

Sumário

Hidrologia de superfície: princípios e aplicações - 2ª ed.

1 CICLO HIDROLÓGICO – 19

1.1 Ciclo Hidrológico – 21

1.1.1 Definição – 21

1.1.2 Equacionamento do balanço hídrico – 24

1.1.3 Os aquíferos e o ciclo hidrológico – 29

1.2 Hidrossedimentologia – 33

Referências bibliográficas – 35

2 BACIAS HIDROGRÁFICAS – 37

2.1 Introdução – 39

2.2 Codificação de bacias hidrográficas – 42

2.3 Classificação de bacias hidrográficas – 45

2.3.1 Pequenas bacias – 45

2.3.2 Bacias representativas – 45

2.3.3 Bacias experimentais – 46

2.3.4 Bacias elementares – 47

2.4 Representação digital de bacias hidrográficas – 47

2.5 Parâmetros fisiográficos importantes no contexto hidrológico – 56

2.5.1 Área da bacia hidrográfica – 56

2.5.2 Solos da bacia hidrográfica – 56

2.5.3 Forma da bacia hidrográfica – 58

2.5.4 Sistema ou rede de drenagem da bacia hidrográfica – 63

2.5.5 Características do relevo da bacia hidrográfica – 75

2.6 Considerações sobre manejo de bacias hidrográficas – 81

2.6.1 Introdução – 81

2.6.2 Estudo de caso na bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, região Alto rio Grande/MG – 83

2.6.2.1 Caracterização fisiográfica – 83

2.6.2.2 Diagnóstico do uso atual do solo na bacia hidrográfica do ribeirão Marcela – 88

2.6.2.3 Comportamento espacial de atributos hidrológicos do solo susceptíveis ao manejo – 92

2.7 Exercício proposto – 95

Referências bibliográficas – 96

3 HIDROLOGIA ESTATÍSTICA – 99

3.1 Conceitos básicos de probabilidades – 101

3.2 Histogramas de frequência – 104

3.3 Gráficos “Box-Plot” – 105

3.4 Medidas estatísticas básicas – 105

3.4.1 Média aritmética – 105

3.4.2 Moda – 106

3.4.3 Mediana – 106

3.4.4	Variância e desvio padrão da amostra	106
3.4.5	Assimetria	106
3.4.6	Curtose	107
3.4.7	Co-variância amostral	108
3.4.8	Coefficiente de correlação	108
3.5	Frequência de dados hidrológicos	108
3.5.1	Introdução	108
3.5.2	Conceito de Tempo de Retorno (TR)	111
3.6	Classificação das principais séries hidrológicas	113
3.7	Identificação de “outliers” em uma série histórica hidrológica	115
3.8	Testes não paramétricos em Hidrologia	118
3.8.1	Hipótese de Aleatoriedade	118
3.8.2	Hipótese de Estacionariedade	119
3.8.3	Hipótese de Independência	120
3.8.4	Hipótese de Homogeneidade	121
3.9	Distribuições de probabilidades contínuas em hidrologia	125
3.9.1	Distribuição Normal ou de Gauss	126
3.9.2	Distribuição de Gumbel para máximos ou assintótica de valores máximos do tipo I	136
3.9.3	Distribuição Generalizada de Extremos – GEV	137
3.9.4	Distribuição Log-Gumbel	138
3.9.5	Distribuição de Gumbel para mínimos ou assintótica de valores mínimos extremos do tipo I	142
3.9.6	Distribuição Log-Normal	143
3.9.7	Distribuição Gama	149
3.9.8	Distribuição Weibull	150
3.10	Parâmetros das distribuições de probabilidades com base nos estimadores de Máxima Verossimilhança (MV)	155
3.10.1	Distribuição Normal	157
3.10.2	Distribuição de Gumbel para máximos	158
3.10.3	Distribuição Gama	160
3.10.4	Log-Normal com 3 parâmetros	161
3.10.5	Distribuição de Weibull	164
3.10.6	Distribuição GEV	164
3.11	Estimação de parâmetros de distribuições de probabilidades com base na metodologia dos Momentos – L	166
3.11.1	Distribuição Normal	168
3.11.2	Distribuição de Gumbel para Máximos	168
3.11.3	Distribuição de Gumbel para Mínimos	168
3.11.4	Distribuição Gama	168
3.11.5	GEV	169
3.11.6	Log-Normal 2P	169
3.12	Testes de aderência para análise da adequação de distribuições de probabilidades contínuas	173
3.12.1	Teste de Kolmogorov-Smirnov	173
3.12.2	Teste de Qui-Quadrado	175
3.12.3	Teste de Filliben	177
3.12.4	Teste de Anderson-Darling	179
3.13	Exercícios propostos	188
	Referências bibliográficas	191
4	PRECIPITAÇÃO	193
4.1	Introdução	195
4.2	Noções gerais sobre a atmosfera terrestre	195
4.2.1	Circulação geral da atmosfera	197
4.2.2	Fenômenos atmosféricos que governam o regime de chuvas no Brasil	199
4.2.3	Conceito de umidade atmosférica	203

4.2.4	Transporte de energia na atmosfera	– 205
4.3	Aspectos característicos da precipitação	– 205
4.3.1	Tipos de precipitação	– 205
4.3.2	Formação das chuvas	– 206
4.3.3	Tipos de chuvas	– 208
4.3.3.1	Chuvas Ciclônicas	– 208
4.3.3.2	Chuvas Orográficas	– 210
4.3.3.3	Chuvas Convectivas	– 210
4.3.4	Monitoramento da precipitação	– 212
4.3.4.1	Monitoramento com base em pluviômetros e pluviógrafos	– 212
4.3.4.2	Monitoramento por Estações Meteorológicas	– 213
4.3.4.3	Monitoramento por Radar Meteorológico	– 215
4.3.5	Grandezas características associadas à precipitação	– 220
4.3.6	Dados de chuva no Brasil	– 222
4.4	Consistência de dados hidrológicos	– 227
4.4.1	Preenchimento de falhas em séries históricas de precipitação	– 227
4.4.2	Verificação da homogeneidade dos dados: curva dupla acumulada ou dupla massa	– 231
4.5	Precipitação média sobre a bacia hidrográfica	– 233
4.5.1	Média aritmética	– 233
4.5.2	Polígonos de Thiessen	– 234
4.5.3	Método das Isoietas	– 236
4.6	Chuvas Intensas	– 236
4.6.1	Definição e importância	– 236
4.6.2	CrITÉrios para fixação da frequência e da duração da chuva a serem aplicada a um projeto	– 237
4.6.3	Equação de chuvas intensas	– 238
4.6.3.1	Aspectos gerais e ajuste com base em dados de pluviograma	– 238
4.6.3.2	Ajuste da equação de chuvas intensas com base no método da desagregação de chuvas	– 241
4.6.4	Método de Bell para a estimativa de chuvas intensas	– 245
4.7	Mapeamento da precipitação	– 246
4.7.1	Importância	– 246
4.7.2	Algumas técnicas utilizadas na interpolação espacial e mapeamento	– 247
4.7.2.1	Inverso da distância	– 247
4.7.2.2	Interpolador geoestatístico (krigagem)	– 247
4.7.2.3	Co-krigagem	– 251
4.7.2.4	Modelos de regressão	– 252
4.7.3	Aplicações	– 252
4.8	Interceptação da precipitação pela cobertura vegetal	– 260
4.8.1	Análise da interceptação pelo dossel	– 260
4.8.2	Modelagem da interceptação pelo dossel	– 265
4.8.2.1	Modelo de Liu (LIU, 1997)	– 265
4.8.2.2	Modelo analítico revisado de Gash	– 267
4.9	Erosividade da chuva	– 269
4.9.1	Conceituação	– 269
4.9.2	Índice de Fournier Modificado (MFI)	– 273
4.10	Exercícios propostos	– 281
	Referências bibliográficas	– 284
5	EVAPOTRANSPIRAÇÃO	– 291
5.1	Introdução	– 293
5.2	Métodos para estimativa da Evapotranspiração Potencial (ETp)	– 294
5.2.1	Evapotranspiração a partir de medição da evaporação em tanques	– 294
5.2.2	Métodos baseados em balanço de energia	– 297

5.2.3 Métodos baseados na temperatura – 297
5.2.4 Método de Penman-Monteith – 301
5.2.5 Método de Priestley-Taylor – 306
5.3 Determinação da evapotranspiração da cultura (ET _c) – 307
5.3.1 Estimativa da ET _c com base em coeficientes de cultura (K _c) – 307
5.3.2 Estimativa de ET _c com base no método de Penman-Monteith – 308
5.4 Evapotranspiração real em bacias hidrográficas (ET _r) – 311
5.4.1 Relação ET _r /ET _p e a umidade do solo – 311
5.4.2 Balanço hídrico em bacias hidrográficas – 314
5.4.3 Evapotranspiração real a partir de lisímetros de drenagem (Evapotranspirômetro de Thornthwaite) – 318
5.4.4 Evapotranspiração real a partir de lisímetros de pesagem – 318
5.5 Estimativa da evaporação em reservatórios – 320
5.6 Exercícios propostos – 329
Referências bibliográficas – 330

6 HIDROLOGIA DO SOLO – 333

6.1 Infiltração no contexto do ciclo hidrológico – 335
6.2 Armazenamento de água no solo – 336
6.3 O processo de infiltração e a redistribuição de água no solo – 339
6.3.1 Alguns conceitos básicos sobre a relação solo-água – 339
6.3.2 Redistribuição de água no perfil do solo – 341
6.4 Movimento de água em solo saturado – 345
6.5 Testes de infiltração – 348
6.5.1 Anéis concêntricos – 348
6.5.2 Infiltrômetros do tipo Mariotte – 349
6.5.3 Simuladores de chuva – 350
6.6 Equações de infiltração – 352
6.6.1 Modelos empíricos – 353
6.6.1.1 Equação de Kostiakov – 353
6.6.1.2 Equação de Horton – 355
6.6.2 Modelos teóricos – 357
6.6.2.1 Green-Ampt – 357
6.6.2.2 Modelo de Green-Ampt modificado por Mein-Larson – 362
6.6.2.3 Equação de Philip – 364
6.7 Relação infiltração x escoamento superficial direto – 367
6.8 Infiltração média na bacia - índice - 373
6.9 Função da umidade do solo no comportamento hidrológico de bacias hidrográficas – 375
6.9.1 Conceituação – 375
6.9.2 Monitoramento da umidade do solo – 377
6.10 Conceitos de Hidropedologia – 381
6.11 Exercícios propostos – 385
Referências bibliográficas – 387

7 ESCOAMENTO SUPERFICIAL – 391

7.1 Aspectos conceituais – 393
7.1.1 Definição de escoamento superficial – 393
7.1.2 Grandezas características – 396
7.2 Análise do escoamento – Hidrógrafas – 400
7.2.1 Conceituação – 400
7.2.2 Separação do escoamento superficial direto e determinação do deflúvio para uma hidrógrafa isolada (Método das inflexões A e C, Figura 7.2) – 403
7.2.3 Método de Barnes – 412

7.2.4 Separação automática do escoamento base em hidrogramas contínuos - método dos filtros digitais de Eckhardt (2005) – 416
7.3 Precipitação efetiva – 419
7.3.1 Índice 0 – 419
7.3.2 Método Curva-Número - USDA/ARS (Método CN-SCS) – 421
7.3.3 Método CN-Modificado por Mishra et al. (2003) (CN-MMS) – 427
7.4 Hidrograma Unitário (HU) – 430
7.4.1 Definições e aplicação – 430
7.4.2 Determinação do HU – 438
7.4.2.1 Modelagem empírica do HU – 438
7.4.2.2 Hidrograma Unitário Sintético – 441
7.4.2.3 Hidrograma Unitário Instantâneo - Modelos conceituais – 447
7.4.2.4 Propostas geomorfológicas para os modelos conceituais de Nash e Clark – 464
7.4.3 Estimativa do HU para tempos de duração diferentes do HU original – 469
7.5 Vazões máximas e Hidrograma de projeto – 472
7.5.1 Introdução – 472
7.5.2 Chuva de projeto – 472
7.5.2.1 Determinação do Tempo de Retorno (TR) – 472
7.5.2.2 Determinação do tempo de duração da chuva de projeto – 473
7.5.3 Equações empíricas para transformação chuva-vazão – 478
7.5.3.1 Método Racional – 478
7.5.3.2 Método de McMath – 483
7.5.3.3 Aplicação da Hidrógrafa Unitária Triangular (HUT) – 485
7.5.3.4 Geração do Hidrograma de Projeto – 486
7.5.4 Propagação em rios – 493
7.6 Dimensionamento de reservatórios – 495
7.6.1 Conceitos – 495
7.6.2 Dimensionamento hidrológico de reservatórios – 496
7.6.2.1 Regularização de vazões – 496
7.6.2.2 Propagação de cheias – 506
7.7 Noções sobre monitoramento de vazões em cursos d'água – 513
7.7.1 Monitoramento de vazões em bacias hidrográficas – 513
7.7.2 Medição direta de vazões em cursos d'água – 517
7.8 Exercícios propostos – 520
Referências bibliográficas – 526