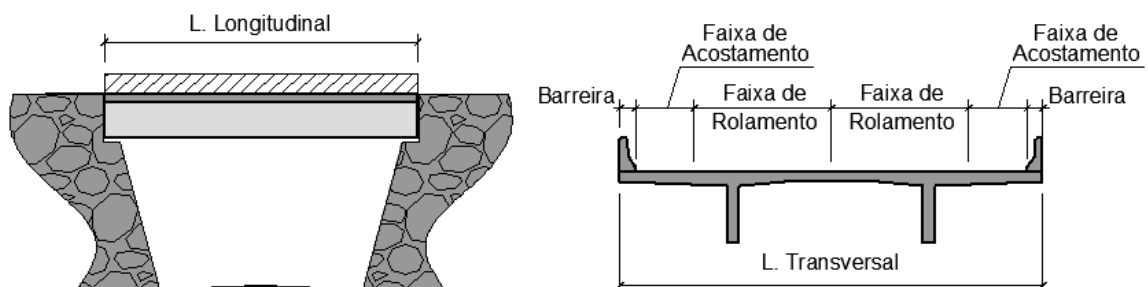


Figura 1: Detalhe esquemático da seção longitudinal e transversal da estrutura (Acervo do autor)

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro de 2019

O programa, que tem como objetivo principal determinar as seções transversais ótimas das vigas de concreto protendido de pontes rodoviárias, foi desenvolvido no ambiente computacional MATLAB R2016b.

Apesar de se ter uma tipologia pré-definida para otimização na pesquisa, optou-se por manter como parâmetros de entrada no programa:

- o comprimento longitudinal da estrutura;
- a largura de sua seção transversal;
- a altura da laje do tabuleiro;
- a largura do balanço;
- o trem-tipo;
- as características das cordoalhas;
- a perda inicial e final estimada de protensão;
- os coeficientes de ponderação das cargas;
- a resistência do concreto;
- o custo unitário do concreto, da forma e do aço de protensão.

Em seu script, além da rotina de otimização (AG) foram inseridas rotinas para a determinação do Trem-Tipo Longitudinal (TTL) e para o cálculo dos Coeficientes de Impacto Vertical (CIV) e de Números de Faixa (CNF).

Como considerou-se no dimensionamento das vigas que estas seriam de seção ‘T’, foi inserido uma rotina no programa para determinar quanto do tabuleiro da estrutura poderia ser considerado como mesa colaborante e outras rotinas para o cálculo das características geométricas da viga com seção retangular ‘T’.

Além das citadas anteriormente foram acrescentadas rotinas para o dimensionamento das vigas e para as verificações dos estados limites último e de serviço seguindo as recomendações da NBR 6118:2014 Projetos de estruturas de concreto – procedimento.

Segundo Coley (1999), os Algoritmos Genéticos (AG’s) são algoritmos de otimização simples de entender e escrever, inspirados na seleção natural e na genética natural dos indivíduos. Tendo como criador Jhon Holland na década de sessenta, sua estrutura padrão pode ser representada pelo fluxograma apresentado na Figura 2.

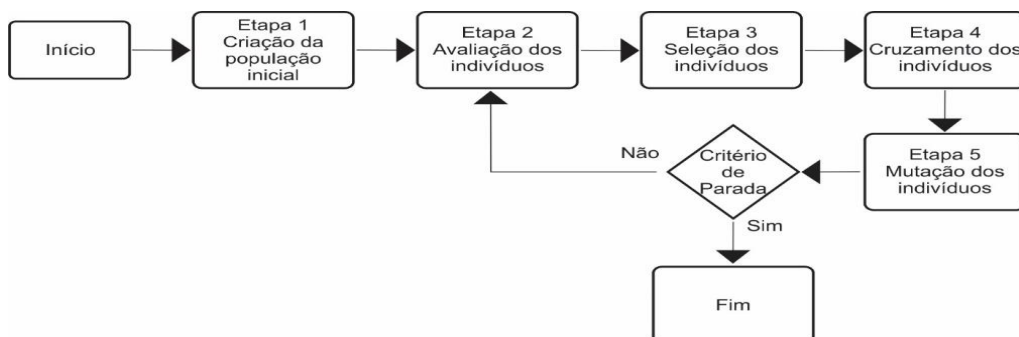


Figura 2: Fluxograma padrão de um Algoritmo Genético (Acervo do autor)

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro de 2019

Foram realizadas simulações para quatro casos variáveis do problema original, a saber:

Quadro 2 – Descrição dos Casos

Caso	L. Transversal	L. Longitudinal	Fck(Mpa)
1	10,80	8,0	35
2	10,80	8,0	40
3	10,80	8,0	45
4	10,80	12,0	-

Cada um destes Casos contou com 4 simulações do programa, sendo 3 destas com sua configuração original – População de 100 Indivíduos e Probabilidade de Mutação de 1% – e uma última simulação com condições mais severas – População de 300 Indivíduos e Probabilidade de Mutação de 5% – tendo como objetivo, ampliar o espaço de busca da solução e verificar se os resultados retornados nas simulações anteriores representavam mesmo a solução ótima do problema.

Além destas simulações, para avaliar se os resultados encontrados realmente

correspondiam à seção transversal ótima do problema, foram realizados mais dois cálculos de vigas manualmente seguindo os seguintes critérios:

- Simulação 5 – Viga com altura padronizada em função da relação L/10 e base idêntica a encontra nas simulações realizadas pelo programa de otimização.
- Simulação 6 – Viga com seção próxima a encontrada pelo programa de otimização.

Apresenta-se no capítulo posterior os resultados das 6 simulações realizadas.

3 Resultados

Foram realizadas 6 simulações para os quatro casos apontados anteriormente variando o comprimento longitudinal e o fck do concreto. A figura 3 apresenta os resultados resumidos destes.

Simulações	h	bw	R\$ Concr.	R\$ Cord.	R\$Forma	R\$ Total
Caso 1 – L=8 – fck=35Mpa						
1 (Pop 100-Pm 1%)	1,7851	0,301	2085,2	1663,2	2224,2	5972,6
2 (Pop 100-Pm 1%)	1,7851	0,3011	2085,3	1663,2	2224	5972,5
3 (Pop 100-Pm 1%)	1,7851	0,301	2085,2	1663,2	2224,2	5972,6
4 (Pop 300-Pm 5%)	1,7851	0,301	2085,2	1663,2	2224,2	5972,6
5 (L/10xbw)	0,8	0,301	747,34	4197,7	924,39	5869,43
6	1,65	0,3	1895,4	1805,8	2045,3	5746,5
Caso 2 – L=8 – fck=40Mpa						
1 (Pop 100-Pm 1%)	1,7043	0,3011	2079,4	1742,8	2117,7	5939,9
2 (Pop 100-Pm 1%)	1,7048	0,301	2079,1	1742,3	2118,2	5939,6
3 (Pop 100-Pm 1%)	1,6838	0,3075	2093,1	1766,7	2094,7	5954,5
4 (Pop 300-Pm 5%)	1,7048	0,301	2079,1	1742,3	2118,2	5939,6
5 (L/10xbw)	0,8	0,301	786,04	4155,1	924,32	5079,42
6	1,55	0,35	2160,4	1939,4	1946,3	6046,1
Caso 3 – L=8 – fck=45Mpa						
1 (Pop 100-Pm 1%)	1,5979	0,3133	2176,4	1865,4	1985,3	6027,1
2 (Pop 100-Pm 1%)	1,6361	0,301	2150,3	1816,5	2027,6	5994,4
3 (Pop 100-Pm 1%)	1,6361	0,301	2150,3	1816,5	2027,6	5994,4
4 (Pop 300-Pm 5%)	1,6361	0,301	2150,3	1816,5	2027,6	5994,4
5 (L/10xbw)	0,8	0,301	853,22	4123,2	924,32	5900,74
6	1,5	0,301	1939,1	1991,4	1848	5778,5
Caso 4 – L=12 – fck=40Mpa						
1 (Pop 100-Pm 1%)	2,3203	0,3027	4463	3676,1	4397,3	12536,4
2 (Pop 100-Pm 1%)	2,3202	0,3027	4463	3676,2	4397,1	12536,3
3 (Pop 100-Pm 1%)	2,3202	0,3027	4463	3676,2	4397,1	12536,3
4 (Pop 300-Pm 5%)	2,3202	0,3027	4463	3676,2	4397,1	12536,3
5 (L/10xbw)	1,2	0,3	2029,8	7352,5	2177,2	11559,5
6	2	0,35	4362,3	4307,8	3810,1	12480,2

Figura 3: Resultado das simulações

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro de 2019

Para as simulações do Caso 4 foi considerado apenas o f_{ck} de 40MPa, por ter sido aquele que retornou o menor valor de viga para os Casos 1, 2 e 3.

4 Discussão

A presente pesquisa teve como objetivo principal encontrar, via Algoritmo Genético, as seções transversais ótimas de vigas de concreto protendido de pontes e viadutos de tal forma que estas atendessem conjuntamente a todos os critérios normativos e também representasse a solução de menor custo possível.

Foi possível perceber sua eficiência nas simulações realizadas, pois garantiu convergência nos quatro casos estudados para soluções de baixo custo que atenderam a todas as restrições impostas ao problema.

Pôde-se observar também que neste problema não houve necessidade de se trabalhar com mais de 100 indivíduos compondo a população inicial, tendo em vista que as simulações com 300 indivíduos convergiram para o mesmo resultado encontrado na configuração inicial do programa.

5 Conclusão

Conclui-se que o método pode ser considerado uma boa ferramenta para otimização de tipo de estrutura devido a eficiência apresentada.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

COLEY, David A. **An introduction to genetic algorithms for scientists and engineers.** . [S.l.]: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1999. 211 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS. **Manual de Projetos de Obras de Arte Especiais.** 1996.

SIRCA JR., Gene F.; F.ASCE, Hojjat Adeli. **Cost Optimization of Prestressed Concrete Bridges.** Journal of Structural Engineering , [S.l.], 01 mar. 2005. 131, p. 380.