FILIPE AZEVEDO

engebook

AUTOR
Filipe Azevedo

TÍTULO
MATLAB: DO FUNDAMENTAL À INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

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 · E-mail: info@booki.pt · www.booki.pt

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

IMPRESSÃO
Julho, 2025

DEPÓSITO LEGAL
550494/25

A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.
Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2025 | 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
004.4 Software. Equipamento, programas
004.8 Inteligência artificial
519.6 Matemática computacional. Análise numérica e programação matemática. Matemática para engenharia
004.45 Software de sistemas
62 Engenharia. Tecnologia em geral

ISBN
Papel: 9789899177857
E-book: 9789899177864

Catalogação da publicação
Família: Engenharia
Subfamília: Linguagens de Programação

Conteúdo

1 Introdução **1**

1.1 Janelas do MATLAB 1
1.2 Variáveis 2
1.3 Operações aritméticas simples em MATLAB 3
1.4 Arredondamentos 5
1.5 Operadores lógicos 5
1.6 Operadores relacionais 6
1.7 Funções trigonométricas 6

2 Controlo de Fluxo **9**

2.1 Introdução 9
2.2 Instrução seletiva *IF* 10
2.2.1 Seleção alternativa *IF...ELSE* 10
2.2.2 Seleção alternativa imbricada *IF...ELSEIF...ELSE* . . . 11
2.3 Instrução repetitiva *FOR* 11
2.4 Instrução repetitiva *WHILE* 12
2.5 Seleção de casos *SWITCH* 12
2.6 Instrução *TRY-CATCH* 13
2.7 Exercícios 14

3 Matrizes e Estruturas **19**

3.1 Introdução 19
3.2 Tipos de dados 19
3.3 Criação de matrizes multidimensionais 22
3.4 Tamanho e dimensão de matrizes 23
3.5 Pré-alocação de matrizes 24
3.6 Concatenação de matrizes 25

3.7 Acesso aos dados 26
3.8 Modificar a forma de uma matriz 27
3.9 Indexação de matrizes multidimensionais 28
3.10 Manipulação de matrizes de números reais ou complexos 29
3.11 Exercícios 32

4 Gráficos **35**
4.1 Introdução 35
4.2 Componentes de um gráfico 35
4.3 Gráficos 2-D 36
4.3.1 Gravar gráficos 39
4.4 Gráficos 3-D 41
4.4.1 Gráficos linha 3-D 41
4.5 Gráficos de superfície 42
4.6 Função `subplot` 49
4.7 Exercícios 50

5 Ficheiros-M **53**
5.1 *Scripts* 53
5.1.1 Exemplo simples de um *script* 54
5.1.2 Execução de *scripts* 55
5.2 Funções 55
5.2.1 Exemplo simples de uma Função 57
5.2.2 Execução de Funções 58
5.3 Exercícios 58

6 Optimização **61**
6.1 Introdução 61
6.2 Formulação e Processo de Otimização 62
6.2.1 Formulação Geral 62
6.2.2 Etapas do Processo de Otimização 62
6.3 Classificação dos Problemas de Otimização 63
6.3.1 Programação Linear (PL) 63
6.3.2 Programação Quadrática (PQ) 63
6.3.3 Otimização Não Linear (NLO) 63
6.3.4 Otimização Inteira e Inteira-Mista 63
6.3.5 Otimização Global 64
6.4 Ferramentas de Otimização em MATLAB 64

6.4.1 Funções Nativas 64
6.4.2 Optimization Toolbox 64
6.4.3 Global Optimization Toolbox 64
6.4.4 Interface Gráfica 65
6.5 Exemplos Práticos em MATLAB 65
6.5.1 Programação Linear 65
6.5.2 Otimização Não Linear 65
6.5.3 Otimização Global com GA 65
6.5.4 Otimização Global com PSO 66
6.6 Exemplo Prático Completo 66
6.6.1 Formulação 66
6.6.2 Resolução com `intlinprog` 66
6.6.3 Resolução com GA 67
6.6.4 Resolução com PSO 67
6.7 Otimização Multiobjetivo e Avançada 68
6.7.1 Otimização Multiobjetivo 68
6.7.2 Otimização Sob Incerteza 68
6.7.3 Metodologias Híbridas e Paralelização 68
6.8 Exercícios Propostos 68

7 Redes Neuronais **71**
7.1 Redes Neuronais em MATLAB 71
7.2 Introdução Teórica 71
7.2.1 Motivação e História 71
7.2.2 O Neurónio Artificial 72
7.2.3 Arquiteturas de Rede 72
7.3 Preparação e Pré-processamento dos Dados 72
7.4 Tipos de Redes Neuronais no MATLAB 73
7.4.1 Tabela Comparativa 74
7.5 Funcionamento Matemático e Algoritmos de Treino 74
7.5.1 Função de Custo 74
7.5.2 Backpropagation 74
7.5.3 Condições de Otimalidade 74
7.6 Exemplo Prático: Classificação com Rede Feedforward 75
7.6.1 Passos Gerais 75
7.6.2 Código MATLAB 75
7.7 Treino, Validação e Regularização 75

7.7.1 Evitar Overfitting 75
7.7.2 Validação Cruzada 76
7.8 Redes Recorrentes e Séries Temporais 76
7.8.1 Exemplo NARX 76
7.9 Visualização e Interpretação dos Resultados 76
7.10 Perguntas Frequentes e Dicas 76
7.11 Exemplos Avançados e Casos de Estudo 77
7.11.1 Transferência de Aprendizagem com CNN 77
7.11.2 Clustering com Kohonen 77
7.12 Conclusão 77
7.13 Exercícios Propostos 77

8 *Deep Learning*: Técnicas e Aplicações Avançadas 79
8.1 Introdução ao Deep Learning Avançado em MATLAB 79
8.2 Evolução e Estado da Arte do Deep Learning 79
8.2.1 Do Perceptron às Redes Profundas 79
8.2.2 Tendências Atuais 80
8.3 Arquiteturas Profundas e Modernas 80
8.3.1 Redes Convolucionais Avançadas (CNNs) 80
8.3.2 Redes Recorrentes, LSTM e Transformers 80
8.3.3 Redes Generativas Adversariais (GANs) 81
8.3.4 Redes Siamesas e Triplet Networks 81
8.4 Técnicas Avançadas de Treino e Regularização 81
8.4.1 Data Augmentation Avançado 81
8.4.2 Regularização e Otimização 81
8.4.3 Otimização de Hiperparâmetros 81
8.4.4 Treino Distribuído e Multi-GPU 81
8.5 Transferência de Aprendizagem e Fine-Tuning 82
8.5.1 Transfer Learning 82
8.5.2 Fine-Tuning e Congelamento de Camadas 82
8.6 Deployment, Otimização e Edge AI 82
8.6.1 Otimização de Modelos para Produção 82
8.6.2 Deployment 83
8.7 Explicabilidade, Ética e Segurança em Deep Learning 83
8.7.1 Explicabilidade de Modelos 83
8.7.2 Ética e Viés 83
8.7.3 Segurança e Robustez 83

8.8 Integração com Outras Linguagens e Frameworks 84
8.8.1 Python, TensorFlow, PyTorch, ONNX 84
8.8.2 Pipelines MLOps 84
8.9 Desafios Atuais e Futuro do Deep Learning 84
8.10 Casos de Estudo Avançados 84
8.10.1 Deteção de Anomalias em Sinais Industriais com Auto-encoders 84
8.10.2 Geração de Imagens Médicas Sintéticas com GANs . . . 85
8.10.3 Previsão de Séries Temporais Energéticas com LSTM e Transformers 85
8.11 Exercícios Propostos 85

9 *Reinforcement Learning*: Conceitos, Métodos e Aplicações 87
9.1 Introdução 87
9.2 Conceitos Fundamentais 87
9.3 Modelos e Formalismos 88
9.3.1 Processos de Decisão de Markov (MDP) 88
9.3.2 Problemas Episódicos e Contínuos 89
9.4 Algoritmos Clássicos de RL 89
9.4.1 Métodos Baseados em Tabela 89
9.4.2 Exploração vs. Exploração 89
9.4.3 Métodos de Gradiente de Política 89
9.5 Deep Reinforcement Learning 89
9.5.1 Motivação 89
9.5.2 Principais Algoritmos 90
9.5.3 Exemplo de DQN 90
9.6 Fluxo de Trabalho Profissional com MATLAB 90
9.6.1 Passos Gerais 90
9.6.2 Ambientes em MATLAB e Simulink 90
9.6.3 Exemplo de Ambiente Customizado 91
9.6.4 Criação e Treino de um Agente DQN 91
9.7 Aplicações Avançadas 92
9.7.1 Robótica e Controlo Ótimo 92
9.7.2 Processos Industriais e Energia 92
9.7.3 Finanças e Trading 92
9.7.4 Telecomunicações e Redes 92
9.7.5 Jogos e Simulação 92

9.8 Paralelização, Deployment e Integração 92
9.8.1 Paralelização do Treino 92
9.8.2 Deployment 92
9.8.3 Importação/Exportação de Políticas 93
9.9 Desafios Atuais e Tendências Futuras 93
9.10 Dicas Práticas e Boas Práticas 93
9.11 Exercícios Propostos 93

10 Matemática Simbólica **95**
10.1 Introdução à Matemática Simbólica em MATLAB 95
10.1.1 Evolução do Cálculo Simbólico no MATLAB 95
10.1.2 Vantagens do Cálculo Simbólico vs. Numérico 96
10.1.3 Aplicações e Áreas de Utilização 97
10.2 Fundamentos do Symbolic Math Toolbox 97
10.2.1 Tipos de Dados Simbólicos 97
10.2.2 Criação de Variáveis e Expressões Simbólicas 97
10.2.3 Operações Básicas com Expressões Simbólicas 98
10.2.4 Substituição e Avaliação 99
10.2.5 Conversão entre Formatos Simbólicos e Numéricos . . . 99
10.3 Álgebra Simbólica Avançada 100
10.3.1 Manipulação Algébrica de Expressões 100
10.3.2 Simplificação de Expressões 101
10.3.3 Manipulação de Frações Racionais 101
10.3.4 Polinómios Simbólicos 102
10.3.5 Expressões Trigonométricas 102
10.4 Cálculo Diferencial Simbólico 103
10.4.1 Derivadas Simples e Parciais 103
10.4.2 Diferenciação Implícita 103
10.4.3 Gradientes, Divergência e Rotacional 104
10.4.4 Regra da Cadeia e Aplicações 104
10.4.5 Jacobiano e Matriz Hessiana 105
10.5 Cálculo Integral Simbólico 105
10.5.1 Integração Indefinida 105
10.5.2 Técnicas Avançadas de Integração 106
10.5.3 Integrais Definidas 106
10.5.4 Integrais Impróprias 107
10.5.5 Integrais Múltiplas 107

10.5.6 Aplicações em Física e Engenharia 107
10.6 Limites, Séries e Aproximações 108
10.6.1 Cálculo de Limites 108
10.6.2 Séries de Taylor e Maclaurin 109
10.6.3 Séries de Fourier 109
10.6.4 Resíduos e Integrais de Contorno 110
10.7 Equações e Sistemas 110
10.7.1 Resolução de Equações Algébricas 110
10.7.2 Sistemas de Equações Lineares 111
10.7.3 Sistemas Não-Lineares 111
10.7.4 Equações Diferenciais Ordinárias (EDOs) 112
10.7.5 EDOs com Condições Iniciais 112
10.7.6 Sistemas de EDOs 113
10.8 Álgebra Linear Simbólica 114
10.8.1 Matrizes e Vetores Simbólicos 114
10.8.2 Operações Matriciais Simbólicas 114
10.8.3 Determinantes e Inversas 115
10.8.4 Valores e Vetores Próprios 115
10.8.5 Decomposições Matriciais (SVD, QR, LU) 116
10.8.6 Espaços Nulos e Imagens 116
10.9 Transformadas 116
10.9.1 Transformada de Laplace 116
10.9.2 Transformada Inversa de Laplace 117
10.9.3 Aplicações em EDOs 117
10.9.4 Transformada de Fourier 118
10.9.5 Transformada Z 118
10.10 Aplicações em Física e Engenharia 119
10.10.1 Mecânica 119
10.10.2 Eletromagnetismo 119
10.10.3 Termodinâmica 120
10.10.4 Controlo 120
10.11 Aplicações em Matemática Financeira 120
10.11.1 Fórmulas de Juros Compostos 120
10.11.2 Avaliação de Opções 121
10.11.3 Séries de Fluxos de Caixa 121
10.12 Visualização de Expressões Simbólicas 122
10.12.1 Plotagem de Funções Simbólicas 122

10.12.2 Gráficos de Superfície e Contorno 122
10.12.3 Representação Implícita de Curvas e Superfícies 123
10.12.4 Geração de Figuras Paramétricas 123
10.13 Técnicas Avançadas e Otimização 124
10.13.1 Aritmética de Precisão Variável 124
10.13.2 Otimização Simbólica 125
10.13.3 Integração com Métodos Numéricos 125
10.13.4 Uso de Pressupostos e Condições 126
10.14 Exportação e Integração 126
10.14.1 Geração de Código MATLAB 126
10.14.2 Exportação para LaTeX 127
10.14.3 Exportação para C/C++ 127
10.14.4 Integração com Simulink 128
10.15 Casos de Estudo Completos 128
10.15.1 Robótica: Cinemática Direta e Inversa 128
10.15.2 Projeto de Filtros Digitais 128
10.15.3 Teoria de Controlo: Sistema de Pêndulo Invertido . . . 129
10.15.4 Problemas Clássicos de Cálculo Variacional 130
10.16 Dicas, Truques e Boas Práticas 130
10.16.1 Otimização de Desempenho 130
10.16.2 Debugging de Expressões Simbólicas 131
10.16.3 Simplificação Eficaz 131
10.16.4 Trabalho com Expressões Complexas 132
10.17 Exercícios Propostos 132
10.18 Apêndice: Funções de Matemática Simbólica 134
10.18.1 Tabela Resumo de Funções Importantes 134
10.18.2 Exemplos de Código One-Liners 134

11 Processamento de Sinal **137**
11.1 Introdução ao Processamento de Sinal em MATLAB 137
11.2 Fundamentos de Sinais e Sistemas 137
11.2.1 Definição de Sinal e Sistema 137
11.2.2 Classificação de Sinais 138
11.2.3 Amostragem e Quantização 138
11.3 Representação e Visualização de Sinais no MATLAB 139
11.3.1 Criação e Importação de Sinais 139
11.3.2 Visualização Temporal e Espectral 139

11.4 Transformadas no Processamento de Sinal 139
11.4.1 Transformada de Fourier 139
11.4.2 Transformada de Fourier de Tempo Curto (STFT) . . . 140
11.4.3 Transformada Wavelet 140
11.5 Filtragem de Sinais 140
11.5.1 Teoria de Filtragem 140
11.5.2 Filtros FIR e IIR 141
11.5.3 Projeto e Análise de Filtros 141
11.5.4 Filtros Adaptativos 141
11.6 Análise Espectral e Estatística de Sinais 142
11.6.1 Densidade Espectral de Potência 142
11.6.2 Parâmetros Estatísticos 142
11.7 Processamento de Áudio Digital 142
11.7.1 Aquisição, Reprodução e Gravação 142
11.7.2 Processamento de Efeitos e Remoção de Ruído 142
11.7.3 Análise de Pitch e Formantes 143
11.8 Identificação e Modelação de Sistemas 143
11.8.1 Identificação de Sistemas Lineares 143
11.8.2 Resposta ao Impulso e Passo 143
11.9 Aplicações Avançadas e Processamento em Tempo Real 144
11.9.1 Processamento em Tempo Real 144
11.9.2 Desenvolvimento de Interfaces Gráficas para Sinais . . . 144
11.10Exercícios Propostos 145
11.10.1 Exercícios Básicos 145
11.10.2 Exercícios Intermédios 145
11.10.3 Exercícios Avançados 145
11.11Boas Práticas e Otimização em MATLAB 145

12 Processamento de Imagem **147**
12.1 Introdução ao Processamento de Imagem em MATLAB 147
12.1.1 História e Evolução do Processamento de Imagem . . . 147
12.1.2 A Image Processing Toolbox 148
12.2 Fundamentos de Imagens Digitais 148
12.2.1 Representação Digital de Imagens 148
12.2.2 Tipos de Dados para Imagens 149
12.3 Operações Básicas com Imagens 149
12.3.1 Leitura e Visualização de Imagens 149

12.3.2 Gravação de Imagens 149
12.3.3 Visualização de Múltiplas Imagens 150
12.3.4 Extração de Informação da Imagem 150
12.4 Transformações Geométricas 150
12.4.1 Redimensionamento 150
12.4.2 Rotação 151
12.4.3 Corte (Crop) 151
12.5 Manipulação de Cor e Contraste 151
12.5.1 Conversão entre Espaços de Cor 151
12.5.2 Ajuste de Contraste 152
12.5.3 Equalização de Histograma 152
12.5.4 Manipulação de Canais RGB 153
12.6 Filtragem e Suavização 153
12.6.1 Filtros de Média 153
12.6.2 Filtros Gaussianos 153
12.6.3 Filtros de Mediana 154
12.7 Deteção de Bordas 154
12.7.1 Operadores de Gradiente 154
12.7.2 Operador Laplaciano 155
12.7.3 Detetor de Bordas Canny 155
12.7.4 Visualização Comparativa 155
12.8 Segmentação de Imagem 156
12.8.1 Binarização e Threshold 156
12.8.2 Segmentação por Watershed 156
12.8.3 K-means para Segmentação 157
12.9 Morfologia Matemática 158
12.9.1 Operações Morfológicas Básicas 158
12.9.2 Extração de Características Morfológicas 158
12.9.3 Operações Avançadas de Morfologia 159
12.10 Análise de Regiões e Objetos 159
12.10.1 Rotulagem de Objetos 159
12.10.2 Extração de Propriedades 159
12.10.3 Filtro de Objetos por Propriedades 160
12.11 Transformações no Domínio da Frequência 160
12.11.1 Transformada de Fourier 160
12.11.2 Filtragem no Domínio da Frequência 161
12.11.3 Transformada Discreta de Cosseno (DCT) 162

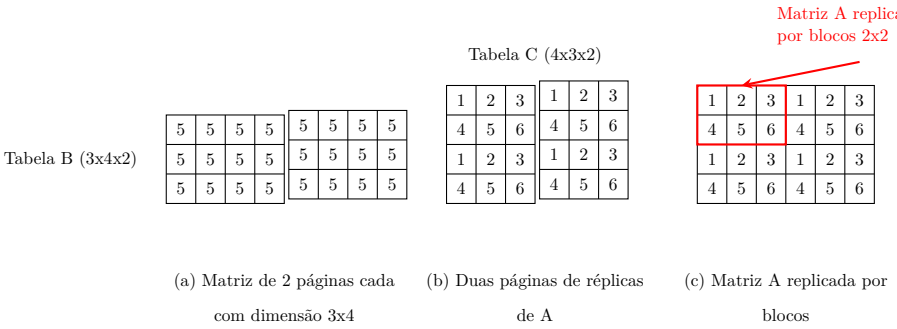
12.12Reconhecimento e Deteção de Objetos 162
12.12.1 Deteção de Círculos com Transformada de Hough 162
12.12.2 Deteção de Linhas com Transformada de Hough 163
12.12.3 Template Matching 164
12.13Aplicações Avançadas 164
12.13.1 Compressão de Imagem 164
12.13.2 Registo de Imagem (Image Registration) 165
12.13.3 Restauração de Imagem 166
12.14Desenvolvimento de Interfaces de Utilizador (GUIs) 167
12.14.1 Exemplo de Interface para Processamento de Imagem . 167
12.15Exercícios Propostos 170
12.15.1 Exercícios Básicos 170
12.15.2 Exercícios Intermédios 171
12.15.3 Exercícios Avançados 171
12.16Melhores Práticas e Dicas 171
12.16.1 Otimização de Desempenho 171
12.16.2 Gestão de Memória 172
12.16.3 Visualização e Apresentação 172

13 Matemática Numérica e Métodos Computacionais 173
13.1 Introdução à Matemática Numérica 173
13.1.1 Áreas de Aplicação 173
13.2 Erros Numéricos e Estabilidade 174
13.2.1 Tipos de Erros 174
13.2.2 Condicionamento de Problemas 174
13.3 Resolução de Equações Não-Lineares 174
13.3.1 Método de Newton-Raphson 174
13.3.2 Método da Secante 175
13.4 Sistemas de Equações Lineares 175
13.4.1 Eliminação de Gauss com Pivotagem 175
13.4.2 Métodos Iterativos 176
13.5 Interpolação e Aproximação 176
13.5.1 Polinômio de Lagrange 176
13.5.2 Splines Cúbicos 177
13.6 Integração Numérica 177
13.6.1 Regra de Simpson Composta 177
13.6.2 Quadratura Gaussiana 178

13.7 Equações Diferenciais Ordinárias 178
13.7.1 Método de Euler 178
13.7.2 Método de Runge-Kutta de 4ł Ordem 178
13.8 Otimização Numérica 179
13.8.1 Método do Gradiente Descendente 179
13.9 Exercícios Propostos 179
13.9.1 Exercícios Básicos 179
13.9.2 Exercícios Intermédios 179
13.9.3 Exercícios Avançados 180
13.10Boas Práticas em Cálculo Numérico 180

14 Sistemas de Controlo e Simulink 181
14.1 Introdução aos Sistemas de Controlo com MATLAB e Simulink 181
14.1.1 MATLAB vs Simulink 181
14.2 Modelação de Sistemas em Simulink 182
14.2.1 Construção de Modelos Dinâmicos 182
14.2.2 Integração com MATLAB 182
14.3 Projeto de Controladores em Simulink 183
14.3.1 Controlador PID 183
14.3.2 Projeto e Análise de Controladores 183
14.4 Simulação de Sistemas Não Lineares e Multidomínio 184
14.4.1 Modelação de Não Linearidades 184
14.4.2 Sistemas Multidomínio 184
14.5 Implementação e Simulação em Tempo Real 184
14.5.1 Simulink Real-Time e Hardware-in-the-Loop (HIL) . . . 184
14.5.2 Aquisição e Processamento de Dados em Tempo Real . 185
14.6 Exemplo Prático: Projeto de um Sistema de Controlo de Velocidade de Motor DC 185
14.7 Exercícios Propostos 186
14.7.1 Exercícios Básicos 186
14.7.2 Exercícios Intermédios 186
14.7.3 Exercícios Avançados 186
14.8 Boas Práticas em Modelação e Simulação com Simulink 186

15 Revisões 189
15.1 Exercícios Propostos 189



(a) Matriz de 2 páginas cada com dimensão 3x4

(b) Duas páginas de réplicas de A

(c) Matriz A replicada por blocos

Figura 3.8: Pré-alocação de matrizes.

3.6 Concatenação de matrizes

a) **Utilização de parêntesis retos**

Ex:
```
A = [1 2; 3 4];
B = [5 6; 7 8];
C = [A, B];        %Concatenação horizontal
D = [A; B];        %Concatenação vertical
```

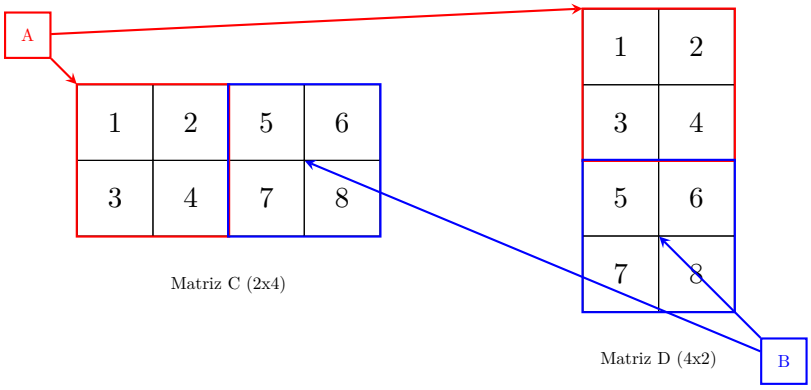


Figura 3.9: Concatenação de matrizes.

b) **Funções `horzcat` e `vertcat`**

```
horzcat(A,B,C, ...)
```

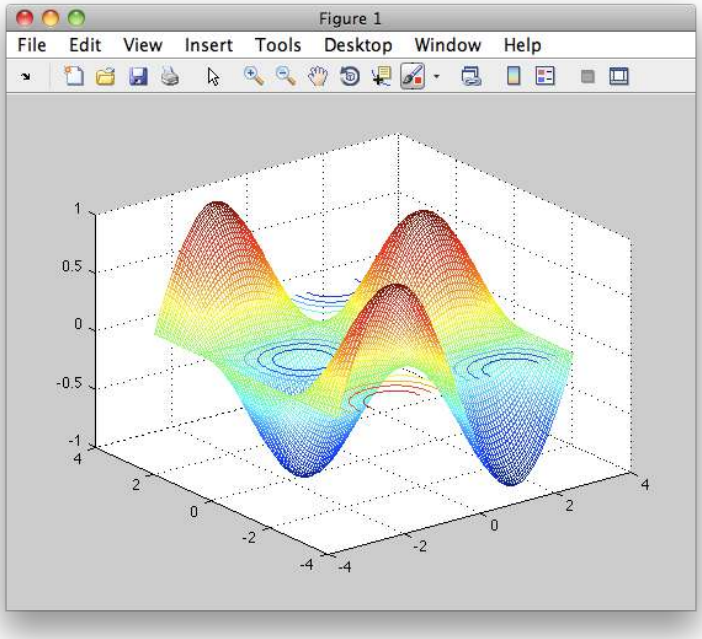


Figura 4.13: Função `mesh` e `contour` na mesma figura

4.6 Função `subplot`

A função `subplot` permite construir vários gráficos na mesma janela dividindo-a em linhas e colunas. Considere o exemplo seguinte:

```
>>figure(1) % Cria a janela da figura
>>subplot(2,1,1) % Divide a janela da figura em 2 linhas e 1 coluna
                  % e constrói o gráfico na posição (1,1)
>>contour(X,Y,Z);
>>subplot(2,1,2) % Constrói o gráfico na posição (2,1) da janela
                  % da figura
>>mesh
```

O resultado é apresentado na Figura 4.14.

```
% Curva paramétrica 3D (hélice)
syms t
x = cos(t);
y = sin(t);
z = t/(2*pi);
fplot3([x, y, z], [0, 4*pi])
title('Hélice')
grid on

% Superfície paramétrica (toróide)
syms u v
x = (2 + cos(v))*cos(u);
y = (2 + cos(v))*sin(u);
z = sin(v);
fsurf([x, y, z], [0, 2*pi, 0, 2*pi])
title('Toróide')
```

10.13 Técnicas Avançadas e Otimização

10.13.1 Aritmética de Precisão Variável

O MATLAB permite cálculos com precisão arbitrária:

```
% Cálculo de com 100 dígitos
pi_100 = vpa(pi, 100)

% Cálculo de e^ com 50 dígitos
e_pi = vpa(exp(pi), 50)

% Raiz quadrada de 2 com 30 dígitos
sqrt2 = vpa(sqrt(2), 30)

% Operações com precisão variável
x = vpa(1)/3;
y = sin(vpa(pi)/3);
z = x * y;
digits(40); % Altera a precisão padrão
```

```
17            'Callback', @carregarImagem);
18
19    uicontrol('Parent', fig, 'Style', 'pushbutton', ...
20            'String', 'Escala de Cinza', ...
21            'Position', [50, 150, 120, 30], ...
22            'Callback', @converterCinza);
23
24    uicontrol('Parent', fig, 'Style', 'pushbutton', ...
25            'String', 'Deteção de Bordas', ...
26            'Position', [50, 100, 120, 30], ...
27            'Callback', @detecaoBordas);
28
29    uicontrol('Parent', fig, 'Style', 'pushbutton', ...
30            'String', 'Equalizar Histograma', ...
31            'Position', [180, 150, 120, 30], ...
32            'Callback', @equalizarHistograma);
33
34    uicontrol('Parent', fig, 'Style', 'pushbutton', ...
35            'String', 'Filtro Mediana', ...
36            'Position', [180, 100, 120, 30], ...
37            'Callback', @filtroMediana);
38
39    % Variáveis para armazenar imagens
40    imagem_original = [];
41    imagem_processada = [];
42
43    % Callbacks
44    function carregarImagem(~, ~)
45        [filename, pathname] = uigetfile({'*.jpg;*.png;*.bmp',
              'Imagens'});
46        if filename ~= 0
47            imagem_original = imread(fullfile(pathname, filename));
48            axes(axes_original);
49            imshow(imagem_original);
50            title(axes_original, 'Imagem Original');
51
52            % Inicializar imagem processada
53            imagem_processada = imagem_original;
54            axes(axes_processada);
55            imshow(imagem_processada);
56            title(axes_processada, 'Imagem Carregada');
57        end
```

13.2 Erros Numéricos e Estabilidade

13.2.1 Tipos de Erros

- **Erro de truncatura**: Resultante da aproximação de processos infinitos
- **Erro de arredondamento**: Decorrente da precisão finita dos computadores
- **Erro de modelação**: Diferença entre realidade física e modelo matemático

13.2.2 Condicionamento de Problemas

O número de condição de uma matriz ($\kappa(A) = \|A\|\|A^{-1}\|$) determina a sensibilidade do sistema $Ax = b$ a perturbações:

```
A = [1, 0.99; 0.99, 0.98];
cond_num = cond(A);
disp(['Número de condição: ', num2str(cond_num)]);
```

13.3 Resolução de Equações Não-Lineares

13.3.1 Método de Newton-Raphson

Para $f(x) = 0$, a iteração é $x_{n+1} = x_n - f(x_n)/f'(x_n)$:

```
function [raiz, iter] = newton_raphson(f, df, x0, tol, max_iter)
    iter = 0;
    while abs(f(x0)) > tol && iter < max_iter
        x0 = x0 - f(x0)/df(x0);
        iter = iter + 1;
    end
    raiz = x0;
end

% Exemplo: encontrar raiz de e^x - 2
f = @(x) exp(x) - 2;
df = @(x) exp(x);
[raiz, iter] = newton_raphson(f, df, 1, 1e-6, 100);
```

MATLAB: DO FUNDAMENTAL À INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

FILIPE AZEVEDO

Sobre a obra

Este livro é um guia essencial e abrangente para estudantes, profissionais e entusiastas que pretendem explorar e dominar o MATLAB, uma plataforma poderosa de cálculo numérico, visualização gráfica e desenvolvimento computacional.

Começando pelos fundamentos da linguagem, o leitor é conduzido por uma progressão pedagógica sólida que inclui controlo de fluxo, manipulação de matrizes, gráficos 2D e 3D, scripts e funções, culminando em aplicações avançadas em otimização, inteligência artificial, redes neuronais, deep learning, reinforcement learning e modelação com Simulink.

Com uma abordagem prática e acessível, reforçada por exemplos reais e exercícios progressivos, esta obra oferece uma curva de aprendizagem eficaz, preparando o leitor para enfrentar desafios académicos e profissionais no universo MATLAB.

Sobre o autor

Filipe Azevedo é Professor Adjunto no Instituto Superior de Engenharia do Porto e investigador integrado no INESC TEC – Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência. Licenciado e mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, obteve o grau de Doutor em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, com distinção e louvor.

Iniciou a sua carreira profissional na EFACEC Energia, na área técnico-comercial, antes de se dedicar à docência e investigação no ensino superior. Desde 2000, leciona no ISEP, onde tem vindo a desenvolver trabalho nas áreas dos sistemas de energia, inteligência artificial e engenharia económica.

A sua investigação no INESC TEC incide sobretudo na modelação e otimização de redes elétricas inteligentes, nos mercados de energia elétrica, na integração de fontes renováveis e na aplicação de técnicas de apoio à decisão. Os seus interesses estendem-se ainda à segurança energética, criptografia e cibersegurança, com particular atenção ao impacto destas tecnologias em contextos estratégicos.

Com mais de duas décadas de experiência académica e científica, tem procurado articular a prática pedagógica com uma investigação aplicada, desenvolvendo soluções inovadoras e formando engenheiros com sentido crítico e visão tecnológica.

Também disponível em formato *e-book*

ISBN: 978-989-917-785-7

www.**engebook**.pt

engebook