

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE CASCAVEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA**  
**HIDROGRÁFICA DO RIO CASCAVEL**

**MARCOS ALEXANDRE ARNDT**

**CASCAVEL - Paraná - Brasil**

**Julho – 2009**

## Ficha catalográfica

Elaborada pela Biblioteca Central do Campus de Cascavel - Unioeste

A77u Arndt, Marcos Alexandre  
Uso e ocupação do solo e escoamento superficial na Bacia  
Hidrográfica do Rio Cascavel / Marcos Alexandre Arndt — Cascavel, PR:  
UNIOESTE, 2009.  
35 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Benedito Martins Gomes  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná.  
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola,  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.  
Bibliografia.

1. Uso do solo - Modelos SCS. 2. Gestão hidrográfica - Vazões  
máximas. 3. Áreas impermeáveis. I. Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná. II. Título.

CDD 21ed. 631.4

**Bibliotecária: Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362**

**MARCOS ALEXANDRE ARNDT**

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO CASCAVEL**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.**

**Orientador: Prof. Dr. Benedito Martins Gomes.**

**CASCAVEL - Paraná - Brasil**

**Julho – 2009**

**MARCOS ALEXANDRE ARNDT**

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO CASCAVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Professor Dr. Benedito Martins Gomes  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel – PR

Professor Dr. Marcio *Antonio* Vilas Boas  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel – PR

Professor Dr. Elisandro Pires Frigo  
União Dinâmica de Faculdades Cataratas, UDC – Foz do Iguaçu – PR

Cascavel, Julho de 2009.

## **BIOGRAFIA**

Data de nascimento: 24/10/1982

Naturalidade: Marechal Cândido Rondon – PR

Graduado em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, foi mestrando do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola nesta mesma instituição, com concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, atua nas áreas de geociências, geomorfologia fluvial, com ênfase em drenagem urbana.

À minha família,  
em especial à minha mãe,  
exemplo de vida e luta,  
cujo amor e dedicação elevam-me a  
cada instante.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde e pelas pessoas especiais que colocou em meu caminho durante minha vida.

A minha família, meus pais, irmãos e avós, que sempre acreditaram no meu sucesso acadêmico e pessoal, pelo apoio nas horas difíceis.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel, em especial ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelo apoio e pela oportunidade de realização do curso.

Ao Professor Benedito Martins Gomes, pela orientação, incentivo, compreensão, amizade e confiança.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela disponibilização da bolsa de estudos.

Ao Professor Oscar Vicente Quinonez Fernandez, pelo apoio desde o período de graduação, pelas conversas de fim de semana, pelos “puxões de orelha”, pela confiança, e pelo incentivo para buscar cada vez mais conhecimento em minha vida pessoal e acadêmica.

Aos professores, Silvio Cezar Sampaio, Manoel Moisés Ferreira de Queiroz, Simone Damasceno Gomes, Erivelto Mercante, José Edézio da Cunha, pela dedicação, amizade e conhecimento repassado por eles.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Vera Schmidt que muitas vezes aguentou meus intermináveis telefonemas repletos de dúvidas burocráticas.

Aos amigos Larissa, Natássia, Lisdefferson, Wagner, Jonathan Dieter, Priscila, Mariana, Dilcemara, Erivelto, Vanessa, Douglas, Adilson, Marcos, Fabrício, Diego, os quais conheci durante o período do mestrado, companheiros de mesa de bar e de momentos inesquecíveis.

Aos amigos de longa data, Vanderlei, Andréia, Marco Aurélio, Fábio, Rodrigo, Marieli, Lílian e Edirlei, que me acompanharam nas diferentes etapas de minha vida e continuam me apoiando até hoje.

Aos membros do Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – RHESA, pelo apoio e amizade.

A todos os colegas do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela colaboração e pelos momentos compartilhados no decorrer do curso.

Finalmente, a todos que colaboraram na concretização deste trabalho e na conclusão do curso de mestrado em Engenharia Agrícola.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vi	
LISTA DE FIGURAS.....	vii	
RESUMO	viii	
ABSTRACT .....	ix	
1	INTRODUÇÃO .....	1
2	OBJETIVOS .....	2
2.1	Objetivos gerais.....	2
2.2	Objetivos específicos.....	2
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3.1	Bacia hidrográfica.....	3
3.2	Modelos Hidrológicos .....	4
3.3	Tempo de concentração.....	9
3.4	Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) .....	10
3.5	Número de Curva (CN).....	11
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	13
4.1	Área de estudo .....	13
4.1.1	O município de Cascavel.....	13
4.1.2	Bacia hidrográfica do rio Cascavel.....	14
4.1.3	Caracterização climática do município.....	16
4.1.4	Características geológicas e pedológicas.....	17
4.2	Precipitações Diárias Máximas Anuais (Pd <sub>ma</sub> ).....	17
4.3	Mapa de uso do solo .....	18
4.4	Método SCS para estimar o escoamento superficial.....	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
5.1	Mapa de uso do solo .....	25
5.2	Tempo de concentração e precipitações de projeto.....	27
5.3	Vazões máximas .....	28
6	CONCLUSÕES .....	30
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
REFERÊNCIAS .....	32	



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> -	Impacto da urbanização em bacias urbanas em relação a áreas rurais .....	5
<b>Tabela 2</b> -	Relação entre densidade demográfica e taxa de impermeabilização nas regiões metropolitanas de Curitiba e São Paulo.....	6
<b>Tabela 3</b> -	Características fisiográficas da bacia do rio Cascavel.....	16
<b>Tabela 4</b> -	Características climáticas do município de Cascavel - PR .....	16
<b>Tabela 5</b> -	Categorias de uso do solo encontradas na área de estudo e seus respectivos CN's .....	19
<b>Tabela 6</b> -	Classificação hidrológica de solos para as condições brasileiras .....	20
<b>Tabela 7</b> -	Valores de CN em função de cobertura e do tipo hidrológico de solo (condição II de umidade) .....	22
<b>Tabela 8</b> -	Conversão das curvas CN para as diferentes condições de umidade do solo	23
<b>Tabela 9</b> -	CN's representativos para a atual ocupação da bacia hidrográfica do rio Cascavel .....	26
<b>Tabela 10</b> -	Cenários de ocupação futura na bacia hidrográfica do rio Cascavel .....	26
<b>Tabela 11</b> -	Precipitações diárias máximas anuais (Pd <sub>ma</sub> ) e suas intensidades máximas (i) com diferentes períodos de retorno (Tr) para a área de estudo. ....	27
<b>Tabela 12</b> -	Tempo de concentração e precipitações de projeto para diferentes tempos de retorno e diferentes cenários.....	28
<b>Tabela 13</b> -	Vazões máximas na seção de referência da bacia hidrográfica do rio Cascavel, estimadas para os cenários I, II e III .....	28

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Esquema metodológico empregado neste trabalho.....	13
<b>Figura 2 -</b>	Bacias hidrográficas paranaenses e localização do município de Cascavel - PR.....	14
<b>Figura 3 -</b>	Bacia hidrográfica do rio Cascavel.....	15
<b>Figura 4 -</b>	Mapa do uso do solo na bacia do rio Cascavel, elaborado com o <i>software</i> SPRING 5.0.2 – INPE.....	25

## RESUMO

### USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASCAVEL

Os municípios brasileiros apresentaram, ao longo das últimas décadas, significativo processo de urbanização, o que ocasionou a expansão de áreas urbanas, e conseqüentemente aumento das áreas impermeáveis. À medida que a cidade se urbaniza, ocorre aumento das vazões máximas resultantes do escoamento superficial, o que pode provocar problemas como inundações de áreas ribeirinhas aos canais de drenagem. Conhecer a influência do escoamento superficial em bacias hidrográficas é primordial para o seu gerenciamento e as estimativas de futuros cenários de ocupação servem de suporte para direcionar um planejamento adequado para as bacias hidrográficas brasileiras. Considerando estas questões, este trabalho buscou estimar as vazões máximas do rio Cascavel, em função das mudanças no uso do solo na área da bacia hidrográfica e de precipitações com diferentes intensidades e período de retorno, criando cenários hipotéticos de expansão urbana, a partir do modelo hidrológico *Soil Conservation Service*. Foi constatado que o aumento das áreas impermeáveis, na proporção de 50 e 80%, acarretou um aumento de 3,2 e 5,1% do valor de CN e até 29,5% do volume das vazões máximas e que este aumento é mais expressivo durante precipitações com período de retorno menor, podendo ocasionar aumento da ocorrência de enchentes nos canais de drenagem de bacias hidrográficas. Portanto, apontando a necessidade da consolidação de um plano diretor de drenagem urbana para a área de estudo.

**Palavras-chave:** Modelo SCS; vazões máximas; áreas impermeáveis.

## ABSTRACT

### SOIL USE AND OCCUPATIONS AND SURFACE RUNOFF IN THE WATERSHED OF CASCAVEL RIVER

The Brazilian municipality presented significant urbanization process, what caused the expansion of urban areas, and consequently increased the impermeable areas. The measure that the city is urbanized increases the peak discharge resultants of the water runoff, what can provoke problems as floods of closeness areas to the drainage channels. Know the influence of the water runoff in watershed is primordial for its management, and estimations or the sceneries of future occupations helps to support the address planning adapted for the Brazilian watershed. Starting from this problematic situation this work looked for to esteem the peak discharge of the Cascavel River, in function of the changes in the soil use in the watershed, and the precipitations with different intensities and return period, creating hypothetical sceneries of urban expansion starting from the Soil Conservation Service hydrologic model. Was verified that as the impermeable areas rise it promotes considerable increase of the peak discharge, and that this increase is more significant during precipitations with smaller period return, creating Hypothetical scenarios of urban expansion from the hydrologic model Soil Conservation Service. It was found that the increase in impermeable areas at a rate of 50% and 80% led to the increase of 3.2% and 5.1% of the value of CN, and 29.5% of the volume of peak discharges, and that this increase is more significant rainfall during the period of lower return, could cause a increase of the occurrence of floods in the drainage channels of watershed. Therefore aiming the need of the consolidation of a plan director of urban drainage for the studied area.

**Keywords:** Model SCS; peak discharge; impermeable areas.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, o município de Cascavel – PR apresentou significativo processo de urbanização, com crescimento de seis vezes o número de habitantes no município em 40 anos (IBGE, 2001). Este acelerado processo de urbanização vem acompanhado pela demanda de expansão da rede de coleta e abastecimento de água e da implantação desordenada de vários loteamentos na periferia do município, conseqüentemente resultando no aumento das áreas de solo impermeáveis. Segundo TUCCI (1995), na maioria dos grandes centros urbanos brasileiros, a infraestrutura não acompanhou a demanda da urbanização, gerando problemas como falta de redes de coleta de esgoto e de drenagem pluvial.

As mudanças ocorridas no interior de uma bacia hidrográfica podem ter causas naturais. Entretanto, nas últimas décadas, o homem tem participado cada vez mais como agente acelerador dos processos modificadores da paisagem, causando o desequilíbrio do ciclo hidrológico. No Brasil, as inundações urbanas são consideradas um dos principais reflexos desse processo de desequilíbrio, sendo acentuadas nas localidades nas quais os índices pluviométricos são elevados e a impermeabilização do solo potencializa o escoamento superficial, diminuindo sua capacidade de infiltração.

À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorre o aumento das vazões máximas, devido ao aumento da capacidade de escoamento de condutos e canais que drenam as águas pluviais e da porção impermeável nas áreas urbanizadas. Este aumento do escoamento superficial, provocado pelo processo de urbanização, tende a intensificar a produção de sedimentos com o arraste de resíduos sólidos, ocasionando a deterioração da qualidade da água, e as vazões máximas nos canais drenagem, ocasionando inundações de áreas ribeirinhas a esses canais.

Considerando essa situação, diversos autores, como TUCCI (1995), PORTO (1995), CAMPANA e TUCCI (1994) e SCS (1986), propuseram modelos hidrológicos para correlacionar a impermeabilização do solo com as enchentes, sendo esta última função direta da relação precipitação – intensidade - parcela impermeabilizada.

Conhecer a influência do escoamento superficial em bacias hidrográficas é primordial para o seu gerenciamento. Estimativas de futuros cenários de ocupação servem de suporte para o dimensionamento adequado de canais de drenagem e projetos de prevenção de inundações em áreas urbanas e agrícolas. Assim, para que se possa planejar o impacto do desenvolvimento urbano, é necessário quantificar os impactos decorrentes das alterações da bacia hidrográfica. O momento mais propício para se estabelecer o controle adequado do escoamento no contexto do planejamento territorial é quando a bacia ainda se encontra em seu estado natural e tem início o processo de urbanização.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

Em acréscimo à busca por alternativas para o problema de ocupação das bacias hidrográficas, foi estabelecido como objetivo deste trabalho avaliar a atual relação do escoamento superficial e o uso do solo na bacia hidrográfica do rio Cascavel, comparando as vazões máximas produzidas pelo escoamento superficial para precipitações com diferentes períodos de retorno, considerando a condição atual de ocupação da bacia (Cenário I), cenários hipotéticos com expansão de 50% da área urbana do município, em relação à área agrícola (Cenário II) e expansão de 80% da área urbana em relação à área agrícola (Cenário III).

### **2.2 Objetivos específicos**

O presente trabalho teve como objetivos específicos:

- Conhecer e quantificar, com base no mapa de uso do solo, a atual condição de ocupação da bacia hidrográfica do rio Cascavel.
- Estimar as vazões máximas para o atual cenário de ocupação e para a futura expansão urbana do município de Cascavel – PR.
- Relacionar o incremento da vazão máxima produzida pelo escoamento superficial da bacia com o uso do solo nos diferentes cenários de ocupação.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma das referências espaciais mais consideradas em estudos do meio físico. Segundo BOTELHO e SILVA (2004), ela é amplamente reconhecida como unidade de estudo, desde o fim da década de 1960, e incorporada pelos profissionais que compõem a grande área dos estudos ambientais. Ainda segundo estes autores, a bacia hidrográfica permite ao pesquisador conhecer e avaliar os diversos componentes, processos e interações que nela ocorrem.

Para LIMA (1996), uma bacia hidrográfica compreende toda área de captação natural da água da chuva, que proporciona escoamento superficial ou subterrâneo para o canal principal e seus tributários.

TUCCI (1997) e LIMA (1996) definem a bacia hidrográfica como uma área na qual a precipitação é coletada e conduzida para seu sistema de drenagem natural, isto é, uma área composta de um sistema de drenagem natural em que o movimento de água superficial inclui todos os usos da água e do solo existentes na localidade. Ainda segundo estes autores, os limites que compreendem a bacia hidrográfica são definidos topograficamente como os pontos que limitam as vertentes que convergem para uma mesma bacia ou exutório.

Para TUCCI (1997), o papel hidrológico da bacia hidrográfica é o de transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo. Esse papel hidrológico é influenciado pelas características físicas da bacia que compreendem a sua área de drenagem, como a forma, o sistema de drenagem e as características do relevo.

A quantidade de água que atinge os cursos d'água depende, também, da área da bacia, da precipitação total e das perdas devido à evaporação, transpiração, infiltração e o uso e ocupação do solo. (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Dessa forma, os processos de circulação hídrica, de matéria e energia nas bacias hidrográficas não envolvem apenas canais fluviais e planícies de inundação, também incluem as vertentes. Para RODRIGUEZ *et al.* (2004), MONTEIRO (2000) e TRICART (1977), este tipo de análise sistêmica do ambiente é necessária porque a bacia hidrográfica deve ser estudada como um sistema aberto, já que junto aos aspectos físicos estão presentes os elementos antrópicos, como é o caso da ocupação humana das bacias hidrográficas.

A história de ocupação de terras demonstra que as áreas próximas às fontes de água continuam sendo as de maior interesse (MAACK, 1981). A implantação das cidades,

seguida da expansão urbana, além de intensificar a concentração de pessoas, exige melhores estruturas físicas, particularmente nas áreas urbanas e periurbanas, o que consequentemente promove a impermeabilização dos solos.

Para DREW (2002), o relevo, o uso do solo, a vegetação, a fauna, a hidrologia e o tempo atmosférico são características do ambiente, geralmente, alteradas pelo processo de urbanização, ou seja, pela impermeabilização dos solos. Para o autor, essas alterações ocorrem com maior intensidade nos períodos de maior excedente hídrico. Ressalta-se ainda que os efeitos desses processos afetam, particularmente, as áreas de fundo de vale, constatados por SILVEIRA (1997) e CAMPANA e TUCCI (1999) em trabalhos que detalharam o escoamento de bacias hidrográficas na região de Porto Alegre – RS.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem influenciado no aumento significativo da frequência e intensidade das inundações de rios que drenam as bacias hidrográficas urbanas. TUCCI e COLLISCHONN (2000) ressaltam que à medida que a cidade se urbaniza ocorre o aumento de até 7 vezes das vazões de pico, em consequência ao aumento do escoamento superficial, podendo ser observadas ocorrências de aumento da produção e transporte de sedimentos e resíduos sólidos nos cursos d'água, contribuindo com a deterioração da qualidade da água disponível na área da bacia hidrográfica.

TUCCI (1995) e CAMPANA e TUCCI (1994) ressaltam que a falta de planejamento e regulamentação na ocupação das bacias hidrográficas pode ser verificada em praticamente todas as cidades de médio e grande porte do país, particularmente quando se percebe o ônus dos cofres públicos nos orçamentos de obras de recuperação e conservação de áreas degradadas.

Para MATA-LIMA (2006), este incremento de água, produzido a partir da impermeabilização do solo, contribui com o surgimento e evolução dos processos erosivos em áreas de fundo de vale, a ocorrência de inundações em áreas ribeirinhas aos canais de drenagem e mudanças drásticas na morfologia dos rios que drenam áreas urbanas.

### **3.2 Modelos Hidrológicos**

Das fases do ciclo hidrológico, talvez a mais importante para o pesquisador seja a do escoamento superficial direto, que é a fase responsável pela ocorrência e transporte da água na superfície terrestre. Segundo NUNES (2007), CHRISTOFOLETTI (1996) e CUNHA e GUERRA (1996), quando o escoamento superficial direto extravasa a capacidade de fluxo de dutos, canais e rios, causam as inundações. Estas podem ocorrer devido a processos naturais de extravasamento do fluxo dos rios nas planícies de inundação ou ocorrer devido à impermeabilização do solo proveniente da urbanização, que diminui sua infiltração.

O escoamento superficial é definido por PRUSKI *et al.* (2004), TUCCI (1998) e PORTO (1995), entre outros, como toda parcela da água precipitada em uma bacia



hidrográfica, que escorre superficialmente para o canal principal. Conforme estes autores, o volume de água escoada superficialmente varia de acordo com as características físicas da bacia, como a declividade, a área impermeabilizada e o tipo de solo. PORTO (1995) destaca que a análise criteriosa das características físicas da bacia hidrográfica é um dos principais parâmetros responsáveis para uma estimativa confiável do escoamento superficial.

TUCCI (1998), PORTO (1995) e SCS (1986) propuseram modelos que simulassem a parte do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão, estimando a distribuição espacial e temporal do fluxo escoado numa bacia hidrográfica.

Para TUCCI (2005), modelo hidrológico é uma representação do comportamento de um sistema natural, passível de ser representado por meio de equações matemáticas e que, dada à versatilidade que possui, pode ser facilmente modificado, obtendo-se resultados de diferentes cenários de um mesmo sistema.

Grande parte dos modelos hidrológicos que tratam da drenagem urbana precisa conhecer a área impermeável e as modificações das condições de escoamento das bacias devido à ocupação do solo, pois o aumento de áreas impermeáveis aumenta o escoamento superficial. TUCCI (2000) discute a relação entre o aumento do volume do escoamento superficial e a taxa de impermeabilização de áreas urbanas, quando comparadas com uma bacia rural. Na Tabela 1, nota-se que a impermeabilização de 7% da área dos lotes acarreta a duplicação do escoamento superficial, podendo chegar a 8 vezes, em lotes com 80% impermeabilizados.

**Tabela 1** - Impacto da urbanização em bacias urbanas em relação a áreas rurais

Área impermeável no lote (%)	Aumento do volume de escoamento superficial em relação a uma bacia rural
7,0	2,1
20,0	3,2
33,3	4,3
46,7	5,4
60,0	6,4
73,0	7,5
80,0	8,6

Fonte: TUCCI (2000).

Segundo CAMPANA e TUCCI (1999), em países subdesenvolvidos como o Brasil, a urbanização tem ocorrido com pouca ou nenhuma regulamentação no que diz respeito ao plano de drenagem urbana, o que tem acarretado graves problemas de inundação, posteriores ao processo de urbanização, implicando a necessidade de obras de altos custos para sanar ou apenas atenuar este problema.

Visando conhecer as taxas de impermeabilização nas bacias de drenagem brasileiras, diversos autores, como FERREIRA *et al.* (2006), CAMPANA e TUCCI (1994) e SCS (1986), propuseram e discutiram métodos para estimá-las, entretanto algumas aplicações são restritas a macrobacias urbanas com um só tipo de uso do solo.

CAMPANA e TUCCI (1994) propuseram um método para estimar a taxa de impermeabilização em macrobacias urbanas, com base na relação densidade demográfica com a taxa de impermeabilização, a partir de estudos realizados nas cidades de São Paulo e Curitiba no ano de 1991, cujos dados de densidade demográfica foram disponibilizados pelo Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e comparados com a taxa de impermeabilização obtida a partir de imagens orbitais do sistema Landsat-TM 3, 4 e 5 dos anos de 1984 e 1990.

Na Tabela 2, observam-se as relações entre a densidade populacional e as taxas de impermeabilização nas regiões metropolitanas de Curitiba e São Paulo, onde se obtiveram taxas aproximadas entre as duas regiões com erro entre 10 e 15% para bacias maiores que 4 km<sup>2</sup> e 25% para bacias menores que 2 km<sup>2</sup>. Segundo CAMPANA e TUCCI (1994), este erro se justifica pelos diversos tipos de moradia, como por exemplo, áreas com desenvolvimento vertical apresentam taxas de densidade demográfica mais altas que áreas com construções de apenas um ou dois pavimentos.

**Tabela 2** - Relação entre densidade demográfica e taxa de impermeabilização nas regiões metropolitanas de Curitiba e São Paulo

Densidade populacional (hab/ha)	Taxa de áreas impermeáveis (%)	
	Curitiba	São Paulo
20-35	14,0	-
35-50	22,0	24,4
50-70	32,6	30,0
70-90	36,4	45,0
>90	57,9	61,2

Fonte: CAMPANA e TUCCI (1994, p. 89).

A metodologia apresentada por CAMPANA e TUCCI (1994) demonstra ser de fácil e rápida aplicação, entretanto se restringe a áreas com ocupação exclusivamente urbana e não industrial, com área não inferior que 2 km<sup>2</sup>, o que dificulta a aplicação em microbacias mistas, com áreas urbanas e rurais.

FERREIRA *et al.* (2006) discutem a metodologia aplicada no município de Criciúma - SC, propondo um método para determinar a área impermeável por geoprocessamento, ou seja, com base em mapas de uso do solo gerados a partir de ortofotocartas da bacia do rio Criciúma, do ano 2000, imagens com pixel de 57 cm.

O método consiste na segmentação e identificação de regiões homogêneas dentro da imagem, dividindo em regiões as áreas de interesse da aplicação. Como resultado da classificação cada ponto da imagem é mapeado para uma determinada classe, que pode variar entre cinco classes temáticas:

1. Vegetação arbórea: abrange bosques, matas e florestas;
2. Campos e gramados: abrange campos em geral e gramados;
3. Solo exposto: abrange solo exposto e terra;

4. Áreas impermeáveis: abrangem ruas, telhados e depósitos de pirita (afloramento de rochas);
5. Água: abrange os corpos hídricos.

Estas informações criam um mosaico que compreende todas as cinco classes num mesmo plano de informação, ou seja, um mapa de uso do solo.

Esta metodologia, apresentada por FERREIRA *et al.* (2006), demonstra ser aplicável para áreas com diversos tipos de ocupação e cobertura do solo, porém sua precisão varia de acordo com o grau de experiência dos pesquisadores, pois materiais com capacidade de infiltração diferente podem possuir comportamento espectral semelhantes, como é o caso do latossolo vermelho e telhas de cerâmica utilizadas com frequência para cobertura de residências, este comportamento espectral ocorre pelo fato de que estas telhas são confeccionadas a partir do Latossolo.

Outro método amplamente discutido na literatura é o Método Racional. Segundo PORTO (1995), as referências mais remotas a esta técnica datam de fins do século XIX, na Inglaterra, consagrando esse método como o mais difundido para a determinação de vazões de pico em pequenas bacias hidrográficas.

De acordo com PRUSKI *et al.* (2004), por este método pode-se determinar a vazão máxima de escoamento superficial a partir de dados de chuva para pequenas bacias hidrográficas. Ainda segundo estes autores, a aplicabilidade do método racional varia na literatura de 50 a 500 hectares, sendo a vazão máxima expressa pela seguinte equação.

$$Q_{\max} = \frac{C.i.A}{360} \quad (1)$$

em que:

- $Q_{\max}$  = vazão máxima de escoamento superficial direto;  
 $m^3/s$ ;  $C$  = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;  
 $i$  = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, mm/h;  
 $A$  = área da bacia de drenagem, ha.

Para PORTO (1995), a hipótese central do método racional é que a duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia e uniforme em toda a área. Se os efeitos do armazenamento na bacia forem desprezíveis, o pico da vazão ocorre no instante que a chuva cessa, ou seja, depois de decorrido o tempo de concentração.

Embora os conceitos de pequenas bacias sejam relativos, sob o ponto de vista de drenagem urbana, o método racional é de grande aceitação, devido à sua simplicidade e resultados considerados satisfatórios.

A avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento pode ser realizada pelo método *Soil Conservation Service (SCS)*, em nível de micro e macrobacia hidrográfica, em acordo com o conceito de vazão de projeto. Segundo MISHRA e SINGH (1999), MATA-LIMA (2007) e MELLO *et al.* (2007), este método é amplamente utilizado para obtenção do volume do escoamento superficial bacias hidrográficas. A origem do método de SCS pode ser localizada na proposta de Sherman (1942, 1949) *apud* MISHRA e SINGH (1999) e no trabalho subsequente de Mockus (1949) *apud* MISHRA e SINGH (1999), que desenvolveram um procedimento para calcular o escoamento superficial a partir da precipitação e da capacidade de infiltração de diferentes tipos de solo e suas coberturas específicas. Estes e outros trabalhos foram descritos por SCS (1986) no trabalho denominado *Urban Hydrology for Small Watersheds*, realizado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), descrevendo o cálculo da vazão de máxima gerada pelo escoamento superficial para bacias urbanas.

O método SCS consiste em um modelo matemático que determina a chuva excedente, ou seja, o escoamento superficial em bacias com diferentes tipos de ocupação. Esse método tem como principal parâmetro o Número de Curva de escoamento superficial (CN), que leva em conta as características hidrológicas dos tipos de solo, sua cobertura, atribuindo um número a cada tipo de uso do solo, substituindo assim o grau de impermeabilização.

Segundo TASSI *et al.* (2005), PORTELA *et al.* (2000) e SCS (1986), o método SCS constitui uma importante ferramenta para a obtenção da vazão de máxima gerada pelo incremento do escoamento superficial na vazão de um rio. Ainda segundo estes autores, o método SCS pode ser aplicado em áreas com diferentes tipos de ocupação, apresentando resultados confiáveis, amplamente usados por pesquisadores que almejam obter o escoamento superficial de bacias com diferentes tipos de uso do solo.

No Brasil o método SCS vem sendo discutido e aplicado em diversas pesquisas. São exemplos os trabalhos de SARTORI *et al.* (2005a), TUCCI (2000) e PORTO (1995) que caracterizam a metodologia como sendo de fácil e satisfatória aplicação, quando consideradas as diferentes características hidrológicas dos solos brasileiros.

Em outros países, a metodologia SCS também é amplamente difundida, como exemplo, pode-se citar o trabalho realizado por PORTELA *et al.* (2000), que aplicou este método na bacia do rio Maior em Lisboa – Portugal. Em seu trabalho o autor simulou cenários de expansão da área urbana sobre esta bacia, avaliando a influência da urbanização e da variação da intensidade das precipitações de projeto para diferentes períodos de retorno na produção do escoamento superficial e, por sua vez, no acréscimo das vazões máximas do rio Maior. Este estudo permitiu aos pesquisadores concluir que o aumento das vazões máximas em pequenas bacias hidrográficas é extremamente sensível às mudanças ocorridas no uso do solo, uma vez que o aumento das áreas impermeáveis diminui potencialmente a capacidade de infiltração do solo, diminuindo assim o tempo de

concentração da bacia, concentrando o volume escoado nos canais de drenagem, o que pode intensificar as inundações das áreas ribeirinhas aos canais de drenagem.

### 3.3 Tempo de concentração

Ao relacionarmos o volume de escoamento superficial produzido durante um evento chuvoso com a vazão máxima de canais de drenagem, é necessário assumir que o volume escoado não atinge o canal de drenagem de forma instantânea e homogênea. MATA-LIMA *et al.* (2007) comentaram que, para esta relação, é necessário conhecer o tempo de concentração da bacia hidrográfica em estudo. De acordo com TUCCI (1993), o tempo de concentração ( $t_c$ ) corresponde ao tempo de percurso da água precipitada desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica até a seção de referência. Dessa forma TUCCI (1993) e MATA-LIMA *et al.* (2007) concordam, ao afirmarem que o tempo de concentração é uma variável que assume papel fundamental na determinação de vazões máximas produzidas pelo escoamento superficial.

Na literatura que trata de modelos hidrológicos diversos autores propuseram métodos para estimar o tempo de concentração em bacias hidrográficas. Segundo MATA-LIMA *et al.* (2007), pode-se classificar estes métodos em estritamente empíricos e semiempíricos.

Segundo MATA-LIMA *et al.* (2007), métodos estritamente empíricos são aqueles que resultam de análises estatísticas de grandes volumes de informações obtidas em trabalhos de campo, o que conduz à obtenção de equações de regressão linear múltipla, relacionando o tempo de concentração e as características fisiográficas da bacia.

Entre os principais métodos estritamente empíricos difundidos na literatura pode-se citar o método de Kirpich, apresentado em Kirpich (1940) *apud* TUCCI (1993) e o método de Ven Te Chow *apud* PRUSKI *et al.* (2004). Porém, estes métodos consideram apenas as características físicas e imutáveis da bacia. MATA-LIMA *et al.* (2007) os descrevem como rígidos e estáticos, por não considerarem a variabilidade espacial e temporal da bacia, sendo recomendados para bacias rurais ou áreas com apenas um tipo de uso.

Sabendo-se que grande parte dos estudos hidrológicos são realizados em bacias hidrográficas com mais de um tipo de uso do solo, MATA-LIMA *et al.* (2007) descrevem em seu trabalho os métodos semiempíricos. Segundo estes autores, os métodos semiempíricos são aqueles que não são estáticos, por incluírem parâmetros que variam em função das características ocupacionais da bacia, possibilitando assim a flexibilidade na sua aplicação.

MELLO *et al.* (2007) e MATA-LIMA *et al.* (2007) concordam ao afirmarem que dos vários métodos semiempíricos existentes, o método do *Soil Conservation Service* (SCS, 1986) pode ser considerado amplo, por considerar os processos de ocupação que ocorrem

nas bacias hidrográficas, incluindo em sua equação o número de curva referente aos diferentes usos do solo que possam ser considerados.

### 3.4 Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF)

As chuvas constituem-se na principal entrada de água em uma bacia hidrográfica. A sua quantificação e o conhecimento da forma como se distribui no espaço e no tempo são fundamentais em estudos relacionados à disponibilidade de água para abastecimento doméstico e industrial, erosão do solo e controle de inundações.

Para BERTONI e TUCCI (1993) a precipitação é entendida na ciência hidrológica como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações, diferenciadas apenas pelo estado em que a água se encontra.

Conforme FENDRICH (2003) e BERTONI e TUCCI (1993), a disponibilidade de precipitação numa bacia é o fator determinante para dimensionamento de obras hidráulicas. Dessa forma, os autores justificam a necessidade de determinar a intensidade da precipitação para o controle de inundações e processos erosivos dentro de bacias hidrográficas. Isto é necessário devido à capacidade da precipitação produzir escoamento, podendo alterar a dinâmica hídrica da bacia.

Segundo DAMÉ *et al.* (2008), para a caracterização das precipitações, é necessário conhecer a sua duração, sua intensidade e sua frequência de ocorrência ou período de retorno ( $T_r$ ). Essa relação é comumente denominada de curvas Intensidade – Duração – Frequência (IDF), sendo uma das ferramentas mais utilizadas em trabalhos de transformação chuva-vazão. Ainda segundo o autor, em projetos hidrológicos agrícolas e urbanos, nos quais não se disponha de dados observados de vazão, é necessário explorar ao máximo as informações relativas à precipitação, bem como as características físicas da bacia hidrográfica para a obtenção da vazão de projeto.

Entretanto, os dados pluviográficos não são facilmente disponíveis, o que existe em abundância, são dados pluviométricos. Diante dessa realidade, FENDRICH (2003) e DAMÉ *et al.* (2008) concordam ao afirmar que é preciso desenvolver metodologias de estimativas de curvas IDF, em locais que possuam pouco ou nenhum dado pluviográfico. Para isso, uma das alternativas possíveis é utilizar uma série de dados de precipitação máxima diária anual ( $P_{dma}$ ) do local onde será realizado o estudo hidrológico.

A partir da necessidade da determinação de chuvas intensas para obras de drenagem, FENDRICH (2003) apresentou um trabalho que determinou as relações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para séries históricas de postos pluviométricos encontrados nas cidades paranaenses. Sendo uma delas o município de Cascavel – PR, gerada a partir de uma série histórica de 14 anos. O que possibilitou conhecer as

precipitações máximas diárias anuais ( $P_{dma}$ ) e suas intensidades para diferentes períodos de retorno ( $T_r$ ) utilizados neste trabalho.

De acordo com RIGHETTO (1998), a escolha de períodos de retorno usados em projetos hidrológicos varia de acordo com a importância do projeto, a partir da relação custo-benefício e da avaliação dos danos causados pela falha de seu planejamento. Ainda segundo o autor, os períodos de retorno ( $T_r$ ), em geral, são de 2 anos para áreas residenciais, 5 anos para áreas comerciais e 20 anos para canais de drenagem urbanos.

ALVES FILHO e RIBEIRO (2006) afirmam que, nos últimos anos, as precipitações máximas diárias têm se intensificado, tendo como causa provável o fenômeno do aquecimento global. Segundo estes autores, isso pode ser observado no aumento da ocorrência de inundações em áreas urbanas, o que corrobora a necessidade de aumento do período de retorno utilizado em obras de drenagem.

### 3.5 Número de Curva (CN)

Grande parte dos modelos hidrológicos que tratam da drenagem urbana precisa conhecer as áreas impermeáveis e a modificação das condições de escoamento das bacias, devido à ocupação do solo.

CENTENO *et al.* (2001) descrevem que, uma boa estimativa da taxa de permeabilidade do solo pode ser alcançada por meio da restituição de fotografias aéreas. A restituição pode ser efetuada utilizando-se aparelhos que permitam a visão estereoscópica, como também pode ser efetuada usando técnicas de monorestituição. O produto da restituição, em geral, é um mapa de alta qualidade, porém demanda muito tempo de execução e experiência na interpretação das fotografias.

Para RODRIGUES (2000), a análise do uso e cobertura do solo, com base em informações obtidas pelo sensoriamento remoto, é de grande utilidade ao planejamento e administração da ocupação ordenada e racional do meio físico, além de possibilitar avaliar e monitorar a preservação de áreas de vegetação natural. Segundo o autor, o sensoriamento remoto é uma ferramenta de grande valia para auxiliar o homem na caracterização do meio físico, biótico e de áreas submetidas ao processo de antropismo.

Com a evolução e propagação dos sistemas sensores a bordo de plataformas orbitais (Satélites), a utilização de imagens dos satélites tornou-se uma opção interessante para obtenção de mapas de uso e ocupação do solo e, a partir deles, estimar a extensão de áreas permeáveis. CENTENO *et al.* (2001) utilizaram imagens do satélite IKONOS para mapear o uso do solo no bairro do Guabirotuba na cidade de Curitiba – PR. Os autores classificaram e mensuraram o uso do solo a partir de categorias pré-estabelecidas pelo método *Soil Conservation Service (SCS)*, obtendo assim o Número de Curva (CN) representativo para a área de estudo.

De acordo com MATA-LIMA *et al.* (2007), o parâmetro CN procura definir, mediante um valor numérico, a influência da cobertura do terreno no comportamento do escoamento superficial. A atribuição do CN está associada à constituição pedológica da área e ao tipo de ocupação do solo.

PORTO (2001) e SCS (1986) destacam que, cada categoria de uso de solo recebe um valor de CN, variando de 100 para áreas totalmente impermeáveis a 0 (zero) para áreas com potencial de infiltração ilimitado.

CAMPANA e TUCCI (1994) afirmam que o uso de imagens de satélite, aliadas ao método SCS, permite confeccionar mapas de uso do solo, que estimem o CN médio representativo para as áreas em estudo, servindo como base para conhecimento do comportamento hidrológico nessas áreas.



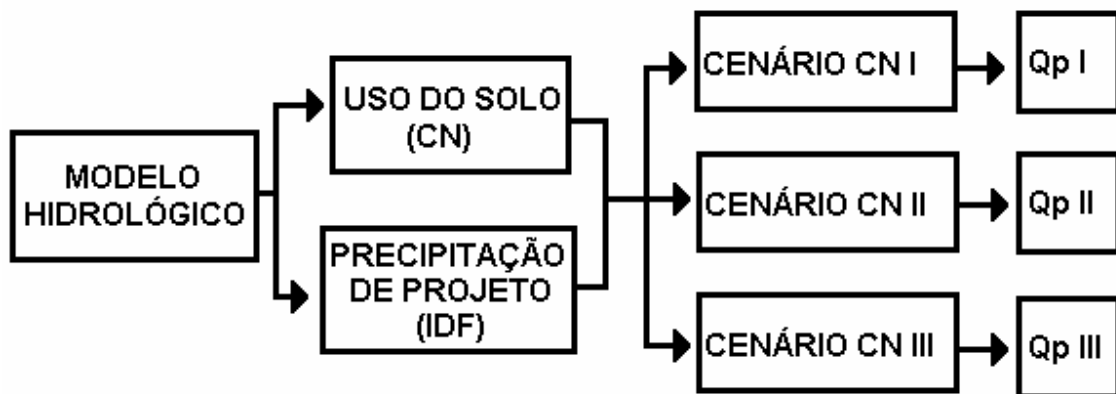
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Em função dos objetivos apresentados, este trabalho foi dividido metodologicamente em três etapas principais (Figura 1).

A primeira etapa constitui-se na definição dos parâmetros adotados pelo método SCS para elaboração do mapa do uso do solo, obtendo-se assim o Número de Curva para a atual condição de ocupação da bacia e posterior definição dos cenários de evolução da área urbana utilizados neste trabalho.

Na segunda etapa, foram definidas as precipitações máximas diárias anuais para cada período de retorno ( $T_r$ ) utilizados neste trabalho e posterior cálculo das precipitações com duração igual ao tempo de concentração da bacia.

Na terceira etapa, foi aplicado o método SCS para cada cenário de ocupação da bacia, o que possibilitou a estimativa das vazões máximas para os diferentes cenários, e períodos de retorno ( $T_r$ ), definindo-se os períodos de 5, 10, 25, 50, 100, 200 e 500 anos como base para o cálculo das precipitações de projeto utilizadas neste trabalho, de forma que se abrangessem os diferentes níveis das vazões máximas estimadas para o rio Cascavel, o que permitiu estimar a influência da urbanização nas suas vazões máximas.



**Figura 1** - Esquema metodológico empregado neste trabalho.

### 4.1 Área de estudo

#### 4.1.1 O município de Cascavel

O Município de Cascavel localiza-se na região Oeste do estado do Paraná, entre as latitudes 24°32' e 25°17' Sul e longitudes 53°05' e 53°50' Oeste. De acordo com COVATTI

(2006), a sede urbana do município de Cascavel está localizada sob o divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Piquiri ao Norte, Iguçu ao Sul e Paraná III ao Oeste (Figura 2).

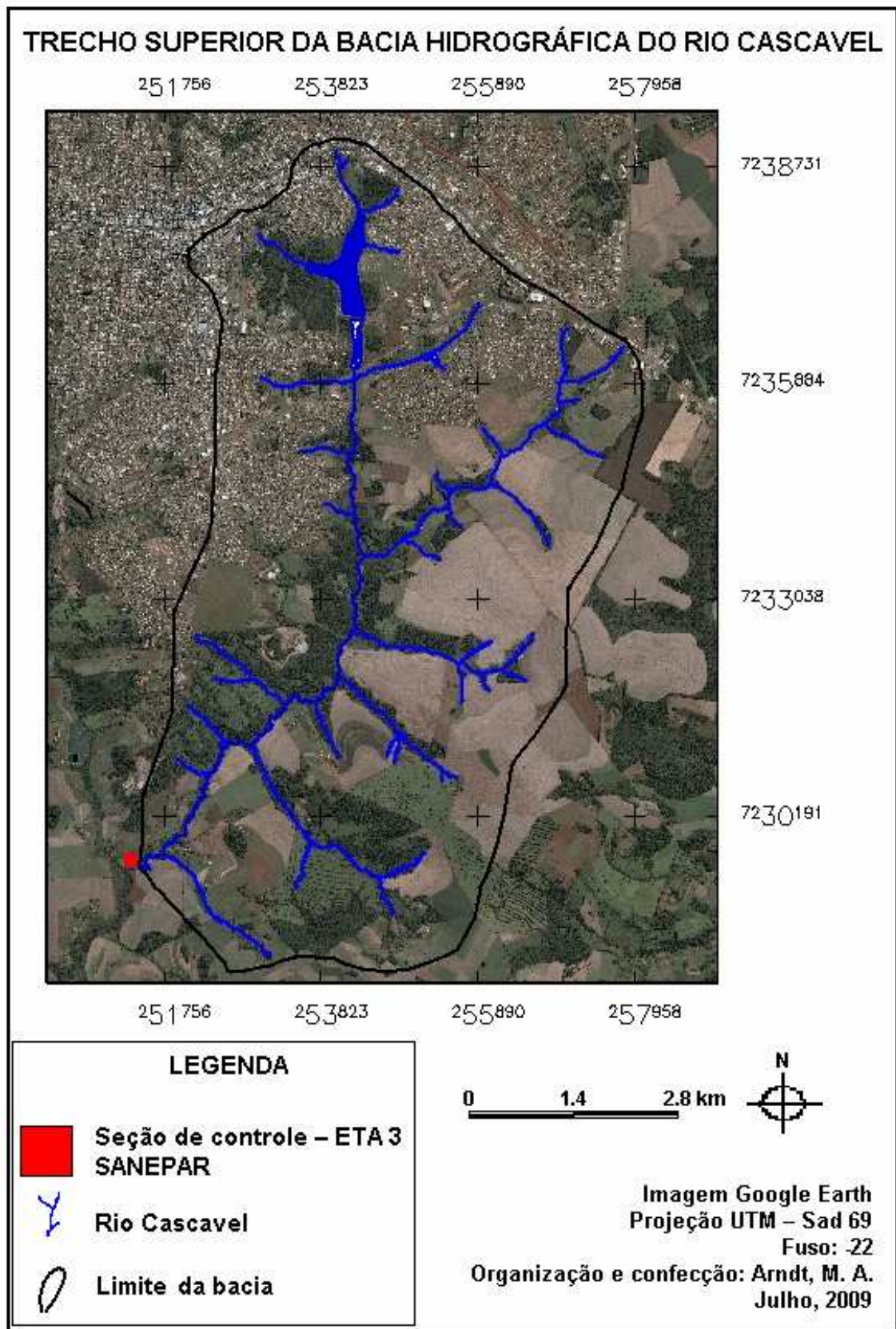


**Figura 2 -** Bacias hidrográficas paranaenses e localização do município de Cascavel - PR.

Fonte: CASCAVEL (2008).

#### 4.1.2 Bacia hidrográfica do rio Cascavel

A área de estudo abarca o trecho superior da bacia hidrográfica do rio Cascavel, com área de 49,04 Km<sup>2</sup>, situada ao Sul da área urbana do município, abrangendo parte da malha urbana na sua cabeceira e porção Oeste. Seu curso segue na direção sul, seguindo para a zona rural do município, onde é feita a captação de água pela da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, definida neste trabalho como seção de controle (Figura 3).



**Figura 3 -** Bacia hidrográfica do rio Cascavel.

Segundo CASAGRANDE (1996), o rio Cascavel é o principal manancial abastecedor de água da cidade de Cascavel – PR, suas principais nascentes estão localizadas na região do lago municipal. O talvegue do rio principal apresenta cerca de

10,5 km de extensão, com altitude variando entre 767 e 718 metros (Tabela 3). Ainda segundo o autor, as vertentes da bacia hidrografia apresentam declividade variando entre 8% e 15%, com áreas de fundo de vale em que a mata ciliar está bem preservada, porém nas proximidades do lago municipal é possível encontrar áreas em que a vegetação não apresenta os 30 metros previstos em lei.

**Tabela 3 -** Características fisiográficas da bacia do rio Cascavel

DESCRIÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA DO RIO CASCAVEL	
Altitude máxima	767 m
Altitude mínima	718 m
Área de drenagem	49,040 km <sup>2</sup>
Comprimento rio principal	10,542 km
Bacia hidrográfica	Rio Iguaçu
Coeficiente de capacidade	1,18
Declividade	8% e 15%
Fator forma	0,38
Forma	Forma de pêra
Ordem da bacia	4ª ordem

Fonte: COVATTI (2006).

#### 4.1.3 Caracterização climática do município

Devido à posição geográfica que ocupa, o Oeste do Paraná está sobre influência do clima subtropical, uma vez que a região está inteiramente compreendida ao Sul do Trópico de Capricórnio. Apresenta chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com ausência de período seco anual, ocorrendo também temperaturas bastante elevadas durante o verão e mínimas significativas no inverno, o que caracteriza a região como zona de transição do clima tropical para o temperado (IAPAR, 1994) (Tabela 4).

De acordo com a classificação proposta por Köeppen (1948), na região do município de Cascavel predomina o clima Cfa – clima subtropical mesotérmico; temperatura média no mês mais frio inferior a 15°C e temperatura média no mês mais quente acima de 25°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. (IAPAR, 1994).

**Tabela 4 -** Características climáticas do município de Cascavel - PR

Médias anuais	
Precipitação (Total médio anual)	1940 mm
Evapotranspiração	1200 mm
Temperatura (média anual)	21°C
Temperatura (média anual das mínimas)	15°C
Temperatura (média anual das máximas)	25°C
Umidade relativa do ar (média anual)	75%

Fonte: IAPAR (1994).

#### 4.1.4 Características geológicas e pedológicas

Segundo MAACK (1981), Cascavel está inserido no terceiro planalto paranaense, em que afloram extensos derrames vulcânicos cretáceos da formação Serra Geral, pertencente ao grupo São Bento (Bacia do Paraná), com composição litológica predominante de Basalto.

De acordo com a Secretaria de Planejamento de Cascavel - SEPLAN, o relevo do município encontra-se ondulado ao Norte e constituído por colinas amplas e baixas declividades. Ao Sul predominam médias e altas declividades, com relevo acidentado, com declividade das vertentes variando em torno de 11,5 %. (CASCAVEL, 2006).

EMBRAPA (1999) destaca que a área do município é caracterizada pela presença dos Latossolos Vermelhos Eutroféricos de textura argilosa e horizonte A moderado, nas colinas e nos setores de topo e média alta vertente e pelos Nitossolos Vermelhos Eutroféricos (antiga Terra Roxa Estruturada) nos setores de média e média baixa vertente.

Para CUNHA *et al.* (2004), a distribuição espacial desta classe de solo ocorre devido à forma e extensão das vertentes. Já a classe do Neossolo Litólico (solos rasos) ocorre nas baixas vertentes. Ainda conforme os autores, este solo também é encontrado em rupturas de declives, áreas de topo e de afloramento rochoso.

#### 4.2 Precipitações Diárias Máximas Anuais (Pdma)

Neste trabalho, foram utilizadas as relações de Intensidade – Duração – Frequência (IDF) a partir da seguinte equação de chuva para o município de Cascavel – PR, apresentada por FENDRICH (2003).

$$i = \frac{1062,92.T_r^{0,141}}{(t + 5)^{0,776}} \quad (2)$$

em que:

- $i$  = intensidade máxima da chuva (mm/h);
- $T_r$  = tempo de recorrência (anos);
- $t$  = duração da chuva (min.).

Segundo MATA-LIMA *et al.* (2007), a precipitação que contribui para a geração da vazão máxima, também conhecida como vazão de pico em uma bacia hidrográfica, tem

duração igual ao tempo de concentração da bacia. PORTELA *et al.* (2000) e MATA-LIMA *et al.* (2007) apontam a seguinte equação para obtenção da precipitação com duração igual ao tempo de concentração de uma bacia hidrográfica, assim tornando possível sua aplicação no modelo SCS.

$$\frac{P_{tc}}{P_{dma}} = \left( \frac{tc}{24} \right)^{0,367} \text{ ou} \quad (3)$$

$$P_{tc} = \frac{P_{dma} \cdot (tc)^{0,367}}{(24)^{0,367}} \quad (4)$$

em que:

$P_{tc}$  = precipitação máxima com duração igual ao tempo de concentração da bacia (mm);

$P_{dma}$  = precipitação diária máxima anual (mm/d);

$tc$  = tempo de concentração da bacia (h).

#### 4.3 Mapa de uso do solo

O mapa do uso e ocupação do solo é uma ferramenta essencial para a obtenção do parâmetro CN utilizado para o cálculo da vazão máxima. O mapa de uso do solo utilizado neste trabalho foi confeccionado a partir de um mosaico de imagens do sistema IKONOS pós-georreferenciadas fornecidas pelo sistema GOOGLE EARTH. Estas imagens apresentaram pós-georreferenciamento pixels de 3 metros, posteriormente classificadas pelo SIG SPRING 5.0.2, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os diferentes tipos de uso do solo presentes na bacia hidrográfica do rio Cascavel, foram classificados de acordo com as categorias mais expressivas definidas pela metodologia SCS e divididas em: áreas industriais, áreas comerciais, áreas residenciais consolidadas, áreas residenciais em expansão, sede de propriedades agrícolas, culturas temporárias, culturas permanentes, campo aberto ou pastagens, reservas legais ou matas ciliares, lagos, brejos e canais de drenagens (Tabela 5).

**Tabela 5** - Categorias de uso do solo encontradas na área de estudo e seus respectivos CN's

Categoria	Descrição e respectivo valor de CN*
Áreas industriais	Áreas com predominância de indústrias, com número de curva igual a 81.
Áreas comerciais	Áreas com predomínio de prédios e salas comerciais, como CN igual a 89.
Áreas residenciais consolidadas	Áreas com ocupação residencial predominante, com lotes vazios representando menos de 30% da área total, com CN igual a 77.
Áreas residenciais em expansão	Áreas com ocupação residencial predominante, com lotes vazios representando mais de 30% da área total, com CN igual a 57.
Sede de propriedades agrícolas	Áreas destinadas à moradia de agricultores e construção de galpões de armazenagem de maquinários e grãos, com CN igual a 57.
Culturas temporárias	Culturas de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano que, após a produção, deixam o terreno disponível para o novo plantio, com CN igual a 61.
Culturas permanentes	Culturas de ciclo longo que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio a cada ano, com CN igual a 67.
Campo aberto ou pastagens	Áreas destinadas ao pastoreio do gado, formadas mediante o plantio de forragens perenes, com CN igual a 49.
Reservas legais ou matas ciliares	Áreas de preservação, geralmente, formadas por vegetação nativa ou reposta, com CN igual a 36.

Nota: \*De acordo com IBGE (2006) e PORTO (1995).

Após o mapeamento do uso do solo no trecho superior da bacia hidrográfica do rio Cascavel, definindo a área ocupada em cada categoria de uso do solo definida anteriormente e o número de curva (CN) para a atual condição de ocupação da bacia, foram estimados cenários futuros da evolução da ocupação urbana, de forma que os CN's estimados representassem o acréscimo de 50% e 80% da ocupação urbana sobre as áreas com uso agrícola, preservando a atual proporção de vegetação nativa na bacia.

#### 4.4 Método SCS para estimar o escoamento superficial

De acordo com MATA-LIMA *et al.* (2007), SARTORI *et al.* (2005a), PORTO (1995) e SCS (1986), o escoamento superficial pode ser mensurado pelo método SCS pela seguinte equação:

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad P > 0,2S \quad (5)$$

em que:

Pe = altura da lamina d'água gerada pelo escoamento superficial direto em mm;

P = precipitação em mm;

$S$  = retenção potencial do solo em mm.

O valor de  $S$  depende do tipo de solo e pode ser determinado em tabelas próprias, associando para cada tipo de solo e ocupação um valor de correção para a capacidade de infiltração do mesmo.

Para facilitar a solução da Equação 5, faz-se a seguinte mudança de variável:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (6)$$

em que CN é chamado de “Número de curva” e varia entre 0 e 100. O parâmetro CN depende do tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo e da umidade antecedente.

Segundo SCS (1986), o método SCS distingue quatro grupos hidrológicos de solos, baseados de acordo com as características hidrológicas de solos típicos dos Estados Unidos da América, porém essa classificação não abarca os diferentes tipos de solos brasileiros e suas respectivas características hidrológicas. Visando contornar a essa circunstância, SARTORI *et al.* (2005b) propuseram a classificação de solos brasileiros para a aplicação do método SCS, enquadrando os diversos tipos de solos brasileiros dentro dos quatro grupos propostos pelo SCS (1986) (Tabela 6).

**Tabela 6** - Classificação hidrológica de solos para as condições brasileiras

Continua

---

Grupo Hidrológico A

---

- Solos muito profundos (prof.> 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm);
- Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão;
- Solos porosos com baixo gradiente textural (<1,20);
- Solos de textura média;
- Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil;
- Solos bem drenados ou excessivamente drenados;
- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;
- A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/ média, argilosa/ argilosa e muito argilosa/ muito argilosa.

Enquadram-se neste grupo:

LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos com textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.

---

Grupo Hidrológico B

---

- Solos profundos (100 a 200 cm);
  - Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão;
  - Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50;
  - Solos se textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso;
-



**Tabela 6 - Classificação hidrológica de solos para as condições brasileiras**

conclusão

---

- Solos com textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo perfil;
- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;
- A textura dos horizontes superficial ou subsuperficial podem ser: arenosa/ arenosa, arenosa/ média, média/ argilosa, argilosa/ argilosa e argilosa/ muito argilosa.

Enquadram-se neste grupo:

- LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO. NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO OU VERMELHO AMARELO de textura arenosa/ média, média/ argilosa, argilosa/ argilosa ou argilosa/ muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.

---

Grupo Hidrológico C

---

- Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm);
- Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;
- São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta;
- Solos associados à argila de atividade baixa (Tb);
- A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/ média e média/ argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/ argilosa e arenosa/ muito argilosa.

Enquadram-se neste grupo:

ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.

---

Grupo hidrológico D

---

- Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão;
- Solos rasos (prof. < 50 cm);
- Solos pouco profundos, associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;
- Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);
- Solos orgânicos.

Enquadram-se neste grupo:

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

---

Fonte: SARTORI *et al.* (2005b).

A aplicação do método do SCS a áreas urbanizadas pode ser feita de duas formas. Uma delas é fazer uso de tabelas que levam em conta os tipos de ocupação do solo característico de áreas urbanas (Tabela 7).

Caso a bacia apresente diversos tipos de uso do solo e de ocupação, deve-se adotar o valor CN obtido pela média ponderada dos diversos CN's correspondentes às áreas homogêneas por meio da seguinte equação:

$$CN = \frac{Ax.CNx + Ay.CNy + Az.CNz + \dots}{A_{total}} \quad (7)$$

em que:

- $Ax (y, z)$  = área em km<sup>2</sup> de cada tipo de uso do solo;  
 $CNx (y, z)$  = valor de CN, obtido com base na Tabela 8;  
 $A_{total}$  = área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

Apontando-se três condições de umidade antecedente do solo:

Condição I - Solos secos: as chuvas nos últimos cinco dias, não ultrapassaram a 15 mm.

Condição II - situação média na época das cheias: as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm.

Condição III - solo úmido (próximo da saturação): as chuvas nos últimos cinco dias foram superiores a 40 mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

**Tabela 7** - Valores de CN em função de cobertura e do tipo hidrológico de solo (condição II de umidade)

Tipo de uso do solo / tratamento/ condições hidrológicas	Grupo hidrológico				
	A	B	C	D	
Continua					
Uso residencial:					
Tamanho médio do lote					
% Impermeável					
Até 500 m <sup>2</sup>	65	77	85	90	92
1000 m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
1500 m <sup>2</sup>	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados:		98	98	98	98
Ruas e estradas					
Pavimentadas, com guias e drenagem.		98	98	98	98
Com cascalho.		76	85	89	91
De terra.		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização):		89	92	94	93
Distritos industriais:		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
Boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama >50 %		49	69	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto:					
Plantio em linha reta		77	86	91	94
Culturas em fileira					
Linha reta	Condições ruins	72	81	88	91
	Boas	67	78	85	89
Curva de nível	Condições ruins	70	79	84	88
	Boas	65	75	82	86
Cultura de grãos					
Linha reta	Condições ruins	65	76	84	88
	Boas	63	75	83	87
Curva de nível	Condições ruins	63	74	82	85
	Boas	61	73	81	84

**Tabela 7** – Valores de CN em função de cobertura e do tipo hidrológico de solo (condição II de umidade)

		conclusão			
<b>Pasto</b>					
Linha reta	Condições ruins	68	79	86	89
	Médias	49	69	79	84
	Boas	39	61	74	80
<b>Curva de nível</b>					
Curva de nível	Condições ruins	47	67	81	88
	Médias	25	59	75	83
	Boas	06	35	70	79
<b>Campos</b>					
Campos	Condições boas	30	58	71	78
<b>Florestas</b>					
Florestas	Condições ruins	45	66	77	83
	Boas	36	60	73	79
	Médias	25	55	70	77

Fonte: PORTO (1995).

Dependendo da condição de umidade o modelo SCS utiliza-se de uma tabela de conversão, que permite converter o valor de CN para condição I ou III (Tabela 8).

**Tabela 8** - Conversão das curvas CN para as diferentes condições de umidade do solo

Condições de umidade		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

Fonte: PORTO (1995).

Ainda de acordo com PRUSKI *et al.* (2004), PORTELA *et al.* (2000) e SCS (1986), o método SCS admite que o volume escoado não atinge o canal de drenagem de forma instantânea. MATA-LIMA *et al.* (2007) descrevem que este tempo é denominado de tempo de concentração ( $t_c$ ), que corresponde ao tempo de percurso da água precipitada desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica até a seção de referência. Sendo o tempo de concentração uma grandeza fundamental para a compreensão do escoamento produzido na bacia hidrográfica.

SCS (1986) propõe a Equação 8 para mensurar o tempo de concentração, considerando-se o número de curva (CN) da bacia.

$$t_c = \frac{100}{0,3038^{0,8}} \cdot \frac{L^{0,8} \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{1900 \cdot Sm^{0,5}} \quad (8)$$

em que:

- $t_c$  = tempo de concentração (min);
- $L$  = comprimento do curso de água principal (m);
- $Sm$  = declive médio da bacia hidrográfica (%);
- $CN$  = número de curva para a bacia hidrográfica.

Considerando-se o tempo de concentração da bacia, a precipitação adotada para o cálculo da vazão máxima produzida pelo escoamento superficial deve ter duração igual a  $t_c$ . Nesse sentido, SCS (1986) aponta o uso da seguinte para o cálculo da vazão de pico mensurada neste trabalho.

$$Q_p = \frac{Pe \cdot A}{3,6 \cdot t_c} \quad (9)$$

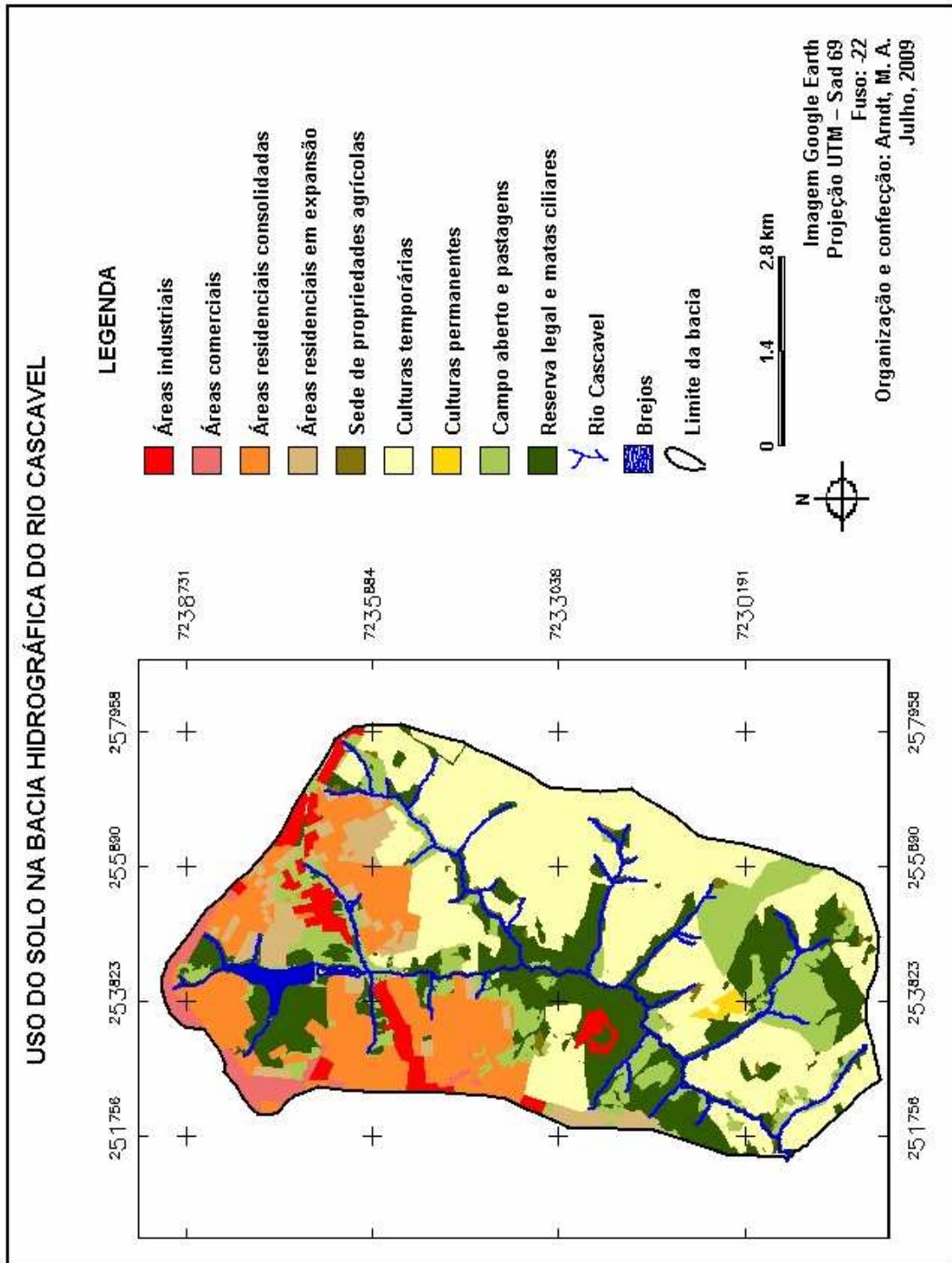
em que:

- $Q_p$  = vazão máxima (m<sup>3</sup>/s);
- $Pe$  = volume do escoamento superficial (mm);
- $A$  = área da bacia em estudo (km<sup>2</sup>);
- $t_c$  = tempo de concentração (horas).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Mapa de uso do solo

A partir da metodologia apresentada, foram mapeadas as classes mais representativas do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Cascavel (Figura 4).



**Figura 4** - Mapa do uso do solo na bacia do rio Cascavel.

Nota: Elaborado com o *software* SPRING 5.0.2 – INPE.

Conhecendo a área correspondente de cada classe de uso do solo presente na bacia, foi aplicada a Equação 7 para obter o CN representativo para toda a área de estudo (Tabela 9). Definindo, para a ocupação atual da bacia, o valor de CN de 56,51 (condição II de umidade antecedente).

**Tabela 9** - CN's representativos para a atual ocupação da bacia hidrográfica do rio Cascavel

Categoria	Área (km <sup>2</sup> )	Número de Curva
Áreas industriais	2,010	81
Áreas comerciais	1,495	89
Áreas residenciais consolidadas	6,525	77
Áreas residenciais em expansão	2,113	57
Sede de propriedades agrícolas	0,369	57
Culturas temporárias	17,833	61
Culturas permanentes	0,156	67
Campo aberto ou pastagens	6,465	49
Reservas legais ou matas ciliares	11,566	36
Lago e brejos	0,508	0
CN médio para a bacia		56,51

Observa-se que a cobertura de vegetação nativa na bacia hidrográfica do rio Cascavel cobre cerca de 23,5% da área total da bacia, enquanto que a área com uso urbano corresponde a 24,7%, fato que pode contribuir positivamente para o controle do escoamento superficial.

Adotando-se como base a condição atual de ocupação da bacia (Cenário – CN de 56,51), e para os cenários hipotéticos a futura expansão de 50 e 80% da ocupação urbana na bacia hidrográfica em estudo, foram definidos os valores de CN de 58,32 e 59,41 para os cenários II e III, respectivamente (Tabela 10). De acordo com IBGE (2007), a população cascavelense apresentou nos últimos anos, crescimento médio de 2,7% ano, saltando de 192.990 habitantes no ano de 1991 para 285.784 habitantes em 2007. Uma vez que o crescimento de uma cidade gera a necessidade de ampliação da sua infraestrutura urbana, como abertura de loteamentos, estradas, galerias pluviais, etc., e inferindo que o crescimento da área urbana acompanha o crescimento da população do município, a marca de 50 e 80% do aumento da área urbana na bacia do rio Cascavel será alcançada nos anos de 2023 e 2030 respectivamente.

**Tabela 10** - Cenários de ocupação futura na bacia hidrográfica do rio Cascavel

	Cenário I (atual) CN 56.51		Cenário II (+50%) CN 58.32		Cenário III (+80%) CN 59.41	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
Áreas Urbanas	12.143	24.76	18.215	37.14	21.857	44.57
Áreas Agrícolas	24.823	50.62	18.752	38.24	15.109	30.81
Vegetação + Hidrografia	12.074	24.62	12.074	24.62	12.074	24.62

Embora o aumento de 50 e 80% da área urbana na bacia, em relação às áreas com uso agrícola, o acréscimo de 3,2 e 5,1% no CN dos cenários II e III, respectivamente, pode ser justificado levando-se em conta o percentual referente à vegetação nativa encontrado na bacia. Conforme a Tabela 9, o CN representativo desta categoria é de apenas 36, o que influenciou no baixo acréscimo do CN médio para os cenários II e III.

PORTELA *et al.* (2000), em trabalho realizado na bacia do rio Maior de Lisboa – Portugal, observaram variação ainda menos significativa no valor de CN. Com o acréscimo de 176% da área urbana em relação à atual ocupação da bacia do rio Maior, o valor de CN aumentou 3,48%, e para o acréscimo de 452% da área urbana, o valor de CN aumentou apenas 7%, evidenciando a influência da manutenção da vegetação nativa no controle do valor do Número de Curva (CN).

## 5.2 Tempo de concentração e precipitações de projeto

A partir das características físicas da bacia do rio Cascavel e da condição de ocupação estimada para cada cenário, foi aplicada a Equação 8 para o cálculo do tempo de concentração ( $t_c$ ) referente a cada cenário de uso do solo apresentado anteriormente.

O cálculo do tempo de concentração foi necessário, pois ele tende a diminuir com o aumento do número de curva (CN). O aumento das áreas impermeáveis potencializa a velocidade do volume da água escoada até os canais de drenagem.

As precipitações diárias máximas anuais ( $P_{dma}$ ), aplicadas no modelo chuva – vazão SCS, foram obtidas a partir da equação de chuva para Cascavel – PR, proposta por FENDRICH (2003), apresentada na Equação 2 (Tabela 11).

**Tabela 11** - Precipitações diárias máximas anuais ( $P_{dma}$ ) e suas intensidades máximas ( $i$ ) com diferentes períodos de retorno ( $T_r$ ) para a área de estudo.

$T_r$ (anos)	5	10	25	50	100	200	500
$i$ (mm/h)	4.7	5.2	5.9	6.5	7.2	7.9	9.0
$P_{dma}$ (mm/d)	113.0	124.6	141.8	156.4	172.4	190.2	216.4

A partir das precipitações diárias máximas anuais observadas na Tabela 11, foi aplicada a Equação 3 para o cálculo da precipitação máxima com duração igual ao tempo de concentração ( $P_{tc}$ ), sendo esta base para o cálculo da precipitação efetiva na área de estudo (Tabela 12).

**Tabela 12** - Tempo de concentração e precipitações de projeto para diferentes tempos de retorno e diferentes cenários

Períodos de retorno (Tr)	i (mm/h)	Pd <sub>ma</sub> (mm/d)	Precipitações máximas com duração igual a t <sub>c</sub>		
			Cenário I t <sub>c</sub> = 5,04 h (mm)	Cenário II t <sub>c</sub> = 4,82 h (mm)	Cenário III t <sub>c</sub> = 4,69 h (mm)
5	4,7	113,0	63,7	62,7	62,1
10	5,2	124,6	70,3	69,2	68,5
25	5,9	141,8	80,0	78,7	77,9
50	6,5	156,4	88,2	86,8	85,9
100	7,2	172,4	97,3	95,7	94,7
200	7,9	190,2	107,2	105,5	104,4
500	9,0	216,4	122,0	120,0	118,8

Para os cenários II e III os tempos de concentração tiveram queda de 4,4 e 6,9%, em relação ao atual, enquanto para os mesmos cenários o número de curva (CN) teve o acréscimo de 3,2 e 5,1%. Dessa forma, constatou-se que o aumento das áreas impermeáveis representadas no valor de CN potencializa a velocidade do escoamento da água superficialmente, reduzindo assim o tempo de concentração na bacia. PORTELA *et al.* (2000) salientam em seu trabalho que, um dos principais fatores responsáveis pela queda do tempo de concentração em bacias hidrográficas é o aumento das áreas impermeáveis, porém, o autor também atenta para o fato que, quanto menor for o tempo de concentração, maior é a intensidade da precipitação de projeto, o que pode contribuir ainda mais para o aumento das vazões máximas registradas em bacias hidrográficas urbanas.

### 5.3 Vazões máximas

A partir dos dados que representam as atuais características hidrológicas da bacia hidrográfica do rio Cascavel, e os cenários futuros de expansão urbana, foi possível calcular o volume do escoamento superficial direto (Equação 5), e a vazão máxima decorrente desse escoamento (Equação 9) para as precipitações máximas de cada período de retorno estipulado anteriormente. Simulando, assim, o comportamento futuro da bacia no que diz respeito à sua resposta hidrológica às alterações no uso do solo oriundas da expansão das áreas urbanas na bacia (Tabela 13).

**Tabela 13** - Vazões máximas na seção de referência da bacia hidrográfica do rio Cascavel, estimadas para os cenários I, II e III

Continua							
Cenário I							
	5	10	25	50	100	200	500
TR (anos)							
P <sub>tc</sub> (mm)	63.8	70.3	80.0	88.2	97.3	107.2	122.0
P <sub>e</sub> (mm)	2.8	4.3	7.1	9.9	13.3	17.6	24.7
Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	7.5	11.6	19.1	26.6	36.0	47.6	66.8



**Tabela 13** - Vazões máximas na seção de referência da bacia hidrográfica do rio Cascavel, estimadas para os cenários I, II e III

conclusão							
Cenário II							
TR (anos)	5	10	25	50	100	200	500
Ptc (mm)	62.7	69.1	78.7	86.7	95.6	105.5	120.0
Pe (mm)	3.3	5.0	8.0	11.0	14.6	19.1	26.4
Qp (m <sup>3</sup> /s)	9.5	14.2	22.7	31.0	41.3	54.0	74.7
Cenário III							
TR (anos)	5	10	25	50	100	200	500
Ptc (mm)	62.1	68.4	77.9	85.9	94.7	104.4	118.8
Pe (mm)	3.7	5.5	8.6	11.6	15.4	20.0	27.5
Qp (m <sup>3</sup> /s)	10.8	16.0	25.0	33.9	44.8	58.1	79.8

Com o aumento do Número de Curva de 3,2% para o cenário II e 5,1% no cenário III, o acréscimo na vazão máxima foi em média 17,8% maior para o cenário II e 29,5% maior para o cenário III, o que demonstra a potencialidade do aumento das áreas impermeáveis contribuírem para a geração do escoamento superficial. Conforme já verificado em trabalhos anteriores, desenvolvidos por TUCCI (2000) e CAMPANA e TUCCI (1994), que observaram o aumento do escoamento superficial como resposta às alterações do uso do solo em bacias hidrografias.

Para o cenário II, as vazões estimadas para a precipitação com tempo de retorno  $Tr = 5$  anos e  $Tr = 500$  anos foram de 27 e 12%, respectivamente, maiores de que a vazão estimada para o cenário I. Para o cenário III, os acréscimos para os mesmos períodos de retorno foram, respectivamente, 45 e 20% maiores do que no cenário I. Dessa forma, conforme se verifica pelos dados da Tabela 13, o aumento das vazões máximas ( $Q_p$ ) para as precipitações com menor  $Tr$  é significativo. Este maior acréscimo da vazão máxima para precipitações com menor tempo de retorno também foi observado por PORTELA *et al.* (2000). Para o período de retorno ( $Tr$ ) de 100 anos, verificaram que o acréscimo de vazão máxima foi em média 34% maior, em relação à atual condição de uso do solo na bacia do rio Maior e para o período de retorno ( $Tr$ ) de 500 anos o acréscimo foi de 32%.

Este fato é comprovado ao se observar que, para os mesmos períodos de retorno aplicados na bacia do rio Cascavel, o acréscimo médio da vazão máxima para as precipitações com  $Tr = 100$  anos foi de 19,5%, enquanto para as precipitações com  $Tr = 500$  anos, o acréscimo médio da vazão foi de apenas 16%, enquanto que para precipitações com menor período de retorno o aumento da vazão máxima pode chegar a 45%.

## 6 CONCLUSÕES

Considerando a estimativa do escoamento superficial para a bacia hidrográfica do rio Cascavel, verificou-se que o comportamento da bacia acompanha as tendências observadas por diversos pesquisadores que tratam do escoamento superficial, apresentando resultados similares aos observados por eles.

Em relação ao mapa de uso do solo da bacia do rio Cascavel e sua condição de ocupação, constatou-se que, embora a vegetação nativa se encontre bem preservada, a expansão da área urbana sobre as áreas agrícolas contribuiu para o aumento do volume escoado pela bacia, ocasionando assim problemas estruturais, com o aumento do volume escoado os canais de drenagem que podem não suportar a demanda de escoamento, ocasionando problemas como transbordamentos de galerias pluviais e inundações de áreas próximas ao rio Cascavel.

Embora o aumento do Número de Curva (CN) pareça pequeno, o aumento das vazões máximas provocadas pelo escoamento superficial é significativo, se for considerada a capacidade atual de escoamento do canal observada nas vazões referentes ao cenário atual de ocupação da bacia.

Dessa forma, conclui-se que o aumento das vazões máximas produzidas pelo escoamento superficial deve ser considerado no planejamento do manejo da bacia hidrográfica do rio Cascavel, salientando a importância do Plano Diretor de Drenagem Urbana para a área estudada.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados verificados para a bacia do rio Cascavel, pode-se considerar a metodologia *Soil Conservation Service (SCS)* como de fácil e prática aplicação. Porém, sugere-se a aplicação deste método em bacias modelo, cujas vazões máximas sejam monitoradas com frequência, comparando-se os resultados estimados pelo método SCS com os observados durante as precipitações de maior intensidade.

## REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, A. P; RIBEIRO, H. A Percepção do caos urbano: as enchentes e as suas repercussões nas políticas públicas da Região Metropolitana de São Paulo. **Saúde e Sociedade**, São Paulo: v. 15, n. 3, p.145-161, set./dez. 2006.
- BERTONI, J. C; TUCCI, C. E. T. Precipitação. In: TUCCI, C. E. T. (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993.
- BOTELHO, R. G. M; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. J. T. **Geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 129-192.
- CAMPANA, N. A; TUCCI, C. E. M. Estimativa de áreas impermeáveis de macrobacias urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia** – Caderno de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 79-95, dez. 1994.
- CAMPANA, N. A; TUCCI, C. E. M. Previsão da vazão em microbacias urbanas: Arroio Dilúvio em Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 4. n. 1, p. 19-33, jan./mar. 1999.
- CASAGRANDE, R. **Poluição da bacia hidrográfica do rio Cascavel**. 1996. 60 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá. Maringá – PR, 1996.
- CASCABEL. Secretaria De Planejamento – SEPLAN. **Plano Diretor de Cascavel – Paraná**, 2006. Disponível em: <http://www.cascavel.pr.gov.br/seplan/planodiretor.html>. Acesso em: 5 mar. 2008.
- CENTENO, J. A. S. *et al.* Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, n. 55, p. 48-56. 2001.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. v. 1. São Paulo: Edgard Blucher, 1996.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.
- COVATTI, J. A. C. Caracterização quali-quantitativa da água do rio Cascavel. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Área de concentração em Engenharia de Recursos Hídrico e Meio Ambiente) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, 2006.
- CUNHA, J. E. *et al.* Distribuição espacial dos solos do trecho superior do Córrego Guavirá Marechal Cândido Rondon - PR. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15, 2004, Santa Maria - RS. **Anais...**, Santa Maria: UFSM, 2004. p. 1-3.
- CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- DAMÉ, R. C. F. *et al.* Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas – RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 8, n. 2, p. 245-255, abr./jun. 2008.

- DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: CNPS, 1999.
- FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2003.
- FERREIRA, P. H. F. *et al.* **Avaliação de metodologia de estimativa de área impermeável aplicada ao município de Criciúma / SC**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso em: 20 maio 2006.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Curitiba: IAPAR. 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Contagem da população 2007**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Departamento de População e Indicadores Sociais. **Tendências demográficas: uma análise dos resultados da sinopse preliminar do Censo Demográfico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. N. 7. 91 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 jul. 2006.
- KÖEPPEN, W. **Climatología**. Con estudio de los climas de la tierra. México: FCE, 1948.
- LIMA, W. P. **Introdução ao manejo de bacias hidrográficas**. LCF 678 - Manejo de bacias hidrográficas. São Paulo: ESALQ. 1996.
- MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: UFPR. 1981.
- MATA-LIMA *et al.* Bacias de retenção para gestão do escoamento métodos de dimensionamento e instalação. **Revista de Engenharia de Minas – REM**, Ouro Preto, n. 59, p. 97-109, jan./mar. 2006.
- MATA-LIMA *et al.* Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Revista de Engenharia de Minas – REM**, Ouro Preto, n. 60, p. 525-536, jul./set. 2007.
- MELLO, C. R. *et al.* Simulação de deflúvio e vazão de pico em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 410-419, 2007.
- MISHRA, S. K; SINGH, V. P. Another look at SCS-CN method. **Journal Of Hydrologic Engineering**, Reston, VA, v. 4, n. 3, p. 257-264, jul. 1999.
- MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto. 2000.
- NUNES, F. G. **A influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do rio Atuba**. 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PORTELA, M. M. *et al.* O efeito da ocupação urbana nos caudais de ponta de cheias naturais em pequenas bacias hidrográficas. *In: CONGRESSO DA ÁGUA*, 5, 2000, Lisboa. **Anais...** Lisboa - Portugal: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 2000. p. 1-16.

PORTO, R. Escoamento superficial direto. *In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Drenagem urbana*. v. 5, Porto Alegre: ABRH, 1995.

PORTO, R. *et al.* **Medição de vazão e curva chave**. PHD – 307. Hidrologia Aplicada. São Paulo: USP, 2001.

PRUSKI, F. F. *et al.* **Escoamento superficial**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004.

RIGUETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

RODRIGUES, A. C. M. **Mapeamento multitemporal do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião-SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM Landsat e HRV-SPOT**. São José dos Campos: INPE, 2000.

RODRIGUEZ J. M. M. *et al.* **Geocologia das paisagens**. Fortaleza: UFC, 2004.

SARTORI, A. *et al.* Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa de chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 19-29, out./dez. 2005a.

SARTORI, A. *et al.* Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa de chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 5-18, out./dez. 2005b.

SILVEIRA, A. L. L. Provável efeito urbano nas relações IDF das chuvas de Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, p. 93-107, jul.-dez. 1997.

SOIL CONSERVATION SERVICE - SCS. **Urban hydrology for small watersheds**. Technical Release 55. Washington, DC. US: Department of Agriculture Soil Conservation Service, 1986.

TASSI, R. *et al.* Aspectos metodológicos sobre o emprego do método do SCS com auxílio de ferramentas de geoprocessamento no projeto de estruturas de drenagem de uma rodovia. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande, n. 7, p. 27-37, set. 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN, 1977.

TUCCI, C. E. M (Org). **Hidrologia, ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH/ EDUSP, 1993.

TUCCI, C. E. M (Org.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 1995. v. 5.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, p. 61-68, jan./mar. 2000.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH – UFRGS, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH – UFRGS, 1998.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2. p. 5-12, jul./dez. 1997.

TUCCI, C. E. M; COLLISCHONN W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: TUCCI, C. E. M; MARQUES. D. M. I. M. (Org). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: UFRGS, 2000.