



## OTIMIZANDO VIGAS DE CONCRETO ARMADO ATRAVÉS DO ALGORITMO DE FORMIGAS

*Paulo Cezar Vitorio Junior<sup>1</sup>, Carlos Humberto Martins<sup>2</sup>*

**RESUMO:** Um grande exemplo de organização racional e eficiente são as formigas. Estudos baseados nas formas de comunicação desses insetos, e principalmente, no fato deles encontrarem o caminho ótimo entre o formigueiro e a fonte de alimentos, são base para o desenvolvimento de agentes artificiais, que através de algoritmos solucionam problemas de maneiras ótimas. Utiliza-se aqui o algoritmo das colônias de formigas na busca de seções ótimas de vigas de concreto armado, onde é feita uma varredura nos domínios do concreto armado em busca do custo mínimo da seção da viga. São comparados os valores obtidos com o método convencional do concreto armado e o algoritmo de formigas, e é verificado se os resultados têm a convergência esperada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Otimização, algoritmo de colônia de formigas, vigas de concreto armado.

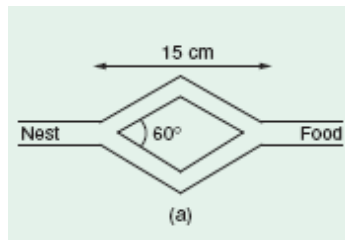
### 1 INTRODUÇÃO

De maneira geral, otimizar significa melhorar até onde for possível sob determinadas restrições, escolher a alternativa ótima entre muitas. Dentre os recursos matemáticos fundamentais para a otimização, encontram-se os algoritmos. O modelo do algoritmo de formigas é metaheurístico que utiliza métodos estocásticos de otimização que exploram o espaço de soluções por meio de regras probabilísticas. Segundo DORIGO e GAMBARDELLA (1997), a inteligência de enxames foi proposta no final da década de 80 em referência a sistemas robóticos compostos por agentes simples interagindo de acordo com regras locais, provocando o surgimento de padrões globais funcionais e coerentes.

As formigas comunicam-se através de feromônios deixados no solo enquanto caminham. Um experimento realizado em 1990, por DENEUBOURG et. al., estudou o comportamento das formigas. Como mostra a figura 1.

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Paraná. Bolsista IC/Fundação Araucária (PIBIC). [paulo\\_vitorio@hotmail.com](mailto:paulo_vitorio@hotmail.com)

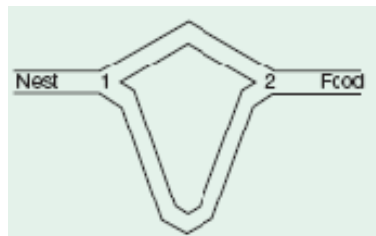
<sup>2</sup> Orientador, Professor Doutor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná. [chmartins@uem.br](mailto:chmartins@uem.br)



**Figura 1.** Caminhos Iguais. Fonte: Deneubourg (1990).

Na procura por seu alimento, em uma ponte com dois caminhos, inicialmente, sem feromônio, as formigas escolhem de forma aleatória uma rota, assim, feromônio vai sendo depositado na trilha, conseqüentemente, esse feromônio é detectado por outras formigas, que ao caminharem pela mesma trilha também depositam feromônios. Os caminhos têm o mesmo comprimento, após um período de tempo um dos caminhos possui mais feromônio, isso atrai cada vez mais formigas.

DENEUBOURG também ensaiou pontes com caminhos de comprimentos diferentes, como mostrado na figura 2.



**Figura 2.** Caminhos Diferentes. Fonte: Deneubourg (1990).

Quando a ponte possui caminhos com comprimentos diferentes, as formigas seguem o caminho de sua direita ou esquerda aleatoriamente. Espera-se que as chances das formigas escolherem um desses caminhos seja metade cada um. É interessante perceber que as formigas que escolhem por acaso o caminho mais curto, reconstituem mais rapidamente a trilha de feromônio comparado com as formigas que escolhem o caminho mais longo. Então, o caminho mais curto recebe uma quantidade superior de feromônio por unidade de tempo, com isso, um número maior de formigas escolhe o caminho mais curto devido ao processo de realimentação positiva da quantidade de feromônio deixado na trilha.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi analisada a seção transversal de uma viga de concreto armado, segundo o equacionamento disposto na NBR 6118 (2003).

A otimização parte de uma largura pré definida como dado de entrada da viga e buscam-se valores ótimos para as áreas de armadura e a altura útil da seção.

As variáveis a serem orimizadas são:  $x_1$  (altura útil da viga),  $x_2$  (área de armadura tracionada),  $x_3$  (área de armadura comprimida). A função custo representa o menor custo por unidade de comprimento da viga sendo dada pela expressão:

$$F(x) = b_w(x_1 + d').c_1 + (x_2 + x_3).c_2 + (b_w + 2.(x_1 + d')).c_3$$

Onde  $d'$  é o cobrimento da armadura. O tabela 1 contém os valores dos custos usados nos cálculos.

**Tabela 1.** Custos dos materiais

	<b>Material</b>	<b>Custo</b>
<b>C<sub>1</sub></b>	Concreto convencional produzido em canteiro	237,29 R\$/m <sup>3</sup>
<b>C<sub>2</sub></b>	CA – 50 – Vergalhão	4,00 R\$/kg
<b>C<sub>3</sub></b>	Pré-fabricados de madeira	30,90 R\$/m <sup>2</sup>

Fonte: Construção e Mercado - 05 de outubro de 2009.

Considera-se o dimensionamento da viga submetida à flexão simples e atende-se algumas restrições da NBR 6118(2003). O tabela 2 contém as restrições impostas para o problema.

**Tabela 2.** Resumo do Equacionamento

<b>Função Custo</b>	$F(x) = b_w \cdot (x_1 + d') \cdot c_1 + (x_2 + x_3) \cdot c_2 + (b_w + 2 \cdot (x_1 + d')) \cdot c_3$
<b>Restrição 1</b>	$0,68 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \cdot x_1 + \sigma_{sc} \cdot x_3 - \sigma_{st} \cdot x_2 = 0$
<b>Restrição 2</b>	$0,68 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \cdot x_1 \cdot \left( x_1 - 0,4 \cdot \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \cdot x_1 \right) + \sigma_{sc} \cdot x_3 \cdot (x_1 - d') = M_d$
<b>Restrição 3</b>	$x_2 + x_3 - P_{ac} \cdot b_w \cdot x_1 \leq 0$
<b>Restrição 4</b>	$x_3 - 0,5 \cdot x_2 \leq 0$
<b>Restrição 5</b>	$x_1 \leq 60cm$

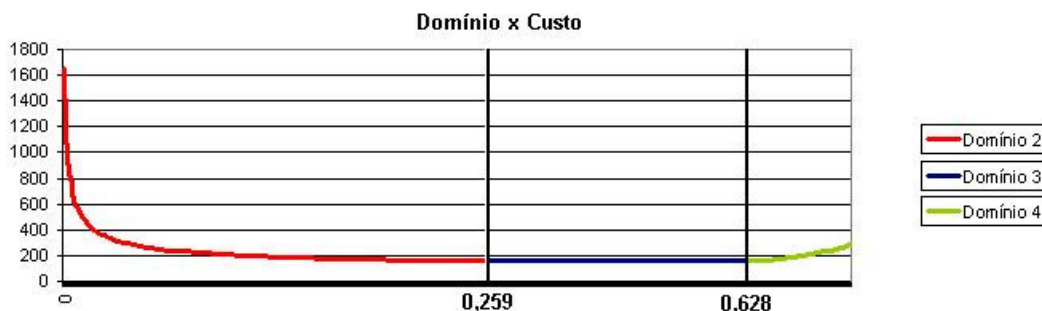
Fonte: NBR 6118 (2003) e Paulo Cezar Vitorio Junior.

Nas restrições 1 e 2, as tensões e deformações dos materiais permitem o dimensionamento em qualquer domínio. Na restrição 3, impõe-se uma relação de 4% entre as áreas de armadura e concreto da seção. Na restrição 4, limita-se a percentagem de armadura comprimida em 50% da armadura tracionada. Na restrição 5, segue-se o item 17.3.5.2.3 da NBR 6118 (2003), em vigas com altura igual ou inferior a 60 cm, pode ser dispensada a utilização da armadura de pele. Então, são restringidas as alturas úteis superiores a 60 cm.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisa-se uma viga biapoiada de concreto armado, base  $b_w=30$  cm, concreto C20, aço CA50, onde atua um momento de cálculo de  $M_d= 44100$  kN.cm.

A figura 3 mostra a variação dos custos de acordo com os domínios. No domínio 3 acontecem os custos mínimos, matemático e construtivo.



**Figura 3.** Gráfico Domínio x Custo. Fonte: Paulo C. Vitorio Jr.

O custo mínimo matemático é o mínimo global da função, isto é, o menor custo de todo o intervalo analisado. O mesmo não pode ser considerado para esse exemplo, pois nesse ponto o valor de  $x_1$  extrapola 60 cm, isto é, não atende a restrição 5. O custo mínimo construtivo é aquele em que todas as equações são atendidas, juntamente com as restrições construtivas impostas para o exemplo.

Observa-se que a altura útil é reduzida de acordo com o aumento do domínio, isto é, o domínio 2 oferece valores de alturas elevadas onde a seção de concreto é extremamente robusta. No domínio 4 alturas são muito pequenas, então é no domínio 3 em que se conseguem as alturas ideais para a seção transversal.

O algoritmo de colônia de formigas foi implementado em *Linguagem Computacional Fortran*, quando executado considerou-se 300 partículas (formigas), 200 iterações e 50 ciclos.

O tabela 3 mostra o comparativo entre o método convencional e o algoritmo de formigas.

**Tabela 3.** Comparativos dos métodos.

Variável	Método Convencional	Algoritmo de Formigas
$x_1$	59,99 cm	59,88 cm
$x_2$	21,50 cm <sup>2</sup>	21,58 cm <sup>2</sup>
$x_3$	0 cm <sup>2</sup>	0,00159 cm <sup>2</sup>
$\beta_x$	0,534	0,537
<b>Custo mínimo</b>	R\$ 159,83	R\$ 159,91

Fonte: Paulo Cezar Vitorio Junior.

## 4 CONCLUSÃO

Observa-se o comportamento da seção de acordo com a variação dos domínios do concreto armado.

Nos resultados fornecidos pelo algoritmo das formigas implementado percebe-se que há coerência com os resultados do cálculo convencional, porém, ainda são necessários testes em outros exemplos de vigas para comprovar com mais eficácia tais valores.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – “*NBR 6118 – Projeto e Execução de Estruturas em concreto armado*”, Rio de Janeiro, 2003.

DORIGO, M., GAMBARELLA, L.M. (1997), “*Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem*”, BioSystems, vol. 43, pp. 73-81.

NINA, T.C. “*Otimização de Seções Transversais de Concreto Armado: Aplicação a Pórticos Planos*”, EESC-USP, São Carlos, SP, 2006.