

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA DRENAGEM SUPERFICIAL NO CENTRO DE FORQUILHINHA, SC.

Jéssica Pasini Trevisol (1), Álvaro José Back (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)j_ma_99@hotmail.com (2)ajb@unescc.net

RESUMO

O presente estudo apresenta uma avaliação dos impactos da urbanização na drenagem superficial no município de Forquilha, SC. Foram identificados três pontos críticos onde já ocorrem problemas de alagamentos. Para cada ponto crítico foram delimitadas as áreas de contribuição e caracterizado o tipo de ocupação do solo. Para avaliar os impactos futuros da urbanização foram considerados três cenários de ocupação do solo. O cenário atual, definido pela ocupação existente no momento da pesquisa; um cenário de médio prazo, definido pela urbanização das áreas com loteamento aprovadas ou em processo de aprovação junto à prefeitura; o terceiro cenário reflete as condições da urbanização de toda a área em estudo. A vazão máxima foi calculada com o uso do método racional em que o coeficiente de escoamento foi calculado para cada uso e ocupação do solo. Também foram considerados os tempos de concentração calculados pelo método cinemático, em que a velocidade de escoamento foi calculada para cada cenário em função do tipo de escoamento existente. Para a estimativa da intensidade da chuva a ser usada no estudo foi ajustada a equação de chuvas intensas aos dados da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas existente em Forquilha. Os resultados mostram que, no cenário de médio prazo, as vazões aumentam 47%, 25% e 54% para os pontos críticos 1, 2 e 3 respectivamente. Para o longo prazo esses aumentos de vazão são da ordem de 143%, 66% e 126% em relação à vazão ao cenário atual. Esse aumento da vazão se deve, em parte, pela diminuição do tempo de concentração e principalmente pelo aumento da impermeabilização refletido no aumento do coeficiente de escoamento superficial. Esses resultados mostram a necessidade de incluir no Plano Diretor o planejamento do sistema de drenagem e possíveis medidas estruturais para evitar ou diminuir as cheias localizadas nessas áreas em estudo.

Palavras-Chave: drenagem, urbanização, chuvas, alagamentos.

1. INTRODUÇÃO

Saneamento no Brasil, conforme Philippi Júnior et al. (1982) é entendido como parte do saneamento do meio que se trata de problemas relacionados ao abastecimento de água, coleta e disposição de esgotos sanitários, drenagem pluvial urbana e ao

acondicionamento, coleta, transporte e destino final dos resíduos sólidos.

Segundo Tucci e Cruz (2000), a drenagem urbana é o conjunto de medidas que tenham como objetivo minimizar os riscos que a população está sujeita, diminuir os prejuízos causados por alagamentos e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável. Ou seja, a drenagem nada mais é do que o gerenciamento da água da chuva que escoar no meio urbano.

Inundações e enchentes são problemas derivados de fenômenos ou perigos naturais de caráter hidrológico. Inundação e enchente relâmpago, causadas por transbordamento de canais fluviais presentes em terrenos naturais antropizados. Já os alagamentos ocorrem em áreas distintas dos canais, em terrenos com ocupação e baixo coeficiente de escoamento superficial (fluxos de baixa velocidade)

O principal impacto que tem ocorrido na drenagem urbana é o aumento da frequência e magnitude das inundações e alagamentos. Dentre os principais impactos das inundações sobre a população estão: os prejuízos de perdas materiais e humanas, a interrupção da atividade econômica nas áreas inundadas, a contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outros e a contaminação da água pelos alagamentos de depósitos de materiais tóxicos, estações de tratamento, entre outros.

Os avanços da urbanização podem comprometer os fatores do ambiente, que se modificam profundamente em suas condições naturais. Dessa forma, à medida que se expandem as cidades o próprio homem vê suas possibilidades de existência ameaçadas pela forma desordenada pela qual traduz a sua ocupação. Vemos a saturação de canalizações e esgotos; a drenagem das áreas que poderiam representar bacias de captação; vemos encostas de morros e dos rios tomadas por habitações precárias, produzindo erosão e assoreamento.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido um aumento caótico na frequência dos alagamentos, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água. À medida que a cidade se urbaniza, ocorre o aumento das vazões máximas em até seis vezes devido à impermeabilização e canalização (LEOPOLD, 1968).

O alto índice de crescimento da urbanização mostra grandes alterações nas redes de drenagem natural, sendo que elas são substituídas por estruturas artificiais que assim aumentam as áreas de impermeabilização. Estas alterações acabam

provocando o aumento dos volumes de águas pluviais que escoam pela superfície do solo com maior velocidade, gerando alterações das características hidráulicas diretamente ligadas aos alagamentos dos sistemas de drenagem naturais ou construídos.

A impermeabilização de maiores parcelas reduz a quantidade de água que penetra no solo, diminuindo a vazão de rios nos períodos secos, pois nestes períodos a alimentação é realizada pelo aquífero, que agora é menos recarregado; e tal fato é ainda acompanhado pelo aumento do volume de dejetos e substâncias jogadas aos mananciais, provocando uma queda na qualidade das águas locais, gerando o terceiro grande problema hidrológico: o controle da poluição.

Segundo Tucci (1995), enchentes em áreas urbanas são consequências de dois processos que ocorrem isoladamente ou de forma interligada: enchentes em áreas ribeirinhas (enchentes naturais que atingem a população que ocupa os leitos de rios por falta de planejamento e uso do solo); urbanização (as enchentes provocadas pela urbanização).

Com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas calçadas, pátios, entre outros. Dessa forma, uma parcela da água que antes infiltrava agora passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

Para Tucci (1995), os principais efeitos da urbanização se dão ao aumento da vazão máxima e a antecipação do pico e aumento do volume do escoamento superficial. A tendência da urbanização é de ocorrer no sentido de jusante para montante, na macrodrenagem urbana, devido às características de relevo. Quando o loteamento é projetado, os municípios exigem drenagem da água do loteamento. Quando o poder público não controla essa urbanização ou não amplia a capacidade da macrodrenagem, a ocorrência das enchentes aumenta, com perdas sociais e econômicas.

A drenagem e o manejo das águas pluviais consistem no gerenciamento da água oriunda da chuva que escoam no meio urbano em decorrência do processo de urbanização que impermeabiliza o solo, dificultando a infiltração e acelerando o escoamento superficial das águas pluviais. (MINISTÉRIO PÚBLICO DE SANTA CATARINA, 2008).

O Diagnóstico do Manejo das Águas Pluviais e Drenagem Urbana (IPAT/UNESC, 2010) mostra que em várias áreas do município de Forquilha, quando ocorre excesso de chuvas, ruas ficam alagadas e pessoas ilhadas, sem terem como sair de suas residências para estudar ou trabalhar. O município já possui muitas áreas com sistema de drenagem, mas que na sua maioria são inadequados e com baixa capacidade de vazões para o escoamento das chuvas estimadas. A cada estação as chuvas ficam mais intensas e não há previsões para precauções, seja pela deposição de rejeitos nas bocas de lobos ou pela má exploração de sistemas de drenagem. Sem estudos aprofundados da hidrologia, topografia e de hidráulica destas áreas, os projetos de melhoramento podem não apresentar a eficiência que exigem essas áreas. Os estudos baseados nestas ciências poderão nos levar a determinação de elementos de descarga de águas pluviais adequados, para estes tipos de projetos.

No bairro central do município, tem graves pontos com problemas na drenagem, devido ao precário sistema, com bueiros entupidos, galerias subdimensionadas em alguns casos mal executadas, deixam as ruas alagadas em épocas de cheias.

Segundo Tucci e Genz (1995), na análise do efeito da impermeabilização sobre o escoamento são utilizados dois critérios básicos: (i) métodos baseados na simulação dos cenários com parâmetros estimados; (ii) métodos que estimam parâmetros de modelos estatísticos ou modelos hidrológicos através do ajuste a várias bacias de diferentes condições de urbanização. Para bacias pequenas, com hectares (microdrenagem) dificilmente são encontrados dados que permitam utilizar o segundo critério, que em geral é aplicado para grandes bacias de drenagem.

Sem um plano de limpeza e medidas preventivas para controlar e rastrear tais problemas antes que a situação fique mais crítica devido ao crescimento gradual da população forquilhense, o aumento excessivo dos loteamentos como forma de desenvolvimento acabam por provocar mudanças desenfreadas aos ambientes naturais.

Com a abertura da Avenida Professor Eurico Back está ocorrendo uma acelerada mudança na ocupação do solo, com uma urbanização de área até então usada para pastagens e agricultura. Se essa urbanização ocorrer de forma não planejada e desordenada, são grandes as chances de termos agravados os problemas de cheias nas ruas centrais do município.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da urbanização no aumento da vazão em pontos críticos de drenagem no centro do município de Forquilha, SC, e propor medidas preventivas e corretivas ao agravamento das cheias no município.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área delimitada ao estudo compreende as áreas entre a Avenida Professor Eurico Back e as ruas do Cinquentenário, Cento e Noventa e Nove, Bertoldo Arns e a Rodovia Gabriel Arns (Figura 1). Nesta área existem três pontos de convergência do escoamento superficial que apresentam problemas de alagamento por ocasião das chuvas intensas. O ponto 1 está localizado no cruzamento da Rodovia Gabriel Arns com a rua Bertoldo Arns, o ponto 2 está localizado no cruzamento da rua Adélia Arns Back e Rua Ricardo Back e o ponto 3 está localizado na rua Carlota Arns e a Rua do Cinquentenário.

Para a identificação dos pontos foram realizadas visitas aos locais e obtenção de registros fotográficos e observação da ocupação do solo. Também foram realizadas pesquisas no setor de Cadastro da Prefeitura Municipal de Forquilha. Com esses dados foi delimitada a área em estudo bem como a área de contribuição de cada ponto crítico, usando o programa AutoCad.

Através das imagens via satélite, foram obtidas as diferentes ocupações do solo da área em estudo, identificando assim os percentuais de cada ocupação. Para cada uma das áreas foi realizada uma projeção na mudança das ocupações que culminou em três cenários distintos. O primeiro cenário reflete as condições atuais de uso e ocupação do solo. Um segundo cenário, denominado médio prazo, reflete as condições que deverão representar a expansão urbana definidas pela utilização das áreas já aprovadas ou em vias de aprovação para loteamento. O terceiro cenário, denominado longo prazo, reflete a ocupação de toda a área em estudo com ocupação urbana.

Com base nesses cenários foram determinados os percentuais de ocupação da bacia considerando os diversos usos do solo. Também foram obtidos destes mapas os comprimentos do caminho mais longo do escoamento superficial e o tipo de escoamento em cada cenário.

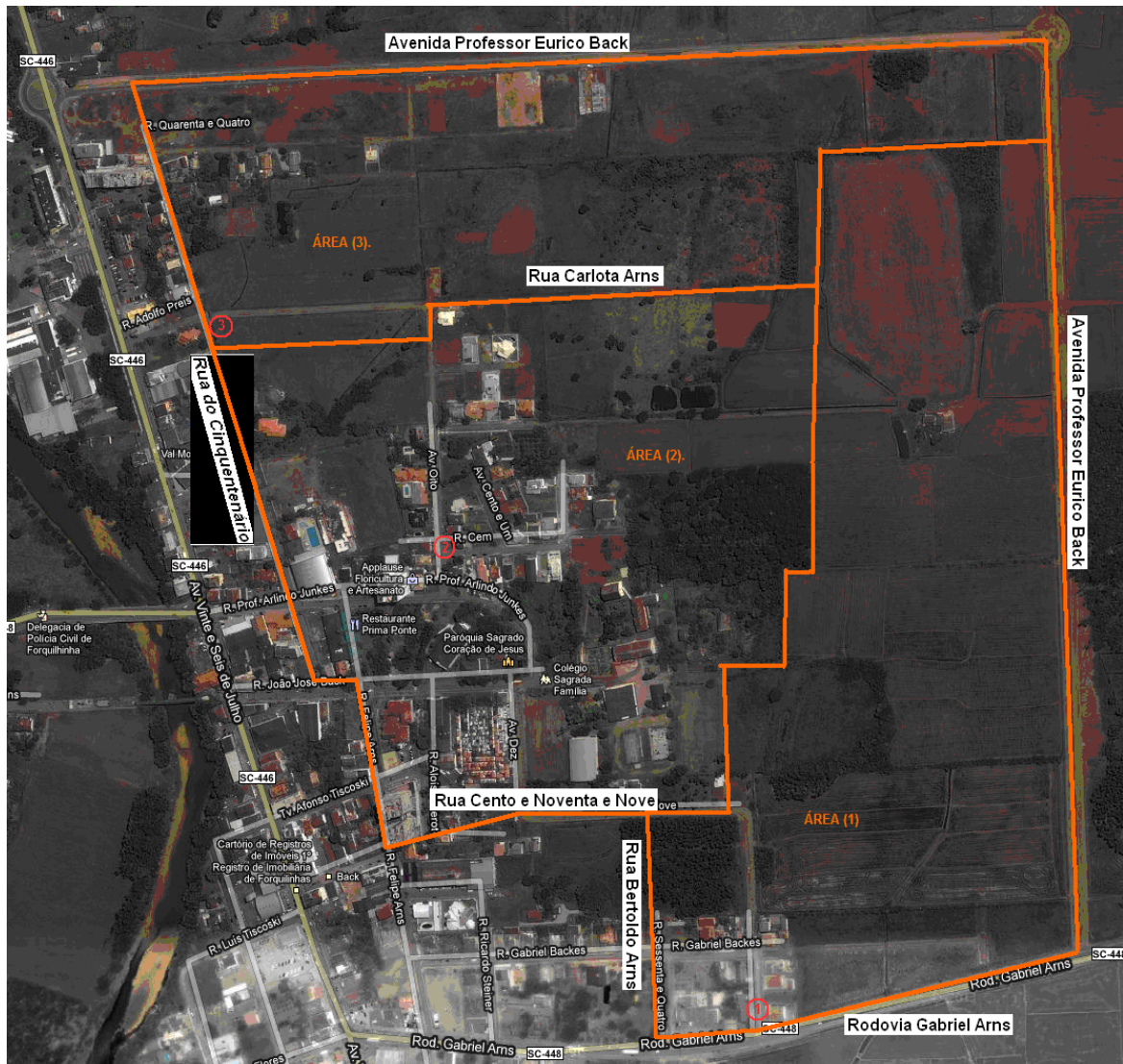


Figura 1: Identificação dos pontos de alagamento no bairro Centro. Fonte: Google Earth, 2011.

2.2 OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS

Para obter os dados de precipitação intensa foram atualizadas as informações de chuvas intensas obtidas por Back (2002) atualizando a equação de chuvas intensas da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) existente no município de Forquilha (estação 02649006).

Para a estimativa da equação de chuva intensa foi determinada a série de máximas anuais de chuva com duração diária. A partir da chuva máxima diária foram determinadas as chuvas máximas diárias com período de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos usando a distribuição de Gumbel-Chow, conforme:

$$X_T = \bar{x} + (Y - Y_n) \frac{S}{S_n} \quad \text{equação (1)}$$

onde: \bar{x} = média dos valores observados na série de máximas anuais; S = desvio padrão dos valores observados na série de máximas anuais; Y_n , S_n = média e o desvio padrão da variável reduzida y , tabelados em função do número de valores da série de dados (BACK, 2002). Y = variável reduzida dada por:

$$y = -\ln \left\{ -\ln \left[1 - \left(\frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad \text{equação (2)}$$

em que: T = Período de retorno (anos).

A partir da chuva máxima diária foram estimadas as chuvas com duração de 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min, 60 min e 120 min utilizando as relações entre precipitações de diferentes durações estabelecidas pela Cetesb (2006) (Tabela1) e recomendações de Back (2002).

Tabela 1: Relações entre chuvas de diferentes durações.

Relação entre durações	Relação entre altura de precipitações
5 min. / 30 min.	0,34
10 min. / 30 min.	0,54
15 min. / 30 min.	0,70
20 min. / 30 min.	0,81
25 min. / 30 min.	0,91
30 min. / 1 h.	0,74
1 h. / 24 h.	0,42
6 h. / 24 h.	0,72
8 h. / 24 h.	0,78
10 h. / 24 h.	0,82
12 h. / 24 h.	0,85
24h. / 1 dia.	1,14

Fonte: Cetesb (1986).

Essas relações podem ser expressas por equações genéricas que relacionam os três aspectos da chuva, Intensidade-Duração-Frequência, do tipo:

$$i = \frac{KT^m}{(t+b)^n} \quad \text{equação (3)}$$

em que: i = intensidade média máxima da chuva, em mm/h; T = Período de retorno, em anos; t = duração da chuva, em minutos; K , m , b , n = parâmetros da equação determinados para cada local.

O ajuste das equações foi feito minimizando as diferenças entre as intensidades calculadas com as relações entre durações e as intensidades estimadas pelas equações, isto é minimizando o valor de S da expressão:

$$S = \sum_{d=1}^n \sum_{T=1}^n (f_{i,d,T} - f_{o,d,T})^2 \quad \text{equação (4)}$$

onde: $f_{i,d,T}$ é a intensidade calculada pelas relações entre durações; $f_{o,d,T}$ é a intensidade calculada pela equação para a duração d , e período de retorno T .

Com visitas *in loco* e através de fotos via satélite, conseguiu-se identificar e classificar as diversidades nas ocupações das áreas de estudo.

2.3 ESTIMATIVA DAS VAZÕES MÁXIMAS

A vazão foi estimada com base no método racional, expressa como:

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad \text{equação (5)}$$

Em que: C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional); I = intensidade da chuva (mm/h); A = área da bacia (ha).

Para a definição do coeficiente de escoamento superficial foram pesquisados valores na literatura (WILKEN, 1978; TUCCI, 1993; CANHOLI, 2005; GRUBBIN, 2009) e adotados valores médios conforme a Tabela 2. O coeficiente de escoamento para cada cenário e área foi calculado pela média ponderada em função do percentual de ocupação da bacia.

Tabela 2: Coeficiente de escoamento.

Ocupação	Coeficiente - C
Área Rural - Agricultura	0,35
Área Rural - Eucalipto	0,25
Área Rural - Pastagem	0,30
Área Urbana - Residencial	0,65

O tempo de concentração foi calculado pelo método cinemático, dado por:

$$tc = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \quad \text{equação (6)}$$

em que: tc = tempo de concentração (min); L_i = comprimento do trecho i (m); V_i = velocidade de escoamento no trecho i (m/s).

Segundo Bidone e Tucci (1995) e Canholi (2005), a velocidade de escoamento também pode ser calculada pela expressão:

$$V = a\sqrt{S} \quad \text{equação (7)}$$

em que: V = velocidade de escoamento (m/s); S = declividade do trecho (%); a = coeficiente variável conforme a superfície.

Segundo Canholi (2005), quando o comprimento do percurso é maior que 100 m o escoamento passa a ter um curso definido. Assim que foram levantados os dados do comprimento dos canais existentes e do escoamento superficial sobre o terreno limitado a 100 m e classificando o escoamento em: escoamento sobre o terreno natural; escoamento em canais de grama e escoamento em canais de drenagem pluvial. Para o coeficiente “ a ” adotou-se os valores indicados por Tucci, (1993); sendo 0,47 para o escoamento sobre o terreno natural; 1,2 para o escoamento em canais de grama e 2,0 para o escoamento em canais de galerias pluvial de concreto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA FORQUILHINHA

Na Tabela 3 consta a série de máximas anuais de chuva diária registrada em Forquilha, no período de 1945 a 2010. Os valores variam entre 136,3 e 38,3 mm com média de 80,3 mm e desvio padrão de 26,3 mm. A série apresenta algumas falhas nos registros, porém contêm 66 anos com observações dos dados.

Tabela 3: Série de máximas anuais e chuva de Forquilha.

Ano	Chuva Máxima	Ano	Chuva Máxima	Ano	Chuva Máxima
1945	-	1967	77,4	1989	104,1
1946	100,0	1968	70,4	1990	120,6
1947	98,4	1969	49,8	1991	61,0
1948	75,4	1970	44,8	1992	-
1949	67,1	1971	84,2	1993	79,0
1950	70,6	1972	82,6	1994	63,3
1951	53,6	1973	103,2	1995	38,3
1952	46,2	1974	125,4	1996	61,2
1953	100,0	1975	56,6	1997	70,3
1954	79,8	1976	62,0	1998	90,6
1955	82,8	1977	60,0	1999	80,6
1956	55,2	1978	77,4	2000	44,8
1957	133,2	1979	60,4	2001	54,2
1958	85,8	1980	116,4	2002	59,0
1959	64,6	1981	136,3	2003	53,2
1960	102,2	1982	81,2	2004	41,6
1961	77,8	1983	114,2	2005	56,7
1962	95,6	1984	61,2	2006	45,8
1963	59,8	1985	133,0	2007	-
1964	102,8	1986	123,7	2008	-
1965	127,2	1987	87,0	2009	76,7
1966	80,8	1988	82,0	2010	130,4

Na Figura 2 está representada a aderência dos dados de precipitação máxima anual a distribuição de Gumbel-Chow ajustada, em que o valor do desvio máximo (Dmax) observado foi 0,057 enquanto o valor crítico pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para o nível de significância 5% é de 0,1698.

Pode-se observar que a distribuição de Gumbel-Chow ajustada mostrou boa aderência aos dados de chuva máxima, fato também constatado por Fendrich e Freitas, (1992), Pinto et al. (1996), Back (2002) e Silva (2008), que usaram a distribuição de Gumbel para estimar chuvas intensas.

Na Tabela 4 constam os valores da altura da chuva máxima estimada pela distribuição de Gumbel-Chow com duração de 1 dia e período de retorno variando de 2 a 100 anos. Também constam os valores de chuva máxima com duração de 5 minutos a 120 minutos obtidos pela desagregação da chuva diária usando as relações entre chuvas de diferentes durações indicadas na Tabela 1. Esses dados convertidos em intensidade constam na Tabela 5.

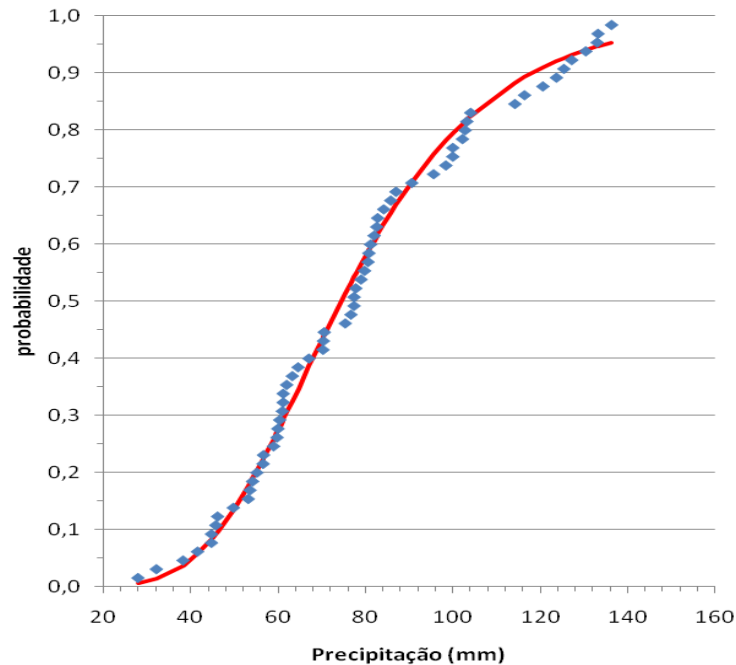


Figura 2: Ajuste da distribuição de Gumbel-Chow à série de máximas anuais de Forquilha.

Tabela 4: Altura da chuva (mm) estimada para Forquilha.

Duração	T - Período de Retorno (anos)							
	100	50	25	20	15	10	5	2
1 dia	172,5	156,4	140,1	134,8	127,9	118,1	100,7	74,4
120 min.	103,3	93,6	83,8	80,7	76,5	70,7	60,3	44,5
60 min.	82,6	74,9	67,1	64,5	61,2	56,5	48,2	35,6
30 min.	61,1	55,4	49,6	47,7	45,3	41,8	35,7	26,4
25 min.	55,6	50,4	45,2	43,5	41,2	38,1	32,5	24,0
20 min.	49,5	44,9	40,2	38,7	36,7	33,9	28,9	21,4
15 min.	42,8	38,8	34,7	33,4	31,7	29,3	25,0	18,5
10 min.	33,0	29,9	26,8	25,8	24,5	22,6	19,3	14,2
5 min.	20,8	18,8	16,9	16,2	15,4	14,2	12,1	9,0

Tabela 5: Intensidade da Chuva (mm/h) estimada para Forquilha.

Duração (min.)	T - Período de Retorno (anos)							
	100	50	25	20	15	10	5	2
120	51,6	46,8	41,9	40,3	38,3	35,3	30,1	22,3
60	82,6	74,9	67,1	64,5	61,2	56,5	48,2	35,6
30	122,3	110,8	99,2	95,5	90,6	83,7	71,3	52,7
25	133,5	121	108,4	104,3	99,0	91,4	77,9	57,6
20	148,6	134,6	120,6	116,0	110,1	101,7	86,7	64,1
15	171,2	155,1	138,9	133,7	126,9	117,1	99,9	73,8
10	198,1	179,5	160,8	154,7	146,8	135,6	115,6	85,4
5	249,4	226,0	202,5	194,8	184,9	170,7	145,6	107,6

A equação de chuvas intensas ajustada é expressa como:

$$i = \frac{635,2T^{0,191}}{(t + 8,52)^{0,6858}} \quad \text{equação (8)}$$

em que: i = é a intensidade da chuva (mm/h); T = é o período de retorno (anos); t = é a duração da chuva (min).

Essa equação, portanto, pode ser aplicada para a estimativa da intensidade da chuva para qualquer período de retorno entre 2 a 100 anos e duração da chuva entre 5 a 120 minutos.

Na Figura 3 está representada a relação Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas (IDF) para Forquilha. Bidone e Tucci (1995) indicam que para a microdrenagem o período de retorno a ser empregado varia de 2 a 10 anos.

Para projetos de macrodrenagem em área comercial e residencial o período de retorno a ser empregado varia de 50 a 100 anos (ZAHED FILHO e MARCELLINI, 1995; CRUZ, 2000). Nos projetos de drenagem urbana o tempo de concentração geralmente é inferior a duas horas, assim essa equação ajustada permite obter as estimativas da intensidade da chuva para elaboração de projetos envolvendo a drenagem urbana no município de Forquilha, SC, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Intensidade da chuva (mm/h) estimada pela equação de chuvas intensas ajustadas para Forquilha.

Duração (min.)	T - Período de Retorno (anos)							
	100	50	25	20	15	10	5	2
120	54,8	48	42,1	40,3	38,1	35,3	30,9	25,9
60	84,4	73,9	64,7	62,0	58,7	54,3	47,6	39,9
30	125,3	109,7	96,1	92,1	87,2	80,7	70,6	59,3
25	137,8	120,7	105,7	101,3	95,9	88,7	77,7	65,2
20	153,9	134,8	118,1	113,2	107,1	99,1	86,8	72,9
15	175,7	153,9	134,8	129,2	122,2	113,1	99,1	83,2
10	207,0	181,3	158,8	152,2	144	133,3	116,7	98,0
5	256,8	225,0	197,0	188,8	178,7	165,4	144,8	121,6

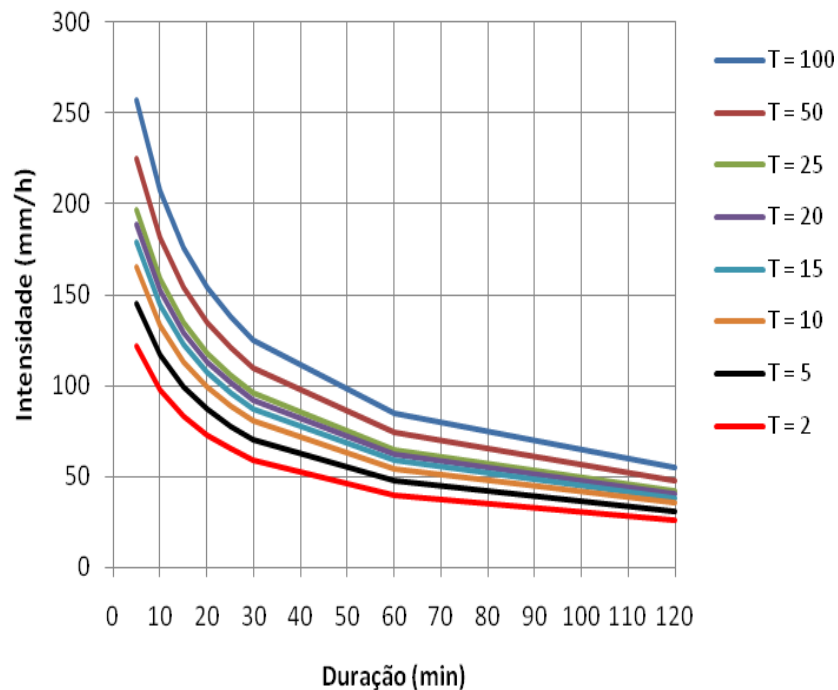


Figura 3: Relações IDF para Forquilha, SC.

3. 2 DEFINIÇÃO DA OCUPAÇÃO DO SOLO

Na tabela 7 constam os dados de ocupação do solo nos diferentes cenários para cada ponto crítico estudado. O ponto crítico 1 tem área de contribuição de 23,96 ha, sendo que 15,83 ha são ocupados com Agricultura; 0,84 ha têm plantio de eucalipto, 5,71 ha são usados como pastagens e 1,58 ha para área residencial. Em médio prazo foi previsto aumento para 8,91 ha de área residencial ocorrendo principalmente sobre a área de pastagem e agricultura nas margens da Avenida Professor Eurico Back. Num cenário de longo prazo, praticamente toda área será ocupada com área residencial. A área do ponto crítico 2 é onde se encontra a maior parte da área urbana (15,34 ha) que em médio prazo passará para 19,87 ha. A área de contribuição para o ponto crítico 3 é onde há atualmente 4,09 ha ocupados com área residencial e onde existem vários loteamentos projetados, passando no cenário de médio prazo para 10,92 ha com redução das áreas de agricultura e pastagem. Tanto na área 2 quanto na área 3 no cenário de longo prazo está previsto que toda a área ficará ocupada com área residencial. Esta previsão é factível, uma vez que estas áreas se encontram muito próximas ao centro do município de Forquilha e nos últimos anos tem se observado o crescimento da urbanização nesta região.

Também por serem áreas em que a sua maior parte não são atingidas por grandes alagamentos, devido ao extravasamento do rio Mãe Luzia, e por isso apresentam potencial valorização para a ocupação do solo como área residencial.

Tabela 7: Dados da ocupação do solo (ha) sobre as área de contribuição para os pontos críticos 1, 2 e 3 nos diferentes cenários.

Cenário	Denominação	Ocupação do solo (ha)			
		Agricultura	Eucalipto	Pastagem	Residencial
Ponto 1 (23,96 ha)					
I	Atual	15,83	0,84	5,71	1,58
II	Médio Prazo	10,28	0,60	4,16	8,91
III	Longo Prazo	0,00	0,51	0,00	23,44
Ponto 2 (28,42 ha)					
I	Atual	5,98	0,99	6,10	15,34
II	Médio Prazo	4,53	0,99	3,03	19,87
III	Longo Prazo	0,00	0,00	0,00	28,42
Ponto 3 (21,24 ha)					
I	Atual	3,37	2,81	10,97	4,09
II	Médio Prazo	2,44	2,81	5,07	10,92
III	Longo Prazo	0,00	0,00	1,25	19,99

Na tabela 8 constam os valores adotados nos cálculos da velocidade de escoamento da água e do tempo de concentração. Por se tratar de uma área muito plana, as bases cartográficas existentes não permitiram obter a declividade com precisão. Assim foi considerada uma declividade média de 0,5 %, baseada em levantamentos realizados em uma propriedade rural dentro da área em estudo. Na área referente ao ponto crítico 1 atualmente existem apenas 62 m de galerias pluviais de concreto e grande parte do escoamento se dá sobre o terreno. Seguindo a recomendação de Canholi (2005), o escoamento sobre o terreno foi limitado a 100 m, sendo o restante considerado escoamento em canais de grama. A área do ponto crítico 2 é a que possui a maior quantidade de galerias pluviais de concreto (278 m), enquanto que na área 3 existem 161 m de galerias pluviais de concreto. Com o aumento da urbanização, a tendência é a construção de galerias pluviais de concreto, o que aumenta a velocidade do escoamento da água e implica num menor tempo de percurso do escoamento e diminuição do tempo de concentração, tudo em relação a uma seção de drenagem natural. Na elaboração do projeto de drenagem, a tendência é a retificação dos canais e diminuição da distância de percurso, no

entanto este fato não foi considerado neste estudo.

Tabela 8: Características do escoamento da água nos diferentes cenários de ocupação do solo.

Ponto	Tipo de escoamento	a	V ¹ (m/s)	Cenário		
				Atual	Médio prazo	Longo prazo
				Comprimento (m)		
1	Sobre o terreno	0,47	0,33	100	50	0
	Canais de grama	1,2	0,85	1010	200	0
	Drenagem pluvial	2,0	1,41	62	922	1.172
2	Sobre o terreno	0,47	0,33	100	0	0
	Canais de grama	1,2	0,85	500	432	0
	Drenagem pluvial	2,0	1,41	278	446	878
3	Sobre o terreno	0,47	0,33	100	0	0
	Canais de grama	1,2	0,85	973	494	0,00
	Drenagem pluvial	2,0	1,41	161	740	1.234

¹para declividade média de 0,5 %.

Na tabela 9 constam os valores do tempo de concentração calculado para cada ponto crítico nos diferentes cenários, assim como a intensidade da chuva com período de retorno de 10 anos, o coeficiente de escoamento superficial médio e a vazão máxima estimada. No ponto crítico 1 observa-se a redução de tempo de concentração de 25,6 min para 19,2 e 13,8 min para os cenários atual, médio prazo e longo prazo respectivamente. Essa redução do tempo de concentração implica no aumento da intensidade da chuva de projeto de 131,3 mm/h para 151,6 e 176,3 mm/h respectivamente. A gradativa alteração da ocupação do solo leva a um aumento do coeficiente de escoamento superficial de 0,354 para 0,450 e 0,642 nos diferentes cenários estudados. Todas essas alterações determinam o aumento da vazão máxima, que no cenário atual é de 3,095 m³/s, para 4,542 m³/s a médio prazo e 7,523 m³/s para o cenário de longo prazo. Dessa forma, analisando o aumento da vazão do cenário atual para médio prazo, observa-se um aumento de 47%, sendo esse aumento devido à redução do tempo de concentração que implica em aumento da intensidade da chuva (15%) e também devido ao aumento do coeficiente de escoamento superficial (27%). Para o longo prazo, o aumento da vazão é de 143% devido, principalmente, ao aumento do coeficiente de escoamento superficial (81%).

Esse aumento da vazão exige que sejam tomadas medidas preventivas, uma vez que no cenário atual já são registrados problemas de alagamentos neste ponto.

Esses resultados concordam com Yoshimoto e Suetsugi (1990), que descreveram o aumento da urbanização pela redução do tempo de concentração numa bacia próxima a Tokyo que evolui de 10% de urbanização para 80%, mostrando que a vazão aumenta aproximadamente 160%. Também Leopold (1968) mostrou que a vazão após a urbanização pode aumentar 6 vezes o valor da vazão antes da urbanização.

Para o ponto crítico 2 projeta-se um aumento da vazão de 25 e 66% para os cenários de médio e longo prazo respectivamente. Para o ponto crítico 3 o aumento da vazão projetada é de 54 e 126%, para os cenários de médio e longo prazo respectivamente. A maior causa do aumento da vazão é a alteração do coeficiente de escoamento superficial.

Tabela 9: Dados do tempo de concentração (t_c), intensidade da chuva (i) com período de retorno de 10 anos, coeficiente de escoamento (C) médio e vazão máxima (Q) calculada nos diferentes cenários de ocupação do solo.

Ponto crítico	Atual	t_c (min)	i (mm/h)	C	Q (m ³ /s)
1	Atual	25,6	131,3	0,354	3,095
	Médio prazo	19,2	151,6	0,450	4,542
	Longo prazo	13,8	176,3	0,642	7,523
2	Atual	18,1	155,9	0,498	6,128
	Médio prazo	13,7	176,7	0,551	7,684
	Longo prazo	10,3	198,2	0,650	10,171
3	Atual	26,0	130,1	0,369	2,831
	Médio prazo	18,4	154,7	0,479	4,373
	Longo prazo	14,5	172,4	0,629	6,400

Na figura 4 estão representados os valores de vazão máxima para cada cenário estimada com diferentes períodos de retorno para cada ponto crítico do bairro centro de Forquilha, SC. Sendo a Figura 4A para o ponto crítico 1, a Figura 4B para o ponto crítico 2 e a Figura 4C para o ponto crítico 3 observa-se que, pelo método de cálculo adotado, os aumentos nos valores da vazão máxima nos diferentes cenários mantêm as mesmas proporções nos diversos períodos de retorno estudados. No ponto crítico 2 observou-se um aumento maior da vazão entre os períodos de retorno, devido ao fato de ter menor tempo de concentração e assim maior variação

da intensidade da chuva.

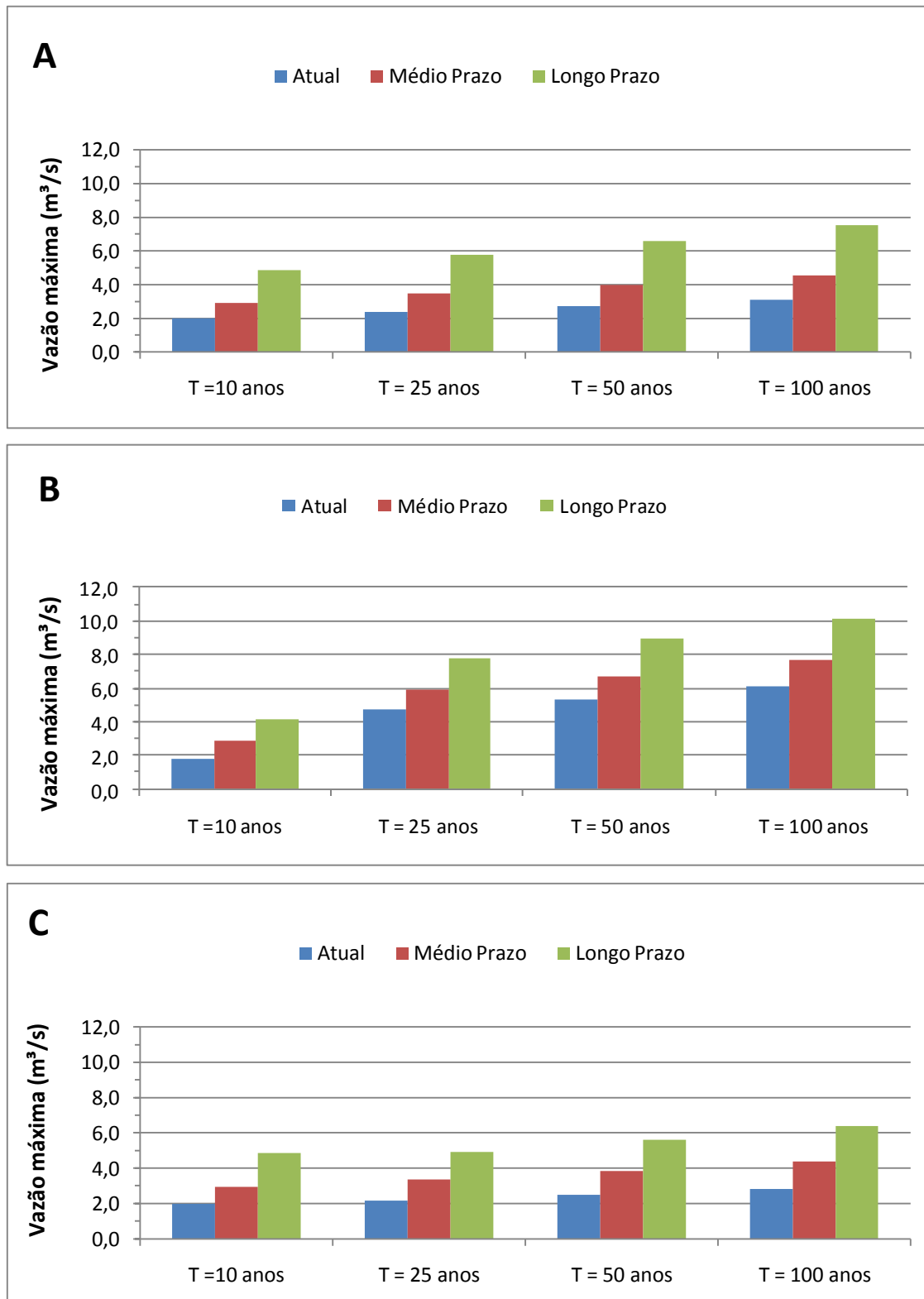


Figura 4: Vazão máxima para diferentes períodos de retorno para os pontos críticos 1 (A), 2 (B) e 3 (C).

De acordo com os dados obtidos, fez-se perceber que é necessário planejar a ocupação do espaço urbano utilizado a infraestrutura necessária de forma a evitar impactos econômicos e sociais sobre a sociedade.

4. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que:

1) A estimativa da intensidade da chuva para projetos de drenagem superficial no município de Forquilha pode ser obtida com a equação de chuvas dada por:

$$i = \frac{635,2T^{0,191}}{(t + 8,52)^{0,6858}}$$

Em que: i = é a intensidade da chuva (mm/h); T = é o período de retorno de 2 a 100 anos; t = é a duração da chuva de 5 a 120 minutos.

2) Para cada ponto crítico foram estimados aumentos de vazões nos cenários de médio e longo prazo bem relação ao cenário atual. O aumento de vazão se deve ao aumento da intensidade da chuva e, principalmente, pela impermeabilização da bacia.

3) É importante incluir no Plano Diretor do município de Forquilha a previsão de execução de medidas nas estruturas para a drenagem desta área.

4) Os resultados mostram que, no cenário de médio prazo, as vazões aumentam 47%, 25% e 54% para os pontos críticos 1, 2 e 3 respectivamente. Para o longo prazo esses aumentos de vazão são da ordem de 143%, 66% e 126% em relação à vazão ao cenário atual. Esse aumento da vazão se deve, em parte, pela diminuição do tempo de concentração e principalmente pelo aumento da impermeabilização refletido no aumento do coeficiente de escoamento superficial.

Para se ter mais precisão aos cálculos e resultados encontrados, recomenda-se ao setor de cadastro da Prefeitura fazer um levantamento minucioso das áreas em estudo, elaborando um mapa planialtimétrico detalhado da área urbana com curvas de nível a cada 1,0 m para identificarem a topografia da região e propor medidas preventivas ao agravamento das cheias no município. Assim, com estes dados precisos, recomenda-se refazer os referidos cálculos para resultados mais aguçados.

5. REFERÊNCIAS

BACK, A. J. **Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. 65 p.

BIDONE, F.R.A. TUCCI, C.E.M. Microdrenagem. In: In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre. Editora da Universidade. p.77105. 1995.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo. Oficina de Testos. 2005. 302p.

CETESB. **Drenagem urbana – manual de projeto**. São Paulo (3ª ed), 1986, 464 p.

CRUZ, M. A. S. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 558 p.

FENDRICH, R.; FREITAS, C. O. de A. **Chuvas intensas no Estado do Paraná**. Curitiba, 1992, 128p.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. São Paulo: Edgar Blucher, 1988, 291p.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de águas Pluviais**. São Paulo. Cengage Learning. 2009.v494p.

IPAT/UNESC – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas/ Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Plano de Saneamento Básico do município de Forquilha - Santa Catarina. Diagnóstico do Manejo das Águas Pluviais e Drenagem Urbana**. Relatório Final. Forquilha, 2010. 123 p.

LEOPOLD, L.B. **Hydrology for Urban Planning**. A guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use. USGS. Circ 554, 18p. 1968.

PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo et al. **Saneamento do Meio**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1982. 235 p.

PINTO, F. A.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F.; ALVES, A. R.; CECON, P. R. **Equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Minas Gerais**. Engenharia Agrícola: Jaboticabal, v.16, n.1, p.91-104, 1996.

SANTA CATARINA. MINISTÉRIO PÚBLICO DE SANTA CATARINA. Centro de Apoio Operacional do Meio Ambiente. **Guia do Saneamento Básico: perguntas e respostas**. Coord. Geral do Promotor de Justiça Luís Eduardo Couto de Oliveira Souto, supervisão da Subprocuradoria Geral de Justiça para Assuntos Jurídicos e apoio da Procuradoria-Geral de Justiça. Florianópolis: Coordenadoria de Comunicação Social, 2008. 80 p.

SILVA, R. **A distribuição generalizada de Pareto e mistura de distribuição de Gumbel no estudo da vazão e da velocidade máxima do vento em Piracicaba, SP.** Piracicaba. Dissertação de mestrado apresentada na Universidade de São Paulo. 2008. 101p.

TUCCI, C. E. M.; **Hidrologia – Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993, 943p.

TUCCI, C. E. M.; **Inundações urbanas.** In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre. Editora da Universidade. p.15-36. 1995.

TUCCI, C. E. M.; CRUZ, M. A. S. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana.** 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 558 p.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do impacto da urbanização** In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L; BARROS,M.T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre. Editora da Universidade. p.277347. 1995.

ZAHED FILHO, K.; MARCELLINI, S. S. **Precipitações máximas.** In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Editora da Universidade, 1995, p. 37-76.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial.** São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978, 478p.

YOSHIMOTO, T.; SUETSUGI, T. Comprehensive Flood Disaster Prevention Measures in Japan. In: DUISBERG SYMPOSIUM, 1988. **Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas**, IAHS, p.175-183. International Association of Hydrological Sciences Publication 198; 1990.