

APLICAÇÃO DE UM ALGORITMO GENÉTICO PARA A DETERMINAÇÃO DA ORIENTAÇÃO ÓTIMA DE UM MINI-IMPLANTE ORTODÔNTICO VISANDO À MINIMIZAÇÃO DA TENSÃO NO SISTEMA MINI-IMPLANTE/MAXILA

Pedro H. Garcia¹
Walter J. Gianetti²
Leonardo F. Goliatt³
Flavia S. Bastos⁴

RESUMO

Mini-implantes são comumente usados para ancoragem ortodôntica, e seu desempenho varia de acordo com seu posicionamento, inclinação e carregamentos aplicados. O objetivo deste artigo é integrar um algoritmo genético e métodos computacionais de análise tensões com o intuito de resolver o problema de orientação de um mini-implante visando à minimização de tensões no sistema mini-implante, osso da maxila e dentes. A metodologia proposta permite determinar o posicionamento que resulta no menor nível de tensões, e pode assistir o especialista no desenvolvimento do tratamento ortodôntico.

Palavras-chaves: Otimização. Mini-implante ortodôntico. Método dos elementos finitos. Algoritmos genéticos

1. INTRODUÇÃO

O uso de implantes é uma alternativa aos métodos tradicionais de ancoragem ortodôntica, especialmente em casos de pequena quantidade ou baixa qualidade dos elementos dentais, na impossibilidade de uso de aparelhos extra-orais ou dificuldade de cooperação do paciente. Nos últimos anos, os implantes com finalidade ortodôntica têm evoluído no seu desenho e reduzido suas dimensões,

1 Aluno de Iniciação Científica do Programa PROVOQUE.

2 Bolsista do Programa PROBIC/FAPEMIG/UFJF.

3 Professor orientador, Departamento de Mecânica Aplicada e Computacional, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora – Rua José Lourenço Kelmer, s/n – Campus Universitário - Bairro São Pedro – CEP: 36036-330 – Juiz de Fora, MG, Brasil. leonardo.goliatt@ufjf.edu.br

4 Coorientadora, Departamento de Mecânica Aplicada e Computacional, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora.

facilitando sua utilização. Menor custo, cirurgia de inserção e remoção simples e grande versatilidade podem ser destacados como vantagens dos mini-implantes (CORSO L.L.; MARCZAK R.J.). Embora os implantes tenham evoluído, o conforto do paciente depende crucialmente do posicionamento do implante no osso. Uma melhor orientação para ortoimplantes pode fazer com que se evitem fraturas e até perdas de implantes por um nível de tensão elevado.

A análise do posicionamento dos implantes em pacientes feita através da construção de modelos reduzidos pode tornar-se demasiadamente longa e potencialmente cara. Uma alternativa mais simples e econômica é o emprego de uma solução computacional, como Método dos Elementos Finitos, que evita a produção de modelos reduzidos e testes em pacientes, que permite a indicação de uma solução satisfatória para o especialista um período mais curto.

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma ferramenta bastante usada em Engenharia para a determinação de tensões e deformações e o seu uso para análise de problemas biomédicos e biomecânicos tem crescido significativamente nos últimos anos (AMAR H.H. et al., CATTANEO P.M. et al., POLLEI J.K. et al., CRUZ M. Cruz et al.). O MEF permite obter dados sobre a distribuição de tensões e quantificá-las, o que possibilita a identificação de pontos críticos. Aliada ao MEF, métodos desenvolvidos para otimização numérica permitem encontrar parâmetros ótimos que refletem os requisitos clínicos de cada caso. Para isso, o problema clínico deve ser formulado como um problema de otimização, no qual se deseja minimizar uma função objetivo.

Algoritmos Genéticos são métodos de busca e otimização que trabalham baseando-se nos princípios de genética e seleção natural (GOLDBERG D.E.). Ao longo dos anos, os Algoritmos Genéticos (AG) (HOLLAND J.H.) estabeleceram-se como ferramentas eficazes de otimização em diversas áreas, tais como Artes (UNEMI T.), Ciências e Engenharias (GAO Y et al), finanças, medicina, biologia, engenharia, que apresentavam dificuldades ainda não resolvidas por outras técnicas.

O objetivo deste artigo é integrar um AG e métodos computacionais de análise de tensões em implantes ortodônticos com o intuito de resolver o problema de orientação de um mini-implante visando a minimização de tensões no sistema mini-implante, osso da maxila e dentes, proporcionando maior conforto para o paciente submetido a tal intervenção.

2. METODOLOGIA

A determinação de uma possível solução para a orientação do mini-implante, passa pela análise da distribuição de tensões em razão da aplicação de uma carga. Para isso, um modelo computacional da maxila deve ser criado. A maxila é então tratada como uma estrutura solicitada por um carregamento no implante, e submetida a um processo de análise estrutural. De acordo com (CORSO L.L.; MARCZAK R.J.), casos como o aqui estudado dispensam o uso de modelos numéricos globais da mandíbula, visto que os efeitos significativos da tensão ocorrem somente na região próxima ao local da carga aplicada em torno do implante. Nesta condição de carregamento, será gerado um modelo local, obtido com seccionamento da maxila na região de interesse próxima ao implante. A malha de elementos finitos para o sistema mini-implante ortodôntico-maxila é mostrada na Figura 1.

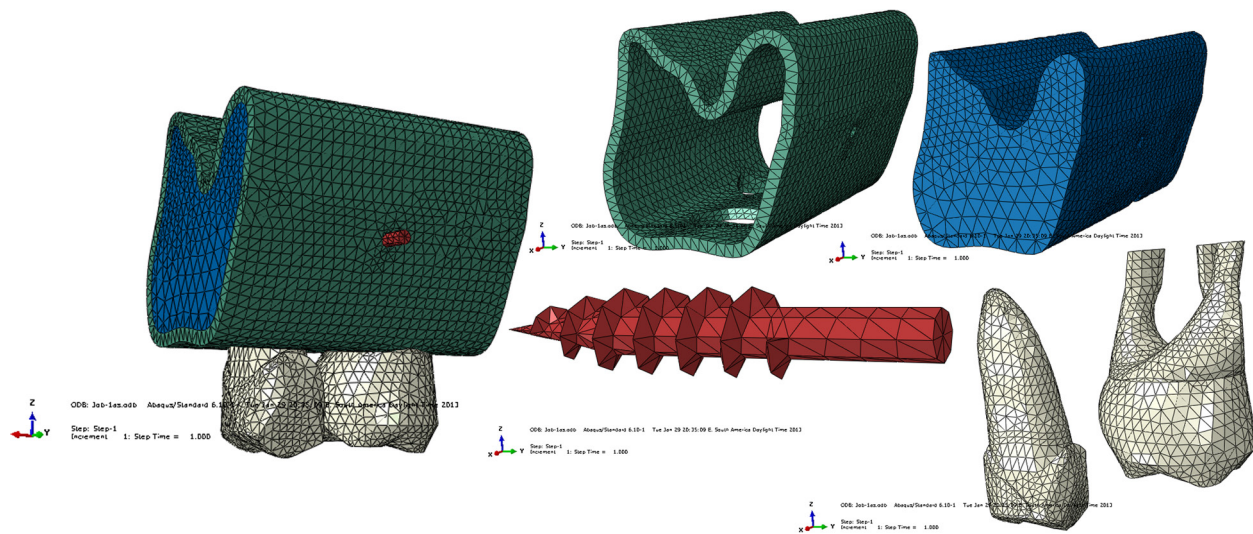


Fig. 1 - Malha de elementos finitos para o sistema mini-implante/maxila.

Através da interface gráfica do programa de elementos finitos ABAQUS/CAE®, foram confeccionados 4 modelos tridimensionais, correspondendo a um modelo de mini-implante ortodôntico, uma seção do osso maxilar, assim como um dente molar e um pré-molar. Para o mini-implante, foram criados três sólidos deformáveis, gerados por revolução: um cilindro de 1mm de diâmetro e 7,0mm de altura (correspondente ao corpo do MIO), um cone de 1,0mm de diâmetro e 3,0mm de altura (respectivo à ponta do MIO) e uma hélice triangular com 60°, 0,40 mm de altura de filete e 1,0 mm de passo de rosca. A consolidação do mini-implante se deu através da união das três partes, cada uma rotacionada e transladada para que ficassem na posição correta. Para a maxila, um corte tomográfico computadorizado em formato Dicom proveniente do arquivo do Centro Clínico de Pesquisa em Estomatologia (Tomógrafo Helicoidal Pro-Speed/GE) foi importado para um programa CAD e contornado por curvas do tipo *spline*, delimitando as regiões dos ossos medular e cortical. Cada contorno importado pelo ABAQUS para a geração de sólidos deformáveis, gerados por extrusão (22 mm de espessura). Técnica semelhante foi utilizada na modelagem dos dentes: as seções transversais dos dentes foram interpoladas, gerando os modelos. Por fim todos os quatro modelos, constituindo 4 partes, foram posicionados e unidos, porém mantendo as interseções entre eles. Todas as partes foram consideradas como seções sólidas e homogêneas, com propriedades isotrópicas e elásticas lineares, conforme mostradas na Tab. I.

Tab. I - Propriedades dos materiais

Material	Módulo de Young (Gpa)	Coefficiente de Poisson
Titânio	110,00	0,33
Osso Cortical	13,70	0,30
Osso Trabecular	1,370	0,30
Osso Medular	20,30	0,26

O modelo-base para a tarefa de otimização é constituído de 84 mil elementos tetraédricos. Cada elemento possui tamanho aproximado de aresta de 0,75 mm. Os nós dos elementos das faces laterais correspondentes à seção da maxila tiveram seus deslocamentos e rotações restritas. Foi exercida no mini-implante uma força de 2 N, decomposta a 45° em duas componentes sobre o plano normal ao seu eixo longitudinal. A orientação do implante se dá em função de dois ângulos – o ângulo mesial-

distal ($-40^\circ < \alpha < 40^\circ$) e o ângulo cervical-apical ($-40^\circ < \beta < 40^\circ$) que definem os dois parâmetros de otimização. Foram adotados valores inteiros para os ângulos α e β . Os esquemas mostrando a força aplicada, os limites de variação dos ângulos e as restrições de deslocamento impostas são mostrados na Fig. 2.

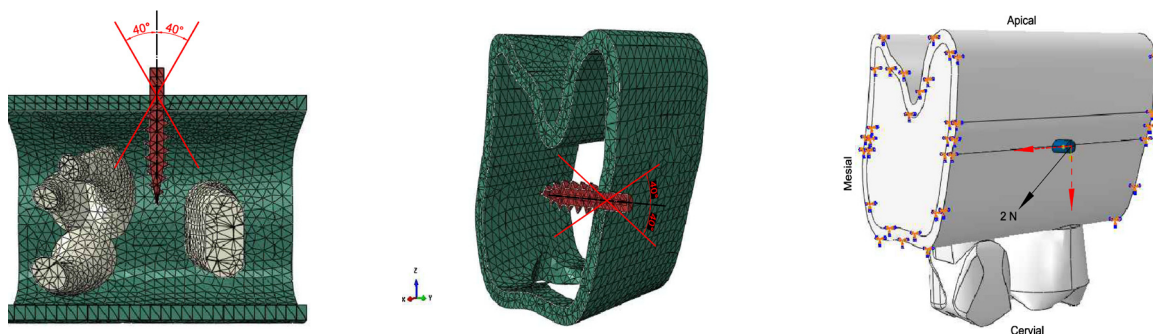


Fig. 2 - Esquema da força aplicada e suas direções.

Após definido o modelo de simulação, foi feita a implementação do AG. O primeiro passo consiste em codificar todas as variáveis em um cromossomo. Cada indivíduo é codificado como um vetor com coordenadas reais. O passo seguinte é gerar aleatoriamente uma população inicial. As soluções candidatas têm então calculado um valor de função objetivo, e os melhores indivíduos têm maiores chances de serem selecionados como genitores. O material genético contido nos cromossomos dos genitores é recombinado e sofre mutação pela aplicação dos operadores de recombinação e mutação, dando origem uma nova geração de indivíduos. Este processo é repetido para um determinado número de ciclos, chamados de gerações. O fluxograma de um AG é mostrado na Fig. 3.

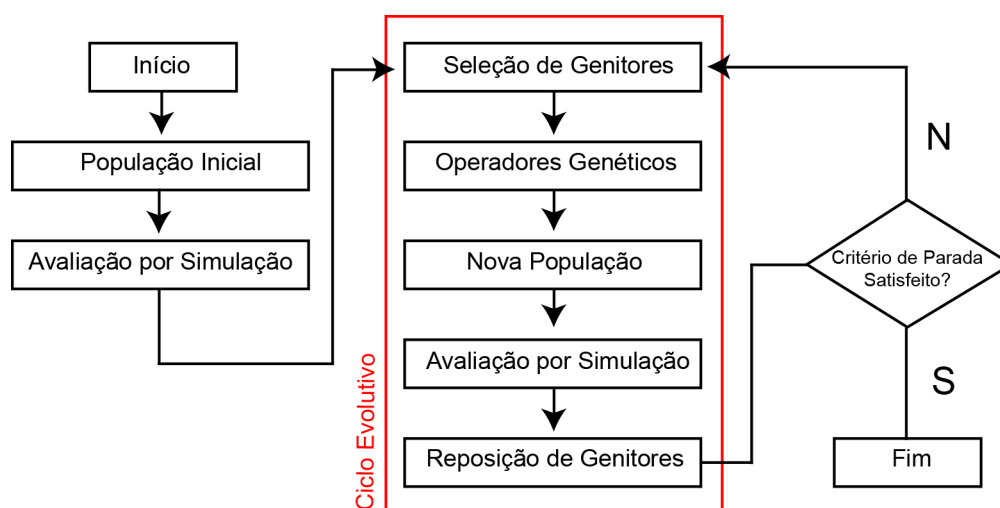


Fig. 3 - Esquema do Algoritmo Genético

A função objetivo a ser minimizada é a tensão máxima de Von Mises que ocorre no sistema mini-implante, osso da maxila e dentes. As soluções que apresentarem interpenetração do mini-implante e dos dentes foram consideradas soluções inviáveis. Para cada solução inviável foi estabelecido uma função objetivo de 105 MPa. A Tab. II mostra os parâmetros usados no AG.

Tab. II - Parâmetros usados no Algoritmo Genético

Parâmetro	Valor
População	20
Gerações	25
Codificação	ponto flutuante (real)
Recombinação	aritmética
Mutação	randômica
Probabilidade de recombinação	100%
Taxa de mutação	40%
Seleção de genitores	Torneio + Elitismo
Total de avaliações	500

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao final da execução do AG, obteve-se como a melhor orientação a angulação de $\alpha = +26^\circ$ na horizontal (mesial-distal) e $\beta = +25^\circ$ na vertical (cortical-apical), obtendo como tensão máxima de Von Mises do sistema o valor de 14,23 MPa. O tempo total de execução do AG foi de 175 minutos. As simulações foram executadas em um computador Intel com processador Intel Core I5 com 4GB de memória RAM.

Após encontrada a melhor solução fornecida pelo AG, foi feito um refinamento dos resultados nesta orientação, com o objetivo de encontrar uma melhor aproximação do modelo analisado. Esta última análise, realizada com 160000 elementos finitos. A solução gerada com a malha refinada com suas respectivas tensões é mostrada na Fig. 4. A variação dos valores das tensões é detalhada conforme na legenda.

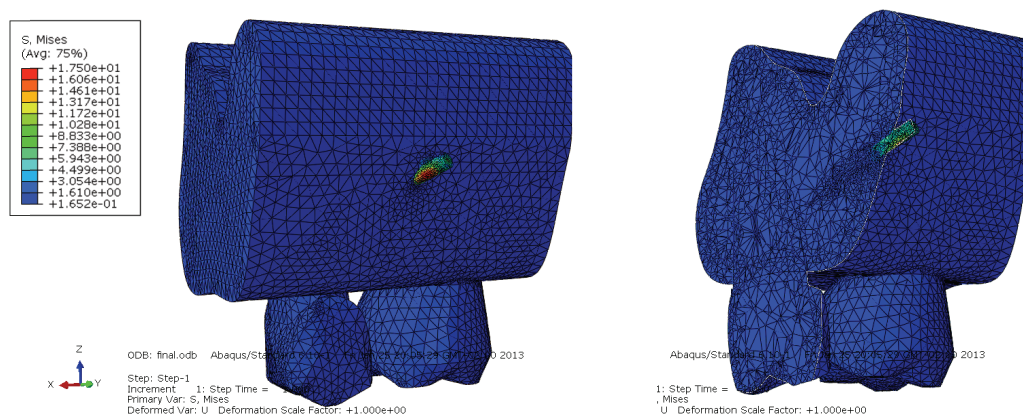


Fig. 4 - Tensões geradas no sistema mini-implante,maxila e dentes.

A Fig. 5 mostra a distribuição das tensões no mini-implante e em uma seção do osso cortical, na orientação do mini-implante de 26° mesial-distal e 25° na apical-cortical. As maiores tensões no mini-implante ocorrem próximo à sua cabeça, devido à flexão da região de aplicação da força. No osso cortical, há uma concentração de tensões na interface com o mini-implante. Esta região deve ser analisada pelo especialista, pois é crucial para a adequada ancoragem do ortoiimplante.

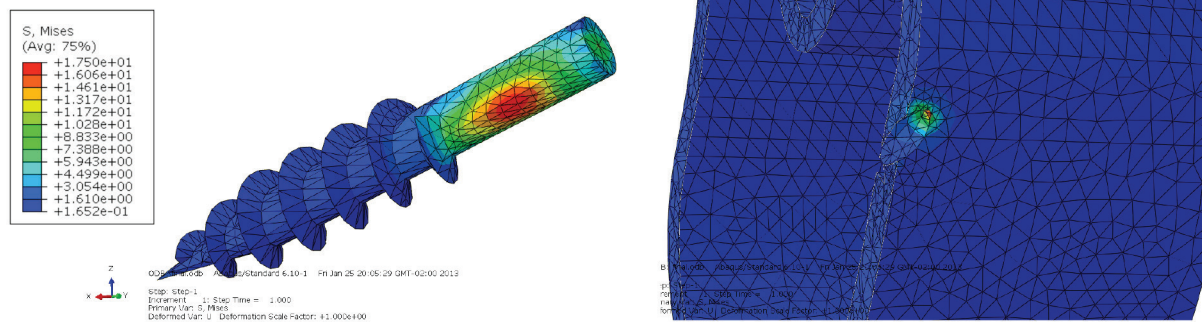


Fig. 5 - Tensões no mini-implante ortodôntico e osso cortical.

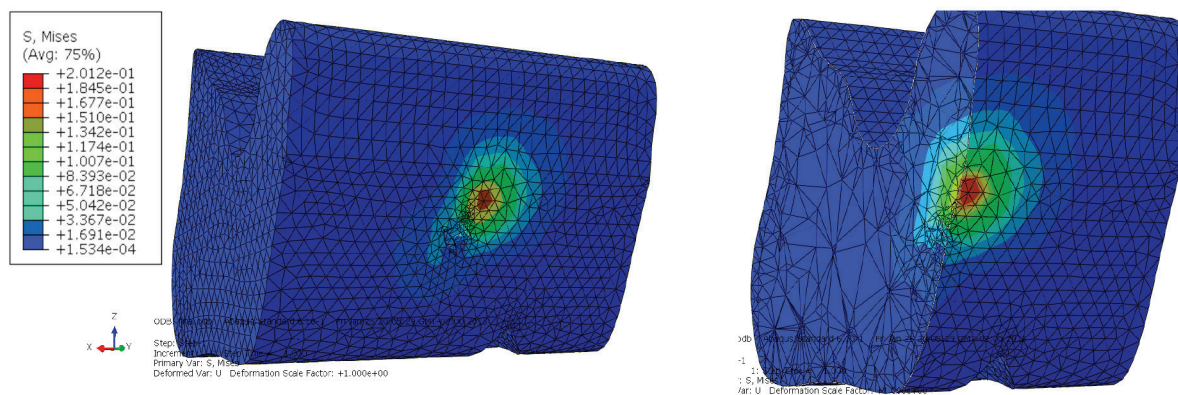


Fig. 6 - Tensões geradas no osso trabecular.

A Fig. 6 mostra as tensões no osso trabecular. Novamente observa-se a concentração na região de ancoragem do mini-implante. A distribuição de tensões nos dentes pré-molar e molar são mostradas na Fig. 8. O nível de tensões nas raízes dos dentes pode indicar a necessidade de intervenções para reposicioná-los mais distantes do mini-implante, o que pode resultar em uma diminuição das tensões resultantes.

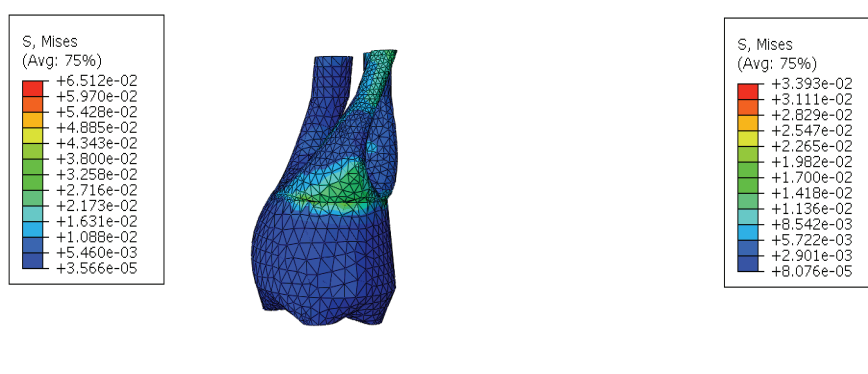


Fig. 7 - Tensões geradas no dente pré-molar e molar

A mesma metodologia pode ser empregada em outros casos similares encontrados na ortodontia, inclusive com a aplicação de outras cargas. Embora possua limitações, as simulações computacionais permitem uma análise de sistemas ortodônticos complexos que podem ser facilmente modificados

e testados sem riscos para o paciente, e podem auxiliar o especialista no desenvolvimento de novas formas de tratamentos ortodônticos.

4. CONCLUSÃO

A metodologia proposta pode trazer grandes avanços no conhecimento das diferentes situações que ocorrem na cavidade bucal, bem como identificação de patologias. Entretanto, é fundamental a análise clínica do impacto para o paciente, de forma a obter o melhor resultado em uma futura aplicação do mini-implante ortodôntico.

APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM TO THE OPTIMAL POSITIONING OF A MINI-SCREW IMPLANT AIMING AT THE MINIMIZATION OF THE STRESS IN THE MINI-SCREW/MAXILLA SYSTEM

ABSTRACT

Mini-screw implants have been commonly used for orthodontic anchorage, and the performance of such implants depends on their location, inclination, and load cases. In this paper we combine computational methods of structural analysis and genetic algorithms in order to derive a computational methodology to solve the optimal positioning of the mini-screw, aiming at the minimization of the stress in the mini-screw/maxilla system. The proposed methodology allows finding the stress concentration at the best mini-screw position, and may help the specialist in the development the orthodontic treatment.

Keywords: Optimization. Mini-screw implants. Finite elements method. Genetic algorithms

5. REFERÊNCIAS

CORSO L.L.; MARCZAK R.J. Orientação ótima de um implante mandibular osseointegrado – um estudo na orientação de um implante para minimização de tensão no osso utilizando algoritmos genéticos. In **Mecânica Computacional**, volume XXV, pages 795–805, Santa Fe, Argentina, 2006.

AMAR H.H. et al. Three-dimensional modeling and finite element analysis in treatment planning for orthodontic tooth movement. **American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics** Vol 139(1) , Pages e59-e71, 2011

CATTANEO P.M. et al. Strains in periodontal ligament and alveolar bone associated with orthodontic tooth movement analyzed by finite element. **Orthod Craniofac Res.** 2009;12:120–128

POLLEI J.K. et al. Stress comparison between orthodontic mini002Dscrews using finite element analysis. Metro Toronto Convention Centre Exhibit Hall D-E. 2008

CRUZ M. Cruz et al. Three-dimensional finite element analysis of a cuneiform-geometry implant. **Int. Journal Oral Maxillofac.**, 18(5):675–684, 2003.

HOLLAND J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. University of Michigan Press, 1975.

UNEMI T. A design of genetic encoding for breeding short musical pieces. In **ALife VIII Workshop Proceedings**, pages 25–30, 2002.

GAO Y. al. Surrogate-based process optimization for reducing warpage in injection molding. **Journal of Materials Processing Technology**, 209(3):1302–1309, 2009.

GOLDBERG D.E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**. Addison-Wesley Publishing Co., 1989. Reading, Mass., USA.