
ÍNDICE DO TEXTO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
1.2 – ÂMBITO E OBJECTIVOS DO TRABALHO	5
1.3 – ESTRUTURA DO TEXTO	6

CAPÍTULO II - DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO

2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	11
2.2 – TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	13
2.2.1 – Considerações prévias	13
2.2.2 – Velocidade de escoamento superficial	14
2.2.3 – Soil Conservation Service	15
2.2.4 – Giandotti	17
2.2.5 – Temez	17
2.2.6 – Kirpich, Pickering, DAVID	18
2.2.7 – Ventura	19
2.2.8 – Schaaake	19
2.2.9 – Kerby	20
2.2.10 – Morgali e Linsley	20
2.2.11 – Izzard	21
2.3 – RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO/ESCOAMENTO	22
2.3.1 – Considerações prévias	22
2.3.2 – Número de escoamento segundo o SCS	24
2.3.3 – Método racional. Coeficiente de escoamento.....	28
2.3.4 – Fórmula de Temez. Coeficiente de escoamento	31

2.4 – PRECIPITAÇÃO	32
2.4.1 – Considerações prévias	
2.4.2 – Precipitações intensas de curta duração. Curvas IDF	33
2.4.3 – Precipitação útil.....	35
2.5 – PERÍODOS DE RETORNO	37
2.6 – CAUDAL DE PONTA DE CHEIA.....	39
2.6.1– Considerações prévias	39
2.6.2 – Fórmulas empíricas	40
a) Fórmula de Whistler.....	40
b) Fórmula de Pagliaro	41
c) Fórmula de Forti.....	41
d) Fórmula de Iskowski	41
2.6.3 – Fórmulas cinemáticas.....	43
a) Fórmula racional	43
b) Fórmula de Giandotti.....	45
c) Fórmula do SCS para pequenas bacias naturais e urbanas.....	46
d) Fórmula de Mockus.....	48
e) Fórmula de David.....	48
f) Fórmula de Temez.....	49
2.6.4 – Fórmulas de base estatística. Fórmula de Loureiro.....	51

CAPÍTULO III - DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

3.1 – CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS.....	55
3.2 – CONTROLO DO ESCOAMENTO.....	57
3.3 – TIPOS DE ESCOAMENTOS EM AQUEDUTOS.....	59
3.3.1 – Considerações prévias	59
3.3.2 – escoamento tipo I - Altura crítica a montante.....	59
3.3.3 – escoamento tipo II - Altura crítica a jusante.....	60
3.3.4 – escoamento tipo III - escoamento lento em todo o aqueduto.....	60
3.3.5 – escoamento tipo IV - Saída submersa.....	61
3.3.6 – escoamento tipo V - Entrada afogada e regime rápido.....	61

3.3.7 – Escoamento tipo VI - Secção cheia com saída livre.....	62
3.4 – PERDAS DE CARGA.....	62
3.4.1 – Perda de carga contínua.....	62
3.4.2 – Perdas de carga localizadas	65
3.5 – ESCOAMENTOS COM SUPERFÍCIE LIVRE	66
3.6 – SECÇÕES E INCLINAÇÕES MÍNIMAS	68
3.7 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE AQUEDUTOS	69
3.7.1 – Considerações prévias	69
3.7.2 – Procedimento proposto pelo U.S. Bureau of Public Roads.....	70
3.7.3 – Procedimento proposto por Chow	72
3.7.4 – Procedimento proposto por Bodhaine (1976).....	75
3.7.5 – Dimensionamento segundo a Hydraulic Design Series (HDS) Nº 5.....	77
3.7.6 – Fórmula de Talbot	79
3.8 – DISSIPAÇÃO DE ENERGIA	80
3.8.1 – Considerações gerais	80
3.8.2 – Enrocamento de protecção.....	81
3.8.3 – Bacias de dissipação de energia por ressalto	83
3.8.3.1 – Considerações prévias.....	83
3.8.3.2 – Bacia tipo PWD	84
3.8.3.3 – Bacia tipo WES.....	85
3.8.3.4 – Bacia tipo SAF.....	86
3.8.3.5 – Bacia tipo III do USBR.....	88
3.8.3.6 – Bacia tipo IV do USBR.....	90
3.8.4 – Estruturas de queda.....	91
3.8.5 – Bacias de dissipação por impacto.....	93
3.8.6 – Estruturas de dissipação de energia com gabiões.....	96
3.8.7 – Canais com soleira em degraus	97
3.8.7.1 – Considerações prévias.....	97
3.8.7.2 – Escoamento em quedas sucessivas	97
3.8.7.3 – Escoamento deslizante sobre turbilhões	100
3.8.8 – Estruturas com macrorugosidades	101
3.8.8.1 – Rampas com blocos	101
3.8.8.2 – Rampas com travessas	102

3.9 – ESTRUTURAS DE ENTRADA E DE SAÍDA	103
3.10 – ESTRUTURAS DE TRANSIÇÃO.....	106

CAPÍTULO IV – PROGRAMA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO

4.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS E OBJECTIVOS	111
4.2 – DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO PROGRAMA HIDROPAS.....	112
4.3 – DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO	115
4.3.1 – Considerações gerais	115
4.3.2 – Procedimentos utilizados no cálculo do caudal de ponta de cheia.....	117
a) Fórmula de Giandotti	118
b) Fórmula racional	119
c) Método de David.....	120
d) Método do Soil Conservation Service	121
e) Método de Mockus	122
f) Método de Temez	122
4.4 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	123
4.4.1 – Considerações gerais	123
4.4.2 – Procedimentos utilizados na definição da secção de controlo	125
4.4.3 – Cálculo da curva de regolfo no aqueduto.....	126
4.4.4 – Escoamento sob pressão. Procedimento de cálculo	128
4.4.5 – Dissipação de energia. Procedimentos de cálculo.....	130
4.5 – DIMENSIONAMENTO TÉCNICO-ECONÓMICO.....	131
4.5.1 – Considerações gerais	131
4.5.2 – Classificação dos aquedutos. Classe e tipo	133
4.5.3 – Dimensionamento estrutural de aquedutos rectangulares	134
4.5.4 – Disposições construtivas na execução dos trabalhos	135
4.5.5 – Estimativa de custos	139

CAPÍTULO V - APLICAÇÃO DA METODOLGIA PROPOSTA

A CASOS DE ESTUDO

5.1 – CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS.....	147
5.2 – DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO. CONDIÇÕES DE PROJECTO	148
5.2.1 – Considerações gerais	148
5.2.2 – Auto-estrada do norte (A1). Sublanço Pombal - Condeixa	149
5.2.3 – Auto-estrada Marateca/Elvas (A6). Sublanço Montemor-o-Novo - Évora	150
5.2.3 – Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Estremoz - Borba	151
5.2.4 – CREL Estádio Nacional / Alverca. Sublanço Loures - Bucelas.....	152
5.2.6 – Auto-estrada Setúbal / Montijo (A12).....	152
5.2.6 – Ligação IP3 - IP5. Variante a Viseu	153
5.3 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO. CONDIÇÕES DE PROJECTO.....	155
5.4 – APLICAÇÃO DO PROGRAMA HIDROPAS.....	156
5.4.1 – Considerações gerais	156
5.4.2 – Auto-estrada do norte (A1). Sublanço Pombal-Condeixa	157
5.4.3 – Auto-estrada Marateca/Elvas (A6). Sublanço Montemor-o-Novo - Évora	159
5.4.4 – Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Estremoz - Borba	160
5.4.5 – CREL Estádio Nacional / Alverca. Sublanço Loures-Bucelas.....	162
5.4.6 – Auto-Estrada Setúbal / Montijo.....	163
5.4.6 – Ligação do IP5 ao IP3. Variante a Viseu.....	164
5.5 – CONSIDERAÇÕES GERAIS E CONCLUSÕES.....	165

CAPÍTULO VI – PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PASSAGENS HIDRÁULICAS

6.1 – INTRODUÇÃO	169
6.2 – DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO.....	170
6.2.1 – Tempo de concentração	170
6.2.2 – Caudal de ponta de cheia	171
6.3 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	178

6.4 – ESTIMATIVA DE CUSTO	180
--	------------

CAPÍTULO VII – SÍNTESE E CONCLUSÕES. PROPOSTAS FINAIS

7.1 – SÍNTESE E CONCLUSÕES	189
---	------------

7.2 – PROPOSTAS FINAIS	194
-------------------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA.....	195
--------------------------	------------

ANEXO A - DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DE PASSAGENS HIDRÁULICAS	205
---	------------

ANEXO B - DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE AQUEDUTOS.....	211
---	------------

ANEXO C - FOTOGRAFIAS DE PASSAGENS HIDRÁULICAS.....	217
--	------------

ANEXO D - PROGRAMA HIDROPAS. EXEMPLO DE MEMÓRIA DESCRITIVA..	227
---	------------

ANEXO E - PASSAGENS HIDRÁULICAS. QUANTIDADES DE TRABALHO E PREÇOS UNITÁRIOS A CUSTOS DE 1999.....	235
--	------------

ANEXO F - CASOS DE ESTUDO. RESULTADOS DOS DIMENSIONAMENTOS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO CONSIDERADOS EM CADA CASO.....	245
---	------------

ANEXO G - CASOS DE ESTUDO. RESULTADOS DOS DIMENSIONAMENTOS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO CONSIDERADOS NO PROGRAMA HIDROPAS.....	259
---	------------

ANEXO H - DESENHOS TIPO DE PASSAGENS HIDRÁULICAS	277
---	------------

ÍNDICE DE QUADROS

Capítulo 2

2.1 – Factores condicionantes do escoamento (adaptado de Chow et al, 1988).....	12
2.2 – Velocidades médias aproximadas de escoamento superficial (m/s) (adaptado de Chow et al, 1988 , p.165).....	14
2.3 – Coeficiente de rugosidade da fórmula de Kerby (extraído de Matos, 1987).....	20
2.4 – Coeficientes de rugosidade de Manning a utilizar na fórmula de Morgali e Linsley (extraído de Matos, 1987).....	21
2.5 – Coeficiente de rugosidade da fórmula de Izzard (adaptado de Chow et al, 1988). ...	22
2.6 – Classificação hidrológica de solos segundo o SCS (adaptado de Lencastre e Franco, 1992).	24
2.7 – Número de escoamento para regiões urbanas, suburbanas e agrícolas (extraído de Correia, 1984^b).....	25
2.8 – Número de escoamento para regiões rurais (adaptado de SCS, 1973).....	26
2.9 – Definição das condições antecedentes de humidade (adaptado de Correia, 1984^b).	27
2.10 – Condição antecedente de humidade em função da precipitação total nos cinco dias antecedentes (adaptado de SCS, 1972).	27
2.11 – Correção do número de escoamento em função da condição antecedente de humidade (adaptado de SCS, 1973).	28
2.12 – Valores médios do coeficiente de escoamento a utilizar no método racional (adaptado de Chow, 1964).	29
2.13 – Coeficiente de escoamento a utilizar no método racional (adaptado de Choupas, 1995).....	30
2.14 – Parâmetros, <i>a</i> e <i>b</i> , das curvas IDF de diferentes regiões (extraído de Matos e Silva, 1986).	34
2.15 - Parâmetros, <i>a</i> e <i>b</i> , das curvas IDF para Aveiro, Lisboa, Évora e Faro (extraído de Brandão, 1995).....	35
2.16 – Período de retorno para dimensionamento passagens hidráulicas. Pesos dos parâmetros P1, P2 e P3 (adaptado de JAE, 1998).	38

2.17 – Período de retorno mínimo a adoptar em passagens hidráulicas (extraído de JAE, 1998).	38
2.18 – Coeficiente K_{Is} da fórmula de Iskowski (adaptado de Lencastre, 1992).	42
2.19 – Coeficiente m_I da fórmula de Iskowski (adaptado de Lencastre, 1992).	42
2.20 – Coeficiente de ajustamento em função do período de retorno (<i>in</i> Wright-McLaughlin, 1969)	44
2.21 – Valores do parâmetro λ da fórmula de Giandotti (adaptado de Lencastre e Franco, 1992).	46
2.22 – Parâmetro μ em função do grau de urbanização (adaptado de Temez, 1978).	50
2.23 – Parâmetros C_L e z da fórmula de Loureiro (adaptado de Lencastre e Franco, 1992).	52

Capítulo 3

3.1 – Escoamentos em aqueduto. Tipos e características (adaptado de Bodhaine, 1976 e de French, 1986).	59
3.2 – Rugosidade absoluta de condutas de betão.	64
3.3 – Coeficientes da fórmula de Manning-Strickler.	65
3.4 – Coeficiente de perda de carga na entrada de aquedutos (adaptado de U. S. Corps Engineers, 1983).	66
3.5 – Secções e inclinações mínimas adoptadas em França.	68
3.6 – Velocidades máximas em canais (adaptado de U.S. Corps of Engineers, 1970).	72
3.7 – Estruturas de entrada com bordos arredondados. Correções a efectuar no valor de H_w/D (adaptado de Chow, 1959).	72
3.8 – Coeficiente de vazão. Escoamentos tipo V (adaptado de Bodhaine, 1976).	74
3.9 – Tipos de escoamentos. Equações de vazão (adaptado de Bodhaine, 1976, in French, 1986).	76
3.10 – Escoamentos tipo IV e VI. Coeficiente de vazão. (adaptado de Bodhaine, 1976)...	76
3.11 – Dimensionamento de aquedutos segundo HDS nº 5. Constantes empíricas a utilizar nas expressões (3.14) ou (3.15) e (3.16) (adaptado de Ramsbottom e Rickard, 1997).	78
3.12 – Coeficientes da fórmula de Talbot (adaptado de Bustamante, 1996).	79
3.13 – Velocidades e tensões tangenciais críticas de arrastamento (adaptado de U.S. Corps of Engineers, 1970 , e de United Nations, 1973).	81

3.14 – Extensão do tapete a adoptar em aquedutos de secção circular (extraído de LNEC, 1996).....	83
3.15 – Valores para o comprimento do divergente em bacias tipo SAF (extraído de Ramos, 1996).....	87
3.16 – Diâmetro do enrocamento de protecção em bacias de dissipação por impacto sem blocos (adaptado de Lencastre, 1991).....	95
3.17 – Utilização de estruturas de gabiões na dissipação de energia (adaptado de Ramos, 1996).....	96
3.18 – Espessuras dos gabiões em função da velocidade do escoamento (adaptado de Agostini et al, 1988).	97
3.19 – Coeficientes de contracção e expansão em transições (U. S. Corps of Engineers, 1970).....	107
3.20 – Transições em cunha. Critérios de dimensionamento (adaptado de U. S. Corps of Engineers, 1970).....	108

Capítulo 4

4.1 – Cargas de rotura por compressão diametral (adaptado de JAE, 1985).....	134
4.2 – Condutas de betão. Custos médios do metro linear não incluindo assentamento (Dezembro,1999).....	141
4.3 – Aquedutos de secção circular da classe I e II. Composição de custos.	141
4.4 – Aquedutos de secção circular. Custos totais médios por metro linear.	141
4.5 – Custos unitários de aquedutos em empreitadas da BRISA..	143
4.6 – Custos unitários de estruturas de entrada e saída com muros de ala, em betão, em empreitadas da BRISA..	144

Capítulo 5

5.1 – Dimensionamento hidrológico. Elementos de base utilizados nos diferentes casos de estudo.....	148
5.2 – Auto-Estrada do Norte, sublanço Pombal – Condeixa. Precipitações máximas e intensidades máximas utilizadas.	149
5.3 – Intensidades médias máximas de precipitação. Auto-estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Estremoz-Borba.	151

5.4 – Precipitações máximas e intensidades máximas de precipitação. Estação meteorológica de Viseu.....	154
5.5 – Dimensionamento hidráulico. Elementos de base utilizados nos diferentes casos de estudo.	156

Anexo B

A1 – Curvas IDF (Brandão e Rodrigues, 2000)	209
--	-----

Anexo F

F1 – Auto-estrada do Norte (A1), sublanço Pombal - Condeixa. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo projectista.	247
F2 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Montemor o Novo – Évora. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo projectista.....	248
F3 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Estremoz – Borba. Dimensionamento hidrológico e hidráulico efectuado pelo projectista em aquedutos de secção circular.....	249
F4 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Estrmoz – Borba. Dimensionamento hidrológico e hidráulico efectuado pelo projectista em aquedutos de secção rectangular.....	250
F5 – CREL Estádio Nacional / Alverca (A9), sublanço Loures – Bucelas. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo projectista.....	251
F6 – Auto-estrada Setúbal / Montijo (A12). Dimensionamento hidrológico efectuado pelo projectista.	252
F7 – Ligação IP3 – IP5, variante a Viseu. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo projectista.	253
F8 – Auto-estrada do Norte (A1), sublanço Pombal – Condeixa. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo projectista.	254
F9 – Auto-estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Montemor o Novo – Évora. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo projectista.	255
F10 – Auto-estrada Setúbal / Montijo (A12). Dimensionamento hidráulico efectuado pelo projectista.	256

F11 – Ligação IP3 – IP5, variante a Viseu. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo projectista.	257
F12 – CREL Estádio Nacional / Alverca (A9), sublanço Loures – Bucelas. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo projectista.	258

Anexo G

G1 – Auto-Estrada do Norte, sublanço Pombal – Condeixa. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para um período de retorno de 50 anos.....	261
G2 – Auto-Estrada do Norte, sublanço Pombal – Condeixa. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para diferentes períodos de retorno.	262
G3 – Auto-Estrada do Norte, sublanço Pombal – Condeixa. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo programa HIDROPAS para um período de retorno de 50 anos.....	263
G4 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Montemor o Novo – Évora. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para um período de retorno de 50 anos.	264
G5 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6)., sublanço Montemor o Novo – Évora Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para diferentes períodos de retorno.	265
G6 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Montemor o Novo – Évora. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo programa HIDROPAS para um período de retorno de 50 anos.	266
G7 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6)., sublanço Estremoz – Borba. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para um período de retorno de 50 anos.	267
G8 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Estremoz – Borba. Dimensionamento hidrológico do programa para vários períodos de retorno.	268
G9 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6)., sublanço Estremoz – Borba. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo programa HIDROPAS para um período de retorno de 50 anos.	269

G10 – CREL Estádio Nacional / Alverca (A9), sublanço Loures - Bucelas. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para um período de retorno de 50 anos.	270
G11 – CREL Estádio Nacional / Alverca (A9), sublanço Loures - Bucelas. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para diferentes períodos de retorno.....	270
G12 – CREL Estádio Nacional / Alverca (A9), sublanço Loures - Bucelas. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo programa HIDROPAS para um período de retorno de 50 anos.	271
G13 – CREL Estádio Nacional / Alverca (A9), sublanço Loures - Bucelas. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo programa HIDROPAS para os caudais de dimensionamento do projecto.	271
G14 – Auto-Estrada Setúbal / Montijo (A12). Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para diferentes períodos de retorno.....	272
G15 – Ligação IP3-IP5, variante a Viseu. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para um período de retorno de 50 anos.....	273
G16 – Ligação IP3-IP5, variante a Viseu. Dimensionamento hidrológico efectuado pelo programa HIDROPAS para diferentes períodos de retorno.....	274
G17 – Ligação IP3-IP5, variante a Viseu. Dimensionamento hidráulico efectuado pelo programa HIDROPAS.	275

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

2.1 – Velocidades de escoamento superficial para diversos declives e coberturas de solo, segundo o SCS (adaptado de Hammer e Mackichan, 1981, in Lencastre e Franco, 1992 , p.290).....	15
2.2 – Factor correctivo do tempo de atraso relativo à melhoria das condições hidráulicas do escoamento (extraído de Correia, 1984^b).....	16
2.3 – Factor correctivo do tempo de atraso relativo à percentagem de área impermeável (extraído de Correia, 1984^b).....	17
2.4 – Hidrograma do escoamento superficial (directo), sub-superficial (intermédio) e de base (extraído de Lencastre e Franco, 1992).....	23
2.5 – Relação entre a precipitação útil e a precipitação total, segundo o método do SCS (extraído de Oliveira, 1996).....	37

Capítulo 3

3.1 – Aqueduto tipo. Simbologia utilizada.....	56
3.2 – Controlo do escoamento a jusante. Simbologia utilizada.....	58
3.3 – Escoamento tipo I.....	60
3.4 – Escoamento tipo II.....	60
3.5 – Escoamento tipo III.....	61
3.6 – Escoamento tipo IV.....	61
3.7 – Escoamento tipo V.....	62
3.8 – Escoamento tipo VI.....	62
3.9 – Geometria de uma secção circular.....	67
3.10 – Dimensionamento de aquedutos circulares e rectangulares. Estrutura de entrada com bordos em aresta viva (extraído de Chow, 1959).....	73
3.11 – Coeficiente de vazão para escoamentos dos tipos I,II e III. Estrutura de entrada com os bordos em aresta viva (adaptado de Bodhaine, 1976).....	74

3.12 – Aqueduto com os bordos de entrada arredondados. Correções ao coeficiente de vazão. (adaptado de Bodhaine, 1976).	75
3.13 – Aqueduto com os bordos de entrada em bisel. Correções ao coeficiente de vazão (adaptado de Bodhaine, 1976).....	75
3.14 – Bacia tipo PWD (extraído de Argue, 1961).	85
3.15 – Bacia tipo WES (adaptado de U. S. Corps Engineers, 1991).....	85
3.16 – Bacia tipo SAF (extraído de Wilken, 1978).	86
3.17 – Bacia tipo III do USBR.	88
3.18 – Alturas dos blocos de amortecimento e da soleira de jusante em bacias tipo III do USBR (adaptado de Simon e Korom, 1997).....	89
3.19 – Bacia tipo IV do USBR.....	90
3.20 – Estrutura de queda simples (adaptado de U. S. Corps of Engineers, 1991).....	91
3.21 – Estrutura de queda com blocos de amortecimento (adaptado de USBR, 1977).	92
3.22 – Valores de $L_d / \Delta z$ (extraído de Ramos, 1996).	93
3.23 – Bacia de dissipação por impacto (adaptado de Smith e Korolischuk, 1973).	94
3.24 – Bacia de dissipação por impacto sem blocos (extraído de Beichley, 1971 in Lencastre, 1991).....	95
3.25 – Escoamento em quedas sucessivas (<i>nappe flow</i>).	98
3.26 – Escoamento deslizante sobre turbilhões (<i>Skimming flow</i>).	100
3.27 – Rampa com blocos (adaptado de Peterka, 1964).	101
3.28 – Escoamento com ressaltos sucessivos (<i>tumbling flow</i>).	103
3.29 – Estruturas de entrada recomendadas por U. S. Corps of Engineers (1991)	104
3.30 – Aqueduto rectangular com estrutura de entrada com transição em campânula (adaptado de Novak et al, 1996).....	105
3.31 – Estruturas de entrada e saída mais utilizada em vias de comunicação pela BRISA e pela JAE (Figuras C11 e C12 do Anexo C).	106
3.32 – Tipos de transições em canais.	107

Capítulo 4

4.1 – Programa de cálculo automático <i>HIDROPAS</i> . Fluxograma sumário.....	113
4.2 – Módulo <i>QPONTA</i> . Fluxograma.	116
4.3 – Sub-programas para cálculo da fórmula de <i>Giandotti</i> e da fórmula <i>racional</i> . Fluxogramas sumários.	119

4.4 – Sub-programa do método de <i>David</i> . Fluxograma.	120
4.5 – Sub-programa do método do <i>SCS</i> . Fluxograma.	121
4.6 – Sub-programa do método de <i>Temez</i> . Fluxograma sumário.	122
4.7 – Sub-programa <i>HIDCALC</i> . Fluxograma.	124
4.8 – Energia específica em relação ao fundo do aqueduto. Controlo do escoamento.	125
4.9 – Sub-programa <i>Cregolf</i> . Fluxograma.	128
4.10 – Sub-programa <i>pressão</i> . Fluxograma.	130
4.11 – Sub-programa <i>Dissip</i> . Fluxograma.	131
4.12 – Sub-programa <i>ESTIMA</i> . Fluxograma sumário.	133
4.13 – Aquedutos circulares do tipo A. Custos totais por metro linear.	142
4.14 – Aquedutos circulares do tipo B. Custos totais por metro linear.	142

Capítulo 5

5.1 – Curvas IDF características da região de Viseu.	154
5.2 – Auto-estrada do Norte (A1). Caudais de ponta de cheia de projecto e os obtidos no presente estudo.	158
5.3 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Montemor o Novo - Elvas. Caudais de ponta de cheia de projecto e os obtidos no presente estudo.	160
5.4 - Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Estremoz - Borba. Caudais de ponta de cheia de projecto e os obtidos no presente estudo.	161
5.5 – Estádio Nacional / Alverca (A9), sublanço Loures - Bucelas. Caudais de ponta de cheia de projecto e os obtidos no presente estudo.	162
5.6 – Auto-Estrada Setúbal Montijo (A12). Caudais de ponta de cheia.	164
5.7 – Ligação do IP3 ao IP5. Caudais de ponta de cheia previstos no projecto e os calculados pelo programa HIDROPAS.	165

Capítulo 6

6.1 – Tempo de concentração em função da área.	170
6.2 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 250 ha. Região pluviométrica A (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 50 anos.	172
6.3 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 2500 ha. Região pluviométrica A (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 50 anos.	172

6.4 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 250 ha. Região pluviométrica A (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 100 anos.	173
6.5 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 2500 ha. Região pluviométrica A (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 100 anos.	173
6.6 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 250 ha. Região pluviométrica B (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 50 anos.	174
6.7 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 2500 ha. Região pluviométrica B (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 50 anos.	174
6.8 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 250 ha. Região pluviométrica B (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 100 anos.	175
6.9 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 2500 ha. Região pluviométrica B (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 100 anos.	175
6.10 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 250 ha. Região pluviométrica C (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 50 anos.	176
6.11 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 2500 ha. Região pluviométrica C (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 50 anos.	176
6.12 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 250 ha. Região pluviométrica C (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 100 anos.	177
6.13 – Caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas com área inferior a 2500 ha. Região pluviométrica C (Matos e Silva, 1986); período de retorno de 100 anos.	177
6.14 – Passagens hidráulicas de secção circular com controlo à entrada e estrutura de entrada com muros de ala. Diâmetros comerciais em função do caudal de dimensionamento e da altura de água a montante.	179
6.15 – Passagens hidráulicas de secção circular com controlo à entrada e estrutura de entrada com muros de ala. Dimensionamento do aqueduto.	179
6.16 – Estruturas de entrada e de saída com muros de ala. Estimativa de custo em função do diâmetro do aqueduto (preços de 1999).	181
6.17 – Estruturas de entrada em recipiente com profundidade compreendida entre 2,50 m e 4,50 m (a azul) e profundidade inferior a 2,50m (a vermelho). Estimativa de custo em função do diâmetro do aqueduto(preços de 1999).	181
6.18 – Aquedutos de secção circular com assentamento em areia. Estimativa de custo por metro linear.	182
6.19 – Aquedutos de secção circular com assentamento em betão. Estimativa de custo por metro linear.	182

6.20 – Passagens hidráulicas com aquedutos do tipo A e estruturas de entrada e de saída com muros de ala. Estimativa de custo.	183
6.21 – Passagens hidráulicas com aquedutos do tipo A, estrutura de entrada em recipiente e estrutura de saída com muros de ala. Estimativa de custo.	184
6.22 – Passagens hidráulicas com aqueduto do tipo B e das classes II e III. Estimativa de custo.	185
6.23 – Passagens hidráulicas com aqueduto do tipo B e da classe IV. Estimativa de custo.	186

Anexo A

A1 – Carta dos solos de Portugal classificados pelas suas características hidrológicas (extraído de David, 1976).	207
A2 – Regiões pluviométricas. Parâmetros das curvas I-D-F (extraído de Matos e Silva, 1986).	208

Anexo B

B1 – Altura de água a montante para aquedutos circulares com controlo à entrada (adaptado de U.S. Corps of Engineers, 1983).	213
B2 – Altura de água a montante para aquedutos rectangulares com controlo à entrada (adaptado de U.S. Corps of Engineers, 1983).	214
B3 – Carga para aquedutos circulares de betão escoando em secção cheia (adaptado de U.S. Corps of Engineers, 1983).	215
B4 – Carga para aquedutos rectangulares de betão escoando em secção cheia (adaptado de U.S. Corps of Engineers, 1983).	216

Anexo C

C1 – Aqueduto de secção circular e estrutura de saída com muros de ala.	219
C2 – Aqueduto duplo de secção circular. Entrada com forte assoreamento e vegetação..	219
C3 – Aqueduto triplo de secção circular.	220
C4 – Aqueduto de secção rectangular.	220
C5 – Aqueduto duplo de secção rectangular.	221

C6 – Aqueduto em tubo metálico corrugado (<i>corrugated pipes</i>).....	221
C7 – Execução de um aqueduto de secção circular com macacos hidráulicos.	222
C8 – Construção de aqueduto de secção circular.	222
C9 – Aqueduto de secção circular com assentamento em betão.	223
C10 – Cofragem de estrutura de entrada com muros de ala.....	223
C11 – Estrutura de saída com muros de ala.	224
C12 – Estrutura de entrada em recipiente.	224
C13 – Efeitos da ausência de dissipador de energia adequado num aqueduto de secção circular triplo.	223
C14 – Efeitos da ausência de dissipador de energia num aqueduto de secção circular.	223

SIMBOLOGIA

- A - área da secção transversal do aqueduto;
- A_b - área da bacia hidrográfica;
- A_c - área crítica de escoamento;
- A_i - área de influência de um posto udométrico;
- A_0 - área molhada na secção de saída do aqueduto;
- A_{bi} - sub-área i de uma bacia hidrográfica de área total A_b ;
- a - altura das travessas em dissipadores de energia com este tipo de macrorugosidades;
- a, b, n, m - parâmetros utilizados nas expressões das curvas IDF e curvas de possibilidade udométrica;
- B - largura uma secção rectangular;
- b_c - largura crítica;
- C - coeficiente escoamento da fórmula racional;
- C_c - coeficiente de contracção;
- C_D - coeficiente de vazão;
- coeficiente de arrastamento (Eq. 3.38);

- C_e - coeficiente de expansão em transições;
- C_f - coeficiente de ajustamento do coeficiente de escoamento da fórmula racional;
- C_{imp} - coeficiente de impermeabilização;
- CN - número de escoamento;
- C_T - coeficiente da fórmula de Talbot (Eq. 3.17);
- C_L - parâmetro da fórmula de Loureiro (Eq. 2.41);
- c, M, Y - constantes empíricas (HDS nº5);
- D - diâmetro ou altura da secção transversal de um aqueduto;
- D_{50} - diâmetro do enrocamento correspondente a 50% sobre a curva granulométrica;
- E_0 - energia específica;
- F_D - força hidrodinâmica por unidade de largura;
- F_r - número de Froude;
- f - factor de resistência ou factor de Darcy-Weisbach;
- g - aceleração da gravidade;
- H_w - altura de água acima da soleira à entrada do aqueduto;
- h - altura da superfície livre relativamente à soleira do aqueduto;
- altura máxima de precipitação;

h_a	- altura de água sobre travessas de uma rampa;
h_c	- altura crítica;
h_d	- altura dos degraus em estruturas de dissipação de energia com degraus;
h_m	- altura média da bacia hidrográfica; - altura de água a montante;
h_o	- parâmetro que depende da altura de água a jusante do aqueduto (Eq. 3.1);
h_u	- altura uniforme;
h_{max}	- altura de precipitação com duração igual ao tempo de concentração, para um dado período de retorno (Eq. 2.31);
h_1, h_2	- alturas de escoamento conjugadas;
I	- intensidade média de precipitação na bacia hidrográfica;
I_a	- perda inicial para o escoamento superficial;
I_u	- intensidade da precipitação útil;
i_m	- declive médio do curso de água principal da bacia hidrográfica
i_{mb}	- declive médio da bacia hidrográfica;
J	- perda de carga unitária;
K	- coeficiente da fórmula de Manning-Strickler; - factor de ponta de uma bacia hidrográfica; - constante empírica (HDS nº5);

K_I	- coeficiente de rugosidade da fórmula de Izzard (Eq. 2.13);
K_K	- coeficiente de rugosidade da fórmula de Kerby (Eq. 2.11);
K_ℓ	- coeficiente de perda de carga localizada;
K_{Is}	- coeficiente da fórmula de Iskowski (Eq. 2.28);
K_M	- coeficiente de rugosidade da fórmula de Morgali e Linsley (Eq. 2.12);
k_e	- coeficiente de perda de carga na estrutura de entrada de aquedutos;
k_s	- coeficiente de perda de carga na estrutura de saída de aquedutos;
L	- comprimento do aqueduto; - comprimento da rede hidrográfica de características homogêneas; - comprimento da bacia de dissipação de energia;
L_b	- comprimento do curso de água principal da bacia hidrográfica;
L_R	- comprimento do ressalto hidráulico;
ℓ	- largura da bacia de dissipação de energia por impacto;
ℓ_d	- comprimento dos degraus em estruturas de dissipação de energia com degraus;
m_I	- coeficiente da fórmula de Iskowski (Eq. 2.28);
N	- número de degraus (Eq. 3.33); - número de queda (Eq. 3.28);
n	- coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning-Strickler;
P	- precipitação total;

$\overline{P}$	- precipitação anual média;
P_d	- precipitação máxima diária;
P_i	- precipitação num posto udométrico;
P_p	- precipitação ponderada numa bacia hidrográfica;
P_u	- precipitação útil;
P_0	- parâmetro relativo às perdas iniciais da chuvada antes de se iniciar o escoamento superficial;
Q_d	- caudal de dimensionamento;
Q_p	- caudal de ponta de cheia;
q	- caudal por unidade de largura;
R	- raio hidráulico;
Re	- número de Reynolds;
S_0	- declive da soleira de um aqueduto;
S_c	- declive crítico de um aqueduto;
S_{mr}	- capacidade máxima de retenção segundo o SCS;
T	- período de retorno;
Tw	- altura de água acima da soleira à saída de um aqueduto;

- t - duração da precipitação total para a situação mais gravosa;
- t_c - tempo de concentração da bacia hidrográfica;
- t_l - tempo de atraso para cálculo do tempo de concentração;
- t_o - tempo que decorre até choverem as perdas iniciais;
- t_p - tempo de precipitação;
- tempo de crescimento ou tempo para a ponta;
- t_r - duração da chuvada útil;
- V - velocidade de escoamento;
- U - velocidade média do escoamento;
- U_a - velocidade de aproximação;
- ω_1, ω_2 - relação entre a profundidade do centro de gravidade e a altura de água na primeira e segunda altura conjugada;
- z - parâmetro da fórmula de Loureiro (Eq. 2.41);
- α - percentagem de área impermeável na bacia hidrográfica;
- coeficiente de Coriolis;
- β - perda de carga por degrau, adimensionalizada pela carga hidráulica a montante, em dissipadores de energia com degraus (Eq. 3.33a);
- γ_w - peso volúmico da água;
- γ_s - peso volúmico do material dos blocos de enrocamento;

λ	- parâmetro da fórmula de Giandotti (Eq. 2.31);
ρ	- massa volúmica;
θ	- ângulo que os degraus fazem com o plano horizontal, num dissipador de energia com degraus (Eq. 3.34);
ψ	- factor de resistência do escoamento sobre degraus (Eq. 3.34);
τ	- tensão tangencial;
τ_{cr}	- tensão tangencial crítica;
ε	- rugosidade absoluta equivalente (Eq. 3.3);
ν	- viscosidade cinemática;
ΔH	- perda de carga total entre as secções de montante e jusante de um aqueduto;
ΔH_c	- perda de carga contínua;
ΔH_L	- perda de carga localizada;
Δh	- diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal;
Δh_v	- diferença entre as energias cinéticas de duas secções;
$\Delta y'$	- desnível da superfície livre entre secções adjacentes de um troço de uma estrutura de transição;
Δz	- diferença de cotas entre as extremidades de montante e de jusante de um aqueduto;

SIGLAS UTILIZADAS

AMC	- Antecedent Moisture Conditions;
APRH	- Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos;
ASCE	- American Society of Civil Engineers;
AASHTO	- American Association of State Highway and Transportation Officials;
CIRIA	- Construction Industry Research and Information Association;
CRWR	- Center for Research in Water Resources;
DSRH	- Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos;
ENPC	-Ecole Nationale des Ponts et des Chaussées.
FCTUC	- Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra;
FHA	- Federal Highway Administration (anteriormente USBPR);
HHDS	- Hydrologic Data Development System;
HEC	- Hydraulic Engineering Circular;
IDF	- Intensidade-Duração-Frequência;
INAG	- Instituto da Água;
INMG	- Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica;
JAE	- Junta Autónoma das Estradas;
LNEC	- Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
PH	- Passagem Hidráulica;
REBAP	- Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado;
RSA	- Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes;
SCS	- Soil Conservation Service;
SETRA	- Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes;
USBR	- United States Bureau of Reclamation;
USBPR	- United States Bureau of Public Roads;
USDT	- United States Department of Transportation;
WES	- Waterways Experiment Station (U. S. Army Corps of Engineers).