

SISTEMAS DE INFORMAÇÕES
GEO-REFERENCIADAS



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Reitor

JOSÉ TADEU JORGE

Coordenador Geral da Universidade

ALVARO PENTEADO CRÓSTA

EDITORIA
UNICAMP

Conselho Editorial

Presidente

EDUARDO GUIMARÃES

ELINTON ADAMI CHAIM – ESDRAS RODRIGUES SILVA
GUITA GRIN DEBERT – JULIO CESAR HADLER NETO
LUIZ FRANCISCO DIAS – MARCO AURÉLIO CREMASCO
RICARDO ANTUNES – SEDI HIRANO

Ardemirio de Barros Silva

**SISTEMAS DE INFORMAÇÕES
GEO-REFERENCIADAS**
Conceitos e fundamentos

EDITORIA UNICAMP

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Si38s Silva, Ardemirio de Barros
Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos / Ardemirio de
Barros Silva. – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

1. Sistema de informação geográfica. 2. Sensoriamento remoto. I. Título.

ISBN 978-85-268-0896-6

CDD 526
621.3678

Índices para catálogo sistemático:

1. Sistema de informação geográfica 526
2. Sensoriamento remoto 621.3678

Copyright © by Ardemirio de Barros Silva
Copyright © 2003 by Editora da Unicamp

3ª reimpressão, 2015

Direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610 de 19.2.1998.
É proibida a reprodução total ou parcial sem autorização,
por escrito, dos detentores dos direitos.

Printed in Brazil.
Foi feito o depósito legal.

Direitos reservados à

Editora da Unicamp
Rua Caio Graco Prado, 50 – Campus Unicamp
CEP 13083-892 – Campinas – SP – Brasil
Tel./Fax: (19) 3521-7718/7728
www.editora.unicamp.br – vendas@editora.unicamp.br

Para Cristina, Ana e Júlia.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	17
PREFÁCIO.....	21
INTRODUÇÃO.....	23
Capítulo 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	27
1.1 Dados espaciais.....	29
1.2 Os suportes dos SIGs.....	36
1.3 Definição de SIG.....	42
1.4 Inter-relações entre SIG, CADD, SGBD, SMDE e SR.....	45
1.5 Introdução aos computadores.....	49
Referências bibliográficas usadas no Capítulo 1.....	54
Bibliografia complementar relacionada ao Capítulo 1.....	56
Capítulo 2 HISTÓRIA DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES	
GEO-REFERENCIADAS (SIGs).....	59
2.1 Século XIX.....	59
2.2 Século XX.....	61
Referências bibliográficas usadas no Capítulo 2.....	68
Bibliografia complementar relacionada ao Capítulo 2.....	68
Capítulo 3 PROJEÇÃO DE MAPAS.....	69
3.1 Definições básicas.....	74
3.2 Projeções cartográficas.....	84
3.3 Sistemas de Posicionamento Global (Global Positioning Systems — GPS).....	101
Referências bibliográficas usadas no Capítulo 3.....	107
Bibliografia complementar relacionada ao Capítulo 3.....	108
Capítulo 4 CAPTURA DE DADOS PARA SIG.....	109
4.1 Processos de captura de dados.....	114
4.2 Dados vetoriais.....	129
4.3 Dados raster.....	135

4.4 Conversão de dados no formato vetorial em dados no formato raster e vice-versa.....	140
4.5 Exemplos de dados em SIG.....	142
4.6 Saída de dados.....	143
Referências bibliográficas usadas no Capítulo 4.....	145
Bibliografia complementar relacionada ao Capítulo 4.....	145
Capítulo 5 BANCO DE DADOS.....	147
5.1 Banco de dados em rede.....	151
5.2 Banco de dados relacional.....	152
5.3 Banco de dados hierárquico.....	155
5.4 Banco de dados orientado ao objeto.....	156
5.5 Principais bancos de dados comerciais.....	158
Referências bibliográficas usadas no Capítulo 5.....	159
Bibliografia complementar relacionada ao Capítulo 5.....	159
Capítulo 6 FUNÇÕES DOS SIGs.....	161
6.1 Consulta.....	167
6.2 Reclassificação.....	168
6.3 Análise de proximidade.....	169
6.4 Análise de contigüidade.....	170
6.5 Operações de superposição.....	187
6.6 Análises algébricas não cumulativas.....	191
6.6.1 Simultaneidade <i>booleana</i>	192
6.6.2 Possibilidade <i>fuzzy</i>	194
6.6.3 Probabilidade <i>bayesiana</i>	208
6.7 Análises algébricas cumulativas.....	215
6.8 Análises de rede.....	218
Referências bibliográficas usadas no Capítulo 6.....	234
Bibliografia complementar relacionada ao Capítulo 6.....	235

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1: Se os dados originais forem imprecisos, o produto final será um “lixo” organizado.....	28
Figura 2: Alguns paradigmas da geografia (Buzai e Duran, 1997).....	35
Figura 3: Evolução das relações de custo, tempo e complexidade entre <i>software</i> e <i>hardware</i>	36
Figura 4: Inter-relações entre as tecnologias SGBD, SMDE, SR, CADD e SIG.....	46
Figura 5: Relações geométricas e gráficas entre os sistemas cartesiano e polar.....	70
Figura 6: Nomenclatura internacional de cartas topográficas. A partir de folha na escala 1:1.000.000, aumentando a escala chegamos à escala de 1:10.000 (Maranhão, 1995).....	73
Figura 7: Um determinado ponto na superfície da Terra localizado a partir de latitude e longitude como sistemas de coordenadas	76
Figura 8: Diferença entre elipsóide, geóide e esferóide.....	77
Figura 9: Formas geométricas básicas que podem ser encontradas em diferentes porções do globo terrestre.....	78
Figura 10: Distorções na representação gráfica da Terra como um plano (Pearson, 1990).....	79
Figura 11: Materiais, métodos e escalas em Cartografia básica.....	80
Figura 12: Mapa mais antigo conhecido, representa a cidade de Ga-Sur, a 300 km ao norte da Babilônia (Oliveira, 1993).....	81
Figura 13: Mapa dos indígenas do Pacífico (Oliveira, 1993).....	82
Figura 14: Mapa de localidades desenhado por índios da região do rio Xingu.....	83
Figura 15: Superfícies de projeção linear (a), logarítmica (b) e exponencial (c).....	85
Figura 16: Superfície de projeção linear com polar.....	86
Figura 17: Superfícies de projeção plana (a), cônica (b) e cilíndrica (c).....	86
Figura 18: Representação esquemática da Projeção Linear. Mapa-múndi centrado em 125°E.....	87

Figura 19: Representação esquemática da Projeção Ortográfica (Snyder, 1987)	88
Figura 20: Representação esquemática da Projeção Estereográfica (Snyder, 1987)....	89
Figura 21: Representação esquemática da Projeção Gnomônica (Snyder, 1987)	90
Figura 22: Representação esquemática da Projeção Azimutal Equidistante (Snyder, 1987).....	90
Figura 23: Representação esquemática da Projeção de Igual Área de Lambert (Snyder, 1987).....	91
Figura 24: Representação esquemática da Projeção Albers de Igual Área (Snyder, 1987).....	92
Figura 25: Representação esquemática da Projeção Conformal de Lambert (Snyder, 1987).....	93
Figura 26: Representação esquemática da Projeção Equidistante (Snyder, 1987).....	93
Figura 27: Representação esquemática da Projeção Policônica (Snyder, 1987).....	94
Figura 28: Representação esquemática da Projeção Bipolar Oblíqua Conformal (Snyder, 1987).....	95
Figura 29: Mapa esquemático do Brasil apresentando os fusos ou cilindros de Mercator.....	97
Figura 30: Representação esquemática do Espaço Oblíquo de Mercator (Snyder, 1987).....	97
Figura 31: Representação esquemática da Projeção Sinusoidal de Igual Área (Snyder, 1987).....	98
Figura 32: Representação esquemática da Projeção Eckert VI (Snyder, 1987).....	99
Figura 33: Representação esquemática da Superfície de Projeção Esférica.....	99
Figura 34: A constelação atual de satélites GPS.....	102
Figura 35: Representação de dado vetorial (1) e raster (2).....	111
Figura 36: Tipos de arquivos raster.....	112
Figura 37: Representação esquemática da exatidão, precisão e acurácia.....	117
Figura 38: Mapa pedológico interpretado.....	118
Figura 39: Mapa pedológico real.....	118
Figura 40: Mapa interpretado da vegetação.....	121

Figura 41: Mapa de vegetação resultante dos trabalhos de campo.....	121
Figura 42: Tabulação cruzada representando as coincidências entre o mapa de vegetação interpretado e o mapa derivado dos trabalhos de campo.....	121
Figura 43: Probabilidade de distribuição de um ponto. Para um mapa na escala 1:25.000, existe 90% de chance de o ponto se posicionar em um círculo de raio 13 m partindo do ponto real.....	122
Figura 44: Probabilidade de distribuição de uma linha. Para um mapa na escala 1:25.000, existe 90% de chance de a linha se colocar em uma distância de até 13 m da linha central.....	122
Figura 45: Representação do erro médio quadrático (RMS) nas abscissas, ordenadas e total.....	123
Figura 46: Gráficos apresentando a definição do número de pontos de controle para a determinação do cálculo do RMS total, em função da escala do mapa.....	125
Figura 47: Procedimentos básicos utilizados na captura de dados analógicos.....	126
Figura 48: Principais erros qualitativos derivados dos processos de vetorização.....	127
Figura 49: Modelo total.....	130
Figura 50: Modelo topológico.....	131
Figura 51: Representação de dados vetoriais segundo o modelo espaguete.....	132
Figura 52: Exemplo de modelo de estrutura de dados DIME.....	133
Figura 53: Representação matricial de 3 determinados tipos de solo (solos 1, 2 e 3)...	135
Figura 54: Representação gráfica da codificação de dado raster em estrutura <i>quadtree</i>	137
Figura 55: Representação de dados raster em formato BSQ, BIL e BIP.....	139
Figura 56: Relacionamento um-para-um.....	149
Figura 57: Relacionamento um-para-muitos.....	149
Figura 58: Relacionamento muitos-para-um.....	149
Figura 59: Relacionamento muitos-para-muitos.....	149
Figura 60: Modelo gráfico de entidade-relacionamento um-para-um.....	150
Figura 61: Banco de dados em rede.....	152
Figura 62: Banco de dados relacional.....	153

Figura 63: Banco de dados hierárquico.....	156
Figura 64: Do problema à obtenção de resultados.....	164
Figura 65: Principais relações topológicas entre objetos.....	164
Figura 66: Consulta ao banco de dados em ambiente SIG.....	167
Figura 67: Mapa de cobertura vegetal: 1 (cultura agrícola), 2 (floresta decídua), 3 (solo exposto), 4 (coníferas) 5 (pasto), 6 (reflorestamento).....	169
Figura 68: Mapa reclassificado: 1 (coníferas), 2 (floresta decídua), 3 (reflorestamento).....	169
Figura 69: Representação de análises de proximidade simples e múltipla.....	170
Figura 70: Distribuição de dados espaciais.....	172
Figura 71: Triangulação de Delaunay.....	177
Figura 72: Representação da estrutura da Rede Irregular de Triângulos (Burrough, 1986).....	178
Figura 73: Visão em perspectiva utilizando a curvatura mínima.....	183
Figura 74: Mapa de contorno utilizando a curvatura mínima.....	183
Figura 75: Visão em perspectiva utilizando triangulação de Delaunay.....	183
Figura 76: Mapa de contorno utilizando triangulação de Delaunay.....	183
Figura 77: Visão em perspectiva utilizando krigagem.....	183
Figura 78: Mapa de contorno utilizando krigagem.....	183
Figura 79: Visão em perspectiva utilizando inverso do quadrado da distância.....	183
Figura 80: Mapa de contorno utilizando inverso do quadrado da distância.....	183
Figura 81: Interseção entre CM e KRI (áreas anômalas)	185
Figura 82: Interseção entre CM e TRI (áreas anômalas).....	185
Figura 83: Interseção entre CM e IQD (áreas anômalas).....	185
Figura 84: Operação de superposição — máscara ou imposição.....	188
Figura 85: Operação de superposição — colagem.....	189
Figura 86: Operação de superposição — comparação.....	190
Figura 87: Operação de superposição — associação.....	190
Figura 88: Operação de superposição — sincronização.....	191

Figura 89: Diagrama de Venn apresentando os operadores <NOT>, <AND>, <OR> e <XOR>.....	192
Figura 90: Operação <i>booleana</i> <NOT>.....	194
Figura 91: Operação <i>booleana</i> <OR>.....	194
Figura 92: Operação <i>booleana</i> <AND>.....	194
Figura 93: Operação <i>booleana</i> <XOR>.....	194
Figura 94: Gráfico representando o modelo de classes naturais a partir dos dados da Tabela 28.....	196
Figura 95: Representações de funções lineares de conjuntos <i>fuzzy</i>	198
Figura 96: Representações de funções sigmoidais de conjuntos <i>fuzzy</i>	199
Figura 97: Representação gráfica dos conjuntos A^* e B^*	202
Figura 98: Representação gráfica da união dos conjuntos A^* e B^*	203
Figura 99: Representação gráfica da interseção do conjunto A^* com o conjunto B^*	204
Figura 100: Complemento dos conjuntos A^* e B^*	205
Figura 101: Representação gráfica das operações com os conjuntos A^* e B^*	206
Figura 102: Operações algébricas cumulativas com quatro PIs, com ambigüidade numérica.....	216
Figura 103: Operações algébricas cumulativas com quatro PIs, sem ambigüidade numérica.....	217
Figura 104: Rede viária apresentando 8 nós (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) e 8 vértices (A, B, C, D, E, F, G, H).....	219
Figura 105: Tipos de rede: a) rede apresentando os nós parcialmente conectados; b) rede apresentando os nós totalmente interconectados.....	221
Figura 106: Rede representada por um gráfico indexado.....	228
Figura 107: Iteração entre o nó A e os outros 6 nós (6 iterações).....	228
Figura 108: Rede apresentando os nós A, B, C, D, E e F e as impedâncias relativas à movimentação entre os nós.....	229

ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1: Questões básicas a serem respondidas por um SIG (modificado de Rhind, 1990).....	48
Tabela 2a e 2b: Principais eventos e participantes na evolução dos SIGs (modificado de Antenucci et al., 1991).....	67
Tabela 3: Elipsóides de referência, semi-eixo maior (a) e semi-eixo menor (b), achatamento (f) e o inverso do achatamento (1/f).....	71
Tabelas 4a e 4b: Tipos de levantamentos geodésicos. *k: distância nivelada em km.....	72
Tabela 5: Resumo da nomenclatura das cartas topográficas e das medidas no terreno...	74
Tabela 6: Comprimentos dos arcos de 1° de meridiano e 1° de paralelo a diferentes latitudes.....	76
Tabela 7: Escalas de mapa <i>versus</i> faixa de resolução espacial.....	84
Tabela 8: Coordenadas UTM nos hemisférios e a leste do meridiano central.....	96
Tabela 9: Quadro comparativo entre projeções cartográficas.....	100
Tabela 10: Resumo da história dos GPSs.....	102
Tabela 11: Estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC).....	105
Tabela 12: Organização dos dados em formato DXF.....	114
Tabela 13: Utilizando os dados contidos nas Figuras 35 e 36, tabela de validação cruzada para cálculo de EC e EO.....	120
Tabela 14: Vantagens e desvantagens da utilização das diversas estruturas de dados vetoriais.....	134
Tabela 15: Codificação em estrutura Código de Cadeias, a partir da Figura 53.....	136
Tabela 16: Vantagens e desvantagens do uso das estruturas de dados raster.....	138
Tabela 17: Vantagens dos modelos raster e vetorial	140
Tabela 18: Desvantagens dos modelos raster e vetorial.....	140
Tabela 19: Representação das dimensões euclidianas 0-D, 1-D e 2-D (modificado de Bonham-Carter, 1994).....	166
Tabela 20: Representação das dimensões euclidianas 2,5-D e 3-D (modificado de Bonham-Carter, 1994).....	166

Tabela 21: Cálculos estatísticos — IG e IM	172
Tabela 22: Tabela binária de conectividade.....	172
Tabela 23: Síntese dos conceitos relativos aos Índices de Moran e Geary.....	174
Tabela 24: Resultados estatísticos (média e desvio padrão).....	180
Tabela 25: Comparação entre os métodos de interpolação: inverso do quadrado da distância (iqd), mínima curvatura (mc), krigagem (kr) e triangulação de Delaunay (trd) em dados obtidos a partir de levantamentos geoquímicos.....	181
Tabela 26: Apresentação dos resultados TER (Total Escalar dos Resíduos), MEE (Média Escalar dos Erros) e IRN (Índice Residual Normalizado).....	182
Tabela 27: Comparação entre posição e número de pixels anômalos e não anômalos de acordo com o método de interpolação.....	186
Tabela 28: Obtenção de uma função de pertinência a partir de informações obtidas da pergunta: que quantidade de metros você considera um solo espesso?.....	196
Tabela 29: Operações matemáticas para eliminação de ambigüidades.....	218
Tabela 30: Matriz de conectividade de 1ª ordem.....	222
Tabela 31: Cálculo dos elementos da matriz de conectividade de 2ª ordem.....	223
Tabela 32: Matriz de conectividade de 2ª ordem.....	223
Tabela 33: Cálculo dos elementos da matriz de conectividade de 3ª ordem.....	224
Tabela 34: Matriz de conectividade de 3ª ordem.....	225
Tabela 35: Matriz de acessibilidade (Matriz T).....	226
Tabela 36: Matriz de custo da iteração 1.....	230
Tabela 37: Matriz de custo 2.....	230
Tabela 38: Matriz de custo 3.....	231
Tabela 39: Matriz de penalidade da iteração 1.....	231
Tabela 40: Matriz de custo 4.....	232
Tabela 41: Matriz de penalidade da iteração 2.....	232
Tabela 42: Matriz de custo 5.....	233
Tabela 43: Matriz de penalidade da iteração 3.....	233
Tabela 44: Matriz de penalidade da iteração 4.....	233
Tabela 45: Matriz de penalidade da iteração 5.....	234

APRESENTAÇÃO

As transformações que passaram a ocorrer nos mais diversos domínios da sociedade contemporânea no último quartil do século desafiam a capacidade humana. Mares e ares vêm sendo visitados e transpostos em velocidade supersônica. Sondas, satélites, rastreiam a biosfera, nossas vidas e mesmo o espaço além do limite sublunar aristotélico, onde o nada, ou o tudo, o princípio fundamental, reinou absoluto. De toda parte, ondas trafegam a noosfera congestionando de assuntos terrenos o lugar reservado às almas, aos espíritos. Fotografias, diagnósticos e prognósticos são obtidos e disponibilizados num piscar de olhos. O homem não se contenta mais com sua capacidade de sentir, com sua capacidade de raciocinar, com sua capacidade de interferir no mundo que o abriga.

Chips, computadores, ampliam de forma antes inimaginável os conhecimentos do homem sobre a natureza e a sociedade. Cada descoberta, avanço tecnológico, novo botão a ser acionado, exacerbam, em contrapartida, a consciência do despreparo humano para a compreensão de suas próprias ações. Assim é que, em tempos de transição para um novo paradigma técnico-econômico, os da informação, poderes, instituições, normas, saberes tradicionais, são destruídos a velocidade também supersônica, substituídos que são por redes de toda a espécie, globalizadas, as quais amalgamam homem e equipamento, transformando-os em quase-objetos ou quase-humanos. “Seres híbridos”, resultantes e determinantes de uma nova forma de relacionamento entre os próprios humanos e destes com a natureza.

O Sistema de Informações Geo-referenciadas, de que trata o livro escrito por Ardemirio de Barros Silva, é um desses avanços que constituem o paradigma que se propõe a dominar este final de milênio. Ao mesmo tempo em que o Sistema revoluciona a análise da informação, depende umbilicalmente da racionalidade da construção de um banco de dados, somente possível de alcançar com auxílio de técnicas computacionais sofisticadas e de profissional especializado. Requer, para tanto, que máquina e profissional se aproximem a tal ponto que a fusão *hardware-software-humanware* passa a ser iminente,

aspecto que não passa despercebido ao autor. Mas penetrar nesse novo mundo, povoado por seres híbridos, que constitui o Sistema de Informações Geo-referenciadas, não é fácil se não houver uma orientação atenta, zelosa como a oferecida por Barros ao leitor.

O livro *Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos*, como o autor o qualifica, abre a caixa-preta desse sistema de informações, SIG para os íntimos. Mostra a revolução que seus recursos técnicos introduzem no conhecimento e delimitação do espaço geográfico, no tratamento simultâneo de suas variáveis, na localização exata do ponto, se é que algo assim possa ser definido com mais do que apenas precisão, enfim, mostra a possibilidade de trabalhar com uma visão integrada do funcionamento territorial. Para os Cientistas da Terra, que vasculham a natureza em busca de antigos registros e novas informações sobre o passado, ou se dedicam a temas candentes como a saúde ambiental do planeta, nada mais atual do que a familiaridade com essa ferramenta de investigação científica. Familiaridade que vai sendo conquistada em níveis graduais de aprofundamento no decorrer da leitura desta obra.

À medida que se percorre o texto, depara-se com uma poderosa ferramenta de modelagem da natureza, hoje ainda em mãos de especialistas, mas pronta para ser incorporada ao arsenal de conhecimentos de estudantes universitários, pesquisadores e demais interessados. Os estudantes, em particular, terão o privilégio de, apresentados ao Sistema por meio deste livro, dominar seus passos e aplicá-lo desde já. Conduzidos assim, não sentirão o desconforto e a insegurança perante o desconhecido ou os híbridos. Apenas a satisfação de dominar outra novidade entre tantas que se lhes apresentam. Logo serão íntimos dos SIGs.

Do autor, sei bem, que o gosto e o conhecimento aprofundado sobre os SIGs se forjaram ao longo de sua permanência no exterior. A pesquisa sistemática, a docência e a experiência decorrentes foram alcançadas no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, onde contou com o ambiente favorável para desenvolvê-las. Porém este livro, *Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos*, tenho certeza, é para

o autor não apenas o produto dos conhecimentos adquiridos lá e cá. É, sobretudo, a comprovação de ter alcançado mais uma etapa em sua determinação de contribuir para a formação do universitário brasileiro.

Newton Müller Pereira

15/8/1998

