

OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS EM ENGENHARIA

**Fundamentos e algoritmos
para o projeto ótimo**

Carlos Conceição António

AUTOR

Carlos Alberto da Conceição António

TÍTULO

Otimização de Sistemas em Engenharia – Fundamentos e algoritmos para o projeto ótimo

EDIÇÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.
Tel. 220 939 053 · E-mail: geral@quanticaeditora.pt · www.quanticaeditora.pt
Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO

CHANCELA

Engebook – Conteúdos de Engenharia

DISTRIBUIÇÃO

Booki – Conteúdos Especializados
Tel. 220 104 872 · Fax 220 104 871 · E-mail: info@booki.pt · www.booki.pt

REVISÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

DESIGN DE CAPA

Luciano Carvalho
Delineatura, Design de Comunicação · www.delineatura.pt

IMPRESSÃO

dezembro, 2020

DEPÓSITO LEGAL

472649/20



A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.

Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2020 | Todos os direitos reservados a Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.
A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita do Editor e do Autor, e ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Este livro encontra-se em conformidade com o novo Acordo Ortográfico de 1990, respeitando as suas indicações genéricas e assumindo algumas opções específicas.

CDU
51 Matemática
519.8 Teorias e métodos de investigação operacional matemática

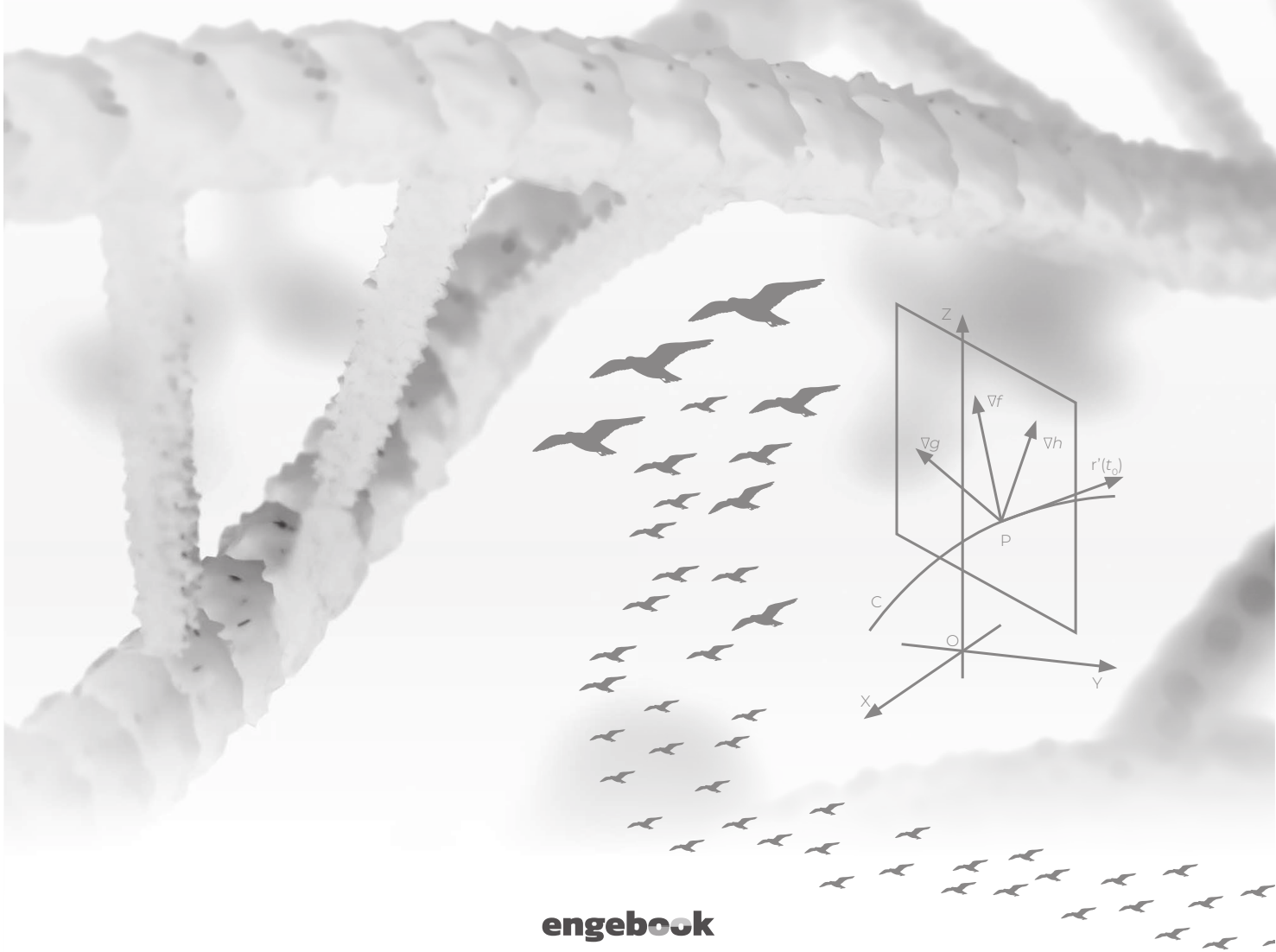
ISBN
Papel: 9789899017344
E-book: 9789899017351

Catálogo da publicação
Família: Bases de Engenharia
Subfamília: Matemática

OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS EM ENGENHARIA

Fundamentos e algoritmos
para o projeto ótimo

Carlos Conceição António



engebook



ÍNDICE

PREFÁCIO	XV
LISTA DE ABREVIATURAS	XIX
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO AO PROJETO ÓTIMO.....	25
1.1. Motivação e enquadramento.....	27
1.2. O ciclo de evolução do projeto.....	31
1.2.1. Conceito de projeto	31
1.2.2. Fases do projeto: como evoluem os conceitos e os detalhes.....	32
1.3. A otimização no ciclo de projeto	36
1.3.1. Otimalidade ou melhoria de projeto	38
1.3.2. Aplicações da otimização em engenharia	41
1.3.3. Classificação dos problemas de otimização.....	42
1.4. Métodos de otimização.....	45
1.4.1. Métodos de otimização clássicos.....	46
1.4.2. Métodos de otimização inspirados na natureza.....	47
REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	53
CAPÍTULO 2. CONCEITOS BÁSICOS DE OTIMIZAÇÃO.....	55
2.1. Aspectos gerais da definição do problema de projeto ótimo.....	57
2.2. Formulação do problema de otimização.....	60
2.3. Condições necessárias de primeira ordem.....	62
2.4. Condições de segunda ordem.....	64
2.4.1. Condições necessárias de segunda ordem.....	64
2.4.2. Condições suficientes para um mínimo relativo.....	66
2.5. Funções convexas, algoritmo e convergência.....	67
2.6. Condições de minimização em problemas com restrições	71

2.6.1.	Condições necessárias de primeira ordem em problemas com restrições.....	73
2.6.2.	Condições de segunda ordem em problemas com restrições.....	74
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	78

CAPÍTULO 3. ABORDAGEM DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO DO MODELO.....79

3.1.	Introdução.....	81
3.2.	Abordagem do problema de otimização.....	82
3.2.1.	Conceito dos três pilares no projeto ótimo.....	82
3.2.2.	Aspetos importantes na construção do modelo para projeto ótimo.....	88
3.3.	Integração prática da otimização no projeto.....	96
3.3.1.	Seleção do algoritmo de otimização.....	96
3.3.2.	Atributos de um bom algoritmo de otimização.....	97
3.3.3.	Passos genéricos do processo de otimização.....	99
3.4.	Modelos substitutos na construção do modelo de projeto ótimo.....	100
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	102

CAPÍTULO 4. PROJETO ÓTIMO: PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR.....103

4.1.	Introdução.....	105
4.2.	Programação não linear não restringida.....	105
4.2.1.	Algoritmos de pesquisa linear.....	108
4.2.2.	Métodos do gradiente.....	112
4.2.3.	Métodos do gradiente conjugado.....	113
4.2.4.	Métodos de Newton.....	119
4.2.5.	Métodos de quase-Newton.....	127
4.3.	Programação não linear restringida.....	131
4.3.1.	Métodos sequenciais não restringidos.....	132
4.3.2.	Método do Lagrangeano aumentado.....	138
4.4.	Aspetos a considerar na otimização com restrições.....	143
4.4.1.	Estado das restrições para uma solução corrente de projeto.....	144
4.4.2.	Normalização das restrições.....	146
4.4.3.	Estratégia de restrição potencial.....	147

4.5.	Outros métodos numéricos para problemas não lineares com restrições	148
4.5.1.	Linearização de problemas restringidos.....	149
4.5.2.	Algoritmo de programação linear sequencial.....	152
4.5.3.	Método das assíntotas móveis.....	156
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	164
CAPÍTULO 5. PROJETO ÓTIMO BASEADO EM CRITÉRIOS DE OTIMALIDADE.....		167
5.1.	Introdução.....	169
5.2.	Critérios de tensão.....	171
5.2.1.	Critério da tensão máxima (<i>fully stressed design</i>).....	171
5.2.2.	Critério de tensão combinado com normalização.....	175
5.3.	Critérios de deslocamento.....	177
5.3.1.	Critério para uma única restrição de deslocamento.....	177
5.3.2.	Critério para múltiplas restrições de deslocamento.....	181
5.3.3.	Fórmulas de recorrência para redefinição do projeto.....	182
5.3.4.	Variáveis passivas.....	183
5.4.	Procedimentos de projeto.....	184
5.4.1.	Critérios combinados de otimalidade e normalização.....	184
5.4.2.	Critérios de otimalidade matemáticos.....	186
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	188
CAPÍTULO 6. MÉTODOS DE PESQUISA EVOLUCIONÁRIA.....		191
6.1.	Introdução.....	193
6.2.	Algoritmos evolucionários: origens e inspiração.....	195
6.2.1.	A metáfora evolucionária.....	195
6.2.2.	A evolução darwiniana.....	196
6.2.3.	A interpretação segundo a genética.....	198
6.2.4.	A evolução darwiniana à luz da genética.....	201
6.2.5.	O contributo dos algoritmos evolucionários.....	202
6.3.	Topologia dos algoritmos evolucionários.....	203
6.4.	Componentes de um algoritmo evolucionário.....	207
6.4.1.	Representação.....	208
6.4.2.	Função de mérito ou de aptidão.....	210
6.4.3.	População.....	212

6.4.4.	Mecanismos de seleção de pais.....	213
6.4.5.	Mecanismos de recombinação	215
6.4.6.	Operador de mutação.....	217
6.4.7.	Mecanismos de seleção de sobreviventes	219
6.4.8.	Procedimentos de iniciação e paragem	220
6.5.	Características e aplicação.....	222
6.6.	Principais abordagens	227
6.6.1.	Algoritmo genético.....	228
6.6.2.	Estratégias de evolução.....	230
6.6.3.	Programação evolucionária.....	233
6.6.4.	Programação genética.....	234
6.6.5.	Evolução diferencial	234
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	238

CAPÍTULO 7. ALGORITMOS GENÉTICOS..... 241

7.1.	Introdução.....	243
7.1.1.	Contexto histórico.....	243
7.1.2.	O apelo da evolução.....	244
7.1.3.	Terminologia biológica.....	245
7.2.	O algoritmo e o sucesso do processo evolutivo associado.....	247
7.2.1.	A estrutura do algoritmo genético.....	247
7.2.2.	Teorema fundamental do algoritmo genético.....	250
7.2.3.	Hipótese dos blocos de construção.....	252
7.2.4.	Outras análises do sucesso dos AGs.....	255
7.3.	Representação do espaço de pesquisa	256
7.4.	Definição da função de mérito ou de aptidão nos AGs.....	262
7.5.	Métodos para a inclusão das restrições do problema.....	269
7.5.1.	Métodos baseados na preservação da admissibilidade das restrições	271
7.5.2.	Métodos baseados em funções de penalidade.....	272
7.5.3.	Métodos baseados na pesquisa de soluções admissíveis.....	273
7.5.4.	Métodos baseados em decodificadores.....	275
7.5.5.	Métodos híbridos.....	276
7.6.	Operadores genéticos de seleção	277
7.6.1.	Seleção proporcional.....	277

7.6.2.	Seleção baseada na ordenação.....	281
7.7.	Operador de cruzamento (<i>crossover</i>): recombinação genética.....	284
7.7.1.	Mecanismos de recombinação.....	286
7.7.2.	Análise taxonómica.....	288
7.7.3.	Múltiplos operadores de cruzamento.....	289
7.7.4.	Operadores de cruzamento para codificação binária.....	290
7.7.5.	Operadores de cruzamento para codificação real.....	295
7.8.	Operadores de mutação.....	299
7.8.1.	Mutação para representação binária.....	300
7.8.2.	Mutação para representação real.....	301
7.9.	Outros operadores genéticos.....	302
7.9.1.	Mecanismo de seleção de sobreviventes.....	302
7.9.2.	Substituição por similaridade fenotípica ou genética.....	305
7.10.	Aspetos da configuração dos AGs.....	306
7.10.1.	Dimensão da população.....	307
7.10.2.	Geração da população inicial.....	309
7.10.3.	Amplitude do cruzamento e da mutação.....	309
7.10.4.	Convergência e critérios de paragem.....	311
7.11.	Diversificação versus intensificação.....	316
7.11.1.	Diversidade das populações.....	316
7.11.2.	Estratégias elitistas.....	318
7.11.3.	Equilíbrio entre exploração livre abrangente e exploração regulada.....	319
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	322

CAPÍTULO 8. ALGORITMOS MEMÉTICOS: EVOLUÇÃO GENÉTICA E CULTURAL...331

8.1.	Introdução.....	333
8.2.	Teoria do gene egoísta e os algoritmos meméticos.....	335
8.3.	Processos de aprendizagem.....	338
8.4.	Aspetos essenciais dos algoritmos meméticos.....	340
8.4.1.	Algoritmo de pesquisa local.....	342
8.4.2.	Aprendizagem Lamarckiana e o efeito de Baldwin.....	344
8.4.3.	Preservação da diversidade das populações.....	345
8.4.4.	Escolha dos operadores.....	348
8.4.5.	Hibridização e uso do conhecimento.....	349

8.5.	Algoritmos meméticos adaptativos.....	352
8.5.1.	Hiper-heurísticas adaptativas.....	353
8.5.2.	Multimemes e coevolução	354
8.5.3.	Aprendizagem meta-Lamarckiana	357
8.6.	Algoritmo do gene egoísta	359
8.7.	Meta-aprendizagem.....	364
8.8.	Análise taxonômica geracional dos algoritmos meméticos.....	366
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	369
CAPÍTULO 9. OTIMIZAÇÃO BASEADA EM INTELIGÊNCIA DE ENXAME.....		373
9.1.	Introdução.....	375
9.2.	Aspetos principais da inteligência de enxame.....	378
9.3.	Otimização por enxame de partículas OEP (PSO).....	382
9.3.1.	Taxonomia do OEP (PSO).....	383
9.3.2.	Inspiração e metáfora do OEP (PSO).....	385
9.3.3.	Estratégia e procedimento do OEP (PSO)	387
9.3.4.	Algoritmo de otimização por enxame de partículas OEP (PSO).....	388
9.3.5.	Avanços do algoritmo OEP (PSO).....	393
9.3.6.	Hibridização do OEP (PSO) com os algoritmos evolucionários.....	398
9.3.7.	Algoritmo OEP (PSO) para problemas discretos.....	398
9.4.	Otimização por colônia de formigas OCF (ACO).....	400
9.4.1.	Algoritmo de otimização OCF (ACO).....	402
9.4.2.	Algoritmo OCF (ACO) para problemas de otimização contínuos...	407
9.4.3.	Colônias de abelhas.....	408
9.5.	Otimização por colônia artificial de abelhas CAA (ABC).....	415
9.5.1.	O algoritmo de otimização por colônia artificial de abelhas.....	416
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	421
CAPÍTULO 10. OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO.....		427
10.1.	Introdução.....	429
10.2.	Conceitos de otimização multiobjetivo.....	430
10.3.	Articulação da otimização multiobjetivo com o processo de decisão..	441
10.4.	Taxonomia baseada nas estratégias de definição do mérito	444
10.4.1.	Abordagens escalares.....	447
10.4.2.	Abordagens baseadas em critério.....	457

10.4.3.	Abordagens baseadas em dominância	461
10.4.4.	Abordagens baseadas em indicadores	474
10.5.	Otimização evolucionária multiobjetivo com restrições	478
10.5.1.	Metodologia baseada na omissão das soluções não admissíveis.....	481
10.5.2.	Abordagem pela função de penalidade	482
10.5.3.	Método de Jiménez, Verdegay, Gómez-Skarmeta	483
10.5.4.	Método do torneio restringido	485
10.6.	Construção da frente de Pareto: diversidade, elitismo e proximidade	487
10.6.1.	Diversidade	487
10.6.2.	Elitismo em otimização multiobjetivo	491
10.6.3.	Conceito de proximidade em multiobjetivo	494
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA	499

ÍNDICE DE FIGURAS	DVII
ÍNDICE DE TABELAS	DXI
ÍNDICE REMISSIVO	DXIII



À minha família.



PREFÁCIO

O desenvolvimento dos métodos numéricos no âmbito da engenharia e da ciência em geral, bem como o paralelo desenvolvimento dos meios computacionais, veio pôr à disposição de engenheiros e cientistas poderosas ferramentas para a análise e a resolução dos mais variados e complexos problemas nas respectivas áreas.

Uma vez munidos da capacidade de análise e resolução problemas complexos, o caminho natural do engenheiro e do cientista é tentar obter para estes problemas a melhor solução, a solução ótima. É assim que otimização tem sido objeto de uma intensa investigação teórica e aplicada ao longo das últimas décadas. Nesta altura a importância do tema “otimização” é largamente reconhecida, tendo, nos últimos anos, sido posta uma grande ênfase no ensino deste tema, nomeadamente ao nível de mestrado e doutoramento.

O autor desta obra sobre a “Otimização de Sistemas em Engenharia” possui no âmbito do tema “otimização” uma larga experiência como docente, como investigador e como autor. Sem pretender apresentar aqui uma análise extensa do curriculum vitae do autor, salientamos alguns números eloquentes:

- Revisor de cerca de 800 artigos em 60 revistas internacionais; revisor de 5 propostas de livros para publicação internacional; avaliador de 9 projetos de investigação de instituições internacionais; participação em 10 projetos nacionais e internacionais como investigador principal responsável e/ou investigador;

- Autor ou coautor de: 85 artigos em revistas internacionais, 6 capítulos em livros internacionais, 9 artigos em revista nacional, 190 artigos em atas de conferências internacionais, 28 artigos em atas de conferências nacionais; editor ou coeditor de 30 livros, capítulos de livros e atas de conferências internacionais.

Apresenta-se de seguida uma breve resenha dos conteúdos desta obra.

No Capítulo 1 é introduzido o conceito de “Projeto” e definidas as fases que o caracterizam. São apresentadas as diversas áreas de projeto às quais podem ser aplicados os conceitos de otimização, áreas estas que cobrem uma vasta gama de problemas que vão das estruturas à produção, da manutenção à logística etc.

Os conceitos básicos de otimização são apresentados no Capítulo 2, onde se definem os procedimentos a adotar para a formulação de um problema de projeto ótimo e que se traduzem, em geral, num problema de maximização ou de minimização sujeito a um conjunto de restrições.

O Capítulo 3 é apresentado com mais detalhe o problema da otimização, sendo introduzido o “Conceito dos Três Pilares” em que repousa a formulação de um projeto de otimização (modelo de análise; algoritmo de otimização; modelo de otimização). São ainda definidas as características desejáveis de um bom algoritmo de otimização.

No Capítulo 4 são tratados os problemas de otimização não-linear (não restringida e restringida), sendo apresentados diversos métodos de equacionamento e tratados os aspetos a ter em conta na consideração das restrições.

Os problemas de projeto ótimo baseados em critérios de otimalidade são tratados no Capítulo 5. Este capítulo faz uma referência especial a problemas estruturais com a consideração de critérios de tensão e de deslocamento.

O Capítulo 6 é dedicado aos algoritmos evolucionários. Estes algoritmos têm como fonte de inspiração o processo de evolução natural, apresentando este capítulo o paralelismo entre o cenário “evolução” e o cenário “otimização”. São apresentadas as componentes de um algoritmo evolucionário, considerando em particular a “função de mérito” como base da seleção.

O Capítulo 7 aborda os algoritmos genéticos e define a caracterização destes algoritmos. É apresentado o Teorema Fundamental dos Algoritmos Genéticos e referidas as suas limitações. São ainda apresentados diversos métodos para a inclusão das restrições bem como os operadores genéticos de seleção, cruzamento e mutação.

Os algoritmos meméticos, desenvolvidos no contexto dos algoritmos evolucionários, são apresentados no Capítulo 8. É introduzida a Teoria do Gene Egoísta bem como o conceito de “*meme*” como unidade de transmissão cultural que pode ser replicada de acordo com a percepção da sua utilidade ou popularidade. São ainda apresentadas as formas básicas dos processos de aprendizagem individual destes algoritmos.

O Capítulo 9 é dedicado aos métodos de otimização baseados na inteligência de enxame. Estes métodos são particularmente relevantes para problemas complexos tais como a gestão de tráfego e redes de comunicação, bem como para a organização de grupos orientados por objetivos. São apresentados e descritos os algoritmos pertinentes para esta área.

No Capítulo 10 é tratado o problema da otimização com multiobjectivos, situação esta que está presente na maioria dos problemas de engenharia. São definidos os conceitos relevantes neste contexto, nomeadamente a “dominância”, a “otimalidade de Pareto” e a “frente de Pareto”. São apresentadas diversas metodologias de abordagem a estes conceitos.

Ao longo destes dez capítulos o autor apresenta de forma clara, profunda e rigorosa os métodos de otimização clássicos e bioinspirados, não só nos seus enquadramentos e nas suas formulações teóricas, mas considerando também os respetivos algoritmos

de resolução. Considera-se constituir esta obra um importante contributo para a disseminação do conhecimento nesta área e uma referência fundamental para investigadores, cientistas e engenheiros.

Rogério A. F. Martins

Professor catedrático aposentado da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LISTA DE ABREVIATURAS

AA - Algoritmo de Abelhas / **BA** - *Bees Algorithm*

ADC - Algoritmo das Direções Conjugadas

ADE - Algoritmo de Distribuição Estimada / **EDA** - *Estimation of Distribution Algorithm*

ADN - Ácido Desoxirribonucleico / **DNA** - *Deoxyribonucleic Acid*

AE - Algoritmo Evolucionário / **EA** - *Evolutionary Algorithm*

AEBI - Algoritmo Evolucionário Baseado em Indicadores / **IBEA** - *Indicator-based evolutionary algorithm*

AEMO - Algoritmo Evolucionário Multiobjetivo / **MOEA** - *Multiobjective Evolutionary Algorithm*

AEMO-BI - Algoritmo Evolucionário Multiobjetivo Baseado em Indicadores / **IB-MOEA** - *Indicator-based MOEA*

AEONR - Algoritmo Evolucionário de Ordenação Não-dominada com Faixas Radiais / **ENORA** - *Evolutionary Algorithm of Nondominated Sorting with Radial Slots*

AERP2 - Algoritmo Evolucionário Robusto de Pareto 2 / **SPEA2** - *Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2*

AEU - Amostragem Estocástica Universal / **SUS** - *Stochastic Universal Sampling*

AG - Algoritmo Genético / **GA** - *Genetic Algorithm*

AGAV - Algoritmo Genético Avaliado por Vetores / **VEGA** - *Vector Evaluated Genetic Algorithm*

AGC - Algoritmo do Gradiente Conjugado / **CGA** - *Conjugate Gradient Method*

AGE - Algoritmo do Gene Egoísta / **SGA** - *Selfish Gene Algorithm*

AGMO - Algoritmo Genético de Multiobjetivo / **MOGA** - *Multiobjective Genetic Algorithm*

AGON-II - Algoritmo Genético de Ordenação Não-dominada II / **NSGA-II** - *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II*

AGS - Algoritmo Genético Simples / **SGA** - *Simple Genetic Algorithm*

AM - Algoritmo Memético / **MA** - *Memetic Algorithm*

AMC-EE - Estratégia de Evolução com Adaptação pela Matriz de Covariância / **CMA-ES** - *Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy*

AMD - Algoritmo Memético de Difusão / **DMA** - *Diffusion Memetic Algorithm*

ARN - Ácido ribonucleico / **RNA** - *Ribonucleic Acid*

AS - Análise de Sensibilidades / **SA** - *Sensitivity Analysis*

BFGS - Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (método)

BT - Busca Tabu / **TS** - *Tabu Search*

CAA - Colônia Artificial de Abelhas / **ABC** - *Artificial Bee Colony*

CAD - Desenho Assistido por Computador / **CAD** - *Computer-Aided Design*

CAM - Fabrico Assistido por Computador / **CAM** - *Computer-Aided Manufacturing*

CO - Critérios de Otimalidade / **OC** - *Optimality Criteria*

CTM - Critério da Tensão Máxima / **FSD** - *Fully Stressed Design*

DAI - Desencadeamento Aleatório de Imigrantes / **TRI** - *Triggered Random Immigrants*

DFP - Davidon-Fletcher-Powell (método)

ED - Evolução Diferencial / **DE** - *Differential Evolution*

EEAP - Estratégia de Evolução com Arquivo de Pareto / **PAES** - *Pareto Archived Evolution Strategy*

EE - Estratégia de Evolução / **ES** - *Evolution Strategy*

FER - Função Escalar de Realização / **ASF** - *Achievement Scalarizing Function*

HBC - Hipótese do Bloco de Construção / **BBH** - *Building-Block Hypothesis*

IA - Inteligência Artificial / **AI** - *Artificial Intelligence*

IAG - Teorema da “Inexistência de Almoços Grátis” / **NFL** - *“No Free Lunch” Theorem*

IE - Inteligência de Enxame / **SI** - *Swarm Intelligence*

KKT - Karush-Kuhn-Tucker (condições de otimalidade/*optimality conditions*)

MAM - Método das Assíntotas Móveis / **MMA** - *Method of Moving Asymptotes*

MDA - Mapeamento Dual Adaptativo / **ADM** - *Adaptive Dual Mapping*

MEF - Método dos Elementos Finitos / **FEM** - *Finite Element Method*

MGD - Mecanismo de Geração da Descendência / **OGM** - *Offspring Generation Mechanism*

MPKKT - Medida de Proximidade de Karush-Kuhn-Tucker / **KKTPM** - *Karush-Kuhn-Tucker Proximity Measure*

MPU - Método do Planeamento Uniforme / **UDM** - *Uniform Design Method*

MSD - Mecanismo de Seleção da Descendência / **OSM** - *Offspring Selection Mechanism*

MSPA - Mecanismo de Seleção dos Pares para Acasalamento / **MSM** - *Mating Selection Mechanism*

OCA - Otimização por Colónia de Abelhas / **BCO** - *Bee Colony Optimization*

OCBA - Operador de Cruzamento Baseado na Agregação / **ABCO** - *Aggregation Based Crossover Operator*

OCBCV - Operador de Cruzamento Baseado no Conceito de Vizinhança / **NBCO** - *Neighbourhood-Based Crossover Operator*

OCD - Operador de Cruzamento Discreto / **DCO** - *Discrete Crossover Operator*

OCF - Otimização por Colónia de Formigas / **ACO** - *Ant Colony Optimization*

OCFC - Otimização por Colônia de Formigas para domínios Contínuos / **ACOR** - *Continuous Ant Colony Optimization*

OEP - Otimização por Enxame de Partículas / **PSO** - *Particle Swarm Optimization*

OME - Otimização Multiobjetivo Evolucionária / **EMO** - *Evolutionary Multiobjective Optimization*

PE - Programação Evolucionária / **EP** - *Evolutionary Programming*

PG - Programação Genética / **GP** - *Genetic Programming*

PLS - Programação Linear Sequencial / **SLP** - *Sequential Linear Programming*

PM - Programação Matemática / **MP** - *Mathematical Programming*

PNL - Programação Não Linear / **NLP** - *Nonlinear programming*

POM - Problema de Otimização Multiobjetivo / **MOP** - *Multiobjective Optimization Problem*

POMR - Problema de Otimização Multiobjetivo com Restrições / **CMOP** - *Constraint Multiobjective Optimization Problem*

PV - População Virtual / **VP** - *Virtual Population*

RDP - Reparação de Descida de Pareto (operador) / **PDR** - *Pareto Descent Repair (operator)*

RNA - Rede Neuronal Artificial / **ANN** - *Artificial Neural Network*

SCF - Sistema de Colônia de Formigas / **ACS** - *Ant Colony System*

SE-AEMO - Seleção Estocástica AEMO / **IS-MOEA** - *Infeasible elitists and Stochastic ranking selection-MOEA*

SIA - Sistema Imunológico Artificial / **AIS** - *Artificial Immune System*

SR - Simulação de Recozido / **SAn** - *Simulated Annealing*

TMSSR - Técnica de Minimização Sequencial Sem Restrições / **SUMT** - *Sequential Unconstrained Minimization Technique*

UCP - Unidade Central de Processamento / **CPU** - *Central Process Unit*

UPG - Unidade de Processamento Gráfico / **GPU** - *Graphics Processing Unit*

