

Projeto otimizado de pórticos espaciais de concreto armado

Optimized design of reinforced concrete space frames

DOI:10.34117/bjdv7n10-340

Recebimento dos originais: 25/09/2021

Aceitação para publicação: 25/10/2021

Christie de Vilhena Prata Machado

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica – Centro de Tecnologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos, 149 – Edifício do Centro de Tecnologia –
Bloco A, 2º andar – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ – Brasil
E-mail: christievpmachado@poli.ufrj.br

Franciane Conceição Peters

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório de Métodos de Modelagem e Geofísica Computacional – LAMEMO–
COPPE/UFRJ
Endereço: Avenida Pedro Calmon s/nº – Prédio Anexo ao Centro de Tecnologia –
Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ – Brasil
E-mail: fran@coc.ufrj.br

Magnus Carvalho de Vilhena Prata

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica – Centro de Tecnologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos, 149 – Edifício do Centro de Tecnologia –
Bloco A, 2º andar – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ – Brasil
E-mail: magnus.prata@poli.ufrj.br

Webe João Mansur

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Southampton, Inglaterra
Laboratório de Métodos de Modelagem e Geofísica Computacional – LAMEMO–
COPPE/UFRJ
Endereço: Avenida Pedro Calmon s/nº – Prédio Anexo ao Centro de Tecnologia –
Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ – Brasil
E-mail: webe@coc.ufrj.br

RESUMO

O trabalho tem como objetivo apresentar resultados preliminares referentes ao projeto que visa desenvolver uma ferramenta computacional capaz de otimizar estruturas de concreto armado modeladas como pórticos espaciais, tendo como restrições os procedimentos da norma brasileira “ABNT (2014) NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto”. Tal projeto consiste na implementação de um método de otimização inspirado na natureza chamado de algoritmo genético, o qual constitui-se de uma rotina de análise de estruturas baseada no Método dos Deslocamentos, e de uma sub-rotina de dimensionamento capaz de calcular a quantidade de aço necessária e verificar todas as restrições, segundo a NBR 6118. Até o momento, o algoritmo genético foi implementado e testado para minimização de funções de várias variáveis. Serão apresentados resultados

referentes ao estudo do comportamento do algoritmo em função do número de variáveis de otimização, e parâmetros como número total de avaliações da função objetivo e número de indivíduos na população. Tal estudo visa analisar a adequabilidade do algoritmo genético adotado ao problema de otimização de pórticos, especialmente devido ao número de variáveis de otimização, que pode ser relativamente grande no problema proposto.

Palavras-chave: Algoritmo Genético, Otimização Estrutural, Pórticos, Análise de Estruturas.

ABSTRACT

The work aims to present preliminary results regarding the project that aims to develop a computational tool capable of optimizing reinforced concrete structures modeled as space frames, having as restrictions the procedures of the Brazilian standard "ABNT (2014) NBR 6118: Design of Concrete Structures". This project consists of implementing an optimization method inspired by nature called a genetic algorithm, which consists of a structure analysis routine based on the displacement method, and a sizing subroutine capable of calculating the amount of necessary steel and verify all restrictions, according to NBR 6118. So far, the genetic algorithm has been implemented and tested to minimize functions of several variables. Results will be presented referring to the study of the behavior of the algorithm as a function of the number of optimization variables, and parameters such as the total number of objective function evaluations and the number of individuals in the population. This study aims to analyze the suitability of the adopted genetic algorithm to the frame optimization problem, especially due to the number of optimization variables, which can be relatively large in the proposed problem.

Keywords: Genetic Algorithm, Structural Optimization, Porticos, Structural Analysis.

1 INTRODUÇÃO

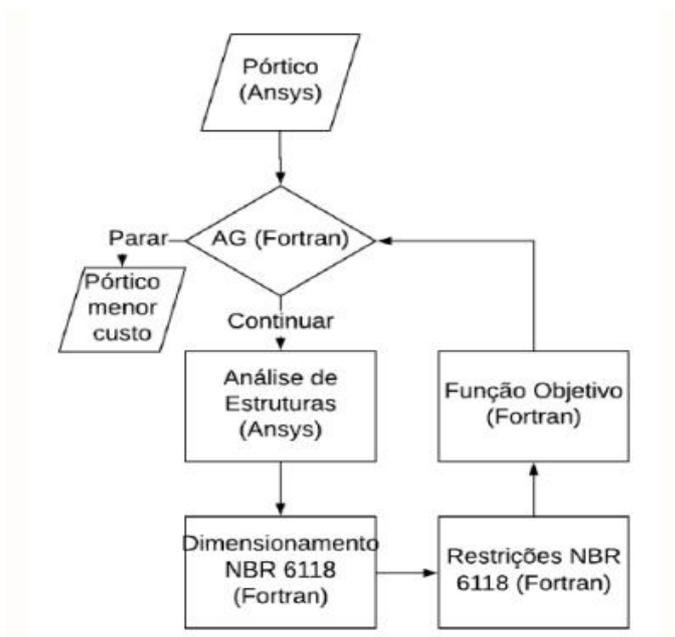
O algoritmo genético é um método de otimização baseado na seleção natural de Charles Darwin no qual ocorre a criação de uma informação genética nova, sua avaliação e seleção. Um indivíduo da população representa um cromossomo, o qual contém a codificação de uma possível solução para um problema. O algoritmo genético faz um processo de iteração, onde cada solução candidata recebe uma penalização de modo que quanto menor é a penalização de um indivíduo maior é a sua chance de sobreviver e dar origem a novos integrantes da população enquanto que as soluções menos adequadas (maior custo ou mais penalizadas por violar restrições) vão sendo substituídas.

Neste trabalho serão apresentados a metodologia e o resultado referentes à análise do comportamento da função objetivo com penalização para um problema com duas variáveis.

2 METODOLOGIA

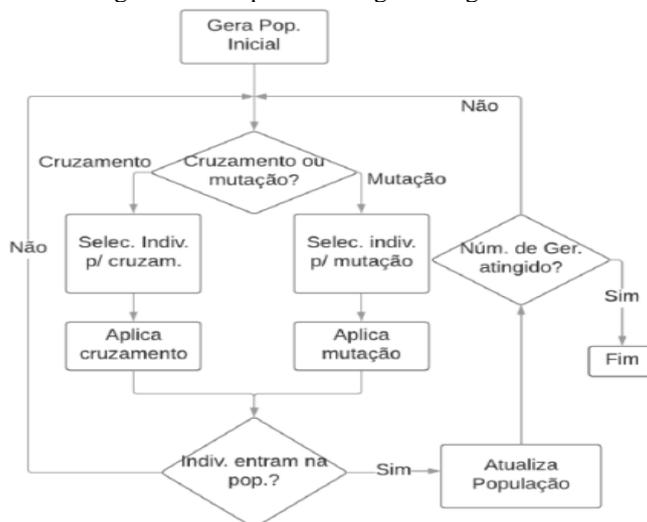
A metodologia de otimização pode ser esquematizada conforme indicado na Figura 2.1.

Figura 2.1: Metodologia atual de otimização do pórtico.



No presente projeto, o algoritmo genético seleciona indivíduos pelo método da roleta, o qual determina a probabilidade de sobrevivência de cada cromossomo baseando-se no seu valor de aptidão. Assim, quanto mais apto é um indivíduo, maior é a sua probabilidade de ser selecionado e dar origem a novos indivíduos. A Figura 2.2 indica o esquema do algoritmo genético.

Figura 2.2: Esquema do algoritmo genético.



O algoritmo genético utiliza-se dos chamados operadores genéticos, os quais são responsáveis por fazer a combinação entre as características dos indivíduos de uma população para gerar novos elementos. Neste projeto, foram utilizados os operadores de cruzamento e mutação, conforme esquematizado nas Figuras 2.3 e 2.4. No processo de cruzamento, o programa sorteia uma posição do cromossomo para troca do material genético entre os pais ou fazendo a combinação linear dos valores das variáveis dos pais, em ambos os casos gerando dois novos filhos. Já os operadores de mutação são responsáveis pela modificação do valor das variáveis sorteadas.

Figura 2.3: Operador de cruzamento.

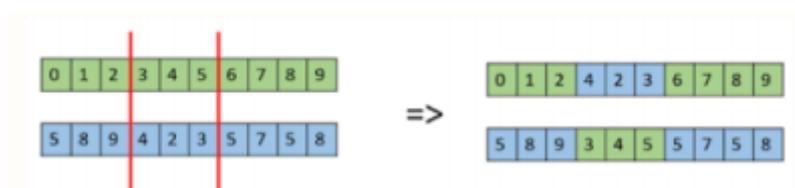
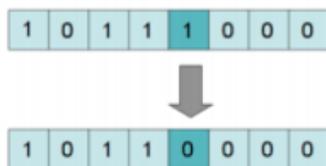


Figura 2.4: Operador de mutação.



Análise de Estruturas

A análise de pórticos de concreto armado é feita pelo programa ANSYS através do Método dos Elementos Finitos. Esse método separa a estrutura em elementos discretos e calcula numericamente em cada um destes os esforços atuantes e os deslocamentos. Esse método é bastante usado na área da engenharia. O programa ANSYS retorna em totalidade o valor dos esforços e deslocamentos de todos os elementos dos pórticos.

Dimensionamento

Calculados os esforços, no dimensionamento busca-se:

- Quantidade de barras e bitola de aço da armadura longitudinal e seu espaçamento;
- Bitola das barras de aço para a armadura transversal.

São usadas tabelas de aços comerciais considerando-se as áreas de aço calculadas.

Foram seguidas recomendações normatizadas para:

- Determinar os coeficientes de majoração das cargas;
- Espaçamento mínimo entre armaduras;
- Comprimento de ancoragem das armaduras.

O dimensionamento estrutural é realizado com os esforços no Estado Limite Último (ELU) enquanto que os esforços e deslocamentos referentes ao Estado Limite de Serviço (ELS) são utilizados para verificar a abertura de fissuras e a deformação excessiva.

Função Objetivo

A função objetivo é usada para fazer a distinção entre diferentes soluções de modo a classificar os indivíduos. A função objetivo depende do custo de construção das vigas e dos pilares considerando-se os custos:

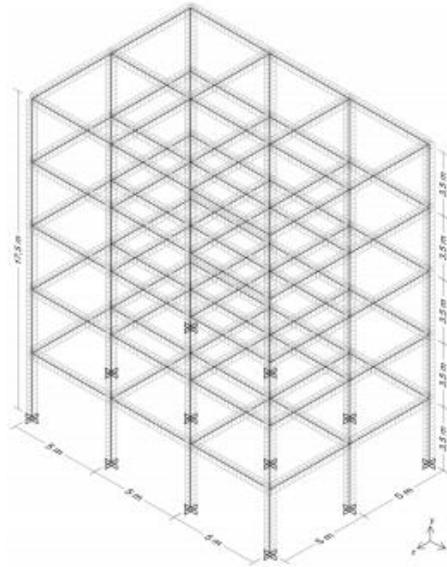
- do concreto;
- da forma de madeira;
- do aço.

A função objetivo também depende da penalização. O custo de cada viga e cada pilar é aumentado multiplicando-se por razões entre valores calculados e o limite estabelecido pela Norma quando a razão tiver valor maior que a unidade. Caso o elemento estrutural não viole as restrições normativas, o valor da penalização será igual à unidade, mantendo o valor da função objetivo igual ao custo. Essa penalização tem o objetivo de aumentar o custo de uma solução que viola alguma das restrições da Norma, colocando esta em desvantagem. De acordo com a teoria da seleção natural de Charles Darwin, o mais apto às condições do meio ambiente sobrevive, logo a sobrevivência de um cromossomo está relacionada diretamente a essa função objetivo. Ao final da simulação das gerações, a maioria da população será formada por vetores de dimensões de viga e pilar que levam a obra inteira a ter o menor custo e nenhuma penalidade, entregando uma solução otimizada. Mais informações podem ser encontradas em [19].

3 RESULTADOS

O programa de otimização foi desenvolvido para a otimização de um pórtico em concreto armado através da utilização de um algoritmo genético. Para compreensão da metodologia e da função objetivo, foi considerado o pórtico tridimensional apresentado na Figura 3.1, composto por 5 andares totalizando 17,50 metros de altura e uma área em planta de 15,00 metros de comprimento por 10,00 metros de largura.

Figura 3.1: Pórtico tridimensional.



Neste problema temos apenas duas incógnitas a otimizar:

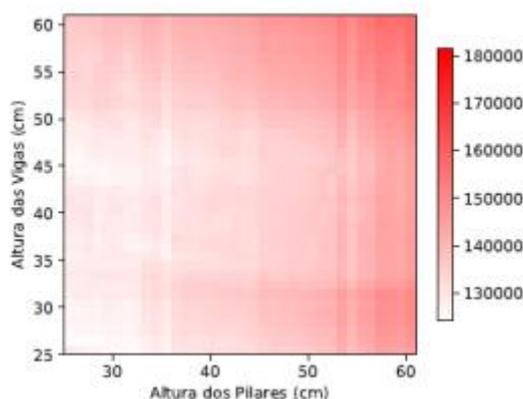
- Altura da seção transversal dos pilares;
- Altura da seção transversal das vigas.

Com a finalidade de tornar o programa mais próximo da realidade da construção civil, os valores das variáveis fornecidas pelo algoritmo genético são transformados em números inteiros antes do dimensionamento das armaduras.

Modelo Estrutural Investigado

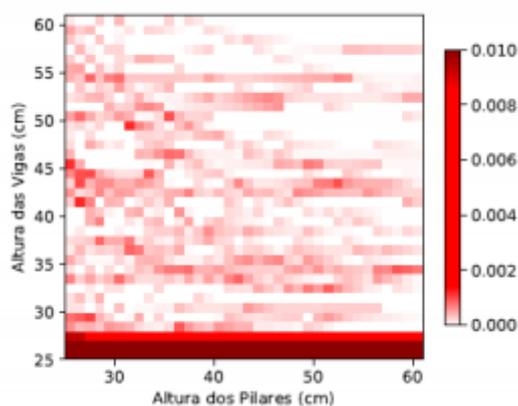
O pórtico forma um elemento uniaxial definido internamente por dois nós de seis graus de liberdade em cada um (translações e rotações em x, y e z). No programa desenvolvido, a largura da seção transversal é 20 cm e as variáveis independentes de projeto são as alturas da seção transversal das vigas e pilares. O mínimo para a altura dos elementos estruturais é de 25 cm e o máximo é de 60 cm. Foi realizada uma varredura em todo o espaço de busca para análise do comportamento da função objetivo. A Figura 3.1.1 apresenta o custo total para cada combinação de alturas de vigas e pilares do pórtico.

Figura 3.1.1: Custo total para diversos valores dos parâmetros de otimização.



A Figura 3.1.2 mostra em quais parâmetros houve mais penalização através da relação entre o custo e a função objetivo.

Figura 3.1.2: Relação entre custo e função objetivo, mostrando quais parâmetros sofreram penalização.



É possível observar que seções que não atendem aos requisitos normativos foram muito penalizadas.

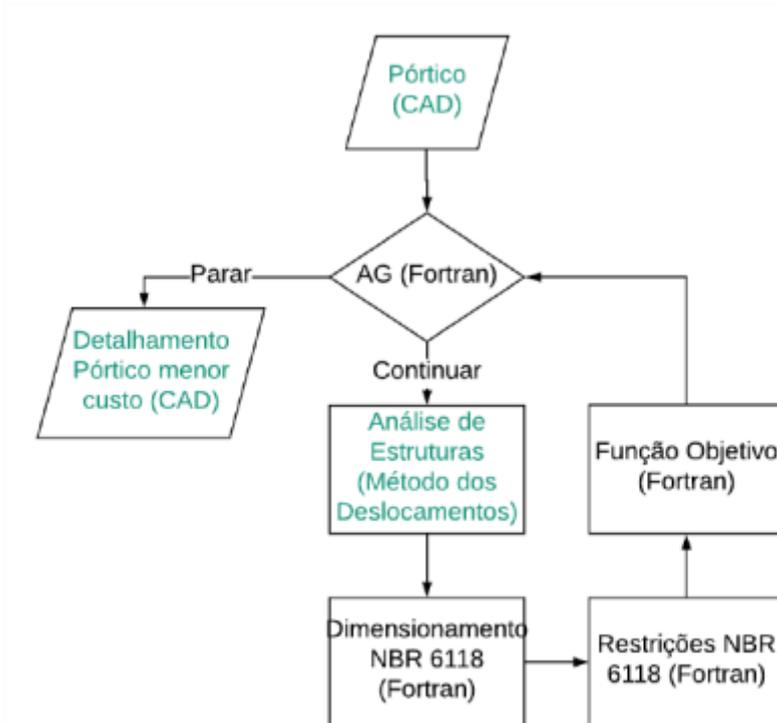
4 DISCUSSÕES

O estudo do comportamento da função objetivo e a necessidade de se trabalhar com variáveis inteiras (dimensões em centímetros) mostra a adequação do algoritmo genético ao problema proposto. Entretanto, o programa ANSYS muda as características de seu relatório de saída de acordo com a versão impedindo a leitura deste relatório pelo programa em Fortran; depende de internet para verificação da licença; e exige muito processamento, pois é baseado no Método dos Elementos Finitos, além de envolver a escrita e leitura de arquivos, como interface entre os programas. Para contornar tais

dificuldades, será feito um programa baseado no Método dos Deslocamentos para a análise de estruturas em Python.

O Método dos Deslocamentos é um método de análise de estruturas que utiliza a rigidez dos elementos para determinar um sistema de equações relacionando os deslocamentos e as cargas que atuam nas estruturas. Mais informações sobre o método podem ser encontradas em [18]. A Figura 4.1 apresenta a metodologia proposta.

Figura 4.1: Metodologia proposta para otimização de pórtico.



A nova metodologia demandará ainda o desenvolvimento da nova interface entre ferramentas CAD e o programa de otimização, além de interface de saída e detalhamento do pórtico ótimo em CAD.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o objetivo deste trabalho é chegar em um projeto de engenharia estrutural mais otimizado através do desenvolvimento de um procedimento que determina seções transversais que melhor atendam às restrições impostas dentro de um conjunto de soluções possíveis. Com isso, é possível obter uma solução mais assertiva, tanto no quesito econômico quanto técnico, para o desenvolvimento de projetos e não depender apenas de decisões baseadas na experiência profissional.

REFERÊNCIAS

- [1] L. J. ALEXANDRE. Otimização do pré-projeto de vigas de concreto armado utilizando Algoritmos Genéticos. PhD thesis, COPPE, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
- [2] ALTOQI. Building code requirements for reinforced concrete. AltoQi Eberick, versão 3.0. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1:1, 2001.
- [3] E. A. BASTOS. Otimização de seções retangulares de concreto armado submetidas à flexo-compressão oblíqua utilizando Algoritmos Genéticos. PhD thesis, COPPE, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- [4] R. E. CASTRO. Otimização de estruturas com multi-objetivos via Algoritmos Genéticos. PhD thesis, COPPE, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- [5] I. A. CHAVES. Otimização de pilares de concreto armado mediante uniformização do índice de confiabilidade. PhD thesis, Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, 2004.
- [6] J. W. DEMMEL, J. R. GILBERT and X. S. LI. An asynchronous parallel supernodal algorithm for sparse gaussian elimination. *SIAM J. Matrix Analysis and Applications*, 20(4):915–952, 1999.
- [7] J. DENNIS and R. B. SCHNABEL. *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*. SIAM, United States of America, 1996.
- [8] D. E. GOLDBERG. *Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison-Wesley Professional Publishing, 1989.
- [9] J. HEYMAN. Plastic design of beams and plane frames for minimum material consumption. *Journal of Quarterly of Applied Mathematics*, 1:373–381, 1956.
- [10] J. H. HOLLAND. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, 1975.
- [11] A. INC. Ansys mechanical apdl. release 18.2. Canonsburg, 18:1, 2018.
- [12] K. J. Z. LEGNANI. Procedimento de otimização estrutural de componentes usando um programa comercial de elementos finitos. PhD thesis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- [13] M. L. R. LIMA. Otimização topológica e paramétrica de vigas de concreto armado utilizando algoritmos genéticos. PhD thesis, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Universidade de São Paulo, 2011.

- [14] J. P. R. MAIA. Otimização estrutural: estudo e aplicações em problemas clássicos de vigas utilizando a ferramenta solver. PhD thesis, São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- [15] V. L. E. S. I. A. E. M. MELO, A. M. C. Optimum design of rc plane frames with nonlinear response. ISSMO Conference on Engineering Design Optimization, 3:1, 2001.
- [16] S. L. PIRES. Otimização por algoritmos genéticos de pilares esbeltos de concreto armado submetidos à flexão oblíqua. PhD thesis, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2014.
- [17] D. S. PONTE. Estudo do comportamento e otimização do projeto estrutural de edifícios de concreto armado. PhD thesis, Faculdade de Engenharia, do Estado do Rio de Janeiro, 2015.
- [18] Y. SAAD. Iterative Methods for Sparse Linear Systems. SIAM, 2003.
- [19] Y. SAAD and M. SCHULTZ. Gmres a generalized minimal residual algorithm for solving nonsymmetric linear systems. SIAM Journal of Sci. and Statistical Computing, 7:856–869, 1986.
- [20] L. A. SCHMIT. Structural design by systematic synthesis. Proceedings of the 2nd Conference on Electronic Computation, 1960.
- [21] E. E. SILVA. Otimização de estruturas de concreto armado utilizando Algoritmos Genéticos. PhD thesis, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.
- [22] J. V. S. TORRES. Otimização de pórticos de concreto armado utilizando o sistema computacional ANSYS. PhD thesis, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2001.