

Romes Antonio Borges
Thiago Alves de Queiroz
(organizadores)

Matemática aplicada à indústria
problemas e métodos de solução

Blucher

Matemática aplicada à indústria: problemas e métodos de solução

© 2016 Romes Antonio Borges, Thiago Alves de Queiroz

Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.

do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,

Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Matemática aplicada à indústria : problemas e métodos de solução [livro eletrônico] / Romes Antonio Borges, Thiago Alves de Queiroz (orgs.). – São Paulo : Blucher, 2016.

250 p. : il.

Bibliografia

ISBN 978-85-803-9193-0 (e-book)

ISBN 978-85-803-9192-3 (impresso)

1. Matemática – Indústria 2. Matemática aplicada 3. Matemática na engenharia 4. Mecatrônica 5. Otimização matemática 6. Dinâmica I. Borges, Romes Antonio II. Queiroz, Thiago Alves de

16-0931

CDD 510

Índice para catálogo sistemático:

1. Matemática aplicada : Indústria : Engenharia

Dedicatória

Às nossas famílias, Kely, Vinícius e Thiago, esposa e filhos do autor Romes Antonio Borges, e Layane Queiroz, esposa do autor Thiago Alves de Queiroz, que proporcionam um ambiente ótimo para o nosso trabalho!

Agradecimentos

À Comissão Organizadora (local, nacional e comitê científico) do CNMAI 2014 – I Congresso Nacional de Matemática Aplicada à Indústria, que ocorreu em Caldas Novas, Goiás, no período de 18 a 21 de novembro de 2014. A todos que empenharam parte do seu tempo para dar início a uma nova etapa de conquistas para a pesquisa brasileira.

Somos gratos, em especial, a todos os revisores *ad hoc* que dedicaram parte do seu precioso tempo emitindo pareceres conclusivos para os trabalhos do CNMAI 2014, em particular, para aqueles que compõem esta obra.

Agradecemos às agências de fomento que apoiaram financeiramente a realização do CNMAI 2014 e, por conseguinte, permitiram a publicação desta obra, quais sejam: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Matemática (INCTMat).

Agradecimentos estes, estendidos para o Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Otimização (PPGMO), ao Instituto de Matemática e Tecnologia (IMTec), à Regional Catalão (RC) e à Universidade Federal de Goiás (UFG), a todo o apoio e suporte técnico e pessoal que deram durante a realização do CNMAI 2014.

Por fim, nossas famílias foram a base para a realização desta obra.

Sobre os organizadores

Romes Antonio Borges possui graduação (1997) e especialização (2000) em Matemática pela Universidade Federal de Goiás (UFG), mestrado (2003) e doutorado (2008) em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia. É professor adjunto III no Instituto de Matemática e Tecnologia da UFG, exerce atualmente a função de coordenador do curso de Matemática Industrial. Possui experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em dinâmica dos sólidos e vibrações, atuando principalmente nos seguintes temas: atenuação de vibrações, dinâmica não linear, técnicas inteligentes de otimização, otimização robusta.

Thiago Alves de Queiroz possui graduação (2007) em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Goiás (UFG), com um período de estágio no Centro Internacional de Investigación de Métodos Computacionales (CI-MEC/CONICET) em Santa Fé, Argentina (2007), mestrado (2008) em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e doutorado (2010) em Ciência da Computação pelo Instituto de Computação da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente, é professor adjunto no Instituto de Matemática e Tecnologia da UFG, Regional Catalão. Suas pesquisas estão concentradas no desenvolvimento e na análise de algoritmos para problemas de otimização combinatória, principalmente aqueles voltados para aplicações de interesse real. Entre os quais destacam-se, principalmente, os problemas de empacotamento e corte sujeitos às restrições práticas; problemas de roteamento; e, problemas que integram decisões de localizar, rotar e/ou empacotar. Alguns de seus resultados publicados responderam a questões em aberto, levantadas pela literatura especializada, além de terem sido premiados em conferências nacionais e internacionais.

Apresentação

O crescente aumento dos cursos de Engenharia e demais ciências exatas aplicadas trazem grande contribuição ao meio industrial do país. Dentre esses cursos, citam-se os vários cursos de Matemática Industrial, Empresarial e Aplicada.

Esta obra surge com o objetivo de levar ao leitor uma coletânea de artigos publicados no I Congresso Nacional de Matemática Aplicada à Indústria (CNMAI 2014). Os artigos selecionados para esta publicação vêm de uma seleção de pesquisas nas diversas áreas abordadas no evento, incluindo tópicos da dinâmica, fenômenos não lineares, mecatrônica, métodos numéricos, otimização linear e não linear, modelagem matemática e pesquisa operacional.

Por esse motivo, a finalidade desta obra é também proporcionar uma maior integração entre pesquisadores que, assim, possam encontrar formas de aumentar a cooperação entre universidades e o setor produtivo industrial.

Sumário

CAPÍTULO 1 – ESTUDOS DE SINGULARIDADES NO FLUXO DE CARGA CONTINUADO	17
RESUMO	18
1 INTRODUÇÃO	19
2 MATRIZ JACOBIANA DO FLUXO DE CARGA CONTINUADO	21
3 ANÁLISE DA MATRIZ JACOBIANA MODIFICADA DO FLUXO DE CARGA CONTINUADO	23
4 RESULTADOS	28
4.1 Resultados para o Sistema IEEE-14 barras (sub2).....	29
4.2 Resultados para o Sistema IEEE-300 barras	38
5 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO 2 – SIMULAÇÃO NUMÉRICO-COMPUTACIONAL DE PLACAS FINAS EM GRANDES DESLOCAMENTOS	43
RESUMO	44
1 INTRODUÇÃO	44
2 MODELAGEM DE PLACAS FINAS EM GRANDES DESLOCAMENTOS	46
2.1 Resolução da equação do movimento pelo método de Newmark.....	50
2.2 Desenvolvimento da matriz tangente.....	51

3	SIMULAÇÕES NUMÉRICAS.....	53
4	CONCLUSÕES.....	59
	AGRADECIMENTOS.....	60
	REFERÊNCIAS.....	60
CAPÍTULO 3 – MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA PARA O PROBLEMA DE CARREGAMENTO DE MÚLTIPLOS CONTÊINERES COM RESTRIÇÕES DE CARREGAMENTO COMPLETO DE GRUPO DE ITENS E DE ESTABILIDADE VERTICAL...		61
	RESUMO.....	62
1	INTRODUÇÃO.....	62
2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO.....	65
2.1	Descrição do problema.....	65
2.2	Restrições práticas em problemas de carregamento de contêineres.....	68
2.3	Modelo matemático e restrição de estabilidade vertical.....	70
2.4	Restrição de carregamento completo de grupo de itens.....	73
3	EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS.....	74
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
	REFERÊNCIAS.....	85
CAPÍTULO 4 – UTILIZAÇÃO DE UMA MALHA ESTRUTURADA NA ANÁLISE DO AEROFÓLIO S809		87
	RESUMO.....	88
1	INTRODUÇÃO.....	89
2	MÉTODO COMPUTACIONAL E MODELOS DE TURBULÊNCIA.....	93
2.1	Geometria utilizada.....	98
2.2	Equações governantes e discretização.....	99
2.3	Condições de contorno.....	100

2.4 Geração de malha	100
3 RESULTADOS E CONCLUSÕES	103
AGRADECIMENTOS	109
REFERÊNCIAS	109
CAPÍTULO 5 – O BRKGA APLICADO EM PROBLEMAS DE CORTE DE ITENS IRREGULARES EM UM ÚNICO RECIPIENTE	111
RESUMO	112
1 INTRODUÇÃO	112
2 CONCEITOS GEOMÉTRICOS	116
3 MÉTODO DE RESOLUÇÃO	118
3.1 Decodificador para o NestBRKGA	121
4 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS	123
4.1 Resultados para o 2PCF	123
4.2 Resultados para o 2PCP	128
4.3 Resultados comparado com o RKGA	130
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	132
AGRADECIMENTOS	133
REFERÊNCIAS	133
CAPÍTULO 6 – OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO E MULTIRRESTRICÇÃO DA COBERTURA DE REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA	137
RESUMO	138
1 INTRODUÇÃO	138
2 MODELO DE REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA	139
2.1 Representação RFU	139
2.2 Cenário de avaliação do modelo RFU	140
2.3 Otimização multiobjetivo e multirrestricção	142

3 ESTUDO DE CASO	148
3.1 Otimização de custos e cobertura como objetivos, proteção e exposição como restrições	150
3.2 Comparações entre as abordagens	152
4 CONCLUSÃO	156
REFERÊNCIAS	157

CAPÍTULO 7 – INVESTIGAÇÃO NUMÉRICA-EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE PRÉ-CARGAS ESTÁTICAS COMBINADAS A CARREGAMENTOS CÍCLICOS SOBRE O FENÔMENO DO AUTOAQUECIMENTO DE MATERIAIS VISCOELÁSTICOS

RESUMO	160
1 INTRODUÇÃO	161
2 REPRESENTAÇÃO DA FUNÇÃO MÓDULO COMPLEXO PARA OS MÓDULOS ESTÁTICO E DINÂMICO COMBINADOS	162
3 AUTOAQUECIMENTO DE MATERIAIS VISCOELÁSTICOS SUJEITOS A CARGAS CÍCLICAS E PRÉ-CARGAS ESTÁTICAS	164
4 INCORPORAÇÃO DO COMPORTAMENTO VISCOELÁSTICO NO MODELO DE ELEMENTOS FINITOS E RESOLUÇÃO ITERATIVA SEQUENCIAL	167
5 SIMULAÇÕES NUMÉRICAS	169
6 ESTUDO EXPERIMENTAL	175
7 CONCLUSÕES	179
AGRADECIMENTOS	180
REFERÊNCIAS	181

CAPÍTULO 8 – MODELAGEM CINEMÁTICA, SIMULAÇÃO DE MOVIMENTO, CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE PRÓTESE DE MÃO PARA TAREFAS DE MANIPULAÇÃO

RESUMO	183
1 INTRODUÇÃO	184

2	FORMULAÇÃO DO MODELO.....	188
2.1	Convenção de Denavit-Hartenberg.....	189
2.2	Cinemática direta.....	192
3	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	196
4	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	199
5	SISTEMA DE CONTROLE.....	202
6	CONCLUSÕES.....	205
	AGRADECIMENTOS.....	206
	REFERÊNCIAS.....	206
	CAPÍTULO 9 – TURBINA EÓLICA DE EFEITO MAGNUS: MODELAGEM, PROTÓTIPOS E MPPT.....	209
	RESUMO.....	210
	INTRODUÇÃO.....	210
2	TURBINA EÓLICA DE EFEITO MAGNUS.....	213
2.1	A potência da turbina eólica Magnus.....	213
2.2	O MPPT da turbina eólica Magnus.....	214
3	AEROGERADOR MAGNUS PROPOSTO.....	215
3.1	Protótipos de turbinas Magnus.....	215
3.2	Sistema de MPPT do aerogerador Magnus proposto.....	217
3.3	Algoritmo <i>MPPT - HCC</i>	218
3.4	Sistema de acionamento e controle da turbina Magnus proposto.....	221
4	MODELO DINÂMICO DAS TURBINAS EÓLICAS CONVENCIONAIS.....	222
4.1	Potências calculadas das turbinas Magnus e convencional.....	223
	CONCLUSÕES.....	226
	AGRADECIMENTOS.....	227
	REFERÊNCIAS.....	227

CAPÍTULO 10 – ANÁLISE DE UM MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES COM APLICAÇÃO DE UMA ABORDAGEM ROBUSTA	229
RESUMO	229
10.1 INTRODUÇÃO	230
10.2 MODELO DA LITERATURA.....	232
10.3 OTIMIZAÇÃO ROBUSTA SOBRE O MODELO UBUL-M	234
10.4 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS.....	237
10.4.1 Resultados para o modelo UBUL-M	237
10.4.2 Estudo de caso para o modelo UBUL-R.....	242
10.5 CONCLUSÕES	248
AGRADECIMENTOS	249
REFERÊNCIAS.....	249