

# Sumário

<b>Agradecimentos</b>	<b>V</b>
<b>Sobre os Autores</b>	<b>IX</b>
<b>Prefácio</b>	<b>XI</b>
CAPÍTULO 1	
<b>Conceitos Gerais de Geomática</b>	<b>1</b>
1.1 Introdução	1
1.2 Ciências e técnicas englobadas pela Geomática	2
1.2.1 Geodésia	2
1.2.2 Topografia	3
1.2.3 Teoria dos Erros e Estatística	4
1.2.4 Cartografia	4
1.2.5 Hidrografia	5
1.2.6 Fotogrametria	5
1.2.7 Sensoriamento Remoto	6
1.2.8 Desenho Assistido por Computador (CAD)	7
1.2.9 Gerenciamento Cadastral	7
1.2.10 Sistema de Informações Geográficas (SIG)	8
1.2.11 Sistema de Posicionamento Global por Satélites (GNSS)	8
1.3 Principais aplicações da Geomática	8
1.3.1 Determinação de coordenadas planimétricas de pontos de apoio	9
1.3.2 Determinação de diferenças de nível	9
1.3.3 Levantamento de detalhes	9
1.3.4 Levantamento cadastral	9

1.3.5 Levantamento de perfis de terrenos	9
1.3.6 Locação de obras	10
1.3.7 Auscultação de obras de engenharia	10
1.3.8 Levantamento subterrâneo	10
1.3.9 Levantamento hidrográfico	10
1.3.10 Levantamento as <i>built</i>	11
1.3.11 Mensuração técnico-industrial	11
CAPÍTULO 2	
<b>Conceitos Básicos de Geomática</b>	<b>12</b>
2.1 Medir	12
2.2 Unidade de medida	13
2.2.1 Medição de natureza linear (comprimento)	13
2.2.2 Medição de natureza angular	14
2.2.2.1 <i>Conversão de ângulos</i>	16
2.2.3 Medida de natureza de superfície	19
2.3 Escala	19
2.4 Resolução gráfica	21
CAPÍTULO 3	
<b>Referências Geodésicas e Topográficas</b>	<b>22</b>
3.1 <i>Datum</i> geodésico	22
3.1.1 Superfície topográfica ou física	23
3.1.2 Superfície geoidal	23
3.1.3 Superfície elipsoidal	24
3.2 Sistema Geodésico de Referência	26
3.2.1 Sistema Geodésico Brasileiro	27
3.2.2 Altura, Altitude, Ondulação Geoidal e Desvio da Vertical	29
3.2.2.1 <i>Altura Elipsoidal e Altitude Ortométrica</i>	30
3.2.2.2 <i>Ondulação Geoidal</i>	31
3.2.2.3 <i>Desvio da Vertical ou Deflexão da Vertical</i>	32
3.2.3 Movimento do eixo de rotação da Terra	37
3.3 Sistemas de Coordenadas	38
3.3.1 Sistema de Coordenadas Cartesiano Plano ou Sistema Plano-Retangular	39
3.3.2 Sistema de Coordenadas Polar Plano	40
3.3.3 Sistema de Coordenadas Cartesiano Espacial	41
3.3.4 Sistema de Coordenadas Geográficas Geodésicas	43
3.4 Transformação de Coordenadas	45
3.4.1 Transformação de Coordenadas Planas	46
3.4.1.1 <i>Transformação de Coordenadas Retangulares em Coordenadas Polares e Vice-Versa</i>	46
3.4.1.2 <i>Transformação entre Sistemas de Coordenadas Cartesianos Planos</i>	48
3.4.2 Transformação de Coordenadas Espaciais	62

3.4.2.1	<i>Transformação entre Sistemas de Coordenadas Cartesiano Espaciais</i>	62
3.4.2.2	<i>Transformação de Coordenadas Cartesianas Espaciais em Coordenadas Geográficas Geodésicas e Vice-Versa</i>	70
3.5	Cálculos elipsoidais	72
CAPÍTULO 4		
	<b>Direção e Ângulo</b>	<b>76</b>
4.1	Definições	76
4.1.1	Ângulo horizontal	76
4.1.2	Sentido do incremento da graduação do círculo de medição angular	77
4.1.3	Ângulo vertical	77
4.1.3.1	<i>Ângulo vertical de altura</i>	78
4.1.3.2	<i>Ângulo vertical zenital</i>	78
4.1.4	Direção horizontal	79
4.1.5	Azimute e Rumo	80
4.1.5.1	<i>Azimute</i>	80
4.1.5.2	<i>Rumo</i>	82
4.2	Medição angular	84
4.2.1	Medição de ângulos horizontais	84
4.2.1.1	<i>Observação direta e inversa</i>	85
4.2.1.2	<i>Medição angular por observação simples</i>	86
4.2.1.3	<i>Medição angular por série de ângulos</i>	87
4.2.1.4	<i>Medição angular por deflexão (medição por azimute)</i>	89
4.2.2	Medição de ângulos verticais	91
CAPÍTULO 5		
	<b>Distâncias</b>	<b>93</b>
5.1	Distâncias na Geomática	93
5.1.1	Distância inclinada e distância horizontal	94
5.1.2	Distância vertical	96
5.1.3	Distância esférica e elipsoidal	96
5.1.4	Relação entre a distância esférica e a distância horizontal	100
5.1.5	Relação entre as distâncias inclinada e horizontal para o caso de distâncias longas e inclinadas medidas com medidores eletrônicos	101
5.1.6	Distância plana	106
5.2	Medição de distâncias	106
5.2.1	Métodos de medição direta de distâncias	107
5.2.1.1	<i>Medição de distâncias pelo passo médio</i>	107
5.2.1.2	<i>Medição de distâncias pelo uso de um hodômetro</i>	107
5.2.1.3	<i>Medição de distâncias pelo uso de uma trena</i>	107
5.2.2	Métodos de medição indireta de distâncias	115
5.2.2.1	<i>Método de medição ótica</i>	115

5.2.2.2	Medições eletrônicas de distâncias	119
5.2.2.2.1	<i>Medição eletrônica de distância pelo método de pulso ou time of flight</i>	120
5.2.2.2.2	<i>Medição eletrônica de distância pelo método de diferença de fase</i>	121
5.2.2.2.3	<i>Precisão da distância medida com um distanciômetro eletrônico</i>	123
5.2.2.2.4	<i>Correção das distâncias medidas com um distanciômetro eletrônico</i>	124
5.2.2.2.5	<i>Medições de distâncias eletrônicas sem prisma</i>	126
5.2.3	Medições de distâncias com o sistema GNSS	127
CAPÍTULO 6		
	<b>Altimetria</b>	<b>129</b>
6.1	Introdução	129
6.2	Nivelamento geométrico	130
6.2.1	Nivelamento geométrico simples	133
6.2.2	Nivelamento geométrico composto	135
6.2.2.1	<i>Caminhamento simples</i>	135
6.2.2.2	<i>Caminhamento misto</i>	138
6.2.2.3	<i>Caminhamento com mira invertida</i>	140
6.2.3	Nivelamento de precisão	141
6.2.3.1	Caminhamento duplo	141
6.3	Avaliação da precisão de um nivelamento geométrico	142
6.3.1	Nivelamento e contranivelamento	142
6.3.2	Nivelamento apoiado	144
6.3.3	Avaliação da precisão do nivelamento	144
6.3.4	Tolerâncias para o erro de fechamento	146
6.4	Compensação do erro de fechamento	148
6.4.1	Compensação do erro de fechamento em função da quantidade ( $n$ ) de desníveis medidos – Método do número de desníveis	148
6.4.2	Compensação do erro de fechamento em função da distância ( $d_i$ ) do desnível parcial ( $i$ ) – Método dos pesos das distâncias	148
6.4.3	Compensação do erro de fechamento em função do valor absoluto de cada desnível ( $\Delta H_i$ ) – Método dos pesos dos desníveis	148
6.5	Causas de erros em um nivelamento	149
6.5.1	Erros grosseiros	149
6.5.2	Erros sistemáticos	150
6.5.2.1	<i>Erro devido à influência da curvatura terrestre</i>	150
6.5.2.2	<i>Erro devido à influência da refração no raio de visada</i>	151
6.5.2.3	<i>Erro devido à refração diferenciada entre as leituras de vante e de ré</i>	153
6.5.2.4	<i>Erro devido ao afundamento do tripé e/ou da mira no terreno</i>	153
6.6	Nivelamento trigonométrico	154
6.6.1	Fórmula rigorosa para o nivelamento trigonométrico	155
6.6.2	Nivelamento trigonométrico recíproco	158
6.6.3	Caminhamento com nivelamento trigonométrico	159

6.7 Nivelamento com a tecnologia GNSS	160
6.8 Nivelamento a laser	161
CAPÍTULO 7	
<b>Representação do Relevo</b>	<b>164</b>
7.1 Introdução	164
7.2 Representação do perfil do terreno	164
7.2.1 Desenho do perfil do terreno a partir de um levantamento altimétrico	166
7.2.2 Desenho de um perfil a partir da interpolação de pontos sobre uma planta com curvas de nível	167
7.2.3 Desenho de um perfil a partir de um Modelo Numérico de Terreno	167
7.2.4 Escalas para o desenho do perfil	167
7.3 Representação do terreno por pontos cotados	168
7.4 Representação do terreno por curvas de nível	168
7.4.1 Principais características das curvas de nível	171
7.4.2 Procedimentos de campo para a coleta de dados para a representação do relevo em forma de curvas de nível	171
7.4.3 Desenho das curvas de nível	173
7.4.4 Traçado de curvas de nível no terreno	174
7.5 Representação por vista em perspectiva	175
CAPÍTULO 8	
<b>Instrumentos Topográficos</b>	<b>176</b>
8.1 Introdução	176
8.2 Teodolito eletrônico e estação total	177
8.2.1 Base nivelante	178
8.2.2 Nível de bolha	180
8.2.3 Nível eletrônico	181
8.2.4 Alidade	182
8.2.5 Círculos graduados para a medição angular	184
8.2.6 Luneta	185
8.3 Erros instrumentais	186
8.3.1 Erros de eixo	187
8.3.2 Erros de círculo	194
8.3.3 Erros de ATR e de temperatura	196
8.3.4 Quando calibrar o instrumento	196
8.4 Acessórios	197
8.4.1 Tripé	197
8.4.2 Refletor	197
8.4.3 Bastão de prisma	201
8.5 Estação total	202
8.5.1 Classificação das estações totais	204

8.6 Nível mecânico automático	205
8.6.1 Verificação e ajuste de um nível automático	206
8.6.2 Precisões dos níveis automáticos	208
8.7 Nível digital	208
8.8 Miras graduadas	210
CAPÍTULO 9	
<b>Sistemas de Projeção</b>	<b>212</b>
9.1 Introdução	212
9.1.1 Projeções cilíndricas	213
9.1.1.1 <i>Projeção de Mercator</i>	214
9.1.2 Projeções cônicas	214
9.1.3 Projeções azimutais	215
9.2 Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator)	216
9.2.1 Características da projeção UTM	216
9.2.2 Determinação do meridiano central do fuso	219
9.2.3 Transformação de coordenadas geodésicas ( $\phi_g, \lambda_g$ ) em coordenadas UTM ( $N, E$ )	219
9.2.4 Convergência meridiana	221
9.2.5 Redução à corda ou redução azimutal	223
9.2.6 Fator de escala	224
9.2.7 Azimutes a serem considerados na projeção UTM	229
9.2.8 Coordenadas plano retangulares no sistema topográfico local	230
9.2.8.1 <i>Transformação de coordenadas geodésicas (<math>\phi_g, \lambda_g</math>) em coordenadas elipsoidais retangulares topográficas (<math>XL, YL</math>)</i>	231
9.2.8.2 <i>Transformação de coordenadas UTM (<math>N, E</math>) em coordenadas topográficas locais (<math>XL, YL</math>)</i>	234
CAPÍTULO 10	
<b>Cálculos Topométricos</b>	<b>237</b>
10.1 Introdução	237
10.2 Cálculo de azimute e distância	238
10.3 Cálculo de um ponto lançado ou irradiação	240
10.4 Transporte de Azimute	240
10.5 Transporte de coordenadas	243
10.6 Determinação de elementos de implantação de pontos	245
10.7 Interseção a ré (ou recessão)	246
10.8 Interseção a ré com excesso de visadas	248
10.9 Interseção a vante	252
10.10 Interseção a vante com excesso de visadas	254
10.11 Bilateração	257
10.12 Multilateração	259
10.13 Estação excêntrica	262

10.14	Distância entre um ponto e uma reta	264
10.15	Centro e raio de um círculo definido por 3 pontos de coordenadas conhecidas	264
10.16	Interseção de uma reta com um círculo	265
10.17	Determinação de coordenadas espaciais	266
10.17.1	Método polar	267
10.17.2	Método de interseção espacial analítica	268
CAPÍTULO 11		
	<b>Apoio Topográfico – Poligonais</b>	<b>273</b>
11.1	Introdução	273
11.2	Poligonação	274
11.2.1	Tipos de poligonais	275
11.2.1.1	<i>Poligonal fechada</i>	275
11.2.1.2	<i>Poligonal aberta</i>	276
11.2.2	Reconhecimento de campo	277
11.2.3	Fontes de erros	278
11.2.4	Cálculo e compensação de poligonais	278
11.2.4.1	<i>Cálculo e compensação dos erros de fechamento de uma poligonal geometricamente fechada</i>	279
11.2.4.2	<i>Cálculo e compensação dos erros de fechamento de uma poligonal geometricamente aberta e topograficamente fechada</i>	289
11.2.5	Tolerâncias para os erros de fechamento	297
11.2.5.1	<i>Tolerâncias para o erro de fechamento angular</i>	297
11.2.5.2	<i>Tolerâncias para o erro de fechamento linear</i>	298
11.2.6	Deteção de erros grosseiros em uma poligonal	300
11.2.6.1	<i>Deteção do erro grosseiro de fechamento angular</i>	300
11.2.6.2	<i>Deteção do erro grosseiro de fechamento linear</i>	301
11.3	Redes de pontos de apoio	303
11.3.1	Rede de triangulação	303
11.3.2	Rede de trilateração	303
CAPÍTULO 12		
	<b>Sistema de Posicionamento Global – GNSS</b>	<b>304</b>
12.1	Introdução	304
12.2	Posicionamento por satélites	305
12.2.1	Vantagens do sistema GNSS para a Geomática	305
12.2.2	Como funciona o posicionamento de pontos a partir da tecnologia GNSS?	306
12.3	Sistema GPS	307
12.3.1	Sinais emitidos pelos satélites do sistema GPS	308
12.3.2	Identificação dos satélites	309
12.3.3	Serviços oferecidos pelo sistema GPS	309

12.4 Cálculo da distância entre a antena do receptor e o satélite rastreado	309
12.4.1 Pseudodistância	310
12.4.2 Fase da portadora	311
12.5 Métodos de posicionamento com a tecnologia GNSS	313
12.5.1 Método do posicionamento absoluto	313
12.5.2 Método do posicionamento relativo	314
12.5.3 Método do posicionamento diferencial	314
12.6 Técnicas de levantamentos de campo com a tecnologia GNSS	315
12.6.1 Técnica de levantamento no modo relativo estático	315
12.6.2 Técnica de levantamento no modo relativo cinemático (puro)	317
12.6.3 Técnica de levantamento no modo diferencial DGPS	318
12.6.4 Técnica de levantamento no modo diferencial RTK	319
12.7 Sistema GLONASS	320
12.8 Sistema GALILEO	321
12.9 Sistema Beidu/Compass	322
12.10 Quadro resumo dos métodos de posicionamento GNSS e suas precisões	322
12.11 Fatores que influenciam na qualidade das medições com a tecnologia GNSS	323
CAPÍTULO 13	
<b>Modelo Numérico de Terreno</b>	<b>324</b>
13.1 Introdução	324
13.2 Aquisição dos dados de campo	326
13.3 Estruturação dos dados	327
13.3.1 Estruturação dos dados em uma malha regular	327
13.3.2 Estruturação dos dados em uma rede triangular	327
13.4 Modelagem da superfície – Funções de interpolação	329
13.4.1 Métodos de interpolação tridimensional pontual	330
13.4.2 Métodos de interpolação tridimensional regional	330
13.5 Produtos derivados de um MNT	333
13.5.1 Traçado de curvas de nível a partir de um MNT	334
13.5.2 Traçado de perfis de alinhamentos a partir de um MNT	337
13.5.3 MNT como auxílio para o projeto de vias de transporte	338
13.6 Precisão de um MNT	339
CAPÍTULO 14	
<b>Levantamento de Detalhes e Locação de Obras</b>	<b>340</b>
14.1 Introdução	340
14.2 Especificações técnicas para o levantamento de detalhes	341
14.2.1 Objetivos do levantamento	341
14.2.2 Precisão das medições	341
14.2.3 Tipo de detalhe a ser levantado	342
14.3 Reconhecimento de campo e planejamento do trabalho	343



14.4	Procedimentos de campo para o levantamento de detalhes	344
14.4.1	Levantamento de detalhes com estações totais	344
14.4.2	Levantamento de detalhes com receptores GNSS	346
14.4.3	Levantamento de detalhes com escâner a laser terrestre	348
14.5	Representação gráfica	350
14.6	Locação de obras	351
14.6.1	Métodos geométricos de locação de obras	352
14.6.1.1	<i>Uso de gabarito de madeira</i>	352
14.6.1.2	<i>Locação com teodolitos</i>	353
14.7	Métodos analíticos de locação de obras	356
14.7.1	Locação com estações totais	356
14.7.2	Locação com receptores GNSS	358
CAPÍTULO 15		
	<b>Áreas</b>	<b>360</b>
15.1	Introdução	360
15.2	Métodos geométricos para o cálculo de áreas	361
15.2.1	Área de um triângulo qualquer	361
15.2.2	Área de um trapézio	362
15.2.3	Método dos trapézios sequenciais	362
15.2.4	Área de um quadrilátero	363
15.3	Métodos analíticos para o cálculo de áreas	364
15.3.1	Área de triângulos radiais – levantamento por irradiações	364
15.3.2	Levantamento por coordenadas polares	365
15.3.3	Método de Gauss – Cálculo da área pelas coordenadas retangulares totais	365
15.4	Método mecânico para o cálculo de áreas	367
15.5	Uso de computadores para o cálculo de áreas	368
15.6	Divisão de áreas	369
15.6.1	Divisão de áreas triangulares	369
15.6.2	Divisão de áreas quadriláteras	372
15.6.3	Divisão de polígonos	373
CAPÍTULO 16		
	<b>Curvas Horizontais e Verticais</b>	<b>375</b>
16.1	Introdução	375
16.2	Curvas horizontais circulares	376
16.2.1	Curva horizontal circular simples	376
16.2.2	Curva horizontal circular composta	376
16.2.3	Curva horizontal circular reversa	377
16.2.4	Geometria e terminologias de uma curva horizontal circular simples	378
16.2.5	Estaqueamento do alinhamento	381

16.3	Curvas horizontais com transição	382
16.3.1	Coordenadas de um ponto em uma clotoide	382
16.4	Curvas Verticais	386
16.5	Locação de curvas	391
16.5.1	Locação de uma curva horizontal circular simples	391
16.5.1.1	<i>Método das deflexões e comprimento da corda</i>	391
16.5.1.2	<i>Método das abscissas e ordenadas sobre a tangente</i>	392
16.5.1.3	<i>Método das coordenadas totais</i>	393
16.5.2	Locação de uma curva com transição	393
16.5.3	Locação de uma curva vertical	394
CAPÍTULO 17		
	<b>Cálculo de Volumes</b>	<b>395</b>
17.1	Introdução	395
17.2	Cálculo de volume a partir de seções transversais	396
17.2.1	Método da fórmula trapezoidal ou Método de Bezout	396
17.2.2	Método da fórmula prismoidal ou Regra de Simpson	398
17.2.3	Cálculo de volume em trechos curvos	401
17.3	Cálculo de volume a partir de troncos de prismas	402
17.3.1	Cálculo de volume para uma malha regular de pontos	403
17.3.2	Cálculo de volume para uma rede irregular de pontos	404
17.4	Cálculo de volume a partir de superfícies geradas por curvas de nível	405
17.5	Cálculo de volume a partir de modelos numéricos de terreno	406
17.6	Cota de passagem	407
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>411</b>