

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JUNIOR POMMER

**ESTUDO DA VARIAÇÃO DO DEFLÚVIO DIRETO EM CENÁRIOS DE
OCUPAÇÃO URBANA UTILIZANDO A FERRAMENTA SWMM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

JUNIOR POMMER

ESTUDO DA VARIAÇÃO DO DEFLÚVIO DIRETO EM CENÁRIOS DE
OCUPAÇÃO URBANA UTILIZANDO A FERRAMENTA SWMM

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC 2), do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental – DAAMB - do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

Co-orientadora: Profa. Dra. Maristela Denise Moresco Mezzomo

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA VARIAÇÃO DO DEFLÚVIO DIRETO EM CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO URBANA UTILIZANDO A FERRAMENTA SWMM

por

JUNIOR POMMER

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 30 de novembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr. Eudes José Arantes

Prof. Dra. Maristela Denise Moresco Mezzomo

Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares De Oliveira

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Eloi e Celi, meu reconhecimento pela força, paciência, e dedicação em todas as fases da minha vida. Pelo exemplo que foram e sempre serão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela saúde, paz, pela minha família e oportunidades que surgiram em meu caminho.

A minha família, principalmente aos meus pais e irmãos, pelo amor, apoio, pela força nos momentos de dificuldades e por compreender que a distância foi necessária para que esse sonho se tornasse realidade.

Ao meu orientador e professor Eudes José Arantes, meu sincero agradecimento pelos ensinamentos, conselhos, apoio, paciência e persistência. Graças a sua colaboração foi possível chegar até aqui. A minha co-orientadora e também professora Maristela Denise Moresco Mezzomo, meu agradecimento por todo conhecimento repassado.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação. Aos professores Caxambú, Hilário e Rafael, um agradecimento especial pelos ensinamentos e conselhos fora de classe.

Aos amigos de Campo Mourão, obrigado pelo carinho e pela presença indispensável. Ao meu amigo Bruno, um agradecimento especial pela amizade e pela ajuda prestada nesse período de graduação.

Aos meus amigos de Rio Verde, pela compreensão da ausência e acolhida todas as vezes que retornei para casa.

Aos amigos que fiz em Lisboa, pelos bons momentos e aprendizados que dividimos, tornando o intercâmbio um dos melhores momentos de nossas vidas.

Enfim, à todos aqueles que de alguma forma fizeram parte desse trabalho, meu muito obrigado.

EPÍGRAFE

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota. (Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

POMMER, Junior. Estudo da variação do deflúvio direto em cenários de ocupação urbana utilizando a ferramenta SWMM. 2015. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

O processo de urbanização traz consigo alguns impactos, tais como a poluição da água, do ar, e o aumento do escoamento superficial que pode gerar inundações. Diante disso, esta pesquisa avalia o acréscimo do deflúvio direto por meio utilização de um modelo hidrológico aplicado a microbacias urbanas. O estudo foi aplicado em um trecho da bacia do Rio Km 119, com 569 ha, no município de Campo Mourão – PR. Foram avaliados os impactos da impermeabilização do solo com a construção de novos loteamentos residenciais, por meio da comparação do cenário atual com um cenário futuro de urbanização. Foi utilizado o *software Storm Water Management Model* – SWMM, como modelo de transformação chuva-vazão a Curva-Número (CN). A intensidade da precipitação da chuva de projeto foi de 51.89 mm para o tempo de retorno de 5 anos, de 78.59 mm para o tempo de retorno de 50 anos e de 89.05 mm para o tempo de retorno de 100 anos. No uso da terra, o cenário futuro de urbanização conta com um acréscimo de aproximadamente 123 ha de novos loteamentos, aumentando as superfícies impermeáveis. O valor de Curva-Número variou entre 76.36 e 77.56 para o cenário atual e entre 78.56 e 80.22 para o cenário de urbanização. Os valores do escoamento superficial variaram entre 8000 e 122000 m³ no cenário atual e 18 mil e 163 mil m³ no cenário de futuro. O coeficiente de escoamento variou entre 0.118 e 0.449 no cenário atual e foi maior no cenário de ocupação urbana com valores que variaram de 0.276 a 0.607. Nas vazões de pico houve um acréscimo de até 120% e redução no tempo de pico.

Palavras-chave: Escoamento superficial. SWMM. Vazão de pico. Coeficiente de escoamento.

ABSTRACT

POMMER, Junior. Study the variation of direct runoff in urban settlement scenarios using the SWMM tool. 2015. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

Urbanization brings some impacts, such as pollution of water, air, and increased runoff that can cause flooding. Therefore, this research evaluates the increase direct runoff by using a hydrological model applied to urban watersheds. The study was applied on a stretch of river basin Km 119, with 569 ha in the municipality of Campo Mourao - PR. They evaluated the impact of soil sealing with the construction of new residential settlements, by comparing the current situation to a future scenario of urbanization. It was used the Storm Water Management Model software - SWMM as a model of transformation rainfall-runoff Curve-Number (CN). The intensity of the project rain rainfall was 51.89 mm for the return period of 5 years, from 78.59 mm to the return period of 50 years and 89.05 mm for the return period of 100 years. In land use, the future scenario of urbanization has increased by approximately 123 ha of new housing developments, increasing impervious surfaces. The value of Curve-Number ranged between 76.36 and 77.56 at the current scenario and between 78.56 and 80.22 for the urbanization scenario. The values of the runoff varied between 8000 and 122000 m³ in the current scenario and 18000 and 163000 m³ in the future scenario. The runoff coefficient ranged between 0.118 and 0.449 in the current scenario and was higher in urban settlement scenario with values ranging 0.276-0.607. In the peak flow there was an increase of 120% and a reduction in peak time.

Keywords: Surface flow. SWMM. Peak flow. Coefficient of flow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo no Município de Campo Mourão - PR	23
Figura 2 - Delimitação das microbacias de estudo	24
Figura 3 - Fluxograma simplificado da simulação realizada no <i>software</i> SWMM.	26
Figura 4 - Visão geral do <i>software</i> SWMM.	26
Figura 5 - Uso do solo nas microbacias para o Cenário I.	31
Figura 6 - Uso do solo nas microbacias para o Cenário II.....	32
Figura 7 - Hietograma para tempo de retorno de 5 anos obtido através do Método dos Blocos Alternados	33
Figura 8 - Hietograma para tempo de retorno de 50 anos obtido através do Método dos Blocos Alternados	34
Figura 9 - Hietograma para tempo de retorno de 100 anos obtido através do Método dos Blocos Alternados	34
Figura 10 - Escoamento superficial gerado por cada microbacia, para TR = 5 anos	35
Figura 11 - Afluência total no exutório para cada tempo de retorno no Cenário I.....	38
Figura 12 - Afluência total no exutório para cada tempo de retorno no Cenário II.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.....	20
Tabela 2 - Correção do valor de CN	21
Tabela 3 – CN, declividade média e porcentagem de áreas impermeáveis (AI) por microbacia	29
Tabela 4 - Características do uso e cobertura do solo dos cenários I e II	30
Tabela 5 - Intensidade da precipitação calculado a partir da curva IDF	33
Tabela 6 - Resultados da simulação no escoamento superficial -cenário I	36
Tabela 7 - Resultados da simulação no escoamento superficial - cenário II.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 CICLO HIDROLÓGICO	14
3.1.1 Precipitação	15
3.1.2 Tempo de retorno.....	15
3.1.3 Intensidade-Duração-Frequência (IDF).....	16
3.1.4 Escoamento Superficial	16
3.2 URBANIZAÇÃO	17
3.3 CHUVA EFETIVA	18
3.3.1 Modelos Hidrológicos	18
3.3.2 Soil Conservation Service – SCS	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 ÁREA DE ESTUDO	22
4.2 SIMULAÇÃO	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO URBANA	29
5.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	35
5.4 VAZÃO DE PICO.....	37
6 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A ocupação das margens dos rios remete ao surgimento das primeiras civilizações, onde povos nômades passaram a ocupar a região da Mesopotâmia, atraídos pelas terras férteis ali presentes. A partir da Revolução Industrial, as pessoas começaram a deixar o campo para mudar para os centros urbanos. Com isso, o homem passou a alterar drasticamente o meio em que vive, priorizando o crescimento econômico em detrimento do meio ambiente.

Com o aumento da população nas cidades, muda-se o cenário de uso do solo. Novas áreas surgem como conjuntos habitacionais juntamente com a demanda por vias asfaltadas e calçadas, que impermeabilizam o solo e concentram o escoamento superficial das águas pluviais, resultando em um aumento na velocidade e um conseqüente acréscimo de grandes volumes de água que desaguam nos rios em um curto espaço de tempo. Com isso há a redução no tempo e o incremento da vazão no pico de cheia. Conforme SUDERHSA (Superintendência..., 2002), os impactos sobre a população são prejuízos por perdas materiais e humanas e a contaminação por doenças como leptospirose e cólera

Como agravantes do problema da inundação, tem-se ainda a supressão da vegetação, as ocupações irregulares e a deficiência no serviço de coleta de lixo. Esses fatores contribuem na produção de sedimentos, assoreando os corpos hídricos ou sobrecarregando o sistema de drenagem urbana. Ainda que pareça uma solução adequada a ampliação da rede de drenagem para evitar os alagamentos, esta é uma solução temporária e pontual, visto que transfere o problema das cheias para jusante e não reduz o problema do aumento de áreas impermeáveis.

Como ferramenta de diagnóstico, surgem os modelos hidrológicos, que permitem avaliar o impacto na mudança do cenário atual e permite modelar e prever acontecimentos futuros em cenários hipotéticos. De acordo com Collodel (2009) nos últimos anos os modelos hidrológicos permitiram a incorporação da variabilidade espacial das bacias hidrográficas e da precipitação, tornando-os matematicamente complexos, com a dependência de diversos parâmetros, sendo necessário então um nível de equilíbrio entre o detalhamento e os esforços de modelagem para alcançar resultados satisfatórios.

Ainda nesse contexto, Xudong et al. (2013) ressalta que construir modelos de alagamentos urbanos baseados nas chuvas da cidade e nas características do escoamento superficial é um importante meio para resolver o problema hidrológico de inundação urbana, de fontes de poluição não pontuais e manejo de águas pluviais

No âmbito da política de desenvolvimento sustentável, prever acontecimentos futuros permite a tomada de decisões antes que o impacto ocorra. Ainda possibilita a busca por soluções e que mantenham o equilíbrio entre o desenvolvimento e a preservação dos recursos naturais, bem como a busca por propostas mitigadoras.

Situada na margem esquerda do rio Km 119 no município de Campo Mourão – PR, a região foi escolhida tendo em vista que está no limite de expansão da cidade, com áreas predominantemente rurais, com algumas áreas já loteadas. A partir da ferramenta *Storm Water Management Model* (SWMM) buscou-se simular os possíveis impactos da crescente urbanização em um trecho da bacia do Rio Km 119.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar nos cenários de ocupação urbana, as consequências da impermeabilização do solo no deflúvio direto para um trecho da bacia do Rio Km 119.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Caracterização dos parâmetros da microbacia em estudo;
- Determinação dos parâmetros pluviométricos para modelagem da relação chuva-vazão;
- Definição dos cenários a serem modelados no *software* SWMM, com base na urbanização;
- Modelagem dos cenários no *software* para os parâmetros definidos;
- Análise do escoamento superficial na bacia para os diferentes cenários.
- Avaliação do aumento do escoamento superficial com a urbanização e o coeficiente de escoamento.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico serão apresentados dois componentes integrantes do ciclo hidrológico, precipitação e escoamento superficial, bem como as definições de tempo de retorno e IDF, necessárias para o cálculo da chuva efetiva. Também serão abordados os impactos da urbanização no escoamento superficial e o modelo do *Soil Conservation Service* que utiliza a Curva-Número para o cálculo da chuva efetiva.

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

A água está presente na Terra em um espaço chamado de hidrosfera, que se estende por 15 km dentro da atmosfera terrestre, circulando através dos caminhos que representam o ciclo hidrológico. Este é o foco central da hidrologia, e trata-se de um ciclo fechado, onde os processos ocorrem continuamente. Pode ser tratado como um sistema cujos componentes são a precipitação, evaporação, escoamento, dentre outras fases do ciclo. Estes componentes podem ser agrupados em subsistemas do ciclo global, e tratados separadamente, combinando-se os resultados, para analisar o sistema total. (CHOW, 1988)

Quando as gotículas de água presentes na atmosfera se condensam, pode ocorrer a precipitação, seja na forma de chuva, neve ou granizo. A interceptação ocorre quando parte desse volume é retido pela vegetação. Do volume restante que atinge o solo, parte se infiltra no solo, ficando posteriormente disponível para as plantas, que retiram a água do solo e a eliminam na atmosfera na forma de vapor, fenômeno denominado de evapotranspiração, se considerado em conjunto com a água na superfície que evapora pela energia recebida do Sol. Quando a intensidade da chuva é superior a capacidade de infiltração, a água passa a escoar sobre a superfície, procurando por caminhos naturais. (PINTO, 1976).

3.1.1 Precipitação

A precipitação é um fenômeno onde a água da atmosfera ao atingir seu ponto de saturação forma pequenas gotas que ficam em suspensão, e quando atingem o peso suficiente são depositadas na superfície terrestre, sob a forma de chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Dentre estes, a chuva é a de maior importância, por ser frequente e contribuir para as vazões dos corpos hídricos. Do ponto de vista da engenharia, as precipitações convectivas – conhecidas como tempestades, de curta duração e forte precipitação – interessam para as obras de drenagem urbana em pequenas bacias. (HOLTZ, 1976).

Os estudos de drenagem urbana envolvem corpos hídricos de pequeno porte, desprovidos de registros fluviométricos, onde a estimativa das cheias é obtida com base em dados de chuvas de curta duração e alta intensidade (FENDRICH, 1997). Segundo Nakayama et al (2011), através de métodos indiretos, a chuva de projeto pode ser convertida em vazão de projeto. De acordo com a SUDERHSA (Superintendência..., 2002, p. 31) a chuva de projeto “é um evento crítico de chuva construído artificialmente com base nas características estatísticas da chuva natural e com base em parâmetros de resposta da bacia hidrográfica.” Ainda nesse pensamento, Chow (1988) define que “tempestades de projeto” podem ser baseadas em bancos de dados ou construídas usando as características da precipitação no entorno da região.

3.1.2 Tempo de retorno

Em construções de obras, assume-se um risco de que a estrutura falhe durante sua vida útil. Com os dados dos postos hidrométricos, verifica-se a frequência com que os eventos assumem determinada magnitude, podendo então avaliar as probabilidades de ocorrência dos mesmos (PINTO, 1976). Como as áreas urbanas sofrerão alterações, o risco adotado se refere a ocorrência de uma determinada precipitação, e não da vazão consequente da precipitação. (SUDERHSA, 2002).

De acordo com Fendrich (1997), define-se então como tempo de retorno, o período médio em anos que um determinado evento deve ser igualado ou superado ao menos uma vez, dado pela fórmula:

$$TR = \frac{1}{F} \quad (1)$$

onde F é a frequência com que o evento foi igualado ou superado.

SUDERSHA (Superintendência..., 2002) define os tempos de retorno usualmente adotados para sistemas urbanos. Em obras de microdrenagem o valor recomendado é de dois anos, mas podendo variar de dois a cinco anos. Em obras de macrodrenagem, estima-se um intervalo de 10 à 50 anos, sendo recomendado o valor de 10 anos, e por fim, para o zoneamento de áreas ribeirinhas, os tempos de retorno variam de cinco à 100 anos, com um valor recomendado de 50 anos.

3.1.3 Intensidade-Duração-Frequência (IDF)

Um dos primeiros passos nos projetos hidrológicos é a determinação da chuva de projeto a ser usado. A abordagem mais comum envolve as relações de intensidade da chuva, duração e a frequência (ou período de retorno), e estes dados são expressos em um gráfico, depois de uma análise de frequência dos dados disponíveis. (CHOW, 1988), demonstrando que a intensidade média da precipitação é diretamente proporcional ao tempo de retorno, ou seja, as maiores intensidades são maiores quanto mais raro for o evento.

No geral, a equação das chuvas intensas tem o seguinte padrão

$$i = \frac{K \cdot T^m}{(t + t_0)^n} \quad (2)$$

onde i é a intensidade da precipitação máxima média (mm/h), t é o tempo de duração da chuva (min), T o tempo de retorno e K, m, n, t₀ são parâmetros a determinar para o local.

3.1.4 Escoamento Superficial

Após uma precipitação, parte das águas é interceptada pela vegetação, infiltra no solo e é retida nas depressões do terreno. Quando se preenche as depressões e ultrapassa a

capacidade de infiltração do solo, tem início o escoamento superficial. (MARTINS, 1976). Para descrever como ocorrem os processos das águas superficiais ao longo do tempo, considera-se a precipitação a uma taxa constante por toda a bacia hidrográfica. (CHOW, 1988).

A água pode ter vias diversas para atingir o curso hídrico: através do escoamento superficial, do subsuperficial e do subterrâneo. Este último é o responsável por alimentar o curso da água durante estiagens. O escoamento subsuperficial é considerado junto com o escoamento superficial como o deflúvio direto, visto que os dois são de difícil separação e atingem o curso de água rapidamente (MARTINS, 1976).

O volume escoado é considerado um resíduo do volume precipitado, já que parte da precipitação é interceptada ou infiltra no solo, e a relação entre os dois é o que se define como coeficiente de deflúvio ou de escoamento (AISSE, 1977). No geral, a porcentagem da chuva que se torna escoamento superficial aumenta com a intensidade e com a duração da chuva. (HOLTZ; PINTO, 1976).

3.2 URBANIZAÇÃO

De acordo com Collodel (2009), a urbanização é a migração de pessoas da área rural para as cidades, e no Brasil foi impulsionada após o processo de industrialização, que foi tardia, iniciando-se em meados do século XX. A modernização acelerou o processo de urbanização, que de maneira insustentável, vem trazendo consequências para as áreas urbanas.

Segundo Tucci (2003), a tendência da urbanização das cidades tem provocado impactos significativos sobre as populações e meio ambiente, diminuindo a qualidade de vida com o aumento da frequência de inundações, da redução da qualidade da água e aumento de materiais sólidos, principalmente provocados por projetos de drenagem urbana inadequados.

Os efeitos da urbanização incluem o aumento do volume do escoamento superficial e menor tempo de pico, porque com a urbanização ocorre o acréscimo de áreas impermeáveis, como estacionamentos, telhados, ruas, dentre outros, que reduzem a infiltração (CHOW, 1988).

A avaliação se dá através da bacia hidrográfica, que é objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais

canais de escoamento que desembocam em uma única saída, e a bacia se constitui como unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia (RENNÓ, SOARES, 2000).

Segundo a SUDERHSA (Superintendência..., 2002, p. 09), “o planejamento da ocupação do espaço urbano no Brasil, através do plano Diretor Urbano não tem considerado aspectos de drenagem urbana e qualidade da água.” Há um aumento em até sete vezes das vazões máximas, com o aumento da urbanização (LEOPOLD, 1968 appud SUDERHSA 2002).¹

3.3 CHUVA EFETIVA

A chuva efetiva ou precipitação efetiva é definida como a parcela de precipitação total que gera o escoamento superficial, ou seja, aquela que não infiltra e nem é armazenada nas depressões ou retida pela vegetação.

3.3.1 Modelos Hidrológicos

Segundo Collodel (2009), os modelos de simulação aliados ao monitoramento hidrológico são ferramentas eficientes para diagnosticar os efeitos causados nas bacias hidrográficas pelo crescimento urbano. Um modelo pode ser considerado uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que envolvem essa realidade (RENNÓ; SOARES, 2000).

A Curva Número é um dos métodos de infiltração disponíveis no *software Storm Water Management Model* (SWMM). Desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency*, este *software* é o mais detalhado e abrangente modelo de simulação para eventos de escoamento superficial em áreas urbanas. (PORTO, 1995 apud ALVAREZ,

¹ LEOPOLD, L.B., 1968. Hydrology for Urban Planning - A Guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use. USGS circ. 554, 18p

2010)². Segundo Collodel (2009) é um modelo hidrológico dinâmico que a partir de dados de entrada simula hidrogramas resultantes. Possui diferentes aplicações, das quais destacam-se os sistemas de drenagem para controle de inundações e a percepção dos problemas dos controles de inundação e qualidade da água.

3.3.2 Soil Conservation Service – SCS

O *Soil Conservation Service* é um método desenvolvido para o cálculo da chuva efetiva. Pode ser aplicado para determinar o acréscimo do escoamento superficial causado pela urbanização. Sua equação básica é dada por:

$$P_{ef} = \frac{(P_{ac} - 0,2.S)^2}{P_{ac} + 0,8.S} \quad (3)$$

para $P_{ac} > 0,2.S$, onde P_{ef} é a precipitação efetiva (mm), P_{ac} a precipitação acumulada (mm) e S é a retenção potencial do solo (mm). $0,2.S$ é a estimativa de perdas iniciais, uma relação empírica desenvolvida através de estudos em bacias experimentais. (CHOW, 1988) A partir disso foi estabelecida uma curva padrão, que dá a relação entre a retenção potencial com a curva-número (CN) através da equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

onde o valor de CN depende da umidade antecedente, tipo e ocupação do solo. Este valor, que varia de 0 a 100 indica o potencial de retenção da bacia. Quanto maior o CN, maior a precipitação efetiva (NAKAYAMA et al, 2011).

Segundo Tucci (2001), os tipos de solos para o método se dividem em:

- Grupo A: solos com baixo potencial de escoamento e alta infiltração. São solos profundos, com textura arenosa com pouco silte e argila;

² PORTO, M. F. A. 1995. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. Org: Tucci, C. E. M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T...; In: Drenagem urbana: Coleção ABRH de Recursos Hídricos. 5 ed. Porto Alegre; Editora da UFRGS/ABRH, p. 387-428.

- Grupo B: solos menos permeáveis que o anterior, sendo solos arenosos menos profundos que o grupo A;
- Grupo C: solos que geram escoamento superficial acima da média, com capacidade de infiltração abaixo da média, com porcentagem considerável de argila;
- Grupo D: com baixa capacidade de infiltração, gera maior escoamento superficial, contendo argilas expansivas e são pouco profundos.

Os valores de CN para os grupos de solo são encontrados na tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo	Conservação	A	B	C	D
Zonas cultivadas	sem conservação do solo	72	81	88	91
	com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos Baldios	más condições	68	79	78	81
Bosques ou zonas florestais	boas condições	39	61	74	80
	cobertura ruim	45	66	77	83
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios	cobertura boa	25	55	70	77
	relva mais de 75% da área	39	61	74	80
Zonas comerciais e de escritórios	relva de 50 a 5% da área	49	69	79	84
		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais, lotes <500 m ²	65% área impermeável	77	85	90	92
Zonas residenciais, lotes <1000 m ²	38% área impermeável	61	75	83	87
Zonas residenciais, lotes <1300 m ²	30% área impermeável	57	72	81	86
Zonas residenciais, lotes <2000 m ²	25% área impermeável	54	70	80	85
Zonas residenciais, lotes <4000 m ²	20% área impermeável	51	68	79	84
Estacionamentos, telhados, viadutos, etc		98	98	98	98
Arruamentos e estradas asfaltadas		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Tucci (2001)

De acordo com Tucci (2001), as condições de correções de umidade são as seguintes:

- Condição I: situação em que os solos estão secos, e as chuvas dos últimos cinco dias e não ultrapassaram 15 mm;
- Condição II: situação média em que os solos correspondem à umidade da capacidade de campo;
- Condição III: solo saturado, com precipitações acumuladas superiores a 53mm no período de crescimento.

Na tabela 2 é apresentada a correspondência entre as condições de umidade.

Tabela 2 - Correção do valor de CN

Valores médios	Valores corrigidos Condição I	Valores corrigidos Condição III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

Fonte: (Tucci, 2001)

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) se encontra no município de Campo Mourão, localizado na Mesorregião Centro-Ocidental Paranaense, que tem uma extensão territorial aproximada de 758 km², com uma população de aproximadamente 87 mil habitantes, segundo o IBGE (INSTITUTO..., 2010), e população estimada de 92.300 mil habitantes para 2014.

O clima do município é predominantemente, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, Cfa, cuja denominação é de clima subtropical úmido mesotérmico. Este apresenta maiores concentrações de chuvas no verão, que é considerado quente, apresentando geadas pouco frequentes e estação seca não definida. As precipitações totais anuais estão entre 1300 mm e 1700 mm, sem deficiência hídrica (MAACK, 2002).

O município de Campo Mourão-PR localiza-se na Subunidade Morfoescultural do Planalto do Campo Mourão, inserido na Unidade Morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense e Unidade Morfoestrutural Bacia sedimentar do Paraná, com relevo característico que vai de suave ondulado a ondulado. A geologia é pertencente ao Grupo São Bento, Formação Serral Geral, com rochas efusivas basálticas maciças e amigdalóides. Neste ambiente predomina-se o Latossolo vermelho distroférico de textura argilosa, mais representativa nas médias vertentes e topos aplainados (MINEROPAR, 2006). Nesse contexto, foi adotado o grupo C do número CN para este trabalho (Tabela 1).

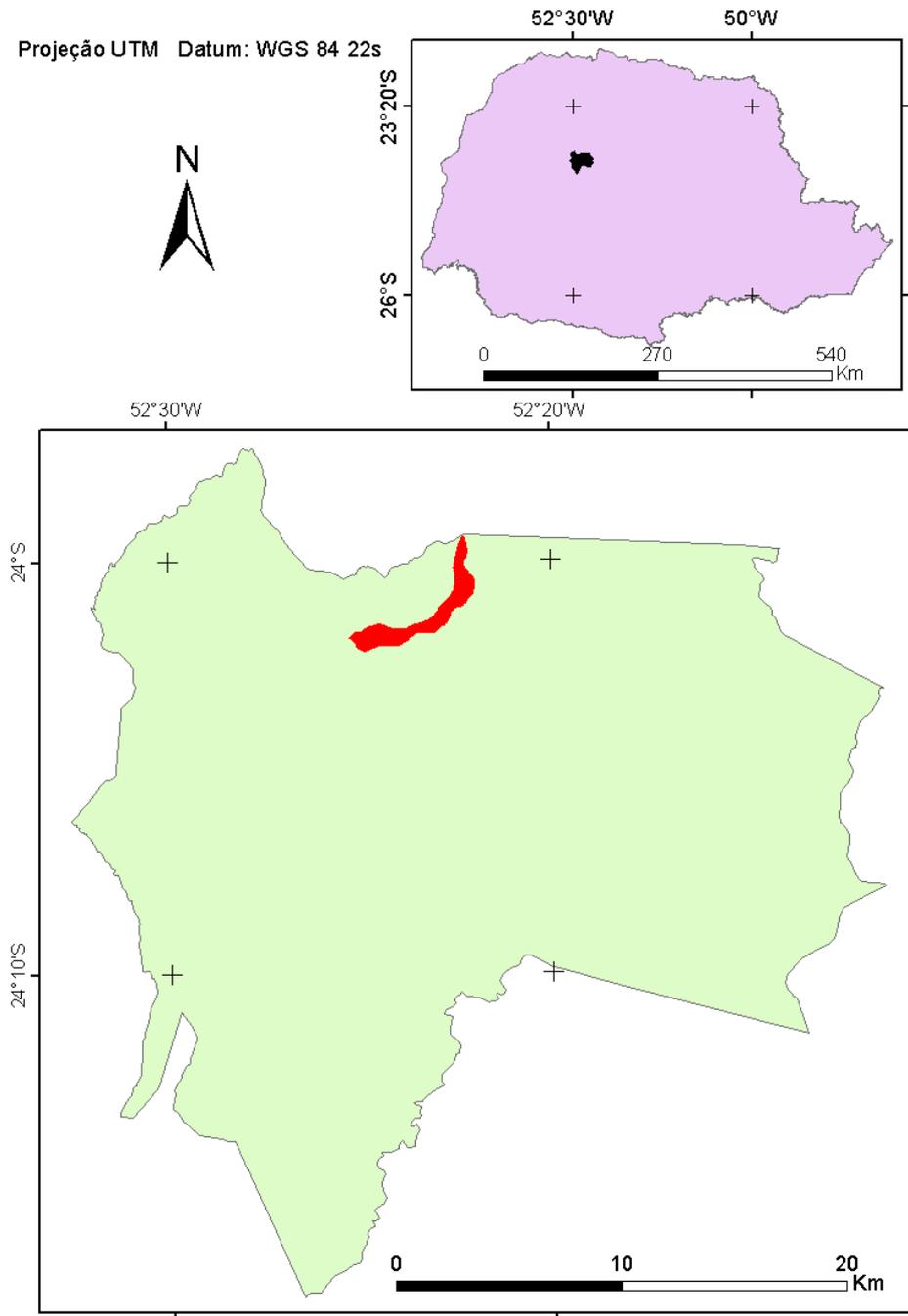


Figura 1- Localização da área de estudo no Município de Campo Mourão - PR

A maior parte município está inserido na Bacia Hidrográfica do Ivaí, e tem como principal rio o Rio Mourão, além dos importantes rios do Campo e seu afluente, rio Km 119. Estes dois últimos recebem os Efluentes das duas Estações de Tratamento de Esgoto de Campo Mourão. Uma parcela da bacia do rio Km 119 é a área de estudo para este trabalho, devido principalmente aos novos loteamentos que estão surgindo em sua margem esquerda.

Foram delimitadas três microbacias para a área de estudo, que compreendem uma área de aproximadamente 569 hectares, designadas por S1, S2 e S3, conforme a figura 2.

Em relação à discretização, Silva (2007) em sua tese no município de Goiânia – GO, verificou que a discretização entre cenários com 6 e 13 sub-áreas não apresentou diferenças significativas na vazão, indicando que uma discretização menor não apresentaria melhoria significativa nos resultados. Por outro lado, Collodel (2009), verificou que o fator que mais influência na vazão de pico é a porcentagem de áreas impermeáveis, e os demais fatores alterados não foram significativos para o tempo de ocorrência do pico.

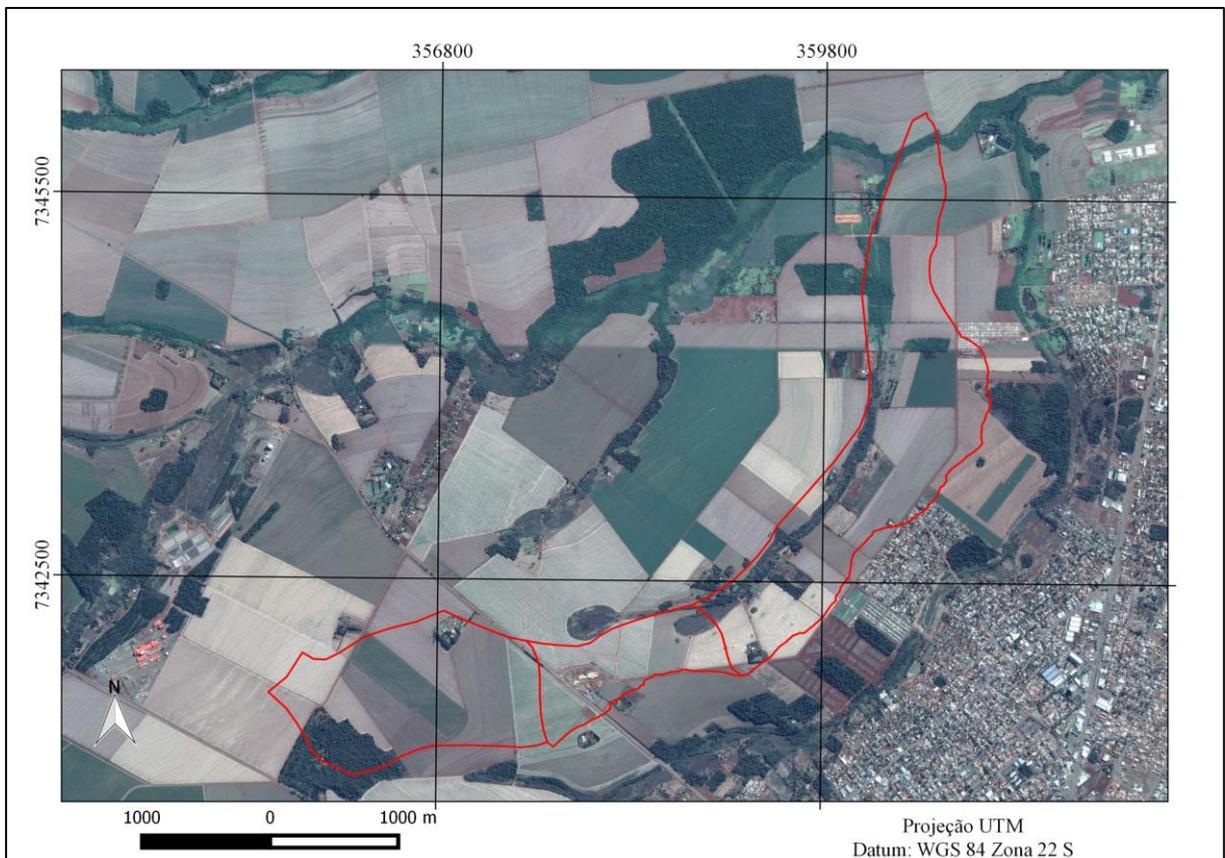


Figura 2 - Delimitação das microbacias de estudo

4.2 SIMULAÇÃO

A partir dos parâmetros da microbacia de estudo, foi realizada a escolha dos cenários de urbanização e da chuva de projeto para a simulação (Figura 3). A inserção dos dados no

software é realizada de maneira simples, em janelas que permitem a entrada de valores numéricos ou de texto, quando necessários. A chuva de projeto foi inserida na ferramenta Pluviômetro. Esta aba exige a indicação do tipo de dado de chuva – intensidade, volume ou volume acumulado - e o intervalo do tempo dos dados. Foi adotado a precipitação em volume, com intervalo de tempo de cinco minutos.

Os parâmetros das microbacias foram inseridos na aba de Hidrologia – Sub-bacias (Figura 4). Esta aba exige alguns parâmetros mínimos, como o pluviômetro associado a esta bacia, seu exutório, área, porcentagem de áreas impermeáveis, declividade média da sub-bacia, a largura característica do escoamento superficial, o valor do coeficiente de Manning para o fluxo superficial e o armazenamento em depressão para áreas permeáveis e impermeáveis. Os dois últimos valores foram adotados a partir dos valores indicados no Manual do Usuário, e todos os outros foram calculados e então inseridos.

Dentre as opções de modelo de infiltração disponíveis - modelo de Horton, modelo de Green-Ampt e modelo da Curva-Número do SCS - foi escolhido este último e inserido o seu valor para cada sub-bacia.

A partir da inserção dos dados no *software*, procedeu-se com a simulação, exportando os resultados para o Microsoft Excel, onde foram gerados os gráficos e tabelas.

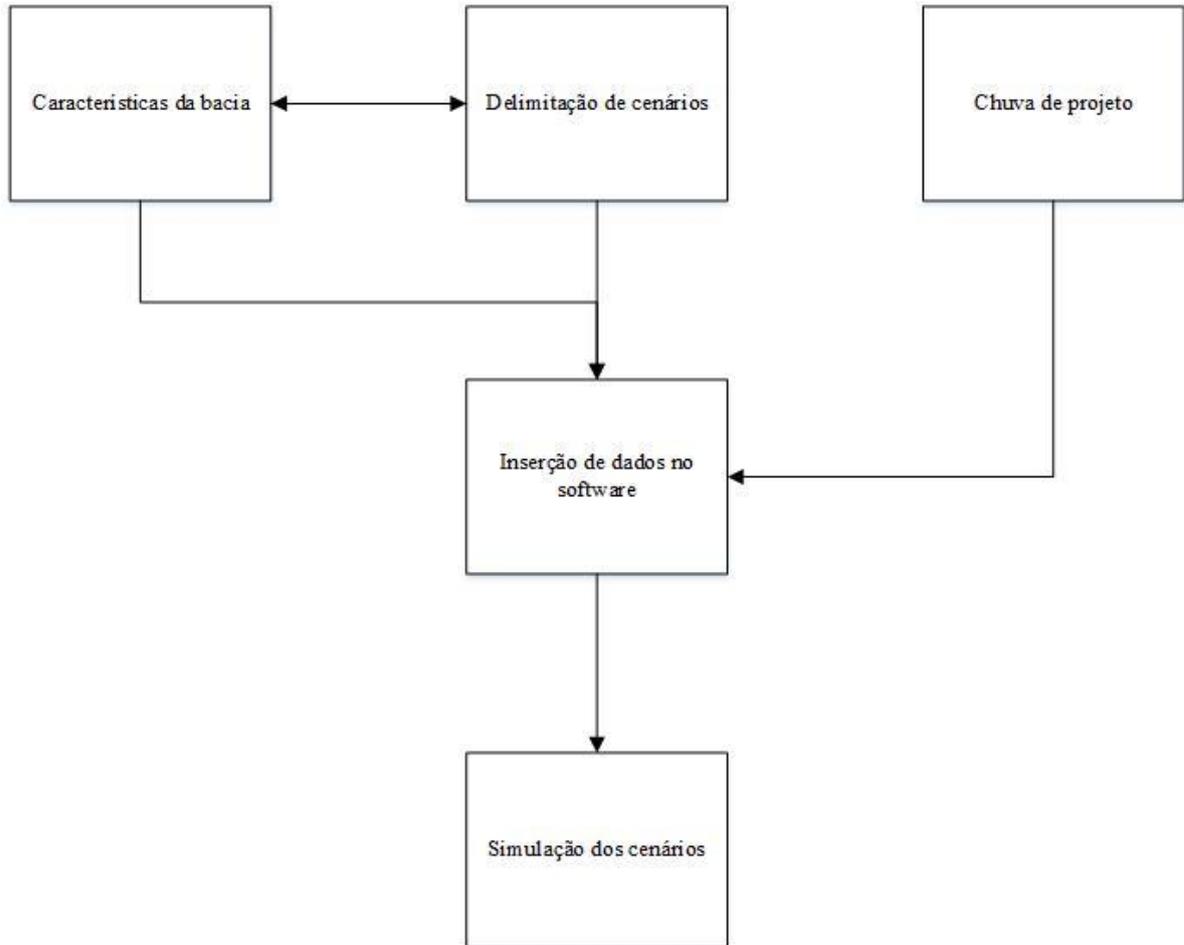


Figura 3 - Fluxograma simplificado da simulação realizada no *software* SWMM.

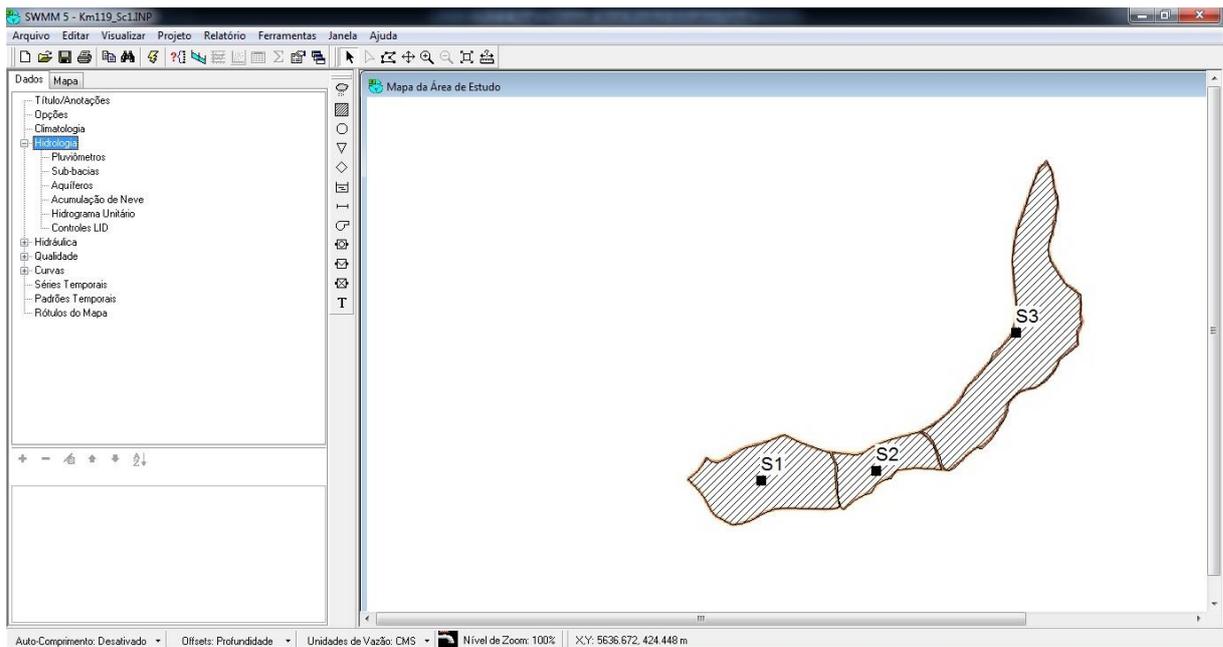


Figura 4 - Visão geral do *software* SWMM.

Para o presente trabalho, os cenários são pertinentes à uma parcela da margem esquerda do rio. O cenário I é definido como condições atuais de uso e ocupação do solo, e o cenário II a simulação da área com ocupação urbana, utilizando os parâmetros descritos na Lei Complementar nº 31/2014 que dispõe sobre o zoneamento de uso e ocupação do solo urbano e rural do Município de Campo Mourão.

As áreas foram delimitadas com auxílio do *software* Qgis 2.8.3, utilizando o *plugin* *Open Layers*, para fornecer a imagem de fundo, do Bing Aerial. A delimitação das microbacias foi cedida pelo LabGeo da UTFPR. As áreas foram classificadas e quantificadas, fornecendo dados para cada uma das microbacias, oferecendo os parâmetros necessários para a simulação hidrológica.

A classificação seguiu as classes da Tabela 1, com seus respectivos valores de CN. As zonas de vegetação com predominância rasteira foram identificadas como campestre. Estas podem eventualmente ser áreas de várzea que ficam alagadas durante parte do ano, o que mudaria os parâmetros analisados. Para este estudo foi considerado estas áreas como zona florestal de cobertura ruim, sem alagamentos. As áreas de relva compreendem espaços abertos, parques, cemitérios, chácaras e pastagens. Os locais do cenário I definidos como urbano, foram aqueles que evidentemente possuem construção civil aparente na imagem de satélite. Os loteamentos que já se encontram em fase de construção, foram considerados como áreas agrícolas, e foram considerados apenas no cenário II.

Em seguida, foram utilizados os valores de CN e realizado a média ponderada para cada microbacia, bem como determinado os valores de áreas impermeáveis. De acordo com a Lei Complementar nº 31/2014, as zonas residenciais devem conter um valor mínimo de 20% de área permeável. Considerando isto, foi adotado como valor de áreas impermeáveis (AI) das áreas urbanas o valor máximo permitido, de 80%.

A declividade média de cada microbacia foi obtida através de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do U.S Geological Survey (Earth Explorer), e transformados em declividade média com o uso dos softwares Spring 5.0.3 e Qgis 2.8.3.

A chuva de projeto foi obtida através da curva IDF (intensidade, duração e frequência) de Arantes et al (2009) para o município de Campo Mourão, determinando a intensidade média máxima do evento de precipitação em função do tempo de retorno. A equação é dada por:

$$i = \frac{901,51 * T^{0,1803}}{(t+11)^{0,7508}} \quad (4)$$

onde T é o tempo de retorno e t a duração da chuva.

Os tempos de retorno utilizados foram de 5, 50 e 100 anos, atendendo ao recomendado para projetos de drenagem urbana.

A intensidade da chuva de projeto deve ser igual ao tempo de concentração (FENDRICH, 1997). O tempo de concentração é definido como o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia passe a contribuir para a seção de estudo (MARTINS, 1976). O tempo de concentração da área foi calculado a partir das fórmulas de Dooge, Pasini e Ventura, que geraram os tempos de 76, 55 e 87 minutos, respectivamente, correspondendo ao valor adotado de aproximadamente 70 minutos. A chuva de projeto foi distribuída em função do tempo seguindo o Método dos Blocos Alternados (CHOW, 1988).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO URBANA

O uso da terra nos diferentes cenários (Tabela 4) retratam o parâmetro atual de ocupação do solo (Figura 5) e a delimitação das novas zonas de loteamento propostas no plano diretor (Figura 6). Em S1 ocorre o aumento de 33 ha de áreas urbanas, correspondendo a 18% da microbacia, com a redução das áreas de agricultura e relva. Para S2 o aumento com os loteamentos é de 23 ha, passando a ocupar aproximadamente 29% da microbacia. Em S3 ocorre o maior aumento, de aproximadamente 67 ha destinados aos loteamentos, ocupando 35% da área da bacia, substituindo em sua maior parte áreas de agricultura e com pouca supressão de vegetação.

A partir das análises realizadas, foi delimitado o CN de cada microbacia (Tabela 3) e a porcentagem de áreas impermeáveis. A maior mudança se dá na microbacia S3, que contempla a maior parte das áreas previstas para urbanização, com um acréscimo de aproximadamente 68 ha. O valor do CN tem seu maior aumento para S2, que passa de 76.62 no cenário I para 80.10 no cenário II, bem como as áreas impermeáveis, que mudam de 0.03 para 25.11%. A menor mudança é em S1, que tem seu valor de CN alterado de 76.36 para 78.56 e a porcentagem de áreas impermeáveis salta de 0 para 14.58%,

Tabela 3 – CN, declividade média e porcentagem de áreas impermeáveis (AI) por microbacia

Microbacias	Declividade média (%)	Cenário I		Cenário II	
		CN	% AI	CN	% AI
S1	4.94	76.36	0	78.56	14.58
S2	7.35	76.62	0.03	80.10	25.11
S3	6.57	77.56	10.60	80.22	28.18

Apesar de sua simplicidade, o método SCS utilizado apresenta uma grande dificuldade na determinação do parâmetro CN. Conforme Nakayama (2011), esse valor é estimado com base em manuais de outro país, onde as condições climáticas e os solos são diferentes. Ainda ressalta que ao adotar esses parâmetros, a vazão de pico costuma ser superestimada em torno

de 30 a 40% quando comparada com outros métodos, resultando em obras superestimadas, sendo a favor da segurança.

Tabela 4 - Características do uso e cobertura do solo dos cenários I e II

Microbacias	Uso	Cenário I		Cenário II	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%
S1	Vegetação	36.29	20.01	36.29	20.01
	Campestre	0.91	0.50	0.91	0.50
	Relva	1.65	0.91	1	0.55
	Agricultura	142.53	78.58	110.13	60.72
	Urbano	0	0	33.05	18.22
	Total	181.38		181.38	
	S2	Vegetação	17.53	21.46	17.53
Campestre	2.18	2.67	2.18	2.67	
Rodovia	1.77	2.17	1.77	2.17	
Relva	1.74	2.13	1.15	1.41	
Agricultura	57.7	70.65	34.97	42.82	
Lago	0.66	0.81	0.66	0.81	
Estacionamento	0.09	0.11	0.09	0.11	
Urbano	0	0	23.31	28.55	
Total	81.67		81.67		
S3	Vegetação	65.79	21.52	65.44	21.41
	Campestre	11.83	03.87	11.81	3.86
	Relva	20.67	6.76	20.67	6.76
	Urbano	40.51	13.25	107.66	35.23
	Agricultura	165.37	54.10	98.55	32.25
	Lago	1.49	0.49	1.49	0.49
	Total	305.66		305.66	

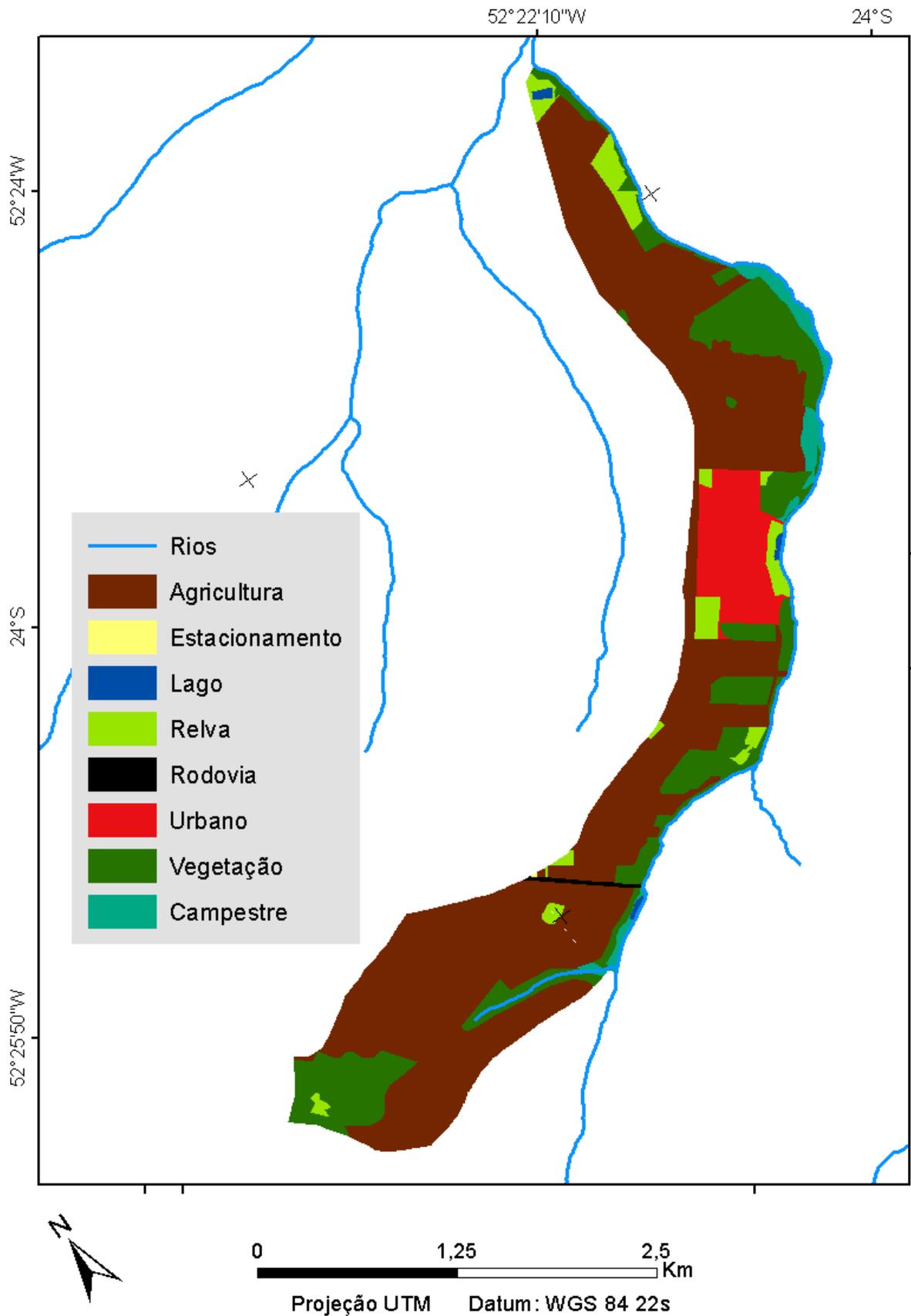


Figura 5 - Uso do solo nas microbacias para o Cenário I.

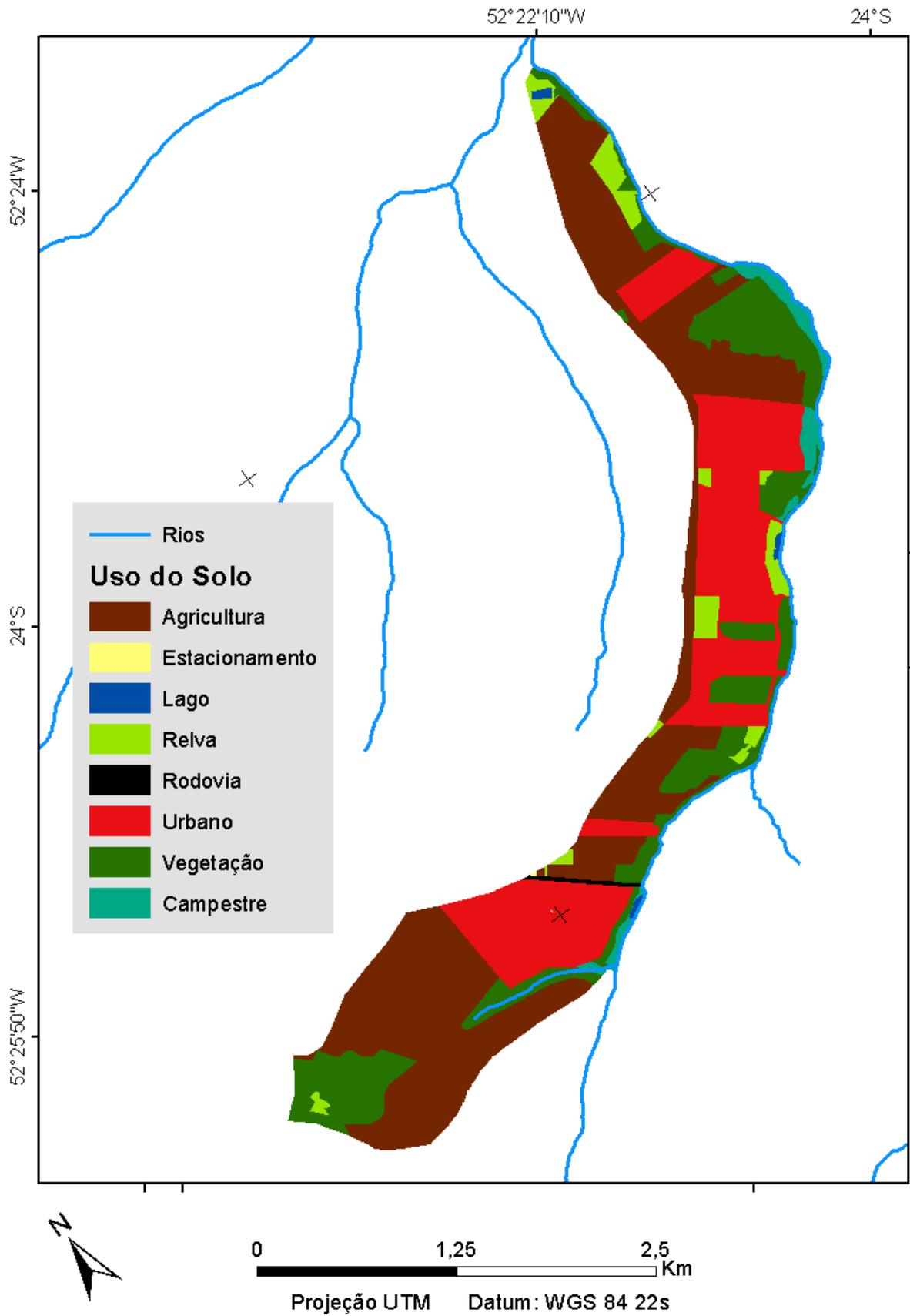


Figura 6 - Uso do solo nas microbacias para o Cenário II.

5.2 CHUVA DE PROJETO

A tabela 5 apresenta as precipitações acumuladas para cada tempo de retorno, e as figuras 7, 8 e 9 apresentam a precipitação distribuída em função do tempo (hietograma), dada a partir do Método dos Blocos Alternados para a duração total de 70 minutos (CHOW, 1988), com as precipitações máximas ocorrendo na metade deste tempo.

Como a chuva de projeto está diretamente relacionada com o tempo de retorno, quanto maior for este, maior será a intensidade da precipitação. Para o tempo de retorno de 5 anos, a precipitação é de aproximadamente 52 mm, para o tempo de retorno de 50, a intensidade da precipitação é maior, correspondendo a 78.59 mm, e para o tempo de retorno de 100 anos, a intensidade é de 89.05 mm distribuída ao longo de 70 minutos.

Tabela 5 - Intensidade da precipitação calculado a partir da curva IDF

TR	Precipitação (mm)
5	51.89
50	78.59
100	89.05

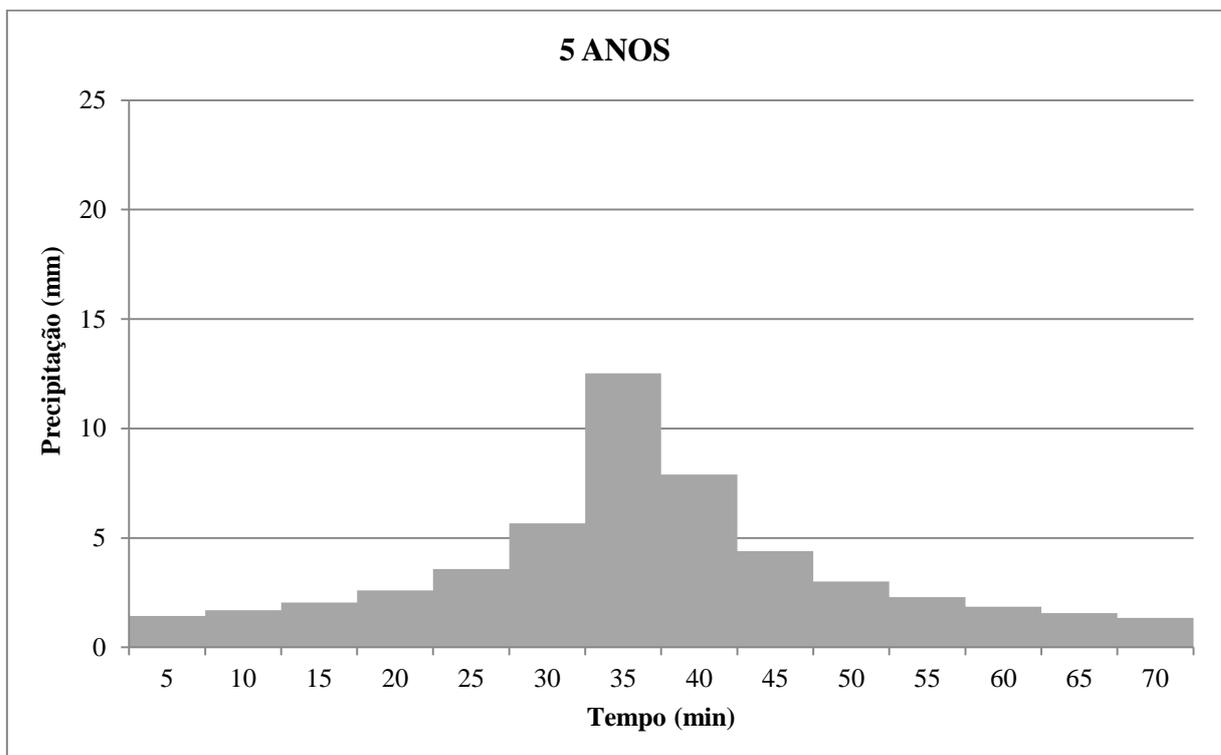


Figura 7 - Hietograma para tempo de retorno de 5 anos obtido através do Método dos Blocos Alternados

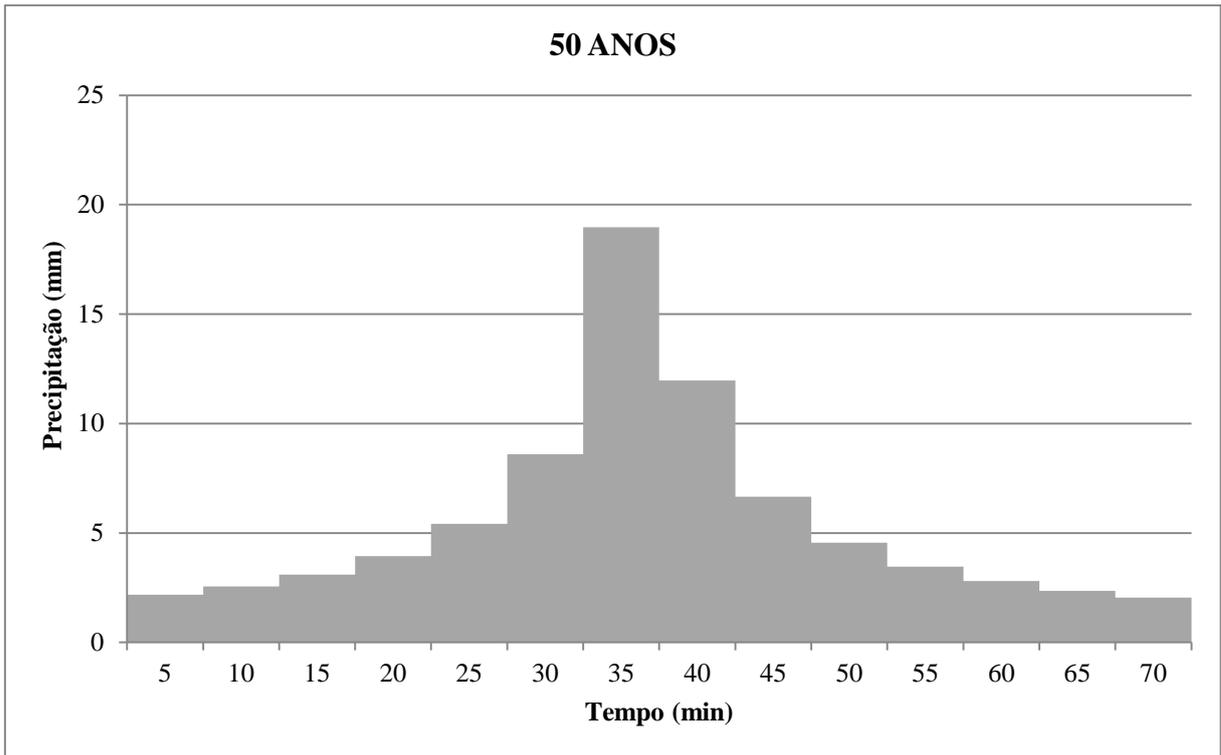


Figura 8 - Hietograma para tempo de retorno de 50 anos obtido através do Método dos Blocos Alternados

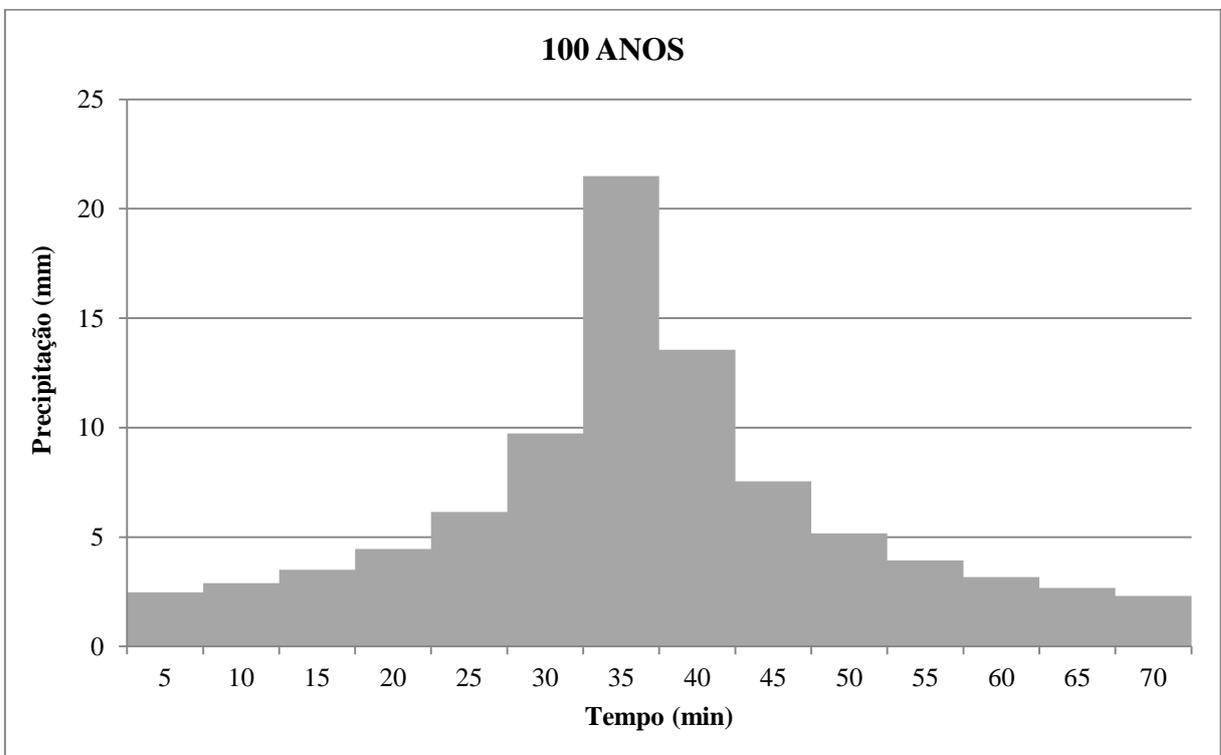


Figura 9 - Hietograma para tempo de retorno de 100 anos obtido através do Método dos Blocos Alternados

5.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Comparando os volumes do escoamento superficial por cada microbacia (Tabelas 6 e 7) fica evidente que a área com maior percentual de urbanização e impermeabilidade (S3) foi a que apresentou maior escoamento (Figura 10) com um pico de $62.86 \text{ m}^3/\text{s}$ e volume total de $163,000 \text{ m}^3$ para o TR de 100 anos, conforme esperado, devido também à sua área maior. Todas as microbacias apresentaram crescimento no volume total do escoamento superficial, com variação de 33 a 134%, quando comparadas com o cenário I. A porcentagem deste acréscimo do volume escoado foi proporcional a intensidade da precipitação e o maior crescimento foi para S1 no TR5, um aumento de aproximadamente 134%. Os valores de pico apresentaram as mesmas características do volume total, sendo o acréscimo relativo ao cenário I tanto maior quanto a intensidade da chuva.

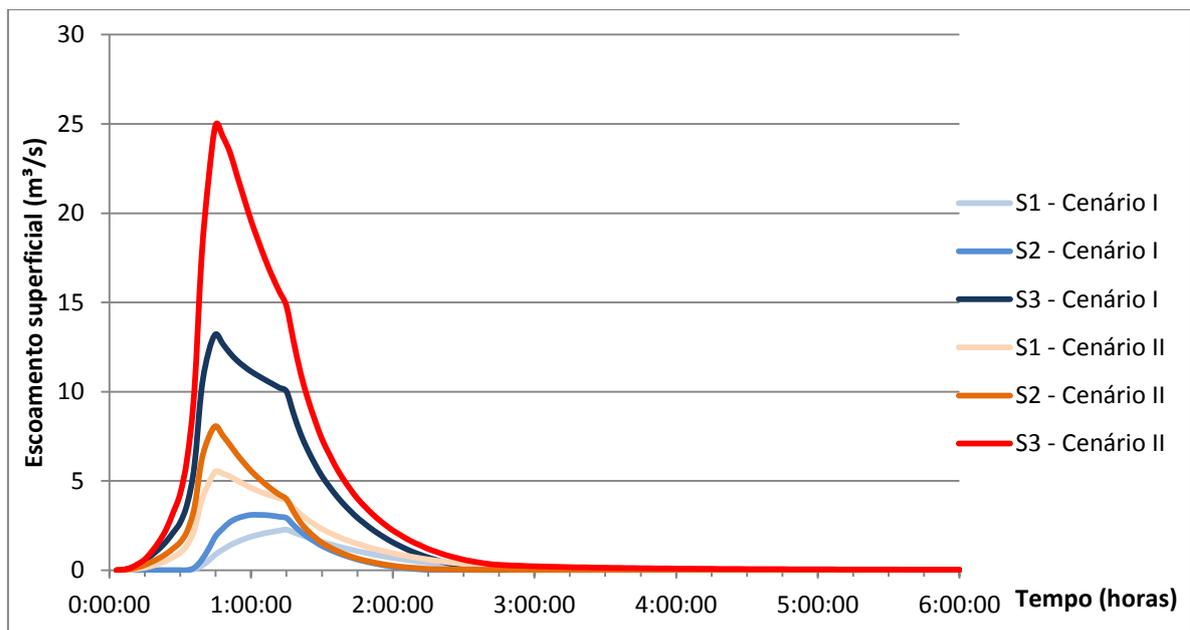


Figura 10 - Escoamento superficial gerado por cada microbacia, para TR = 5 anos

Conforme esperado, o valor do coeficiente de escoamento foi maior conforme a intensidade da precipitação, apresentando diferenças mais significativas entre o TR5 e TR50. Comparando os dois cenários, o aumento das áreas impermeáveis, de 0 para 14.58% em S1, de 0.03 para 25.11% em S2 e de 10.60 para 28.18% em S3 também provocou o aumento do

coeficiente de 0.305 para 0.449 em S1, de 0.403 para 0.607 em S2 e de 0.449 para 0.599 em S3, considerando o TR de 100 anos.

Os maiores valores do coeficiente são de S2 no cenário urbanizado, de 0.458 no TR5, 0.574 no TR50 e 0.607 no TR100, que podem ser explicados devido a maior declividade média que S2 possui quando comparada a S3, de 7.35 para 6.57% respectivamente.

Tabela 6 - Resultados da simulação no escoamento superficial -cenário I

	Sub-bacia	Precipitação Total (mm)	Infiltração Total (mm)	Runoff Total (mm)	Runoff Total (10 ⁶ L)	Pico Runoff (m ³ /s)	Coeficiente Runoff
TR5							
	S1	51.89	44.63	6.11	8.03	2.27	0.118
	S2	51.89	40.37	10.77	8.79	3.1	0.208
	S3	51.89	36.83	13.98	42.73	13.22	0.269
TR50							
	S1	78.59	57.4	20.19	26.52	6.49	0.257
	S2	78.59	49.71	28.11	22.96	8.49	0.358
	S3	78.59	46.04	31.92	97.58	30.07	0.406
TR100							
	S1	89.06	60.82	27.14	35.65	8.59	0.305
	S2	89.06	52.58	35.9	29.32	11.25	0.403
	S3	89.06	48.41	39.96	122.13	38.62	0.449

Tabela 7 - Resultados da simulação no escoamento superficial - cenário II

	Sub-bacia	Precipitação Total (mm)	Infiltração Total (mm)	Runoff Total (mm)	Runoff Total (10 ⁶ L)	Pico Runoff (m ³ /s)	Coeficiente Runoff
TR5							
	S1	51.89	36.79	14.34	18.84	5.53	0.276
	S2	51.89	27.49	23.75	19.4	8.07	0.458
	S3	51.89	27.72	23.35	71.36	24.94	0.45
TR50							
	S1	78.59	45.82	31.96	41.89	11.51	0.407
	S2	78.59	32.98	45.08	36.82	16.78	0.574
	S3	78.59	33.51	44.43	135.8	50.81	0.565
TR100							
	S1	89.06	48.26	39.98	52.53	14.43	0.449
	S2	89.06	34.31	54.06	44.15	20.78	0.607
	S3	89.06	35.02	53.38	163.15	62.86	0.599

A infiltração foi maior em S1, para todos os tempos de retorno abrangidos e em ambos os cenários, dado que S1 apresenta as menores porcentagens de área impermeável dentre as microbacias, possuindo 0 e 14.58% para o cenário I e II, respectivamente.

Já S3 possui a menor infiltração no cenário I, quando comparado com as outras microbacias, devido à sua maior área de superfícies impermeáveis nesse cenário. Contudo, mesmo S3 possuindo uma maior porcentagem de área impermeável (28.18%) também no cenário II, os menores valores de infiltração neste são para S2 (com 25.11% de áreas impermeáveis), em razão de sua declividade maior que S3.

Os valores da infiltração deduzidos da precipitação resultam no valor do escoamento superficial. Há pequenas diferenças nos valores, não superiores a 1.15 mm, que correspondem as perdas por armazenamento em depressão, que é a capacidade volumétrica que deve ser preenchida na bacia, e quando ocorre sua saturação começa então o escoamento superficial.

5.4 VAZÃO DE PICO

A variação da vazão no período de retorno calculada no exutório das bacias obteve picos variando entre 13 para TR de 5 anos para 46 m³/s para TR de 100 anos no cenário I e entre 29 com TR de 5 anos para 77 m³/s com TR de 100 no cenário II, conforme as figuras 11 e 12. Com a urbanização, o acréscimo da vazão de pico aumentou em 120, 75, e 67%, para TR5, TR50 e TR100, respectivamente. O tempo de pico do cenário II ocorreu 18 minutos antes em relação ao cenário I para TR5, 15 minutos antes em relação ao cenário I para TR50 e 12 minutos antes em relação ao cenário I para TR100, efeito causado pelo aumento das áreas impermeáveis que reduzem a infiltração. Esses resultados eram esperados, conforme descrito no item 3.2.

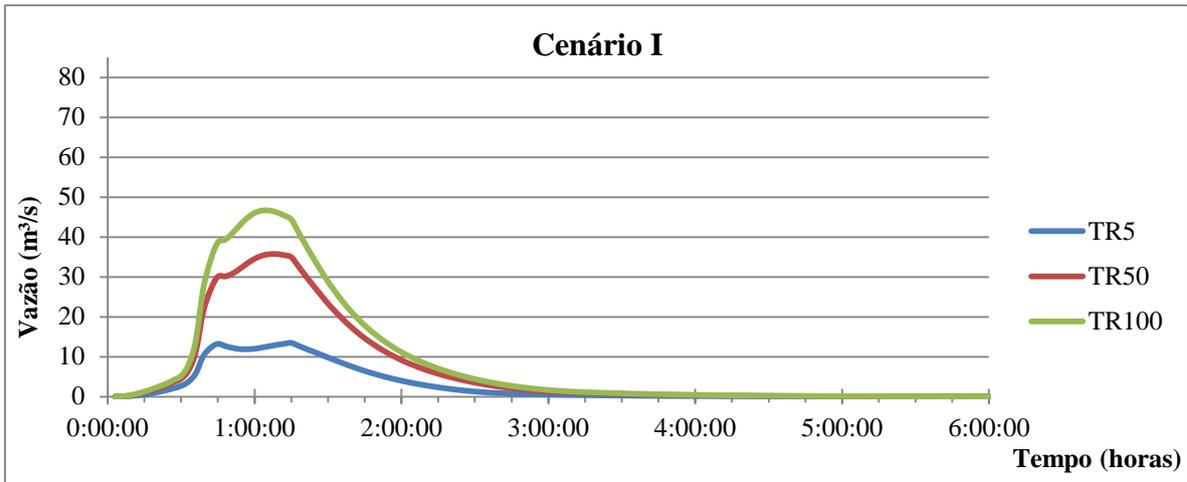


Figura 11 - Afluência total no exutório para cada tempo de retorno no Cenário I

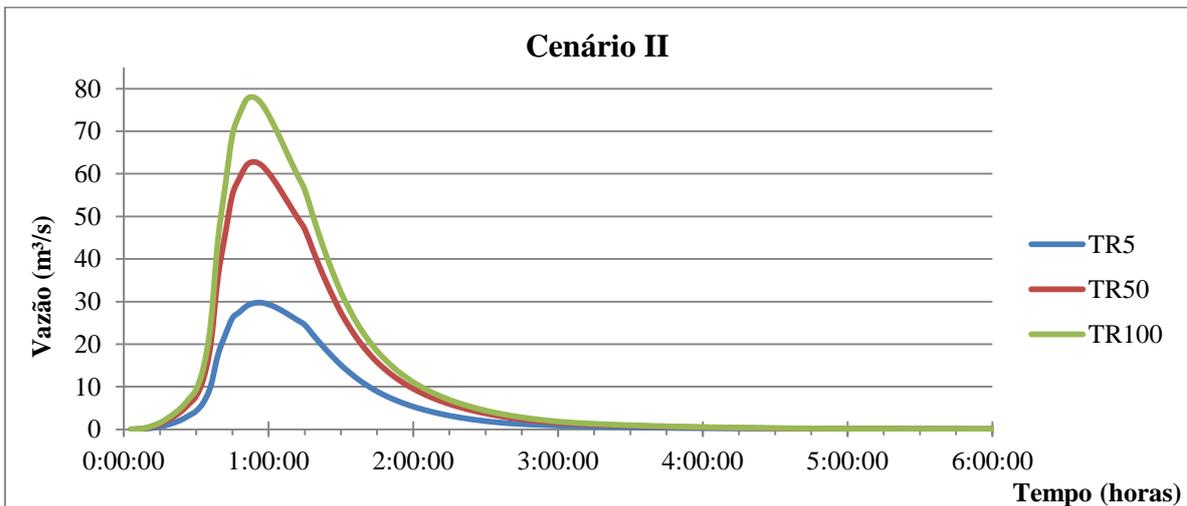


Figura 12 - Afluência total no exutório para cada tempo de retorno no Cenário II

Alves (2015), em sua tese desenvolvida na região de Uruaçu – GO, testou cenários fictícios que contemplam o uso de pavimentos permeáveis, acréscimo de arborização urbana e outras práticas de desenvolvimento de baixo impacto. Para uma área de aproximadamente 33 ha, e um TR de 5 anos, foi observado uma redução na vazão de pico de 4.51 para 2.68 m³/s com a adoção das práticas conservacionistas, com a redução de 879 m³ no escoamento final.

Na simulação de diferentes cenários de ocupação urbana, Rocha (2013) simulou áreas que variam de 7 a 70% de impermeabilidade na bacia do Córrego Samambaia, em Goiânia - GO, e o escoamento se tornou 24 vezes maior no cenário futuro correspondente a maior impermeabilização. Para a intensidade da chuva de 20.17 mm/h e TR de 5 anos, o pico de

vazão chegou a $6.71 \text{ m}^3/\text{s}$ e o volume total escoado de aproximadamente 25000 m^3 , em uma área de 3195 ha, CN de 78 e área impermeável de 70%.

Sin et al (2014) observou em uma área de aproximadamente 157 ha em Gimcheon, Coréia do Sul, um pico de $15.9 \text{ m}^3/\text{s}$, com valor de CN de 82.55, que pode ser reduzido através de instalações de armazenamento.

Mesmo com diversos estudos utilizando o *software* de modelagem hidrológica, é de difícil comparação os resultados, visto que envolvem bacias diferentes e há uma dissemelhança nos fatores de área, uso do solo, precipitação, dentre outros.

6 CONCLUSÕES

A área de estudo foi caracterizada com a ajuda de *softwares* de SIG, permitindo obter as características de uso do solo, declividade, áreas impermeáveis, bem como auxiliou para a delimitação do cenário futuro de urbanização. No cenário atual foi considerado somente os loteamentos que contenham construção civil, e no cenário de ocupação futuro, está previsto um acréscimo de aproximadamente 123 ha de novos loteamentos, com porcentagem de áreas impermeáveis de 14.58, 25.11 e 28.18% para S1, S2 e S3 respectivamente. As declividades médias foram de 4.94 a 7.35%.

A chuva de projeto foi definida a partir de uma curva IDF para Campo Mourão, no tempo de 70 minutos para os tempos de retorno de 5, 50 e 100 anos, com intensidade média de 51.89, 78.59 e 89.05 mm respectivamente, com a distribuição temporal dada pelo Método dos Blocos Alternados.

Com a caracterização da bacia, delimitação dos cenários e chuva de projeto definidos, foi calculado o CN para as diferentes microbacias. Este variou de 76.36 até 77.56 no cenário I e de 78.56 até 80.22 no cenário II. Após inseridos no *software*, procedeu-se com a simulação avaliando o escoamento superficial.

Foi possível verificar o acréscimo das vazões de pico na parcela urbanizada da bacia, o aumento do coeficiente de escoamento provocado pelo aumento de áreas impermeáveis, e a redução na infiltração, nos diferentes tempos de retorno adotados. S1 teve o maior crescimento do volume total escoado, chegando a 134%. Toda a área em conjunto teve o aumento do pico de vazão chegando a 120%, com redução de 12 minutos em seu tempo.

No geral, o aumento das áreas impermeáveis gerou um maior pico de vazão, maiores volumes escoados superficialmente, menor infiltração e um acréscimo do coeficiente de escoamento. Baseado em consultas a outros trabalhos, recomenda-se que os novos loteamentos adotem parâmetros de sustentabilidade, utilizando técnicas para melhorar a infiltração e reduzir o escoamento superficial, reduzindo as vazões de pico no corpo hídrico.

Este modelo é considerado apenas teórico, pois não contou com calibrações dos parâmetros hidrológicos devido à falta de um pluviógrafo e uma estação fluviométrica instalados e que pudessem captar dados temporais. Contudo, ainda produz dados que se comparados com situações reais evidenciam projeções futuras e pode ser aplicado em outras bacias, desde que respeitadas as características de cada uma.

REFERÊNCIAS

- AISSE, Miguel Mansur. “Drenagem Urbana”. In: FENDRICH, Roberto et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4. ed. Curitiba: Champagnat, 1997. 485 p. ISBN 85-7292-027-7
- ALVAREZ, Richard Paul Pehovaz. **Estudo experimental e teórico da qualidade de água da drenagem urbana com base ecohidrológica**. 2010. 239 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13102010-081555/pt-br.php>>. Acesso em: 16 nov 2014.
- ALVES, Patrícia Layne. **Capacidade de Interceptação pelas Árvores e Suas Influências no Escoamento Superficial Urbano**. 2015. 100f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- ARANTES, Eudes José et al. Análise das Chuvas Intensas da Região Noroeste do Paraná. **OLAM -Ciência & Tecnologia**, Rio Claro – SP, n. 2, p. 31-47, Set. 2009.
- CAMPANA, Néstor A.; TUCCI, Carlos E. M. “Previsão da vazão em macrobacias urbanas: Arroio Dilúvio em Porto Alegre”. In: TUCCI, Carlos E. M.; MARQUES, David M. L. da Motta. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ufrgs, 2000. p. 53-78.
- CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, c1988. 572 p
- COLLODEL, Milena G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. 219 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-14102009-182636/pt-br.php>>. Acesso em: 16 nov 2014.
- FENDRICH, Roberto. “Tópicos de Hidrologia e Hidráulica em obras hidráulicas de combate à erosão urbana”. In: FENDRICH, Roberto et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4. ed. Curitiba: Champagnat, 1997. 485 p. ISBN 85-7292-027-7
- HOLTZ, Antonio Carlos Tatit. “Precipitação”. In: PINTO, Nelson L. de Souza et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, c1976. 278 p. ISBN 8521201540

HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; PINTO, Nelson L. de Souza. “Vazões de enchentes”. In: PINTO, Nelson L. de Souza et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, c1976. 278 p. ISBN 8521201540

IAPAR. **Instituto Agrônomo do Paraná. Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 20 de novembro de 2014.

MAACK, Reinhard; **Geografia física do Estado do Paraná**. 3.ed. Curitiba: Imprensa Oficial do Paraná, 2002. 438p.

MARTINS, José Augusto. “Escoamento Superficial”. In: PINTO, Nelson L. de Souza et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, c1976. 278 p. ISBN 8521201540

MINEROPAR - Minerais do Paraná S/A. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, 2006.

NAKAYAMA, Paulo T. et al. Avaliação do Parâmetro CN do Método de Soil Conservation Service (SCS) nas Bacias do Ribeirão dos Marins e Córrego Bussocaba - Estado de São Paulo. In: **XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**. 2011. Maceió. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/sgcv3/index.php?PUB=3&ID=81&PAG=5>>. Acesso em: 16 nov 2014.

PINTO, Nelson L. de Souza et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, c1976. 278 p. ISBN 8521201540

ROCHA, Nayda. **Planejamento urbano da bacia do Córrego Samambaia (Goiânia -GO) utilizando o SWMM -Storm Water Management Model**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente –PPGEMA), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás –UFG, Goiânia, 2013.

RENNÓ, Camilo D.; SOARES, João V. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**, INPE, Relatório Técnico Parcial, 2000. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf>. Acesso em: 17 nov 2014.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model, Version 5.0: User’s Manual**. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. 2007. Disponível em: <

<http://www2.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm#downloads> >. Acesso em: 15 nov 2014.

SILVA, Karla Alcione da. **Análise da Eficiência de Métodos de Controle de Enchentes na Atenuação de Picos de Cheias Utilizando o Modelo Computacional Swmm – Storm Water Management Model**. 2007. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

SIN, J.; JUN, C.; ZHU, J.H.; YOO, C. Evaluation of Flood Runoff Reduction Effect of LID (Low Impact Development) based on the Decrease in CN: Case Studies from Gimcheon Pyeonghwa District, Korea. **Procedia Engineering**, Volume 70, p. 1531-1538, Abr. 2014.

SUDERHSA. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Manual de Drenagem Urbana – Região Metropolitana de Curitiba – PR**. Curitiba, 2002. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf>. Acesso em: 08 dez 2014.

TUCCI, Carlos E. M (2001) “Escoamento superficial.” In: Tucci, C. E. M.. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001, 391 – 441.

TUCCI, Carlos. E.M. (2003). “Inundações e drenagem urbana.” In: Tucci, C. E. M., Bertoni, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. ABRH, Porto Alegre, Brasil, 45-150.

VILLELA, Swami Marcondes, MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245p.

XUDONG, Zhao. et al. The study of urban rainstorm waterlogging scenario simulation based on GIS and SWMM model; Take the example of Kunming Dongfeng East Road catchment area. Geoinformatics, 2013 **21st International Conference on Kaifeng**, 2013, 20-22 June 2013. p.1-5.