UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUANA LAVAGNOLI MOREIRA

ANÁLISE DO IMPACTO DA EVOLUÇÃO URBANÍSTICA SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

VITÓRIA

2014

LUANA LAVAGNOLI MOREIRA

ANÁLISE DO IMPACTO DA EVOLUÇÃO URBANÍSTICA SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Rigo.

VITÓRIA

2014

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelos ensinamentos de vida proporcionados e pelo fortalecimento da fé;

Aos meus pais, Gilmar e Aparecida, pelos valores, incentivo, apoio e confiança em tudo que faço;

Aos meus colegas de classes do curso de Engenharia Ambiental pela amizade, auxílio, união e pelos inúmeros momentos alegres e descontraídos;

Ao meu orientador Daniel Rigo, por toda confiança em mim depositada;

Aos colegas Joseline, José Antônio e Bernadete pelo apoio técnico e acadêmico na realização do projeto;

Aos membros do Colegiado de Engenharia Ambiental que aprovaram a antecipação da apresentação do Projeto de Graduação;

Aos moradores do município de São Gabriel da Palha pelo compartilhamento de informações necessárias ao projeto;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“O segredo da saúde da mente e do corpo está em não lamentar o passado, em não se afligir com o futuro e em não antecipar preocupações, mas está no viver sabiamente e seriamente o presente momento.”

Siddhartha Gautama Buddha

RESUMO

As inundações em áreas urbanas são consequências da falta de capacidade de transporte nos sistemas de drenagem pluvial, resultando no extravasamento do volume drenado do leito de escoamento natural, causado pelo processo de urbanização relacionado com a impermeabilização do solo. A implantação do sistema de gestão em drenagem pluvial, visando estabelecer as medidas de controle estruturais e não estruturais, requer a quantificação dos impactos atuais, assim como a estimativa de vazão máxima. A ausência de estação fluviométrica demanda, como recurso adicional para quantificação da vazão máxima, métodos de transformação de chuva em vazão. O presente trabalho teve por objetivo estimar, com auxílio do Método estabelecido pelo *Soil Conservation Service (*SCS) e *Colorado Urban Hydrograph Procedure (CUHP)*, vazões máximas para diferentes cenários contemplados pela variação temporal da mancha urbana, da bacia hidrográfica do Córrego São Gabriel, localizado na Sede Municipal de São Gabriel da Palha no estado do Espírito Santo. A modelagem hidrológica envolveu a determinação da equação de chuvas intensas a partir do método Chow-Gumbel, as apropriações dos tempos de concentração pelo método cinemático, obtenção das chuvas excedentes e dos hidrogramas unitários e de cheia para períodos de retorno de 5, 10 e 25 anos. Os resultados indicaram que a influência da intensificação da mancha urbana sobre o incremento das vazões é expressivo. Em comparação aos métodos empregados, o método de CUHP obtém vazões similares quando da estimativa pelo método SCS.

Palavras-chave: Urbanização, Drenagem Urbana, Vazão de Projeto.

ABSTRACT

The floods in urban areas are consequences of lack of transport capacity to the storm water drainage systems, it results in leakage of the drained bed of natural runoff volume caused by the urbanization related to soil sealing process. The implementation of the storm water drainage system management, so as to establish measures of structural and non-structural controls, requires the quantification of current impacts, which is the estimated maximum flow. The absence of fluviometric station demand as additional resource for quantifying the maximum flow, methods of transformation of rainfall into flow. This study aimed to estimate, using the method established by the Soil Conservation Service (SCS) and Colorado Urban Hydrograph Procedure (CUHP), peak flows for different scenarios contemplated by the temporal variation of the urban sprawl, the basin of São Gabriel Stream, located in Municipal Headquarters in São Gabriel da Palha city, state of Espírito Santo. The hydrologic modeling involved the determination of the equations of intense rains from Chow-Gumbel method, the concentration time using the velocity method, determination of excess rainfalls, unit hydrograph and flood hydrograph for return periods of 5, 10 and 25 years. The results indicated that the influence of intensified urban sprawl on the increase of flow rates is significant. Compared to the methods employed, the method of CUHP obtains similar flows when estimating the SCS method.

Key words: Urbanization, Urban Drainage, Runoff.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Períodos de Retorno recomendados para diferentes ocupações. 27
Tabela 2: Valores de período de retorno. 27
Tabela 3: Fórmulas empíricas utilizadas para apropriação do tempo de concentração. .28
Tabela 4: Fórmulas empíricas utilizadas para apropriação do tempo de concentração (continuação).....29
Tabela 5: Fator de rugosidade k, presente na fórmula de DNOS. 29
Tabela 6: Coeficiente de escoamento em superfícies e calhas rasas. 30
Tabela 7: Matriz de convolução, resultante do escoamento superficial. 38
Tabela 8: Precipitações máximas anuais (mm) da estação de Barra de São Gabriel. 46
Tabela 9: Média aritmética e desvio padrão da variável reduzida y. 49
Tabela 10: Relações entre as alturas pluviométricas, obtidas em CETESB (1986). 49
Tabela 11: Relações entre as alturas pluviométricas de 24h e de 1 dia de duração, obtidas em CETESB (1986). 49
Tabela 12: Valores da taxa de infiltração mínima usadas na identificação do grupo hidrológico do solo. 51
Tabela 13: Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas. 52
Tabela 14: Valores de CN para bacias rurais. 53
Tabela 15: Curvas acumuladas de Huff para os quartis I, II, III e IV. 54
Tabela 16: Hidrograma unitário curvilíneo do SCS conforme McCuen (1998). 56
Tabela 17: Coeficientes da função da área impermeável. 58
Tabela 18: Características fisiográficas das sub-bacias da bacia do Córrego São Gabriel. 63
Tabela 19: Tempo de concentração para cada cenário ambiental. 66
Tabela 20: Estimativa do valor de CN para o cenário da pré-urbanização. 66
Tabela 21: Estimativa do valor de CN para o cenário inicial. 66
Tabela 22: Estimativa do valor de CN para o cenário atual. 67
Tabela 23: Estimativa do valor de CN para o cenário futuro. 67
Tabela 24: Chuvas excedentes para cada cenário e para os diferentes períodos de retorno. 68
Tabela 25: Parâmetros de entrada para construção do hidrograma unitário de CUHP. ..72
Tabela 26: Vazões de projeto estimadas pelos métodos SCS e CUHP e incrementos de vazão em relação ao cenário anterior para diferentes períodos de retorno. 76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Taxa de urbanização brasileira e da região Sudeste. 15
Figura 2: Estrutura do plano diretor de drenagem urbana. 19
Figura 3: Estágio do desenvolvimento da drenagem. 21
Figura 4: Representação de um hietograma de forma contínua no tempo. 32
Figura 5: Parâmetros do Hidrograma. 33
Figura 6: Forma do hidrograma unitário sintético triangular do SCS. 34
Figura 7: Hidrograma Unitário de CUHP. 37
Figura 8: Mapa de Localização e Drenagem da área de estudo. 40
Figura 9: Zonas de inundação na Sede Municipal de São Gabriel da Palha. 41
Figura 10: Trecho do Córrego São Gabriel no bairro Santa Helena. 42
Figura 11: Trecho do Córrego São Gabriel no bairro Jardim da Infância. 42
Figura 12: Mapa de tipo de solos da região de estudo. 44
Figura 13: Mapa de declividade. 45
Figura 14: Determinação do fator de pico. 58
Figura 15: Determinação de C_t. 59
Figura 16: Evolução da área impermeável ao longo dos cenários ambientais de urbanização. 61
Figura 17: Cenários ambientais contemplando a evolução temporal da mancha urbana na bacia hidrográfica do Córrego São Gabriel. 62
Figura 18: Mapa hidrológico das sub-bacias inseridas na bacia hidrográfica do Córrego São Gabriel. 64
Figura 19: Resultado dos tempos de concentração obtidos por diferentes métodos. 65
Figura 20: Hidrogramas unitários curvilíneos do SCS dos cenários ambientais. 69
Figura 21: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método SCS do cenário de pré-urbanização para diferentes períodos de retorno. 70
Figura 22: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método SCS do cenário de urbanização inicial para diferentes períodos de retorno. 70
Figura 23: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método SCS do cenário de urbanização atual para diferentes períodos de retorno. 71
Figura 24: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método SCS do cenário de urbanização futura para diferentes períodos de retorno. 71

Figura 25: Hidrograma unitário de CUHP apropriado para cada cenário.....73
Figura 26: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método CUHP do cenário de pré-urbanização para diferentes períodos de retorno. 74
Figura 27: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método CUHP do cenário de urbanização inicial para diferentes períodos de retorno. 74
Figura 28: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método CUHP do cenário de urbanização atual para diferentes períodos de retorno.....75
Figura 29: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método CUHP do cenário de urbanização futura para diferentes períodos de retorno. 75
Figura 30: Vazões de projeto para cada cenário obtidas pelo método SCS. 77
Figura 31: Vazões de projeto para cada cenário obtidas pelo método CUHP. 77

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
2. OBJETIVOS 14
2.1. OBJETIVO GERAL 14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
3. REVISÃO DA LITERATURA 15
3.1. EVOLUÇÃO URBANA NO TERRITÓRIO BRASILEIRO 15
3.2. GESTÃO URBANÍSTICA 16
3.2.1. Aspectos Legais 16
3.2.2. Plano Diretor Urbano 17
3.2.3. Plano Diretor de Drenagem Urbana 18
3.3. EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NAS CHEIAS 20
3.4. CONTROLE DE INUNDAÇÕES 22
3.5. ASPECTOS HIDROLÓGICOS 24
3.5.1. Chuvas Intensas 25
3.5.2. Período de Retorno 26
3.5.3. Tempo de Concentração 28
3.6. MODELAGEM HIDROLÓGICA 31
3.6.1. Distribuição Temporal da Chuva 31
3.6.2. Teoria do Hidrograma Unitário 32
3.6.3. Hidrograma de Cheia 37
4. METODOLOGIA 39
4.1. ÁREA DE ESTUDO 39
4.2. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS E HIDROGRÁFICOS 43
4.3. CENÁRIOS AMBIENTAIS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO 46
4.4. DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO 47

4.4.1. Obtenção da Equação de Chuvas Intensas 47
4.4.2. Obtenção do CN-SCS 50
4.4.3. Obtenção das Chuvas Excedentes 53
4.4.4. Determinação da vazão de projeto pelo método SCS.....55
4.4.5. Determinação da vazão de projeto pelo método CUHP 57
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....61
5.1. DIAGNÓSTICO TEMPORAL DOS CENÁRIOS AMBIENTAIS 61
5.2. OBTENÇÃO DAS CHUVAS EXCEDENTES.....63
5.3. VAZÃO DE PROJETO OBTIDA PELO MÉTODO SCS 68
5.4. VAZÃO DE PROJETO OBTIDA PELO MÉTODO CUHP 72
5.5. ANÁLISE DO IMPACTO URBANÍSTICO SOBRE SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO GABRIEL 76
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....80
7. REFERÊNCIAS.....82

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil, nos últimos anos, se deu com o crescimento maior das cidades médias e um crescimento menor das metrópoles. A população urbana brasileira é da ordem de 80%, contra uma urbanização na década de 40 a 50 abaixo de 40%. O processo de urbanização no Brasil foi, em grande parte, desordenado e falho na previsão da população total (PARKINSON et al., 2003). Os efeitos desse processo impactam os sistemas de abastecimento de água, transporte e tratamento de efluentes e a drenagem pluvial.

O conturbado processo de urbanização tem atuado negativamente sobre os aparelhos urbanos referentes a recursos hídricos, como o sistema de drenagem. Essa ocupação acelerada e desordenada dos solos, muitas vezes desrespeitando o sistema de drenagem natural das águas, favorece ao aterramento das margens dos corpos hídricos e à ocupação de áreas de amortecimento de cheias, tornando frequentes os problemas com as enchentes urbanas (BASTOS, 2009).

Para o controle preventivo desses impactos são disciplinadas e definidas as Leis de Uso e Ocupação do Solo, que se constituem em instrumentos de gestão no qual disciplinam e definem a distribuição espacial das atividades socioeconômicas. No âmbito federal e estadual, essas leis estão relacionadas com a gestão dos recursos hídricos, uso do solo e licenciamento ambiental. Com relação ao âmbito municipal, destaca-se o plano diretor municipal que foca no planejamento territorial em termos de uso do solo e aspectos ambientais.

A mitigação de inundações em bacias urbanizadas associa-se a diversas alternativas estruturais e não estruturais, desde intervenções diretas na bacia mediante obras com objetivo de controlar as águas, realocação humana até o próprio convívio com o problema.

O dimensionamento de sistemas de drenagem abrange a escolha de diversas variáveis hidrológicas, dentre elas: o período de retorno, de acordo com os aspectos sociais e econômicos locais; a determinação da chuva de projeto, a partir de registros meteorológicos da região; a determinação do escoamento superficial, conforme características hidrológicas e do uso e ocupação do solo na bacia; a determinação da vazão de projeto; e o dimensionamento das estruturas hidráulicas,

correspondente à fase de projeto das medidas estruturais a serem implantadas na bacia (FCTH, 1999).

Com relação à determinação da vazão de projeto, o método *Soil Conservation Service* (SCS) pode ser uma ferramenta útil, além de retratar impactos relacionados à urbanização de uma bacia hidrográfica, modificações causadas por projetos de vertedouros de reservatórios, avaliação da redução de danos associados à inundação e determinação da planície de inundação e de áreas de risco (SCHARFFENBERG e FLEMING, 2010). Outro método citado por Tucci (1995), aplicado a bacias urbanas, é o método conhecido por "*Colorado Urban Hydrograph Procedure*" (CUHP).

Neste contexto, o presente trabalho pretende avaliar, para diferentes cenários de urbanização, a variação da vazão de projeto no sistema de drenagem para a bacia hidrográfica do Córrego São Gabriel inserida na Sede do município de São Gabriel da Palha.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o efeito da impermeabilização do solo, decorrente da evolução da malha urbanística, sobre o sistema de drenagem da Sede Municipal de São Gabriel da Palha.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o trabalho proposto foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Construir cenários de uso e ocupação do solo em função da variação temporal da mancha urbana;
- Estabelecer equação de chuva intensa para a área de estudo;
- Estabelecer chuvas excedentes de cada cenário para diferentes períodos de retorno;
- Estimar vazões de projeto de cada cenário por meio dos modelos SCS e de CUHP a partir da construção de hidrogramas de cheia para diferentes períodos de retorno;
- Analisar as condições atuais e futuras no que tange às vazões de enchente, comparando os resultados dos métodos de transformação de chuva em vazão empregados.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. EVOLUÇÃO URBANA NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

A expansão urbana no Brasil é relativamente recente. O seu início se articula com um conjunto de mudanças estruturais na economia e na sociedade brasileira, a partir da década de trinta do século vinte. Contudo, somente no ano de 1970, que os dados censitários revelaram, no Brasil, uma população urbana superior à rural (BRITO, HORTA E AMARAL, 2012).

Segundo o IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), em 1970, 56% dos brasileiros moravam em áreas urbanas. E em 2006 eram 80%. Até 2050, segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU), 90% se concentrarão em grandes centros e a população nacional girará em torno de 200 milhões de pessoas.

O Censo Demográfico do IBGE de 2010 aponta um grau de urbanização de 84,36% no Brasil e 92,95% na região Sudeste. A partir de 1970, observa-se no país, uma população urbana superior à rural (55,92%), já na região sudeste, a população urbana superou a rural em mais de 50% em 1960.

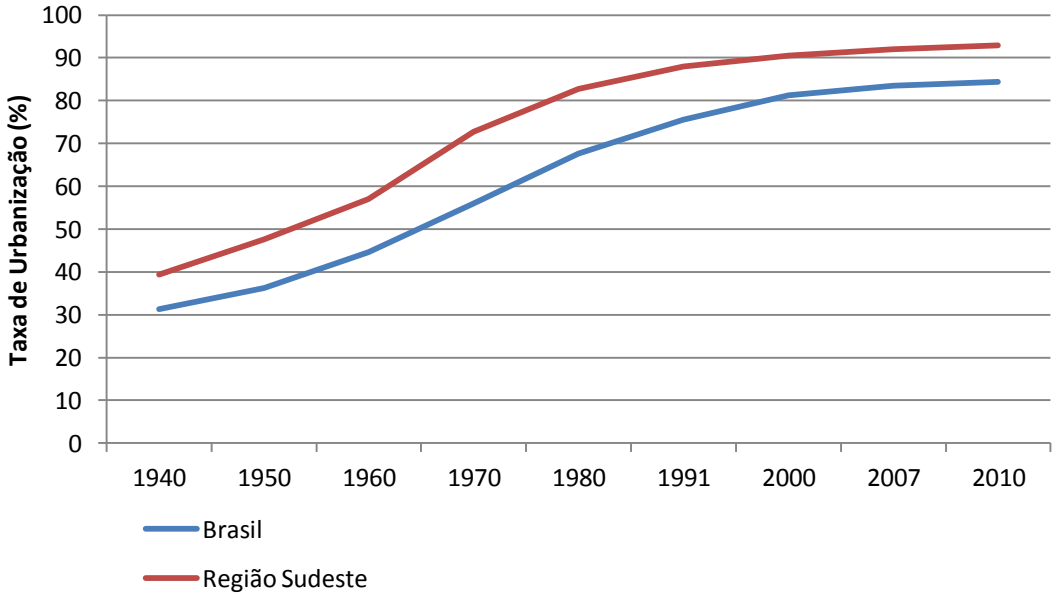

Figura 1: Taxa de urbanização brasileira e da região Sudeste.

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

Dados do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), em 2010, indicaram que o grau de urbanização do estado do Espírito Santo alcançou os 83,4%. Todas as microrregiões litorâneas, com exceção da Metrópole Expandida Sul, destacaram os maiores percentuais de população urbana. A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) destacou a maior taxa de urbanização (98,3%).

O Município em estudo, São Gabriel da Palha está localizada na região centro-oeste do estado do Espírito Santo. Possui economia voltada para cultura de café Conilon e a cidade possui a mais importante Cooperativa Agrária de Cafeicultores de Conilon do Mundo (Prefeitura Municipal de São Gabriel da Palha, 2014). Segundo dados do PNUD, IPEA e FJP (2014), a taxa de urbanização no município cresceu de 69,07% em 2000 para 76,35% em 2010.

3.2. GESTÃO URBANÍSTICA

3.2.1. Aspectos Legais

O aspecto legal urbanístico se apoia nas Leis de Uso e Ocupação do Solo, que são instrumentos que disciplinam e definem a distribuição espacial das atividades socioeconômicas. A primeira fase do processo de regularização de uma ocupação existente ou um novo assentamento deve ocorrer através do zoneamento, instrumento de gestão que trata de um conjunto de regulamentações, prescrevendo os tipos de uso adequados a cada porção do território (MOTA, 2006).

Segundo Parkinson et al (2003), no que tange a legislação e as políticas existentes para o funcionamento dos sistemas de drenagem, estão os aspectos relacionados à gestão integrada dos recursos hídricos, controle da poluição ambiental e dotação de infraestrutura urbana.

O inciso XVIII do artigo 21, da Constituição Federal de 1988, estabelece que compete à União planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações. O Estatuto da Cidade (Lei Federal 10257, de julho de 2001) estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. A Lei

Federal 12608, de 10 de abril de 2012 incluiu no Estatuto da Cidade o artigo 42-A, no qual estabelece que o Plano Diretor dos Municípios incluídos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos deverá conter, entre outros, medidas de drenagem urbana necessárias à prevenção e à mitigação de impactos de desastres.

A Lei Federal 6766, de 19 de dezembro de 1979, dispõe sobre diretrizes de projetos de parcelamento do solo urbano. Considerado um dispositivo de valor para o controle da ocupação do solo, é através da aprovação do parcelamento que o município pode exigir distribuição adequada dos lotes, equipamentos e vias públicas, protegendo a qualidade ambiental (MOTA, 2006).

3.2.2. Plano Diretor Urbano

Orientado pelo poder municipal, o Plano Diretor Urbano, contemplado no artigo 182 da Constituição Federal de 1988, na Lei Federal 10257, de 10 de julho de 2001, é um instrumento global e estratégico da política de desenvolvimento municipal, determinante para todos os agentes públicos e privados que atuam na construção e gestão da cidade.

O desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade, e o uso socialmente justo e ecologicamente equilibrado de seu território, de forma a assegurar o bem estar dos seus habitantes; disciplinar a ocupação e o uso do solo, compatibilizando-os com o meio ambiente e a infraestrutura disponível; compatibilizar a estrutura urbana da cidade ao crescimento demográfico previsto e às funções regionais do Município compõem alguns dos objetivos do Plano Diretor Municipal editado em 2006 do município de São Gabriel da Palha.

A subdivisão da Macrozona Urbana e de Expansão Urbana em Zonas de Uso no município de São Gabriel da Palha considera:

I. A infraestrutura instalada;

II. As características de uso e ocupação do território do município;

III. As características do meio ambiente natural e construído;

IV. A implementação de ações de planejamento.

Para controle do uso e ocupação do solo, o Plano Diretor Municipal divide o município em Zonas de Uso: Zonas Residenciais - ZR; Zonas de Comércio e Serviço - ZCS; e Zonas Especiais – ZE (de Interesse Ambiental, de Interesse Social e de Interesse Econômico).

Segundo SCHEEREN *et al.* (2007), o Plano Diretor é uma ferramenta importante na solução de problemas de uso e ocupação de áreas marginais. Além disso, é importante que este focalize a questão da drenagem urbana separadamente, pois os transtornos causados são visíveis e preocupantes, ressaltando-se os riscos que são impostos à saúde da população.

3.2.3. Plano Diretor de Drenagem Urbana

De acordo com Martins (2012), a gestão de drenagem urbana compreende um conjunto de técnicas e ações que pode ser resumido no conceito dos 3P: Planejamento, Procedimento e Preparo. Dos três grupos, o Planejamento é o mais fácil de ser explicado e entendido no âmbito técnico, mas o que encontra as maiores dificuldades com relação à sua observância ao longo do tempo. O Planejamento inclui atividades como a elaboração dos planos diretores, projeto e implantação de sistemas de redução de risco e exige o uso maciço de todo o elenco de medidas, estruturais e não estruturais.

Segundo Tucci (2002) a estrutura básica do Plano Diretor de Drenagem Urbana, explicitada pela Figura 2, é composta por cinco fases:

- Informações: o conjunto de informações que abordam a área de drenagem, ou seja, é a base dados sobre as quais será fundamentado o plano.
- Fundamentos: são elementos definidores do plano; é constituído dos princípios, objetivos e estratégias, cenários e riscos.
- Desenvolvimento: o planejamento das medidas se baseia em medidas não estruturais, medidas estruturais, avaliação econômica, obras de controle, operação e manutenção.

- Produtos: legislação e/ou regulamentação (medidas não estruturais), plano de ação (medidas escalonadas no tempo de acordo com a viabilidade financeira) e manual de drenagem.
- Programas: são estudos complementares de médio e longo prazo que são recomendados no plano para melhorar as deficiências encontradas na elaboração do Plano desenvolvido.

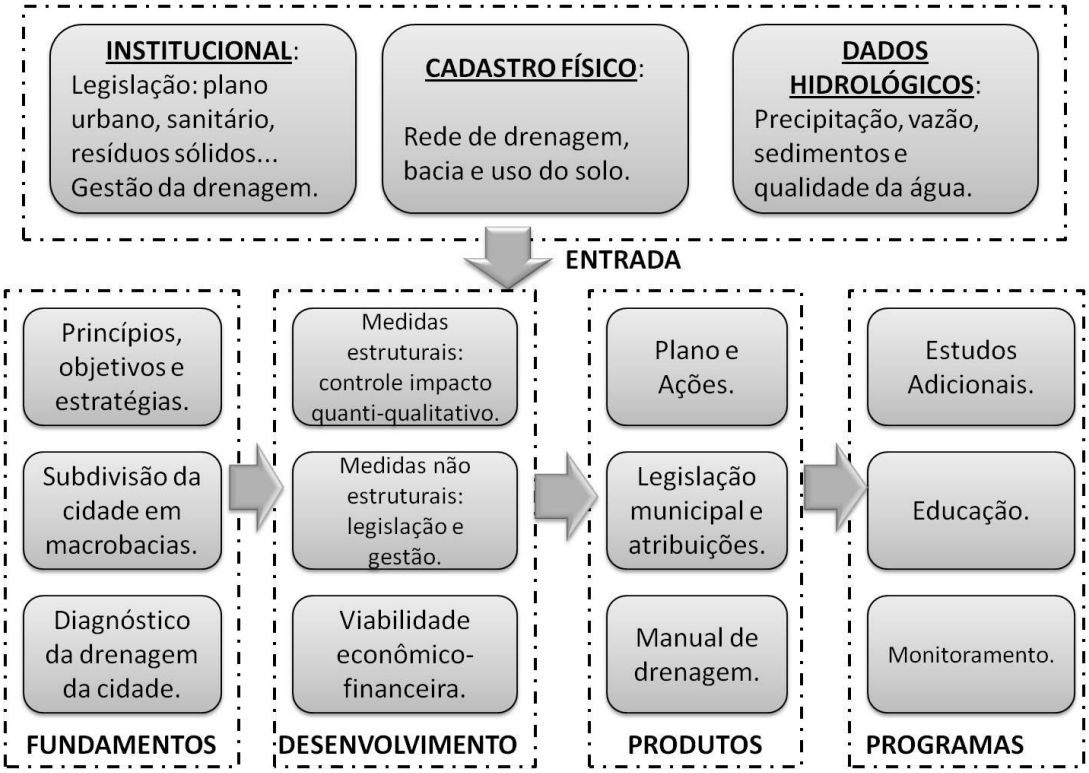

Figura 2: Estrutura do plano diretor de drenagem urbana.
Fonte: Adaptado de Tucci (2002).

Os controles de enchentes são desenvolvidos por sub-bacias e regulamentados ao nível de distrito. Segundo Tucci (1997), a filosofia de controle de enchentes é o de:

(i) Para a macrodrenagem urbana: reservar espaço urbano para parques laterais ou lineares nos rios que formam a macrodrenagem para amortecimento das enchentes e retenção dos sedimentos e lixo;

(ii) Para as áreas ribeirinhas: zoneamento de áreas de inundação, definindo-se zonas de alto e baixo risco de ocupação, e critérios de construção no código de obras da cidade.

3.3. EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NAS CHEIAS

A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte destes sistemas e ocupa áreas utilizadas pela população. Quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoa para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso do volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea, produzindo inundações de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios. Com o acelerado desenvolvimento das cidades e a densificação urbana, rios urbanos passaram a inundar com maior frequência. Este processo ocorre devido ao aumento das áreas impermeáveis e a canalização que acelera o escoamento através de condutos e canais (TUCCI, 2004).

Tucci (2004) evidencia 3 estágios do desenvolvimento da drenagem, segundo a Figura 3:

1º. A bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação a jusante, aparecendo, no leito natural, os locais de inundação devido a estrangulamentos naturais ao longo do seu curso;

2º. As primeiras canalizações são executadas a jusante, com base na urbanização atual; com isso, o hidrograma a jusante aumenta, mas é ainda contido pelas áreas que inundam a montante (efeito de um reservatório) e porque a bacia não está totalmente densificada;

3º. Com a maior densificação, a pressão pública faz com os administradores continuem o processo de canalização para montante. Quando o processo se completa, ou mesmo antes, as inundações retornam a jusante, devido ao aumento da vazão máxima em função da urbanização e canalização a montante. Neste estágio, são necessárias mais obras para ampliar todas as seções e a canalização simplesmente transfere a inundação para jusante.

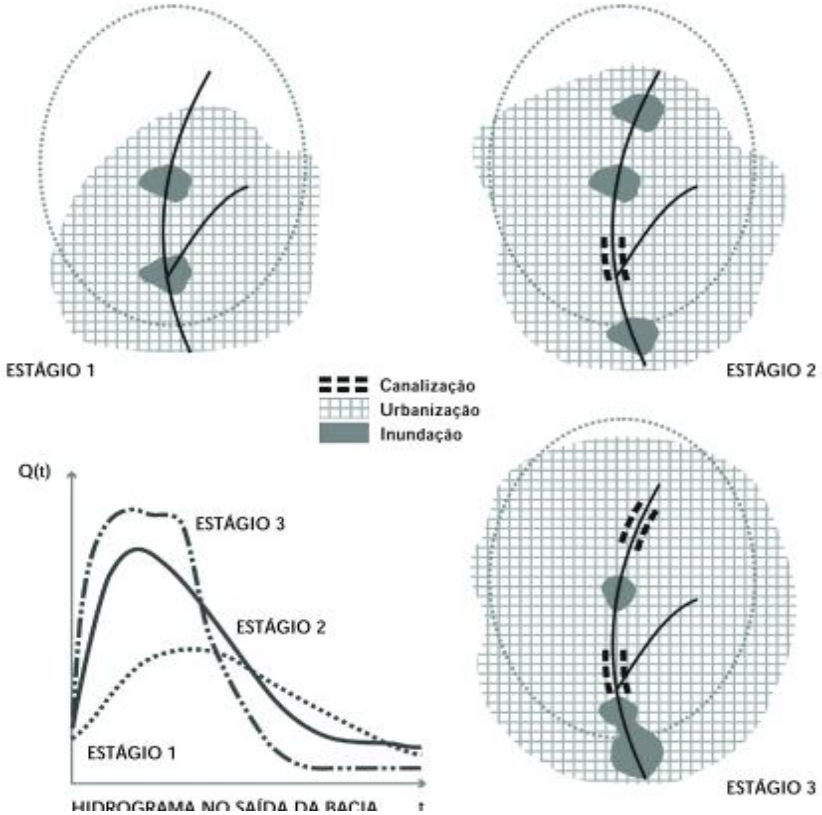

Figura 3: Estágio do desenvolvimento da drenagem.

Fonte: Tucci (2004).

Tucci (2002) afirma que, à medida que a cidade se urbaniza, ocorre o aumento das vazões máximas (em até 7 vezes) e da sua frequência devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies.

Mathias, Cunha e Moruzzi (2013) notaram um incremento de vazões 10 vezes maior na condição de 84% de taxa de ocupação, comparado com a condição de pré-ocupação urbana para a bacia do córrego Tucunzinho, localizado no município de São Pedro, do estado de São Paulo. Sendo essas vazões relacionadas a chuvas com duração de 60 minutos para um período de retorno de 2 anos.

Semadeni-Davies *et al.* (2008) investigaram os impactos da mudança climática e urbanização na drenagem na cidade de Helsingborg na Suécia, e concluíram que o crescimento urbano da cidade e a mudança climática, no sentido do aumento da precipitação, têm o potencial de causar os piores problemas de drenagem com aumento das vazões máximas após tempestades. O controle e o aumento da capacidade de armazenamento são capazes de mitigar o impacto da urbanização,

porém podem não ser suficientes para eliminar os impactos causados pela urbanização e mudanças climáticas.

3.4. CONTROLE DE INUNDAÇÕES

O princípio de funcionamento das medidas de controle do escoamento superficial baseia-se na retenção temporária e na infiltração do excesso de escoamento provocado por ações antrópicas, promovendo a restauração parcial do ciclo hidrológico natural. Ao se planejar a drenagem, é necessário considerar a integração entre os dispositivos tradicionais de drenagem para o controle do escoamento superficial com medidas de controle estruturais e não estruturais (FCTH, 2012).

As medidas estruturais são medidas físicas de engenharia desenvolvidas com intuito de reduzir o risco de enchentes. Essas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As extensivas são aquelas que agem na bacia hidrográfica, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como modificação da cobertura vegetal no solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. Já as intensivas agem no rio e podem focar na aceleração, retardamento ou desvio do escoamento (BARBOSA, 2006). O Quadro 1 apresenta as principais medidas estruturais com suas respectivas vantagens e desvantagens.

Quadro 1: Vantagens e desvantagens no emprego das diferentes medidas estruturais.

Medidas Estruturais	Vantagens	Desvantagens
Cisterna.	Água pode ser utilizada para proteção contra fogo, rega de terras, processos industriais, refrigeração; reduz o deflúvio superficial direto, ocupando pequenas áreas; o terreno, acima da cisterna, pode ser usado para outros fins.	Custos relativamente altos de instalação; custo pode ser restritivo, se a cisterna receber água de grandes áreas de drenagem; requer manutenção; acesso restritivo; reduz o espaço no subsolo para outros usos.
Jardim suspenso.	Esteticamente agradável; redução do deflúvio superficial direto e dos níveis de ruído; valorização da vida animal.	Elevadas cargas nas estruturas de cobertura e de construção; alto custo de instalação e manutenção.
Reservatório com espelho d'água permanente.	Controla grandes áreas de drenagem, liberando pequenas descargas; esteticamente agradável; benefícios à recreação; habitat para a vida aquática; aumenta o valor dos terrenos adjacentes.	Requer grandes áreas; possível poluição pelas enxurradas e sedimentação; possível área de proliferação de mosquitos; eutrofização; pode ocorrer de afogamentos; problemas de manutenção.

Fonte: Adaptado de FCTH (1999).

Quadro 1: Vantagens e desvantagens no emprego das diferentes medidas estruturais (continuação).

Medidas Estruturais	Vantagens	Desvantagens
Armazenamento em telhado, com tubos condutores verticais estreitos.	Retardo do deflúvio superficial direto; efeito de isolamento térmico do edifício (água no telhado e através de circulação); pode facilitar o combate a incêndios.	Carga estrutural elevada; a tomada d'água dos tubos condutores requer manutenção; formação de ondas e cargas; infiltração de água do telhado para o edifício.
Telhado com alta rugosidade.	Retardamento do deflúvio superficial direto e redução do mesmo.	Carga estrutural relativamente elevada.
Pavimento permeável.	Redução do deflúvio superficial direto; recarga do lençol freático; menor custo.	Entupimento dos furos ou poros; Compactação da terra abaixo do pavimento ou diminuição da permeabilidade do solo; dificuldade de manutenção; crescimento de gramas e ervas daninhas.
Canais gramados e faixas do terreno cobertas com vegetação.	Retardo do deflúvio superficial direto; redução do deflúvio superficial direto; recarga do lençol freático; esteticamente agradável.	Sacrifica-se alguma área do terreno para faixas de vegetação; áreas gramadas devem ser podadas ou cortadas periodicamente.
Armazenamento e detenção em pavimentos impermeáveis.	Retardo do deflúvio superficial direto; redução do deflúvio direto.	Restringe movimento de veículos; interfere com o uso normal; depressões juntam sujeira e entulho.
Reservatório ou bacias de detenção.	Retardo do deflúvio superficial direto; benefício recreativo: quadras poliesportivas; esteticamente agradável; pode controlar extensas áreas de drenagem, liberando descargas relativamente pequenas.	Requer grandes áreas; custos de manutenção (poda da grama, herbicidas e limpeza periódica); proliferação de mosquitos sedimentação no Reservatório.
Tanque séptico transformado para armazenamento e recarga de lençol freático.	Custos de instalação baixos; redução do deflúvio superficial direto (infiltração e armazenamento); a água pode ser usada para: proteção contra incêndio, rega de gramados e jardins, e recarga do lençol freático.	Requer manutenção periódica (remoção de sedimentos); possíveis danos à saúde; algumas vezes requer um bombeamento para o esvaziamento após a tormenta.
Recarga do lençol freático: tubo ou mangueira furada, dreno francês, cano poroso e poço seco.	Redução do deflúvio superficial direto (infiltração); recarga do lençol freático com água relativamente limpa; pode suprir água para jardins ou áreas secas; pequena perda por evaporação.	Entupimento dos poros ou tubos perfilados; custo inicial de instalação (material).
Grama com alta capacidade de retardamento.	Retardo do deflúvio superficial direto; aumento de infiltração.	Dificuldade de poda de grama.
Escoamento dirigido sobre terrenos gramados.	Retardo do deflúvio superficial direto; aumento de infiltração.	Possibilidade de erosão; água parada em depressões no gramado.

Fonte: Adaptado de FCTH (1999).

As medidas não estruturais estão relacionadas à melhor convivência da população com as cheias. Para que estas medidas se tornem eficazes é necessária a participação conjunta entre o poder público e a comunidade local, de modo que

garanta uma convivência tranquila sem prejuízos materiais e, principalmente, perdas humanas (BARBOSA, 2006). O Quadro 2 apresenta as principais medidas não estruturais com suas respectivas características e objetivos.

Quadro 2: Medidas não estruturais para controle de inundações urbanas.

Medidas	**Características**	**Objetivos**
Plano diretor	Planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas.	Evitar ocupação sem prevenção e previsão.
Zoneamento	Regras para a ocupação das áreas de maior risco de inundação.	Minimização futura de perdas materiais e humanas em face das grandes cheias.
Controle do desmatamento	Deve ser feito em todos locais possíveis.	Prevenir a erosão e o assoreamento.
Educação Ambiental	Para ser realizado junto à população.	Conscientizar a população que sofre ou poderá sofrer com as inundações.
Medidas de apoio à população	Lugares seguros para preservar a população e trabalhos. Construção de abrigos temporários, meios de evacuação, patrulhas de segurança.	Inserir nos possíveis atingidos pelas inundações um senso de proteção.
Distribuição de informação sobre as enchentes	Programa de orientação da população sobre as previsões de enchentes.	Aprimorar a qualidade da assistência externa e a reduzir falhas como a falta de informações, a má avaliação das necessidades e formas inadequadas de ajuda.
Reassentamento	Reassentamento de residentes ilegais ocupantes das margens de rios, e de residentes legais nas áreas de enchente.	Retirar a população dos locais de risco.
Soluções de mitigação	Promover o aumento das áreas de infiltração e percolação e armazenamento temporário.	Aumentar a eficiência do sistema de drenagem à jusante e da capacidade de controle de enchentes dos sistemas.
Sistema de alerta	Sistema utilizado para prevenir a população com antecedência de curto prazo, em eventos mais raros.	Ajudar no controle das estruturas hidráulicas no sistema do rio, e evitar o pânico.
Construções a prova de enchentes	Pequenas adaptações nas construções.	Reduzir as perdas em construções localizadas nas várzeas de inundação.
Seguro contra enchentes	Proteção econômica contra inundações	Diminuir os prejuízos individuais causados pelas inundações.

Fonte: Adaptado de Enomoto (2000).

3.5. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

No presente estudo as características hidrológicas tomam foco no contexto da hidrologia urbana, que trata da parte do ciclo hidrológico que ocorre nas bacias hidrográficas urbanizadas ou em processo de urbanização, principalmente no que se refere à ocorrência de eventos de alta magnitude. Os componentes principais nesse

contexto são os que produzem as vazões máximas que se propagam pelos cursos d'água: as precipitações intensas, a infiltração da água no solo, as perdas por evaporação ou por evapotranspiração, as retenções temporárias em depressões do terreno, a geração do escoamento superficial direto e o escoamento nos sistemas de drenagem, naturais ou artificiais (FCTH, 2012).

3.5.1. Chuvas Intensas

Precipitações máximas ou chuvas intensas são aquelas cujas intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo. Essa intensidade é obtida a partir da relação entre o total precipitado e o tempo decorrido, e é utilizada em várias metodologias para obtenção, de forma indireta, das vazões de projeto de um sistema de drenagem urbana através de modelos de transformação chuva-vazão (TUCCI *et al*., 1995).

Os dados pluviométricos são adquiridos a partir dos registros medidos por pluviômetros ou pluviógrafos. Ambos têm por princípio, a medição do volume de água precipitado em uma área unitária, sendo que o primeiro registra uma unidade de comprimento (altura equivalente da cobertura de uma área com o volume precipitado), caso esse volume fosse distribuído uniformemente; e o segundo permite a apropriação do volume precipitado continuamente no tempo, ou seja, a intensidade da chuva, representada pela relação entre a altura precipitada em um intervalo de tempo.

Segundo Grecco et. al. (2012), existindo uma rede confiável de pluviógrafos, o monitoramento das precipitações durante um período de tempo longo e representativo dos eventos extremos do local, permite o estabelecimento de uma equação de chuvas intensas. Não existindo essa disponibilidade, diferentes alternativas (métodos de Chow-Gumbel e de Bell, por exemplo) têm sido empregadas para a determinação de equações de chuva intensas a partir de registros de totais diários de precipitação.

Na literatura científica há uma série de métodos disponíveis para se construir uma equação de chuva intensa a partir dos dados obtidos por pluviômetros, tais como, os métodos de Chow-Gumbel e de Bell. O primeiro ajusta uma distribuição

probabilística de Gumbel a partir da média aritmética e do desvio-padrão de uma série anual de precipitações máximas diárias. O segundo associa a altura pluviométrica de uma chuva intensa, para um determinado tempo de duração e período de retorno, à chuva intensa padrão, com duração de 60 minutos e período de retorno de 2 anos.

O trabalho realizado por Nali *et al.* (2007) determinou e comparou as equações de chuvas intensas, obtidas através dos métodos de Chow-Gumbel e de Bell, para as bacias hidrográficas dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória localizadas no estado do Espírito Santo. Os resultados demonstraram que os métodos de Chow-Gumbel e de Bell, apesar de partirem de formulações empíricas diferentes, produziram respostas similares para todas as estações pluviométricas estudadas.

3.5.2. Período de Retorno

Segundo Villela & Matos (1975), o período de retorno é definido como “o tempo médio em que determinado evento é igualado ou superado”. A escolha do período de retorno para os projetos de obras de drenagem urbana levam em conta a natureza das obras a se projetar e os riscos relacionados com a segurança da população e com as perdas materiais envolvidas. Além disso, o período de retorno depende da disponibilidade dos dados de precipitação da região de interesse.

O período de retorno está relacionado com o risco assumido de ocorrer uma precipitação maior que a utilizada no dimensionamento da obra. Quanto maior for a chuva de projeto, maior o custo da obra e, consequentemente, menor o risco. Entretanto, há certo ponto em que os custos de seguridade do projeto ultrapassam os benefícios de redução de danos possíveis. Por isso, a escolha de determinado período de retorno é uma questão de otimização entre os fatores econômicos e de segurança da obra. A Tabela 1 apresenta alguns valores de período de retorno recomendados para diferentes tipos de obras hidráulicas.

Tabela 1: Períodos de Retorno recomendados para diferentes ocupações.

Tipo da Obra	Tipo de Ocupação da Área	Período de Retorno (anos)
Micro-drenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Área com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 a 5
	Áreas comerciais e artéria de tráfego	5 a 10
Macrodrenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 a 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Adaptado de CETESB (1986).

Segundo Antonio Cardoso Neto (1998), para a escolha do valor desejado, é fundamental a distinção entre risco e período de retorno (T). A probabilidade P da vazão de projeto ser igualada ou superada durante a vida útil da obra (N anos) é o inverso do período de retorno T. A possibilidade de que a obra não falhe, pelo menos uma vez, em durante sua vida útil é:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^N \tag{1}$$

Villela & Matos (1975) apresentam valores para a adoção do período de retorno compatibilizando a vida útil e a probabilidade da ocorrência do dano, denominada de risco permissível (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de período de retorno.

Risco permissível	Vida útil da obra (anos)					
	1	10	25	50	100	200
0,01	100	995	2.488	4.975	3.950	19.900
0,1	10	95	238	475	950	1.899
0,25	4	35	87	174	348	695
0,5	2	15	37	73	145	289
0,75	1,3	7,7	18	37	73	144
0,99	0,01	2,7	5,9	11	22	44

Fonte: Villela & Matos (1975).

Grecco et. al. (2012) concluíram no estudo da influência da seleção de variáveis hidrológicas no projeto do sistema de macrodrenagem, no município de Vitória - ES, que a ampliação do período de retorno de 10 para 25 anos produziu acréscimos nos custos de construção de galerias inferiores a 13% para todas alternativas de projetos avaliadas. Por outro lado, o referido aumento do período de retorno produziu uma

redução de risco de falha das galerias, num ano qualquer, em aproximadamente 60%.

3.5.3. Tempo de Concentração

Villela & Mattos (1975) definem tempo de concentração como “o tempo que leva uma gota d’água teórica para ir do ponto mais afastado da bacia até o ponto de concentração”. Iniciando-se a contagem de tempo no início da chuva, se esta cobrir toda a bacia, representa o tempo em que toda a bacia contribui para o escoamento superficial na seção considerada (o ponto de concentração).

A literatura apresenta inúmeras fórmulas empíricas (Tabela 3) para se determinar o tempo de concentração em função de características físicas da bacia hidrográfica, do seu uso e ocupação e da intensidade da chuva local. A escolha da fórmula adequada ao projeto de drenagem leva em conta que as condições locais sejam próximas àquelas para as quais as fórmulas foram determinadas e do tipo de escoamento superficial que cada expressão procura representar.

Tabela 3: Fórmulas empíricas utilizadas para apropriação do tempo de concentração.

Autor	Equação	Origem e Aplicabilidade
Corps Engineers	$T_c = 11{,}46L^{0{,}76}S^{-0{,}19}$	Bacias rurais com até 12.000 Km², declividades médias inferiores a 14% e comprimento do talvegue máximo de 257 Km (Silveira, 2005).
Carter	$T_c = 5{,}862L^{0{,}6}S^{-0{,}3}$	Bacias urbanizadas com áreas entre 16 e 21 Km² e baixas declividades do talvegue (McCuen, Wong e Rawls, 1984).
Picking	$T_c = 5{,}298L^{0{,}667}S^{-0{,}333}$	Desconhecidas (Silveira, 2005).
DNOS	$T_c = 25{,}14k^{-1}A^{0{,}3}L^{0{,}2}S^{-0{,}4}$	Desconhecidas (Silveira, 2005).
Ven te Chow	$T_c = 9{,}60L^{0{,}64}S^{-0{,}32}$	Bacias rurais, com áreas de 1 a 19 Km² (Silveira, 2005).
Kirpich	$T_c = 3{,}989L^{0{,}77}S^{-0{,}385}$	O valor de Tc deve ser multiplicado por 0,2 ou 0,4, conforme sejam canais de betão ou asfaltados, respectivamente; para bacias rurais (0,50 - 45,3 ha) com canais bem definidos e de declives entre 3 a 10%. (Porto, 1975).
Bransby Willians	$T_c = 14{,}6LS^{-0{,}2}A^{-0{,}1}$	Especialmente a bacias rurais (Moth, 1998).
Johnstone	$T_c = 20{,}17\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0{,}5}$	Bacias com área de 65 a 4200 Km² (Pinto, *et al*. 1976).
SCS – Lag fórmula	$T_c = 3{,}42L^{0{,}8}S^{-0{,}5}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0{,}7}$	Para bacias homogêneas com área menor que 2000 ha (SCS, 1972).

Tabela 4: Fórmulas empíricas utilizadas para apropriação do tempo de concentração (continuação).

Onde: Tc = tempo de concentração (minutos); L = comprimento do talvegue principal (Km); S = declividade média do talvegue principal (m/m); k = fator de rugosidade de acordo com as características do terreno da bacia hidrográfica (Tabela **5**); A = área da bacia hidrográfica (Km²); CN = número de curva.

Tabela 5: Fator de rugosidade k, presente na fórmula de DNOS.

Tipo de cobertura do terreno	**k**
Terreno areno-argiloso, coberto de vegetação intensa, elevada absorção	2
Terreno comum, coberto de vegetação, absorção apreciável	3
Terreno argiloso, coberto de vegetação, absorção média	4
Terreno argiloso de vegetação média, pouca absorção	4,5
Terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção	5
Terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção	5,5

Fonte: Silveira (2005).

Além das fórmulas empíricas, o tempo de concentração pode ser estimado pelo método cinemático que, segundo Porto (1995), é a forma teórica mais correta de se calcular o tempo de concentração. Neste método, o tempo de concentração é o somatório dos tempos de trânsito dos diversos trechos que compõe o comprimento do talvegue.

$$t_c = \left(\frac{1000}{60}\right)\sum \frac{L_i}{V_i} \qquad (2)$$

Onde: t_c é o tempo de concentração, em minutos; L_i é o comprimento de cada trecho homogêneo, em metros; e V_i é a velocidade de escoamento no trecho “i” em m/segundo.

Quando os trechos são constituídos por superfícies ou por calhas rasas, a velocidade (Vi) pode ser estimada pela equação (3):

$$V_i = C_V * S_i \qquad (3)$$

Onde: S_i é a declividade média do trecho, em porcentagem; C_V é o coeficiente de escoamento em superfícies e calhas, apresentado pela Tabela 5.

Tabela 6: Coeficiente de escoamento em superfícies e calhas rasas.

Ocupação do Solo	**C_v**
Florestas densas	0,075
Campos naturais pouco cultivados	0,135
Gramas ou pastos ralos	0,210
Solos quase nus	0,300
Canais gramados	0,450
Escoamento em lâmina sobre pavimentos ou em sarjetas e calhas rasas	0,600

Fonte: Tucci (1995)

Em áreas urbanas, o tempo de concentração (minutos) pode ser dividido em:

$$T_C = T_{i1} + T_{i2} + T_t \tag{4}$$

Onde: T_{i1} é o tempo inicial de escoamento laminar sobre superfícies curtas (< 50 m), como telhados; T_{i2} é o tempo de escoamento em calhas rasas, como sarjetas; e T_t é o tempo de translação na rede de drenagem.

O tempo T_{i1} pode ser estimado por:

$$T_{i1} = \frac{0{,}65(1{,}1 - C)L^{0{,}5}}{S^{0{,}333}} \tag{5}$$

Onde: C é o coeficiente de escoamento superficial para período de retorno entre 5 e 10 anos; L é comprimento do escoamento (máximo 50 m), em metros, e S é a declividade média da bacia, em porcentagem.

O tempo T_{i1} é dado por:

$$T_{i1} = \frac{L_i}{V_i} \tag{6}$$

A velocidade de translação através da rede de drenagem pode ser estimada a partir da geometria das galerias e da declividade, usando-se fórmulas clássicas da hidráulica, como por exemplo, a fórmula de Manning dada pela equação (7).

$$V = \frac{\left(Rh^{2/3}\right)\left(i^{1/2}\right)}{\eta} \tag{7}$$

Onde: V é a velocidade de escoamento (m/segundos); Rh é o raio hidráulico (m); i é a declividade do canal (m/m) e η é o coeficiente de rugosidade do material da superfície.

3.6. MODELAGEM HIDROLÓGICA

Um valor indispensável para a previsão de enchentes e para os projetos de controle de inundações é o da vazão máxima do curso d'água que atravessa a área de estudo. Esse dado pode ser obtido conforme os seguintes critérios:

- Pelo ajuste de uma distribuição de probabilidade aos valores máximos da série de dados de vazão medidos ao longo do tempo. Esse método pode ser realizado quando os dados disponíveis contemplam uma boa série de dados de vazão e as condições da bacia hidrográfica não se modificaram (GENOVEZ, 2003);
- Pelo método da regionalização de vazões por meio dos dados pontuais são transformados em espaciais e se obtém informações nos locais sem dados, transferindo-se informações de um local para outro dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante. A regionalização se baseia no comportamento estatístico e na correlação destas variáveis no espaço (TUCCI, 2002).
- Métodos baseados em dados séries de precipitação, função das dificuldades de obter dados de vazões com séries históricas sem falhas, longas suficientes para determinado projeto, ou até mesmo ausência de estações fluviométricas no local de estudo.

Devido à aplicação ao estudo de caso, serão melhor delineados os métodos baseados na transformação de chuva-vazão do Hidrograma Unitário Sintético proposto por *Soil Conservation Service* e por *Colorado Urban Hydrograph Procedure*.

3.6.1. Distribuição Temporal da Chuva

A resposta de uma bacia a um evento de chuva depende das características físicas da bacia e das características do evento. O hietograma é uma forma gráfica, onde apresenta a intensidade de uma chuva ao longo de sua duração, pode ser representado de forma contínua (Figura 4) no tempo. Por simplificação, é comum

admitir que exista uma relação linear entre a chuva efetiva (parcela que gera escoamento superficial) e a vazão (TUCCI, 1995).

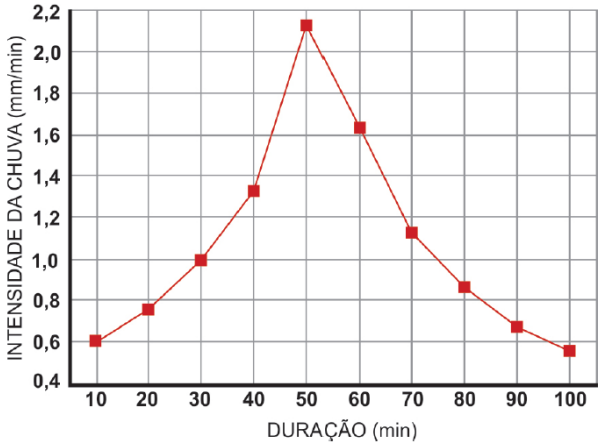

Figura 4: Representação de um hietograma de forma contínua no tempo.

Fonte: Tucci (1995).

A distribuição temporal de precipitação máxima representada por um hietograma pode ser obtida por inúmeros métodos, como os métodos do hietograma triangular, de Huff, de Pilgrim e Cordery, do *Soil Conservation Service* e de Chicago. O de utilização mais simples é o método dos blocos alternados, no qual se utilizam as relações intensidade-duração-frequência e se propõe a distribuição de totais de chuva em intervalor de tempo contidos na duração total. Outro modelo é o método de Huff no qual cada tormenta apresenta sua duração dividida em quatro partes, chamadas de quartis; assim, para os dados de chuva de cada quartil, faz-se uma análise estatística, com objetivo de se obter curvas de distribuição temporal associadas a probabilidade de ocorrência (TUCCI, 1995).

3.6.2. Teoria do Hidrograma Unitário

Um hidrograma é caracterizado por sua forma e pelo seu volume de escoamento superficial direto causado por uma chuva excedente sobre uma determinada área de drenagem. O hidrograma é, em última análise, um hietograma de chuva excedente, modificado pelas características de escoamento da bacia de drenagem (PORTO, 1995).

A forma do hidrograma depende de alguns parâmetros indicados na Figura 5, como:

- t_a (tempo de ascensão): tempo desde o início da chuva excedente até a vazão de pico;
- t_b (tempo base): duração total do escoamento superficial;
- t_r (tempo de retardo): tempo do centro de massa do hietograma de chuva excedente até a vazão de pico;
- t_c (tempo de concentração): tempo entre o término da chuva até o ponto de inflexão onde a contribuição do ponto mais distante da bacia de drenagem passa pela seção de controle.

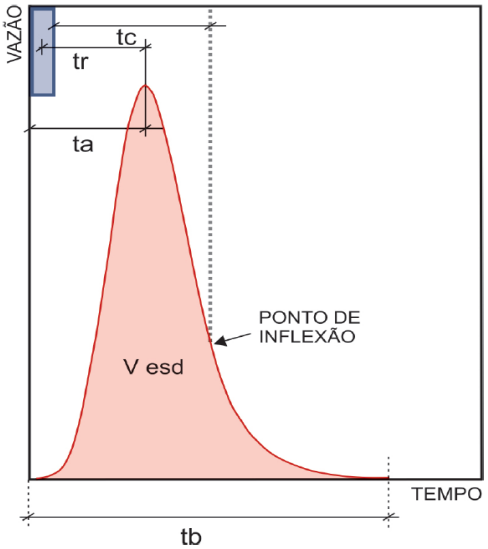

Figura 5: Parâmetros do Hidrograma.

Fonte: Tucci (1995).

Uma teoria útil baseada na relação linear entre chuva efetiva e vazão em uma bacia é a teoria do Hidrograma Unitário, que consiste em um hidrograma do escoamento direto causado por uma chuva efetiva unitária (por exemplo, uma chuva de 1 mm ou 1 cm). Este considera que a precipitação efetiva e unitária tem intensidade constante ao longo de sua duração e distribui-se uniformemente sobre toda a área de drenagem (COLLISCHONN, 2011).

O hidrograma unitário pode ser determinado pela análise de dados de precipitação e vazão ou por meio de fórmulas empíricas, são os chamados hidrogramas sintéticos (PORTO, 1995).

Sendo Collischonn (2011), devido à inexistência de dados históricos, é necessário utilizar o hidrograma unitário sintético (HUS), determinado pelos valores de algumas características do hidrograma, como o tempo de concentração, o tempo de ascensão, o tempo de base e a vazão de pico.

3.6.2.1. Hidrograma Unitário Sintético do SCS

O HUS estabelecido pelo SCS dá-se conforme a Figura 6, na qual t_r representa o tempo de retardo, que é o tempo decorrido desde o início do escoamento superficial ao pico do hidrograma; o tempo de base (t_b) simula a duração total do escoamento superficial direto, Q_p é a intensidade do pico e D a duração da chuva.

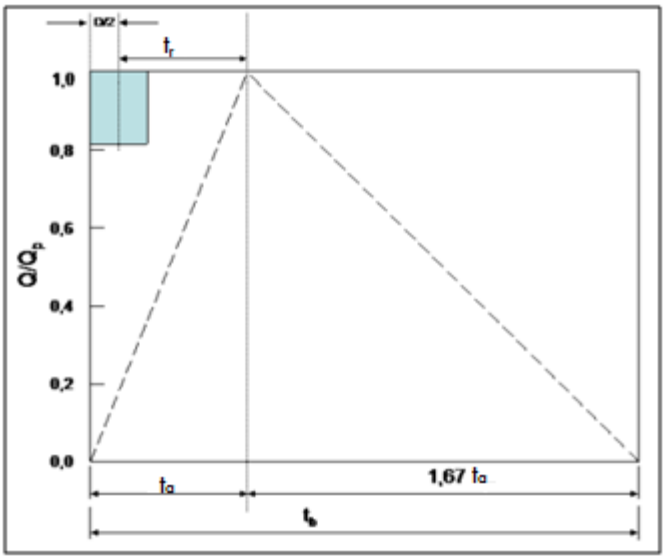

Figura 6: Forma do hidrograma unitário sintético triangular do SCS.
Fonte: Collischonn (2011).

O modelo chuva-vazão proposto pelo *Soil Convervation Service* (SCS, 1972) é empírico e foi desenvolvido pelo Departamento Americano de Agricultura para estimar o escoamento superficial direto resultante de um evento de chuva intensa.

O tempo de retardo (t_r) do hidrograma pode ser estimado como 60% do tempo de concentração (t_c). O tempo de ascenção (t_a) do hidrograma pode ser estimado como o tempo de pico mais a metade da duração da chuva. O tempo de base do hidrograma é aproximado por:

$$t_b = 2{,}67 t_a \quad (8)$$

O modelo SCS calcula o escoamento superficial de acordo com o tipo de solo e das condições de cobertura vegetal de uma bacia retratadas por meio do parâmetro CN, no qual varia de 0 a 100.

Wilken (1978), McCuen (1982) e Genovez (2003), recomendam o modelo SCS para bacias com áreas menores do que 2600 Km². Contradizendo à menção anterior, Ramos (1999) considera o método pouco flexível em relação às constantes de atenuação de picos, por isso sugere que sua aplicação para bacias com áreas entre 3 e 250 Km².

Nascimento *et al*. (2011) aplicaram o método SCS em uma bacia hidrográfica rural com área de drenagem de 34 Km², e concluíram que o método é bastante sensível a diferentes metodologias de cálculo de tempo de concentração e declividades do talvegue principal, por isso as vazões previstas e observadas variaram de -45,5% a +48,6%.

Ramos e Garcia (2007) demonstraram que o dimensionamento de obras de macrodrenagem, no município de Joinville, SC, através das vazões calculadas pelo método do SCS acarreta uma economia final em torno de mais de um milhão de reais se comparado com a utilização do método racional para estimar vazões.

Lopes *et al*. (2012) avaliaram a confiabilidade do modelo SCS em duas bacias hidrográficas semiáridas de diferentes escalas espaciais. O modelo apresentou baixa aderência para pequena escala. Em micro escala, o modelo apresentou maior robustez indiferente do método SCS ou do método da hipercúbica latina (LHS).

3.6.2.2. Hidrograma Unitário Sintético de CUHP

O método do hidrograma sintético de Synder adaptado para áreas urbanas foi desenvolvido pelo Distrito de Drenagem Urbana de Denver, Colorado. O conjunto de procedimentos é chamado de *Colorado Urban Hydrograph Procedure* – CUHP (TUCCI, *et al.*, 1995). O tempo de pico (t_p) é definido pela equação (9).

$$t_r = 6{,}637 C_t \left[\frac{L L_{CG}}{\sqrt{S}}\right]^{0{,}48} \quad (9)$$

Sendo: t_r = tempo de retardamento do hidrograma unitário medido do centro da chuva unitária até o pico do hidrograma (horas); L = comprimento do talvegue da bacia, desde a nascente até a seção de controle (Km); L_{CG} = comprimento desde o centro de gravidade da bacia até a seção de controle, acompanhando o talvegue (Km); S = média ponderada das declividades do talvegue (m/m); C_t = coeficiente da porcentagem de impermeabilização da bacia.

O tempo de ascensão, do início da chuva de duração unitária D até o pico do hidrograma, é dado por:

$$t_a = t_r + \frac{D}{2} \quad (10)$$

O pico do hidrograma por unidade de área, q_p, em m³/s.Km², é dado por:

$$q_p = 2{,}75 * \frac{C_p}{t_r} \quad (11)$$

Onde C_p é o coeficiente da capacidade de armazenamento da bacia. A vazão de pico é calculada pelo produto do pico do hidrograma por unidade de área pela área da bacia.

Para se montar um hidrograma conforme recomendações do CUHP deve-se calcular os parâmetros $W_{50\%}$ e $W_{75\%}$, corresponde respectivamente ao tempo dentro da curva de 50% e 75% da vazão de pico, como mostra a Figura 7.

Andrade et. al. (2012) definiram a viabilidade técnica de implantação de uma rede telemétrica de observação para as variáveis hidrológicas em bacias urbanas de Ponta Grossa, através da aplicação do método CUHP e de Muskingun Cunge, e dessa forma prever possíveis enchentes na região.

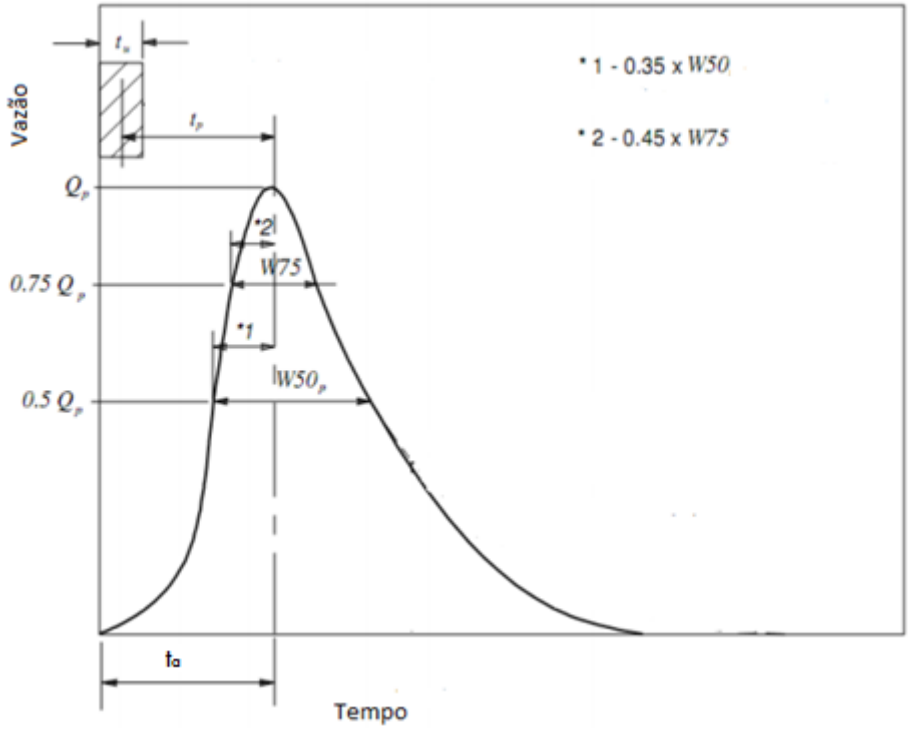

Figura 7: Hidrograma Unitário de CUHP.

Fonte: Tucci *et al*. (2005).

3.6.3. Hidrograma de Cheia

Dispondo-se de um hidrograma unitário para uma bacia hidrográfica e conhecendo-se a precipitação efetiva, pode-se estimar os componentes do hidrograma de cheia que foi produzida por este evento, determinando-se assim, o deflúvio e a vazão de pico. As vazões observadas produzidas pelas precipitações efetivas estão associadas às vazões do hidrograma unitário por meio de um modelo linear, conhecido como convolução, operador matemático que a partir de duas funções produz a terceira (DEG, 2014).

O processo da convolução consiste em uma tabela na qual dispõe na primeira coluna os intervalos de tempo e na segunda coluna as ordenadas do hidrograma unitário. Os valores dos blocos de chuvas excedentes são colocados no topo da tabela. Multiplica-se o primeiro valor da precipitação excedente por todas as unidades do hidrograma unitário presentes na segunda coluna, levando-se os resultados para a terceira coluna. Repete-se o processo com o segundo valor de precipitação excedente, multiplicando-se o mesmo pelas ordenadas do hidrograma

unitário deslocadas de uma unidade de tempo, como mostra a Tabela 7. Repete-se o processo com os demais blocos de chuvas excedentes (CETESB, 1986).

Tabela 7: Matriz de convolução, resultante do escoamento superficial.

	Tempo (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11
	Funçao P (cm)	0,508	1,778	3,56	0,508	0	0	0	0	
Tempo (h)	Função U (m3/s/cm)									Função Q (m3/s)
1	1,11	0,56388								0,56
2	3,57	1,81356	1,97358							3,79
3	5,01	2,54508	6,34746	3,9516						12,84
4	4,12	2,09296	8,90778	12,7092	0,56388					24,27
5	2,79	1,41732	7,32536	17,8356	1,81356	0				28,39
6	1,78	0,90424	4,96062	14,6672	2,54508	0	0			23,08
7	1	0,508	3,16484	9,9324	2,09296	0	0	0	0	15,70
8	0,45	0,2286	1,778	6,3368	1,41732	0	0	0	0	9,76
			0,8001	3,56	0,90424	0	0	0	0	5,26
				1,602	0,508	0	0	0	0	2,11
				0	0,2286	0	0	0	0	0,23
				0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Adaptado de Tomaz (2012).

4. METODOLOGIA

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A análise do impacto da evolução urbanística no sistema de drenagem urbana foi realizada na sub-bacia hidrográfica do Córrego São Gabriel, com área de 37,36 Km², onde se localiza a Sede Municipal de São Gabriel da Palha, na Região Centro-Oeste do estado do Espírito Santo, situada entre os meridianos 40°22' e 40º39' de Longitude Oeste e entre os paralelos 18º50' e 19º03' de Latitude Sul. O município faz divisa ao norte com os municípios de Nova Venécia e São Mateus, a leste com o município de Vila Valério, ao sul com o município de São Domingos do Norte, e a oeste com o município de Águia Branca. Apresenta uma área territorial de cerca de 432 Km². Pertence à Bacia Hidrográfica do rio Doce e às sub-bacias hidrográficas do rio Barra Seca e do rio São José.

Seu relevo pertence ao grupo morfoestrutural das Faixas de Dobramentos Remobilizados que ocupa 51% do estado do Espírito Santo. O primeiro se subdivide nas regiões ocupadas pelos Planaltos da Mantiqueira Setentrional e Piemontes Orientais, sendo a primeira região inserida no município em estudo. Em uma última subdivisão, a unidade geomorfológica dos Patamares Escalonados do Sul Capixaba compõe o município (COELHO *et al*., 2012).

Há uma série de cursos d'água que cortam o município, incluindo córregos e rios, tais como, os Córregos Alegre, Bley, Bom Destino, Dourado, Fartura, General Rondon, Sete de Setembro, São Gabriel, da Lapa, entre outros; e os rios Barra Seca e rio São José.

A Figura 8 representa a localização e o sistema de drenagem da área de estudo, além de destacar principais rios e córregos do município de São Gabriel da Palha, e a localização da estação pluviométrica mais próxima. Essas informações foram obtidas do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES) e da Agência Nacional de Águas (ANA).

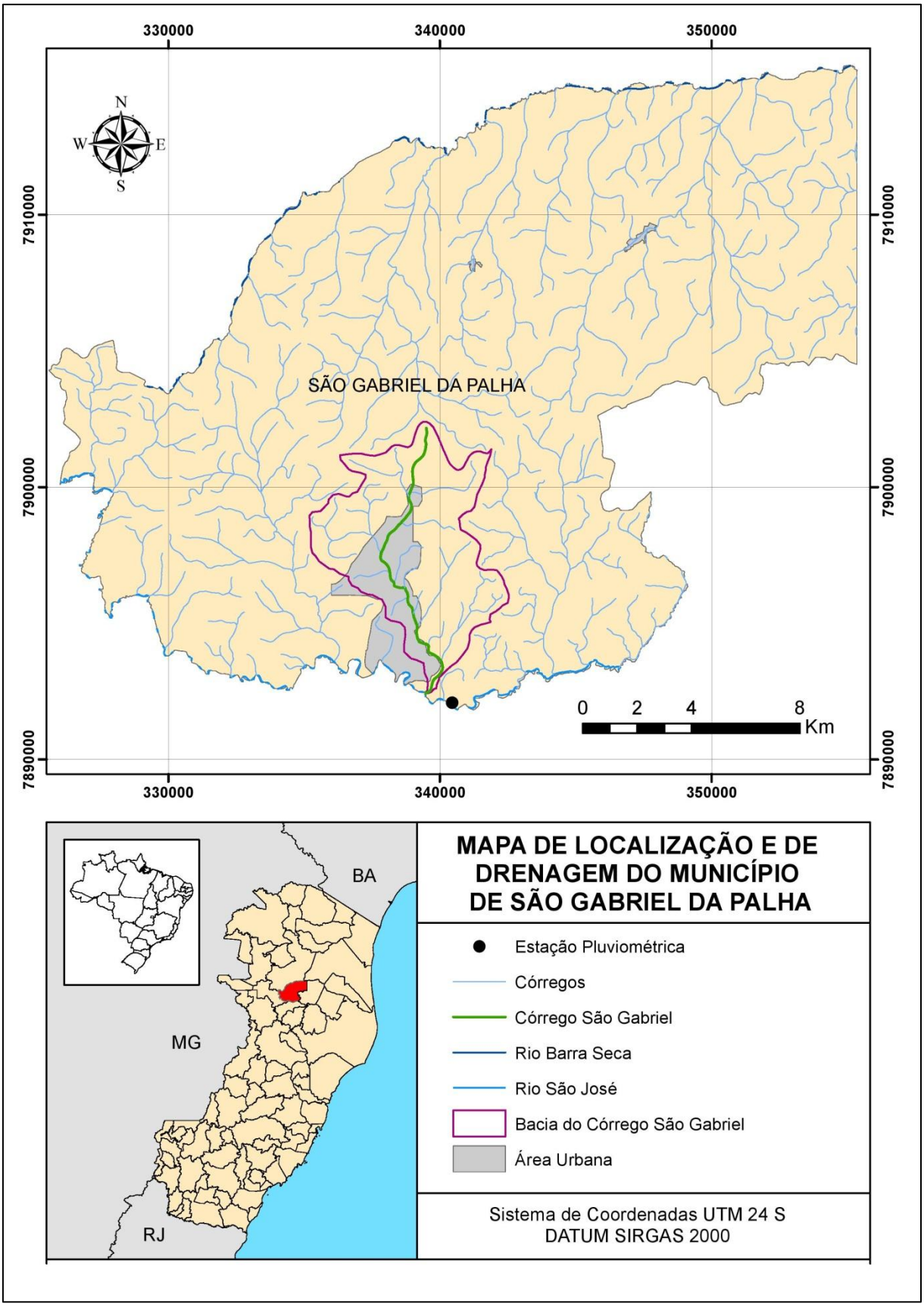

Figura 8: Mapa de Localização e Drenagem da área de estudo.

Atualmente o município de São Gabriel da Palha tem sofrido com problemas de inundação nos meses de elevada precipitação pluviométrica. No mês de dezembro do ano de 2013, a Sede Municipal sofreu com o extravasamento do Córrego São Gabriel. A Figura 9 apresenta algumas áreas de inundações, delimitadas por polígonos de cor azul, apontadas pela Prefeitura Municipal e população local. A lâmina d'água nessas zonas de inundações alcança valores na ordem de 25 a 50 centímetros acima da cota máxima das margens do Córrego São Gabriel.

Figura 9: Zonas de inundação na Sede Municipal de São Gabriel da Palha.
Fonte: *Google Earth* (2014).

A visita de campo realizada no mês de outubro do ano de 2014 registrou a situação do Córrego, conforme as Figuras 10 e 11. Verifica-se falta de esgotamento sanitário, visto os despejos diretos de efluentes domésticos, além do assoreamento acentuado

ao longo das margens, fatores recorrentes da intensificação urbanística ao longo do curso d’água.

Figura 10: Trecho do Córrego São Gabriel no bairro Santa Helena.

Figura 11: Trecho do Córrego São Gabriel no bairro Jardim da Infância.

4.2. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS E HIDROGRÁFICOS

Visto que o presente estudo relaciona-se com o impacto da evolução urbanística de São Gabriel da Palha em seu sistema de drenagem, convém analisar o sistema hidrológico na área urbana do município. Os cursos d'águas que atravessam o perímetro urbano são compostos por pequenos córregos e o Córrego São Gabriel, sendo que estes pertencem a sub-bacia hidrográfica do rio São José. Por esse motivo a área de estudo representa a bacia do Córrego São Gabriel, correspondente a 37,36 Km², a fim de se avaliar as vazões de projeto que alcançam a área urbanizada. Para isto, antes, é necessária a obtenção das características hidrológicas e fisiográficas do local.

As informações pluviométricas foram obtidas por meio da estação de Barra de São Gabriel, código 01940016, instalada no próprio município, mantida pela Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Dessa estação, foram selecionados 36 registros consistidos de precipitações máximas anuais, compreendendo o período entre os anos de 1968 e 2005. Sendo descartados os anos de 1989 e 2003, pois apresentaram falhas de 8 e 12 meses de monitoramento, respectivamente. No ano 1974 não houve monitoramento de precipitação nos meses de junho, julho e agosto, por se tratar de período seco, considerou-se que a precipitação máxima não ocorreu nesses meses e atribui-se o valor de precipitação máxima anual a partir do maior valor encontrado nos demais meses. As precipitações máximas anuais selecionadas estão apresentadas na Tabela 8.

Os aspectos fisiográficos da área de estudo foram obtidos através de *shapefiles* disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e por manipulação das curvas de níveis com resolução espacial de 50 metros provenientes da base de dados do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES), apresentados pelas Figuras 12 e 13. Todos os *shapefiles* foram processados com *software* de geoprocessamento ArcGIS 10 em sua versão ArcMap, desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI).

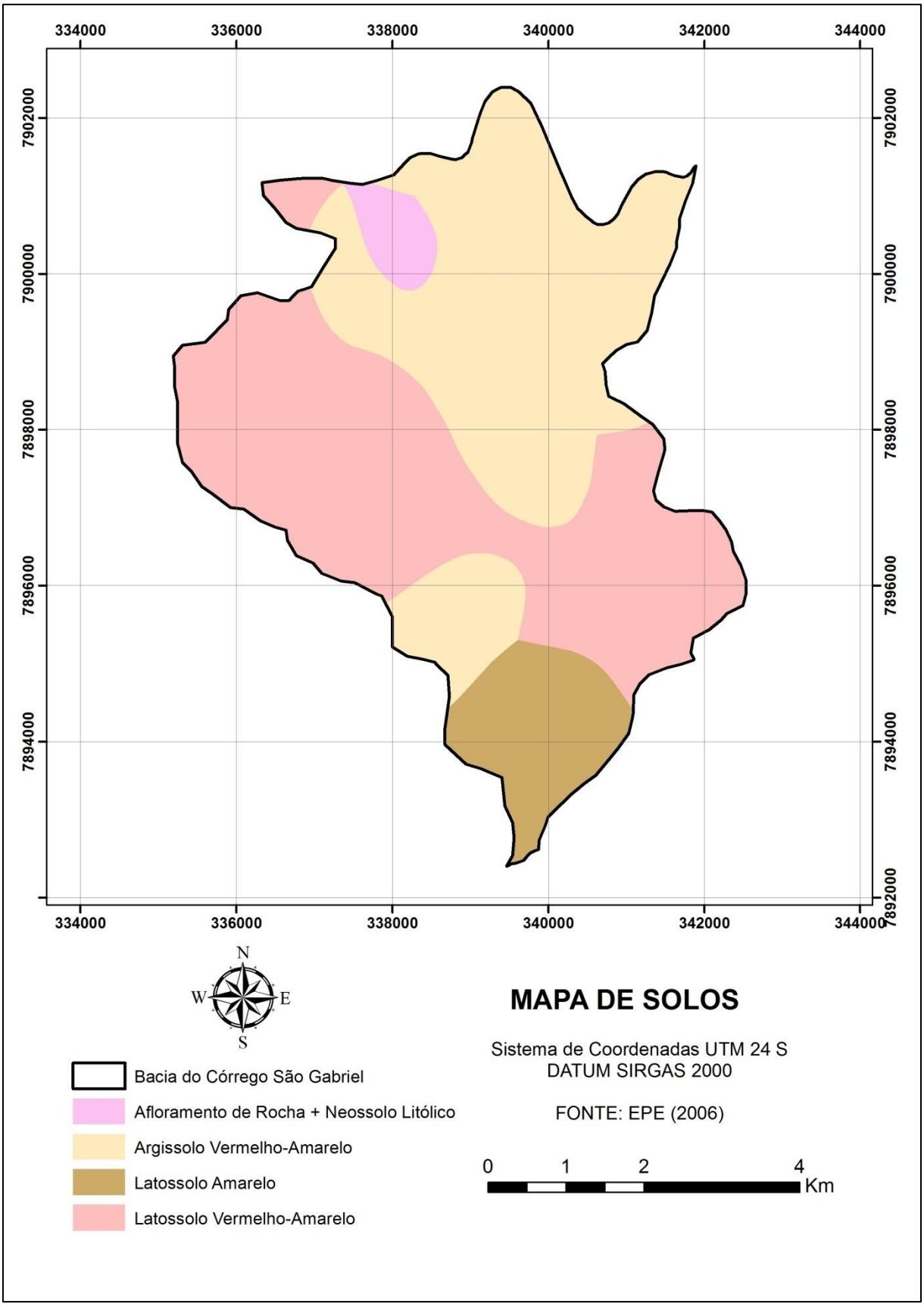

Figura 12: Mapa de tipo de solos da região de estudo.

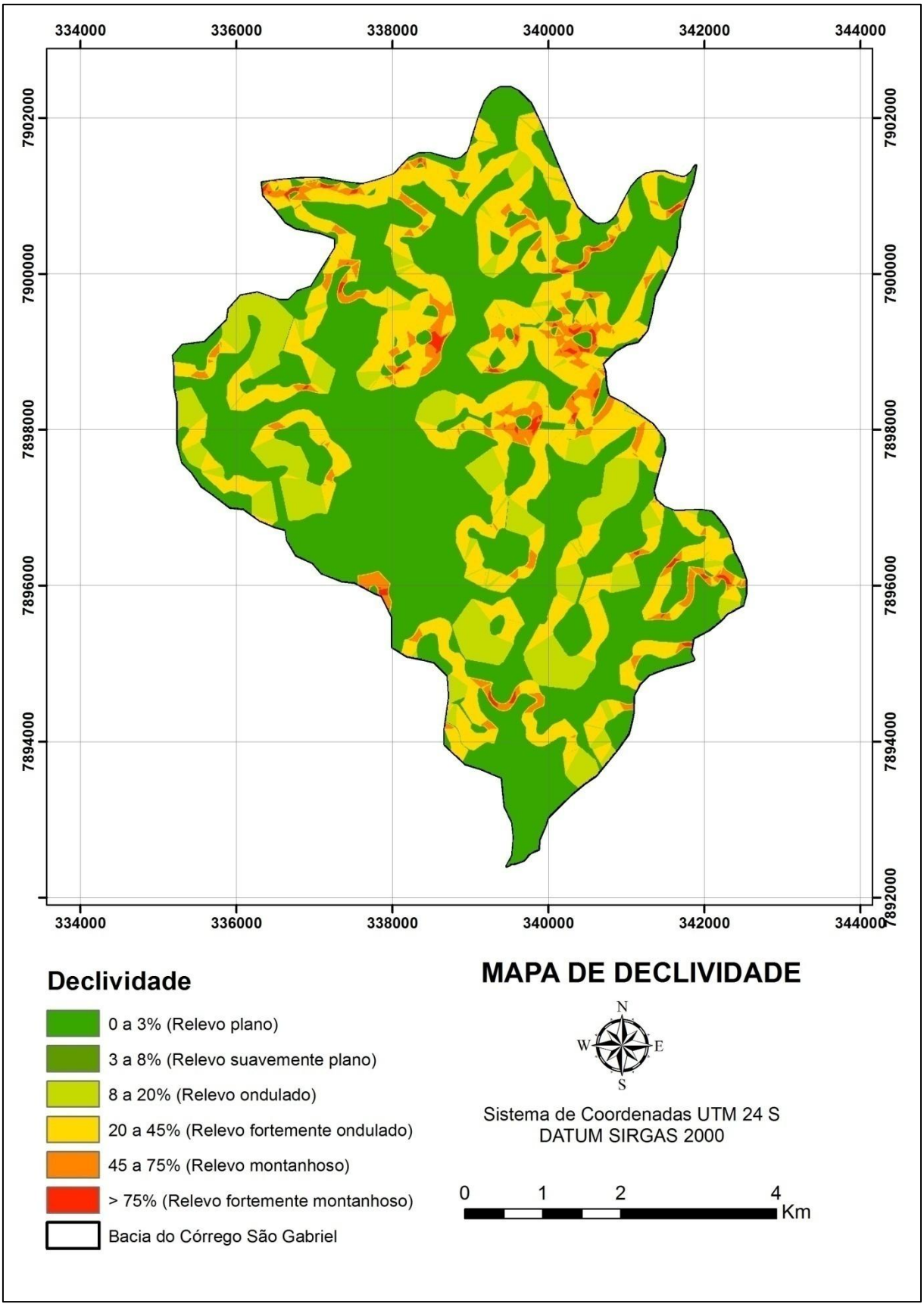

Figura 13: Mapa de declividade.

Tabela 8: Precipitações máximas anuais (mm) da estação de Barra de São Gabriel.

Ano	Precipitação máxima anual (mm)	Ano	Precipitação máxima anual (mm)
1968	76,60	1986	43,80
1969	79,40	1987	43,00
1970	124,00	1988	82,00
1971	57,40	1990	147,20
1972	55,60	1991	78,60
1973	84,00	1992	108,60
1974	64,20	1993	72,40
1975	67,20	1994	70,00
1976	85,40	1995	170,60
1977	90,00	1996	73,00
1978	63,60	1997	75,60
1979	127,00	1998	112,00
1980	122,40	1999	98,00
1981	82,00	2000	100,30
1982	126,80	2001	96,70
1983	94,60	2002	72,40
1984	64,00	2004	111,40
1985	185,60	2005	78,70

4.3. CENÁRIOS AMBIENTAIS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A construção de cenários ambientais ajuda a enfrentar a descontinuidade e as incertezas de futuros desenvolvimentos, assim como antecipar as soluções ou até mesmo evitar os futuros problemas. Para o presente trabalho foram moldados quatro cenários com intuito de se avaliar a influência do crescimento urbano sobre o sistema de drenagem de São Gabriel da Palha.

- Cenário de pré-urbanização: ocupação apenas pela cobertura vegetal e afloramentos rochosos naturais típicos da região, com base em *shapefiles* provenientes do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN).
- Cenário inicial de urbanização: mapa caracterizando a mancha urbana de 1970, através da cobertura aerofotogramétrica produzida pelo IBC/GERCA no Estado do Espírito Santo.

- Cenário atual de urbanização: mapa da área urbana efetiva de 2011 proveniente de *shapefile* do IJSN, juntamente com o *shapefile* mancha urbana disponibilizado pela Prefeitura Municipal de São Gabriel da Palha.
- Cenário futuro de urbanização: ocupação urbana máxima permitida pelo PDM de São Gabriel da Palha, caracterizado pelo perímetro urbano.

Os mapas de uso e ocupação do solo contemplados com a mancha urbana da sub-bacia do Córrego de São Gabriel foram gerados em ambiente SIG, com auxílio do ArcGis 10, desenvolvido pela ESRI.

4.4. DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

4.4.1. Obtenção da Equação de Chuvas Intensas

Para o presente trabalho optou-se pela escolha do Método de Chow-Gumbel para construção da equação de chuvas intensas pelo fato do método utilizar dados pluviométricos locais.

Conforme citado por Goswarni, vários pesquisadores como Bell, Reich, Hershfield, Weiss e Wilson, têm demonstrado que os coeficientes empregados para a conversão de alturas de chuvas com diferentes durações do método de Chow-Gumbel (Tabela 10) verificadas nos Estados Unidos são aplicadas em outras partes do mundo, como por exemplo, África do Sul, Alasca, Hawai, Porto Rico e Austrália, tendo Reich sugerido que as mesmas são aplicáveis em todo o mundo (CETESB, 1986).

As etapas para a obtenção da equação de chuva intensa pelo método de Chow-Gumbel reproduziram o procedimento proposto por CETESB (1986):

- As precipitações máximas anuais foram ordenadas em ordem decrescente e, associou-se a cada valor uma probabilidade (p) de ocorrência e um período de retorno (T).

$$p = \frac{m}{n+1} \tag{12}$$

$$T = \frac{n+1}{m} \tag{13}$$

Sendo m o número de ordem e n o tamanho da série histórica.

- Em seguida foi feito um ajuste da distribuição probabilística de Gumbel, segundo a equação (14).

$$p = 1 - e^{-e^{-y}} \tag{14}$$

Onde y é variável reduzida que pode ser obtida pela equação (15).

$$y = -\ln[-\ln(1-p)] \tag{15}$$

- Calcularam-se os valores da variável auxiliar K, por meio da expressão (16).

$$K = \frac{y - \bar{y}}{S_y} \tag{16}$$

Sendo $\bar{y}$ e S_y a média aritmética e desvio padrão da variável reduzida, respectivamente, obtidos pela Tabela 7.

- Interpolaram-se os valores de K com os diferentes períodos de retorno (T), com intuito de encontrar os valores da variável K para cada período de retorno desejado. A partir desses valores, foram encontradas as precipitações P (mm) de um dia de duração, a partir da equação (17).

$$P = \bar{x} + KS_x \tag{17}$$

Onde $\bar{x}$ e S_x são a média aritmética e o desvio padrão das precipitações máximas anuais, de um dia de duração, respectivamente.

- Calcularam-se as alturas pluviométricas (mm), para diferentes durações e períodos de retorno, obtidas de CETESB (1986), segundo Tabelas 10 e 11.

Tabela 9: Média aritmética e desvio padrão da variável reduzida y.

n	$\bar{y}$	S_y	n	$\bar{y}$	S_y	n	$\bar{y}$	S_y
10	0,4952	0,9496	24	0,5296	1,0865	38	0,5424	1,1365
11	0,4996	0,9676	25	0,5309	1,0914	39	0,543	1,129
12	0,5035	0,9833	26	0,5321	1,0961	40	0,5436	1,1413
13	0,507	0,9971	27	0,5332	1,1005	41	0,5442	1,1436
14	0,51	1,0095	28	0,5343	1,1147	42	0,5448	1,1458
15	0,5128	1,0206	29	0,5353	1,1086	43	0,5453	1,1479
16	0,5154	1,0306	30	0,5362	1,1124	44	0,5458	1,1499
17	0,5177	1,0397	31	0,5371	1,1159	45	0,5463	1,1518
18	0,5198	1,0481	32	0,538	1,1193	46	0,5468	1,1537
19	0,5217	1,0557	33	0,5388	1,1225	47	0,5472	1,1555
20	0,5236	1,0628	34	0,5396	1,1256	48	0,5477	1,1573
21	0,5252	1,0694	35	0,5403	1,1285	49	0,5481	1,159
22	0,5268	1,0755	36	0,5411	1,1313	50	0,5485	1,1607
23	0,5282	1,0812	37	0,5417	1,1339			

Fonte: Adaptado de Villela & Mattos (1975).

Tabela 10: Relações entre as alturas pluviométricas, obtidas em CETESB (1986).

Relações entre as alturas pluviométricas, para diferentes durações	Valores encontrados pelo DNOS
5min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/3min	0,7
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/1h	0,74
1h/24h	0,42
6h/24h	0,72
8h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12h/24h	0,85

Tabela 11: Relações entre as alturas pluviométricas de 24h e de 1 dia de duração, obtidas em CETESB (1986).

Período de retorno (anos)	5	10	25	50	75	100
Relação entre as alturas pluviométricas para chuvas máximas de 24h e 1 dia de duração	1,13	1,13	1,14	1,15	1,14	1,15

- A partir dos valores de alturas pluviométricas e durações foram estimadas, para cada período de retorno desejado, as intensidades de chuva. A partir do programa Solver (programa que permite o emprego da Programação Não Linear, disponível na planilha eletrônica Excel), foram determinadas as equações de chuvas intensas, na forma estabelecida pela equação (18).

$$I = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \tag{18}$$

Onde K, a, b, c são parâmetros a serem determinados para cada região, onde T o período de retorno (anos) e t a duração da chuva (minutos).

4.4.2. Obtenção do CN-SCS

O escoamento superficial pelo método SCS, para o presente estudo, foi calculado por meio da atribuição do tipo de solo da sub-bacia e das condições de uso e ocupação do solo em cada cenário ambiental. As condições de umidade antecedente da bacia podem ser de três formas:

- Condição I: situação na qual os solos da bacia estão secos, porém não até o ponto de murchamento das plantas;
- Condição II: situação média das condições dos solos das bacias que precederam a ocorrência de cheia máxima anual em numerosas bacias.
- Condição III: chuva intensa nos 5 dias anteriores a tormenta, e o solo está quase saturado.

Segundo Tucci (2004), os solos brasileiros podem ser classificados em quatro grupos, de acordo com sua capacidade de infiltração e geologia:

- Solo A: produz baixo escoamento superficial e alta infiltração. São solos arenosos profundos com pouco silte e argila;
- Solo B: menos permeáveis do que o A. São solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média;
- Solo C: geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila, pouco profundo;
- Solo D: contém argilas expansivas e pouco profundas com muito baixa capacidade de infiltração, gerando maior proporção de escoamento superficial.

Por meio do Quadro 3 é possível enquadrar os solos em classes de grupo hidrológico. A partir do enquadramento, define-se a taxa de infiltração mínima do solo através da Tabela 12.

Quadro 3: Enquadramento das atuais classes gerais de solo nos grupos hidrológicos de solo A, B, C e D.

Grupo hidrológico do solo	Classes Gerais de solo
A	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 de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso;
B	LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZÊNICO; ARGILOSSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa, argilosa/muito argilosa, que não apresentam mudança textural abrupta;
C	ARGILOSSOLOS pouco profundos, mas não apresentando mudança. textural abrupta ou ARGILOSSOLO VERMELHO, ARGILOSO; VERMELHO AMARELO e ARGILOSSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS; ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO;
D	NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no grupo C; ARGILOSSOLO VERMELHO AMARELO e ARGILOSO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Fonte: Tucci (2004).

Tabela 12: Valores da taxa de infiltração mínima usadas na identificação do grupo hidrológico do solo.

Grupo hidrológico do solo	Taxa de Infiltração mínima (mm/h)
A	7,6 - 11,4
B	3,8 - 7,6
C	1,3 - 3,8
D	0 - 1,3

Fonte: McCuen (1982).

Para o tipo de solo, da área em estudo, e para cada cenário de uso e ocupação do solo foram atribuídos parâmetros CN, que variam de 0 a 100, a fim de representar a capacidade máxima de infiltração do solo da bacia. Tucci (2004) apresenta diversos valores de CN para bacia urbanas e suburbanas (Tabela 13) e rurais (Tabela 14), para a condição III de umidade antecedente. A partir dessa atribuição, calculou-se a média ponderada dos valores de CN para a área de abrangência, encontrando-se o CN correspondente à área de estudo.

Tabela 13: Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.

Uso e ocupação do solo		**Tipos de solo**			
		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:	Em más condições	68	79	86	89
	Em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais:	Cobertura ruim	45	66	77	83
	Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios (em boas condições):					
	Com relva mais de 75% de área	39	61	74	80
	Com relva 50 a 75% de área	49	69	79	84
Zonas comerciais, escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais:					
Tamanho do lote (m²)	% média impermeável				
Até 500 m²	65%	77	85	90	92
500 a 1000 m²	38%	61	75	83	87
1000 a 1300 m²	30%	57	72	81	86
1300 a 2000 m²	25%	54	70	80	85
2000 a 4000 m²	20%	51	68	79	84
Estacionamentos pavimentados, viadutos, telhados, etc.					
Ruas e estradas:					
	Asfaltadas com drenagem fluvial	98	98	98	98
	Pavimentadas de paralelepípedos	76	85	89	91
	De terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci (2004).

Tabela 14: Valores de CN para bacias rurais.

Uso e ocupação do solo		Tipos de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
	Em curva de Nível	67	77	83	87
Plantações regulares	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
	Em curva de Nível	62	74	82	85
Plantações de Cereais	Terraceamento em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
	Em curva de Nível	60	72	81	84
Plantações de legumes	Terraceamento em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curva de nível	47	67	81	88
	Normais, em curva de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
Chácaras e estradas de terra	Esparsas, de baixa respiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta respiração	25	55	70	77
	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
Florestas	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Tucci (2004).

4.4.3. Obtenção das Chuvas Excedentes

As chuvas excedentes foram obtidas a partir do hietograma de precipitação, que será obtido pelo método de Huff, por apresentar a mesma configuração do hidrograma unitário curvilíneo.

O primeiro passo é a escolha da distribuição de Huff, sendo recomendado o seguinte (TOMAZ, 2012):

- Primeiro quartil para chuvas menores ou iguais a 6 horas;
- Segundo quartil para chuvas de 6,1 a 12 horas;
- Terceiro quartil para chuvas entre 12,1 e 24 horas;
- Quarto quartil para chuvas maiores que 24 horas.

As curvas acumuladas adimensionais de Huff para os quartis I, II, III e IV estão na Tabela 15 (WESTPHAL, 2001 apud TOMAZ, 2012).

Tabela 15: Curvas acumuladas de Huff para os quartis I, II, III e IV.

% Duração Chuva	**% Chuva acumulada**			
	QI	QII	QIII	QIV
0	0	0	0	0
5	16	3	3	2
10	33	8	6	5
15	43	12	9	8
20	52	16	12	10
25	60	22	15	13
30	66	29	19	16
35	71	39	23	19
40	75	51	27	22
45	79	62	32	25
50	82	70	38	28
55	84	76	45	32
60	86	81	57	35
65	88	85	70	39
70	90	88	79	45
75	92	91	85	51
80	94	93	89	59
85	96	95	92	72
90	97	97	95	84
95	98	98	97	92
100	100	100	100	100

Fonte: Adaptado de Tomaz (2012).

Após escolha do quartil, calcula-se a intensidade de chuva a partir da equação de chuvas intensas, multiplicando-se essa intensidade pela duração do evento e pelos valores da % chuva acumulada da Tabela 15.

A partir dos valores de intensidade de precipitação, em cada intervalo de tempo, obtém-se a precipitação excedente no solo com auxílio da equação (19).

$$P_c = \frac{(P - 0{,}2S)^2}{P + 0{,}8S} - 254, \qquad P_c > 0{,}2S \tag{19}$$

Sendo P a altura pluviométrica total resultante do evento de chuva (mm); S representa a capacidade máxima de armazenamento de água no solo (mm), estimada pela equação (20).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{20}$$

Onde CN é o número de curva do escoamento (adimensional), atribuído de acordo com as Tabelas 13 e 14.

4.4.4. Determinação da vazão de projeto pelo método SCS

4.4.4.1. Hidrograma Unitário Sintético

A vazão de projeto, ou seja, o escoamento superficial pelo método SCS é obtida pela equação (21).

$$Q_p = 2{,}08\frac{A}{t_a} \tag{21}$$

Onde, Q_p é a vazão de pico (m^3/s), A é a área da bacia (Km^2) e t_a é o tempo de ascensão do hidrograma unitário (horas). As variáveis da equação foram obtidas da seguinte forma:

- A área da bacia é obtida por ferramentas do *software* ArcGis 10.
- O tempo de ascensão do hidrograma unitário pelo uso da expressão (22).

$$t_a = t_r + \frac{D}{2} \tag{22}$$

Sendo, D a duração da chuva unitária (horas), e t_r o tempo de retardo (horas).

$$D = 0{,}133t_c \tag{23}$$

$$t_r = 0{,}6t_c \tag{24}$$

Onde, t_c é o tempo de concentração calculado por equações presentes na Tabela 3 de acordo com a área de estudo. Para bacias maiores que 8 Km², como a bacia hidrográfica deste estudo, o SCS sugere que se calcule o tempo de concentração pelo método cinemático.

Segundo McCuen (1998), o hidrograma unitário sintético do SCS pode ser triangular e curvilíneo. O curvilíneo apresenta maior precisão e melhores resultados que o triangular. O hidrograma curvilíneo é a função Gamma que foi adotada pelo SCS por meio da equação (25).

$$\frac{Q}{Q_p} = \left[\frac{t}{t_r} e^{\left(1-\frac{t}{t_r}\right)}\right]^x \tag{25}$$

$$X = 0{,}8679 * e^{(0{,}00353PF)} - 1 \tag{26}$$

Sendo PF o fator de pico, normalmente adotado um valor igual a 484, resultando em X igual a 3,79. A partir da equação (25), McCuen obteve o hidrograma unitário curvilíneo adimensional, conforme Tabela 16.

Tabela 16: Hidrograma unitário curvilíneo do SCS conforme McCuen (1998).

t/t_r	Q/Qp	t/t_r	Q/Qp	t/t_r	Q/Qp
0,000	0,000	1,100	0,990	2,400	0,147
0,100	0,030	1,200	0,930	2,600	0,107
0,200	0,100	1,300	0,860	2,800	0,077
0,300	0,190	1,400	0,780	3,000	0,055
0,400	0,310	1,500	0,680	3,200	0,040
0,500	0,470	1,600	0,560	3,400	0,029
0,600	0,660	1,700	0,460	3,600	0,021
0,700	0,820	1,800	0,390	3,800	0,015
0,800	0,930	1,900	0,330	4,000	0,011
0,900	0,990	2,000	0,280	4,500	0,005
1,000	1,000	2,200	0,207	5,000	0,000

A partir do hidrograma unitário curvilíneo adimensional é possível obter o hidrograma unitário juntamente com os valores da vazão de pico e tempo de retardamento, obtidos pelas equações (21) e (24), respectivamente.

4.4.4.2. Hidrograma de Cheia

O hidrograma de cheia é obtido pelo processo da convolução, que segundo McCuen (1998) é um processo segundo o qual a chuva de projeto é combinada com a função de transferência para produzir o hidrograma do escoamento superficial. Dessa forma, o hidrograma unitário em cada intervalo de tempo é multiplicado pela chuva excedente no tempo especificado. Somam-se os produtos encontrados em cada intervalo de tempo, obtém-se o hidrograma de cheia e encontra-se a vazão máxima devido ao escoamento superficial.

4.4.5. Determinação da vazão de projeto pelo método CUHP

4.4.5.1. Hidrograma Unitário Sintético

A vazão de pico é determinada a partir da equação (27) segundo o método CUHP.

$$Q_p = q_p * A \tag{27}$$

Onde, Q_p é a vazão de pico (m³/s), A é a área da bacia (Km²) e q_p é a vazão de pico por unidade de área (m³/s.Km²) obtida pela equação (28).

$$q_p = 2{,}75 * \frac{C_p}{t_p} \tag{28}$$

Sendo C_p o coeficiente da capacidade de armazenamento da bacia, obtido pela equação (29).

$$C_p = 0{,}867 * P * C_t * A_i^{0{,}15} \tag{29}$$

Onde P, o fator de pico determinado em função da área impermeável (A_i) através do gráfico apresentado pela Figura 14 ou pela Tabela 17 junto com a equação (30).

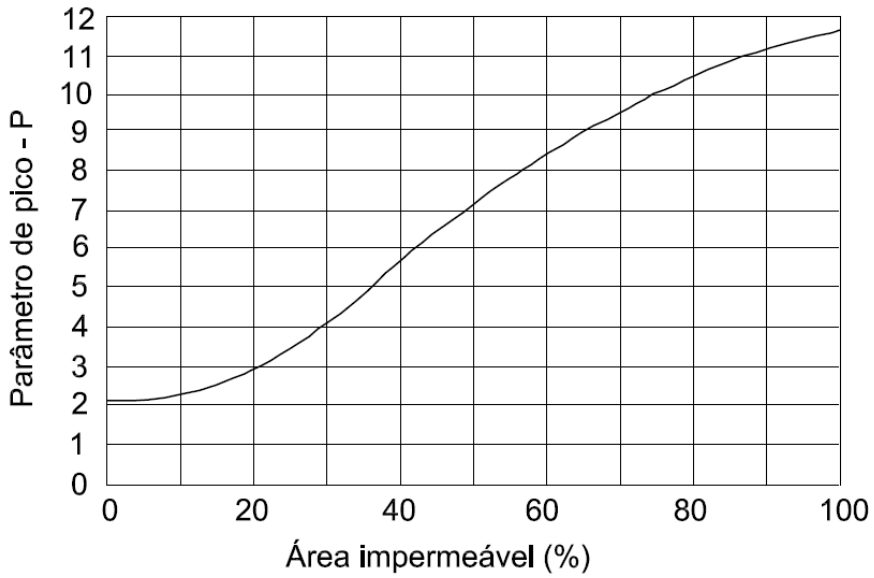

Figura 14: Determinação do fator de pico.

Fonte: Tucci (1995).

Tabela 17: Coeficientes da função da área impermeável.

Área Impermeável (%)	**a**	**b**	**c**	**d**	**e**	**f**
$A_i < 10$	0,0	-0,00371	0,163	0,00245	-0,012	2,16
$10 \leq A_i \leq 40$	0,000023	-0,00224	0,146	0,00245	-0,012	2,16
$A_i > 40$	0,0000033	-0,000801	0,120	-0,00091	0,228	-2,06

Fonte: Nicklow at al (2006).

$$P = dA_i^2 + eA_i = f \tag{30}$$

O coeficiente da porcentagem de impermeabilização da bacia (C_t) é obtido diretamente pelo gráfico representado pela Figura 15.

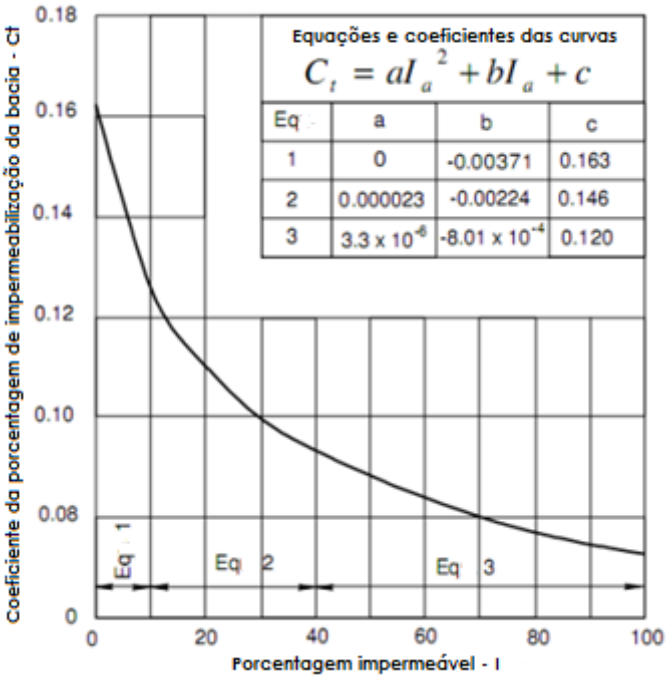

Figura 15: Determinação de C_t.

Fonte: Adaptado de Tucci *et al*. (2005).

O tempo de pico (t_p), em horas, é obtido pela equação (31).

$$t_p = 0{,}637 C_t \left[\frac{L L_{CG}}{\sqrt{S}}\right]^{0{,}48} \tag{31}$$

Os parâmetros morfológicos da bacia, como o comprimento do talvegue (L) em Km, o comprimento do centro de gravidade da bacia até a seção de controle (L_{CG}), em Km, são obtidos por ferramentas do *software* ArcGis 10. O mesmo procedimento é feito com a declividade (S), em m/m, acrescentando-se a segmentação do talvegue em comprimentos (L_i), de declividade uniforme (S_i), pela expressão (32).

$$S = \left[\frac{L_1 S_1^{0{,}24} + L_2 S_2^{0{,}24} + \cdots L_n S_n^{0{,}24}}{L_1 + L_2 + \cdots L_n}\right]^{4{,}17} \tag{32}$$

A duração da chuva unitária (D), em horas, é dada pela equação (33).

$$\mathrm{D} = \frac{t_p}{3} \tag{33}$$

O tempo de ascensão (t_a), em horas, do hidrograma é obtido por:

$$t_a = t_p + \frac{D}{2} \tag{34}$$

Para a construção do hidrograma, conforme recomendações do CUHP, calcula-se $W_{50\%}$ e $W_{75\%}$ que são, respectivamente as larguras do hidrograma, em horas, a 50% e a 75% da vazão de pico.

$$W_{50\%} = \frac{2{,}15}{q_p} \tag{35}$$

$$W_{75\%} = \frac{1{,}12}{q_p} \tag{36}$$

Para distribuir essas larguras, CUHP propõe que 35% da largura $W_{50\%}$ fique à esquerda desse instante, e 65% à direita. Com relação ao $W_{75\%}$, esses valores correspondem, respectivamente, a 45% e 55%. Os parâmetros m e n definem essas posições, segundo as equações (37) e (38).

$$m = 0{,}35W_{50\%} \tag{37}$$

$$n = 0{,}45W_{75\%} \tag{38}$$

4.4.5.2. Hidrograma de Cheia

O hidrograma de cheia é obtido pelo processo da convolução, descrito pelo item 4.4.2.4. Neste caso utiliza-se as chuvas excedentes descritas pelo item 4.4.2.2.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DIAGNÓSTICO TEMPORAL DOS CENÁRIOS AMBIENTAIS

A manipulação dos *shapefiles* de uso e ocupação do solo, da mancha urbana e da cobertura aerofotogramétrica resultou nos cenários ambientais da evolução temporal urbanística, representados pela Figura 17. Ressalva-se que, o cenário da pré-urbanização considerou a área territorial da bacia composta por florestas e afloramentos rochosos naturais, o cenário inicial representa a mancha urbana no ano de 1970, o cenário atual é representado pelo uso e ocupação do solo de 2011 e o cenário futuro relaciona-se à área de expansão permitida pelo PDM do município de São Gabriel da Palha.

Observa-se uma crescente e acelerada taxa de urbanização, visto que a taxa de crescimento da mancha urbana do cenário inicial para o atual foi de 630,93% e o atual para o futuro prevê uma projeção de 34,69%. A evolução temporal das áreas de impermeabilização, segundo os cenários ambientes propostos, é demonstrada pela Figura 16.

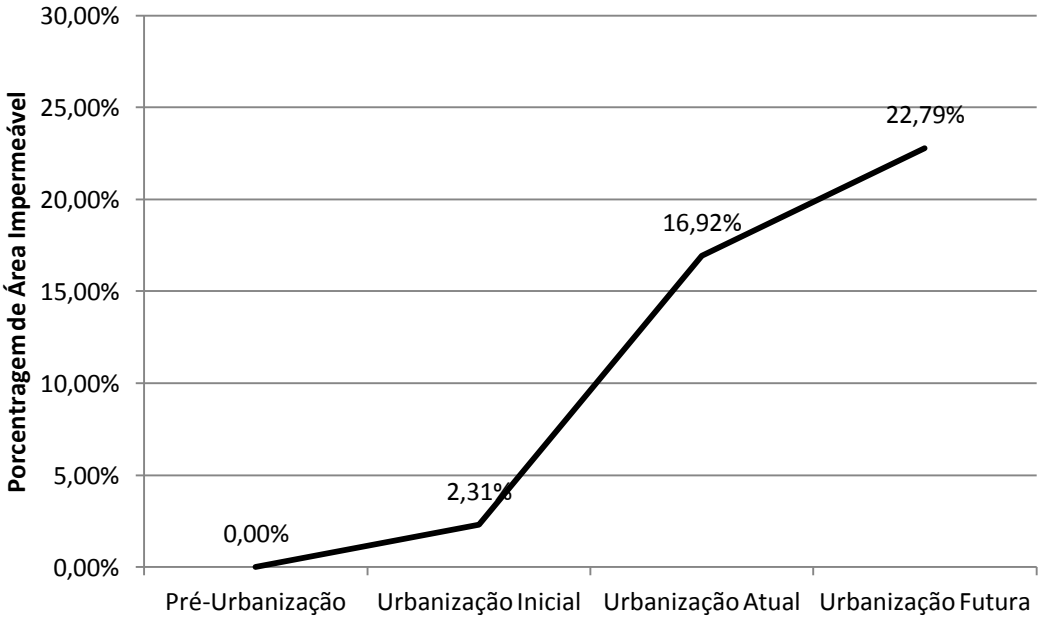

Figura 16: Evolução da área impermeável ao longo dos cenários ambientais de urbanização.

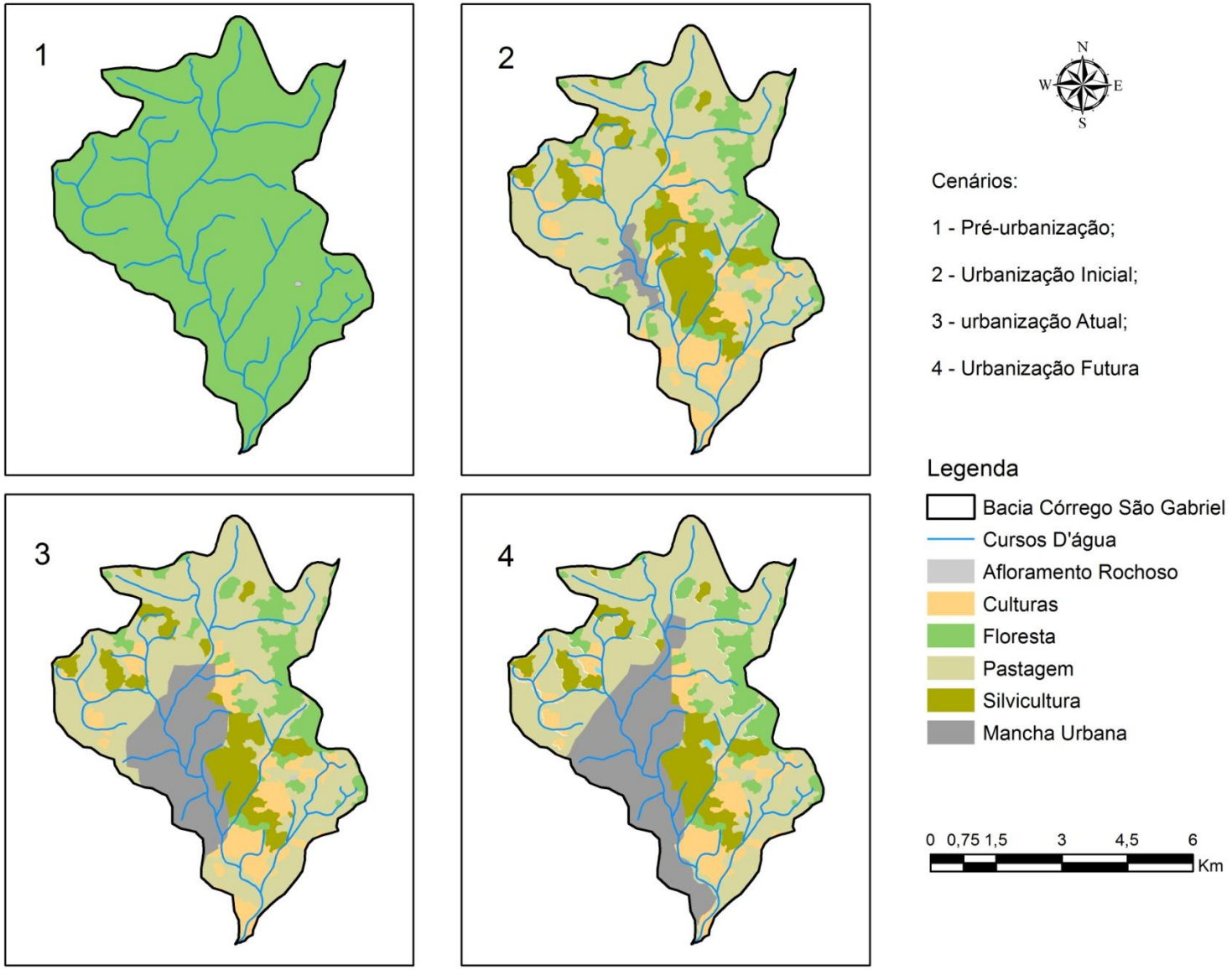

Figura 17: Cenários ambientais contemplando a evolução temporal da mancha urbana na bacia hidrográfica do Córrego São Gabriel.

5.2. OBTENÇÃO DAS CHUVAS EXCEDENTES

Os dados de entrada hidrológicos e morfológicos, necessários à obtenção das chuvas excedentes de cada cenário ambiental, constam de: equação de chuvas intensas; tempo de concentração; período de retorno; e número da curva CN que representa o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo.

O ponto de partida resultou na construção da relação intensidade-duração-frequência da estação pluviométrica de Barra de São Gabriel, representada pela equação (39).

$$I = \frac{16{,}692T^{0{,}185}}{(t + 11{,}142)^{0{,}746}} \tag{39}$$

Onde, I representa a intensidade (mm/minuto), T é o período de retorno (anos) e t corresponde a duração da chuva (minutos).

Os tempos de concentração, em minutos, estimados pelo método cinemático para cada cenário, consideraram a divisão da bacia hidrográfica do Córrego São Gabriel em 9 sub-bacias nas quais suas características fisiográficas são apresentadas na Tabela 18; a representação espacial das sub-bacias, por sua vez, é apresentada na Figura 18.

Tabela 18: Características fisiográficas das sub-bacias da bacia do Córrego São Gabriel.

Sub-bacia	Área (Km²)	Declividade (%)	Comprimento do talvegue (Km)
1	0,840	1,551	1,429
2	4,680	2,273	4,039
3	2,170	2,242	1,830
4	4,060	2,529	3,753
5	6,260	1,789	3,272
6	6,130	2,645	2,610
7	7,130	2,224	4,129
8	3,800	2,495	3,368
9	2,290	2,439	2,607

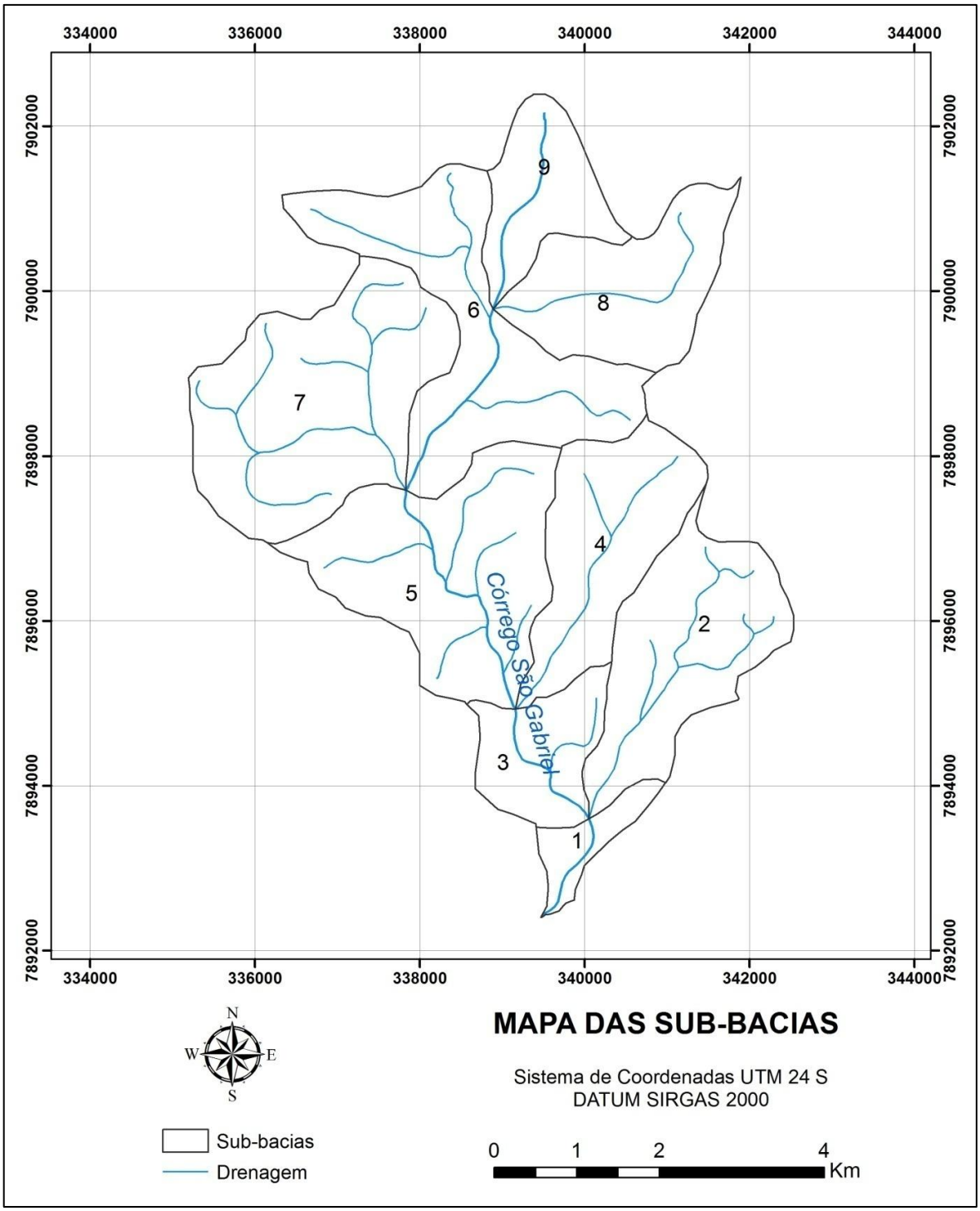

Figura 18: Mapa hidrológico das sub-bacias inseridas na bacia hidrográfica do Córrego São Gabriel.

A Figura 19 apresenta um gráfico comparativo dos tempos de concentração, para cada cenário ambiental, calculados pelas fórmulas empíricas dos métodos Cinemático, DNOS e SCS Lag, escolhidos de forma que seus parâmetros de entrada utilizassem variáveis relacionados ao uso e ocupação do solo, visto o foco do estudo.

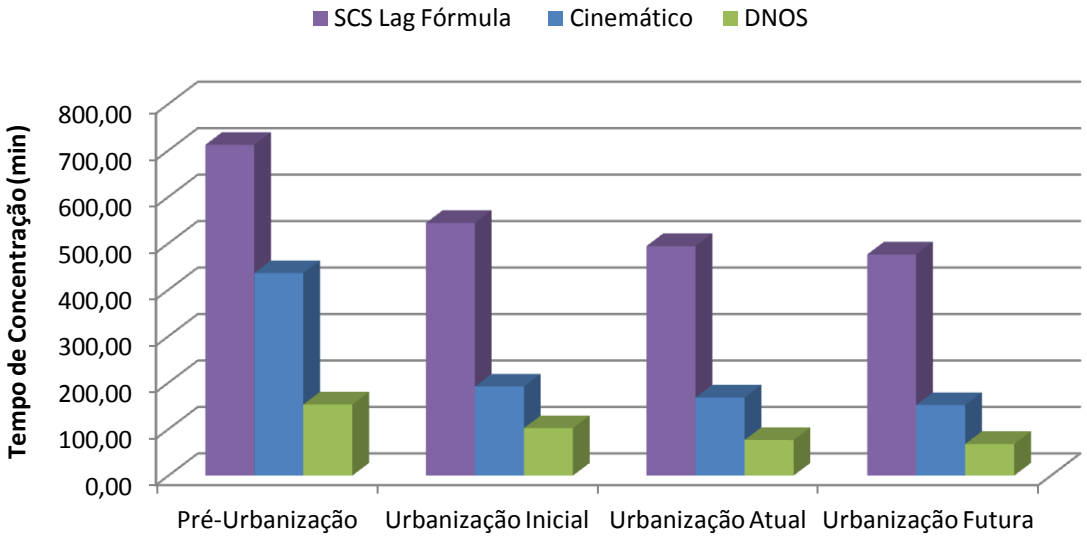

Figura 19: Resultado dos tempos de concentração obtidos por diferentes métodos.

A diferença de valores entre os métodos relaciona-se as faixas de aplicação de cada um a partir de estudos experimentais específicos e, função da disparidade dos resultados pode ser relativamente grande, devem ser utilizados em condições semelhantes àquelas para quais foram desenvolvidos.

O método SCS Lag Fórmula considera o CN como representação do uso e ocupação do solo, e por ter sido desenvolvido a partir de bacias rurais com áreas de drenagem de até 8 km² (SCS, 1972), não é considerável para a bacia hidrográfica em estudo, devido suas dimensões. A Tabela 5 do método DNOS apresenta características de tipo e uso do solo muito generalizadas, tornando a análise e subjetiva, tendendo a erros na estimativa do tempo de concentração.

Sendo assim, o que melhor se adequa ao estudo de caso é o método cinemático, método que, além de ser recomendado por Tucci (1995), emprega parâmetros que melhor caracterizam os aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica.

A partir dos valores dos tempos de concentração de cada cenário, obtidos pelo método cinemático, foram adotadas as durações dos eventos de chuva de cada cenário, sendo estas maiores que o tempo de concentração do cenário que apresentou o maior valor, de forma a garantir que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial em todos os cenários. Os valores dos tempos de concentração e a duração do evento de chuva adotada encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19: Tempo de concentração para cada cenário ambiental.

Cenário	Tempo de concentração (min)	Duração do evento de chuva (min)
Pré-urbanização	435,78	440,00
Inicial	191,62	440,00
Atual	167,90	440,00
Futuro	151,71	440,00

As Tabelas 20 a 23 apresentam os usos e ocupações do solo da região de estudo, correlacionando com o tipo de solo, a área territorial e o valor do número da curva CN do SCS. Essas informações serviram de base para estimativa do valor de CN para cada cenário ambiental.

Tabela 20: Estimativa do valor de CN para o cenário da pré-urbanização.

Tipo de Solo	Classificação do Solo	Uso e Ocupação do Solo	Área (Km²)	% da Área	CN
Latossolo vermelho-amarelo, Latossolo amarelo	A	Floresta	20,368	54,52	36
Neossolo vermelho-amarelo e Argissolo vermelho amarelo	B	Floresta	16,971	45,43	60
Afloramento Rochoso	C	Afloramento Rochoso	0,017	0,05	87
			Média Ponderada		46,93

Tabela 21: Estimativa do valor de CN para o cenário inicial.

Tipo de Solo	Classificação do Solo	Uso e Ocupação do Solo	Área (Km²)	% da Área	CN
Latossolo vermelho-amarelo, Latossolo amarelo	A	Floresta	1,719	4,60%	36
		Cultura	3,611	9,67%	64
		Pastagem	11,417	30,56%	47
		Mancha urbana	0,733	1,96%	72
		Silvicultura	2,888	7,73%	46
Neossolo vermelho-amarelo e Argissolo vermelho amarelo	B	Floresta	2,571	6,88%	60
		Cultura	1,072	2,87%	76
		Pastagem	10,934	29,27%	67
		Mancha urbana	0,132	0,35%	82
		Silvicultura	2,261	6,05%	68
Afloramento Rochoso	C	Afloramento Rochoso	0,017	0,05	87
			Média Ponderada		57,54

Tabela 22: Estimativa do valor de CN para o cenário atual.

Tipo de Solo	Classificação do Solo	Uso e Ocupação do Solo	Área (Km²)	% da Área	CN
Latossolo vermelho-amarelo, Latossolo amarelo	A	Floresta	1,390	3,72	36
		Cultura	3,486	9,33	64
		Pastagem	9,131	24,44	47
		Mancha urbana	3,997	10,70	77
		Silvicultura	2,363	6,33	46
Neossolo vermelho-amarelo e Argissolo vermelho amarelo	B	Floresta	2,413	6,46	60
		Cultura	0,759	2,03	76
		Pastagem	9,652	25,84	67
		Mancha urbana	2,323	6,22	85
		Silvicultura	1,824	4,88	68
Afloramento Rochoso	C	Afloramento Rochoso	0,017	0,05	87
			Média Ponderada		61,33

Tabela 23: Estimativa do valor de CN para o cenário futuro.

Tipo de Solo	Classificação do Solo	Uso e Ocupação do Solo	Área (Km²)	% da Área	CN
Latossolo vermelho-amarelo, Latossolo amarelo	A	Floresta	1,390	3,72	36
		Cultura	3,191	8,54	64
		Pastagem	7,753	20,75	47
		Mancha urbana	5,635	15,08	77
		Silvicultura	2,363	6,32	46
Neossolo vermelho-amarelo e Argissolo vermelho amarelo	B	Floresta	2,408	6,45	60
		Cultura	0,769	2,06	76
		Pastagem	9,205	24,64	67
		Mancha urbana	2,877	7,70	85
		Silvicultura	1,752	4,69	68
Afloramento Rochoso	C	Afloramento Rochoso	0,017	0,05	87
			Média Ponderada		62,80

Existem dificuldades em atribuir valores de CN para a área de estudo, apesar de existirem tabelas disponíveis na literatura, estas não apresentam todas as classes de uso e tipos de solo. Para a aplicação do método, foram realizadas adaptações, procedimento que pode aumentar os erros da estimativa de vazão.

As apropriações das precipitações excedentes envolveram a discretização da duração do evento chuva em intervalos de 10 minutos, mesmo valor que o adotado para a duração da chuva unitária, para todos os cenários e a partir da construção hietograma de precipitação conforme Huff 2º quartil, visto que a duração da chuva adotada (440 minutos) se encontra na faixa de 6,1 a 12 horas. As chuvas excedentes foram obtidas a partir das alturas de chuva de 104, 118 e 139 mm para períodos de retorno correspondentes a 5, 10 e 25 anos, respectivamente.

As precipitações excedentes obtidas em cada cenário e respectivas alturas de chuvas relacionadas a diferentes períodos de retorno estão presentes na Tabela 24.

Tabela 24: Chuvas excedentes para cada cenário e para os diferentes períodos de retorno.

Cenários		**Altura de chuva excedente (mm)**
Período de Retorno = 5 anos	Pré-urbanização	0,75
	Urbanização Inicial	5,51
	Urbanização Atual	8,16
	Urbanização Futura	9,32
Período de Retorno = 10 anos	Pré-urbanização	1,99
	Urbanização Inicial	8,69
	Urbanização Atual	12,05
	Urbanização Futura	13,49
Período de Retorno = 25 anos	Pré-urbanização	4,93
	Urbanização Inicial	14,61
	Urbanização Atual	19,06
	Urbanização Futura	20,92

5.3. VAZÃO DE PROJETO OBTIDA PELO MÉTODO SCS

A obtenção do hidrograma unitário do SCS requer como parâmetros de entrada a área da bacia hidrográfica (Km²) e o tempo de concentração (horas), sendo o último responsável pela variação da forma dos hidrogramas de acordo com o uso do solo da bacia, visto o objetivo desse estudo.

A Figura 20 representa graficamente o hidrograma unitário curvilíneo do SCS para cada cenário ambiental da região de estudo.

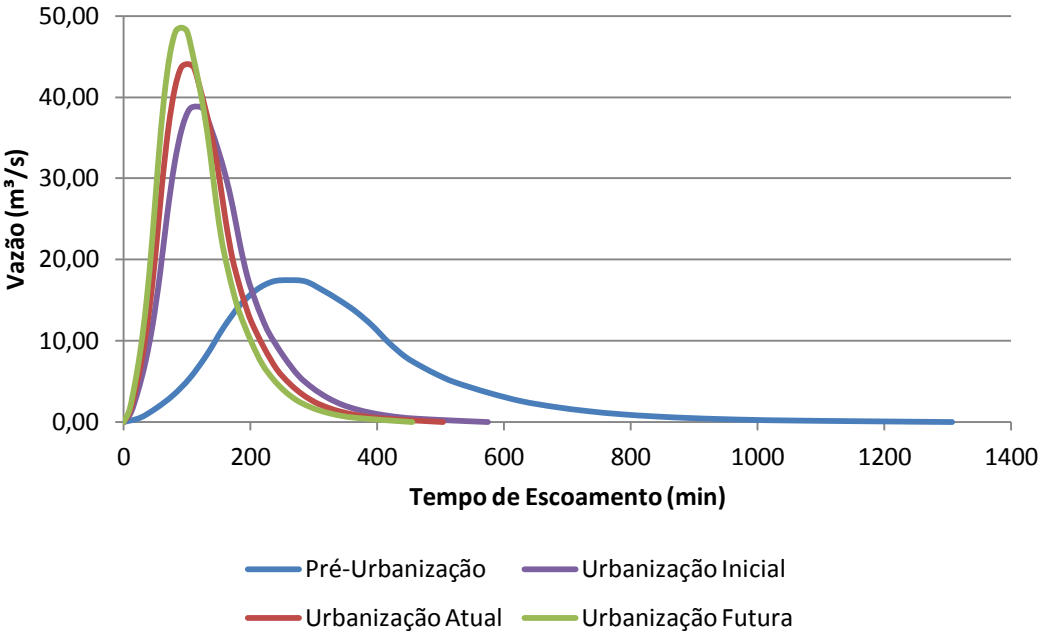

Figura 20: Hidrogramas unitários curvilíneos do SCS dos cenários ambientais.

A simples inspeção da Figura 20 permite observar tempos de pico menores para os cenários com maiores área urbanas, pois o escoamento superficial é maior em áreas impermeáveis. No cenário da pré-urbanização, a vazão máxima ocorre em 261 minutos, significativamente maior que os cenários com mancha urbana, nas quais as vazões máximas ocorrem em 115, 101 e 91 minutos para os cenários inicial, atual e futuro, respectivamente.

A análise desse hidrograma unitário relaciona ao efeito do escoamento superficial resultante da altura de chuva igual a 1 cm. A junção das vazões dos hidrogramas unitários com as precipitações excedentes resultam nos hidrogramas de cheia dos cenários ambientais; a maior vazão encontrada nesses hidrogramas relacionados a cada período de retorno representam a vazão máxima obtida pelo método SCS. As Figuras 21 a 24 representam graficamente os hidrogramas de cheia de cada cenário relacionados aos períodos de retorno de 5, 10 e 25 anos.

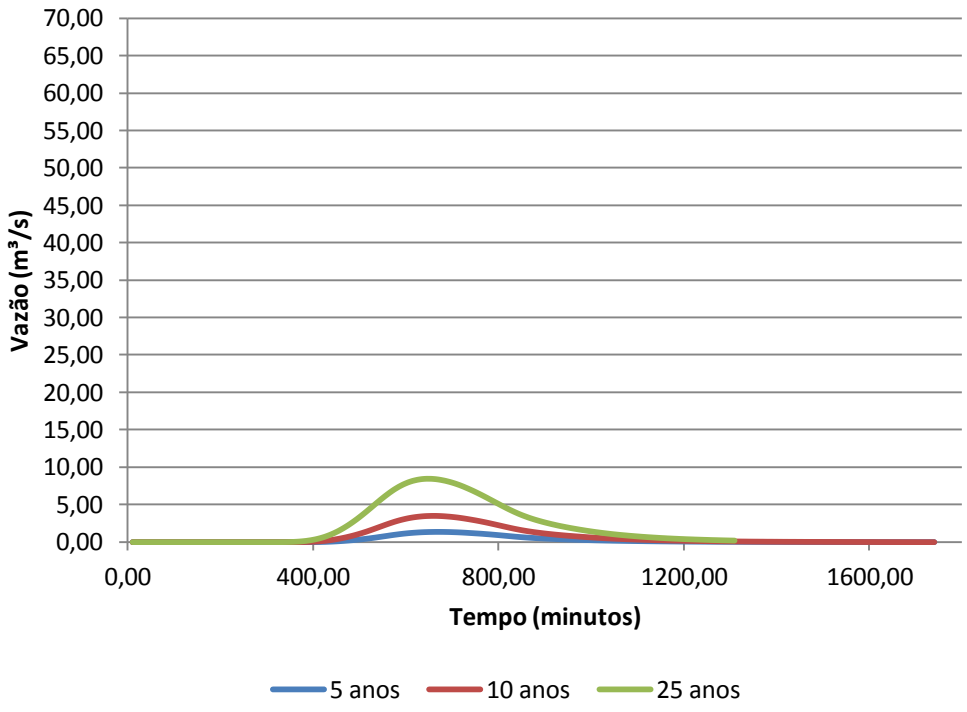

Figura 21: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método SCS do cenário de pré-urbanização para diferentes períodos de retorno.

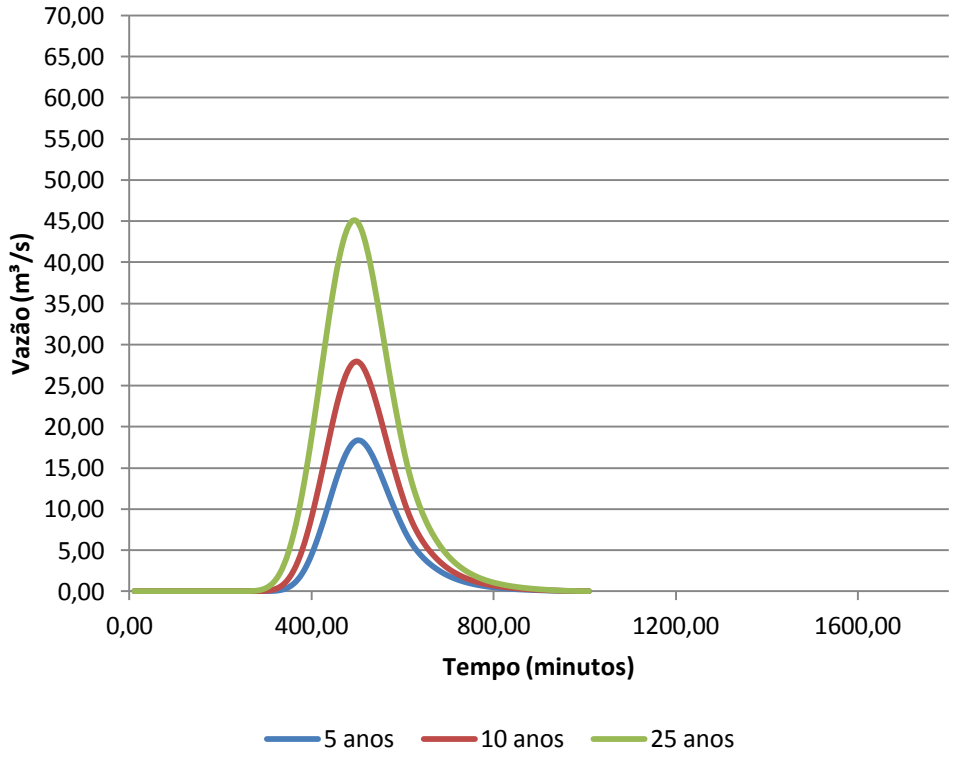

Figura 22: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método SCS do cenário de urbanização inicial para diferentes períodos de retorno.

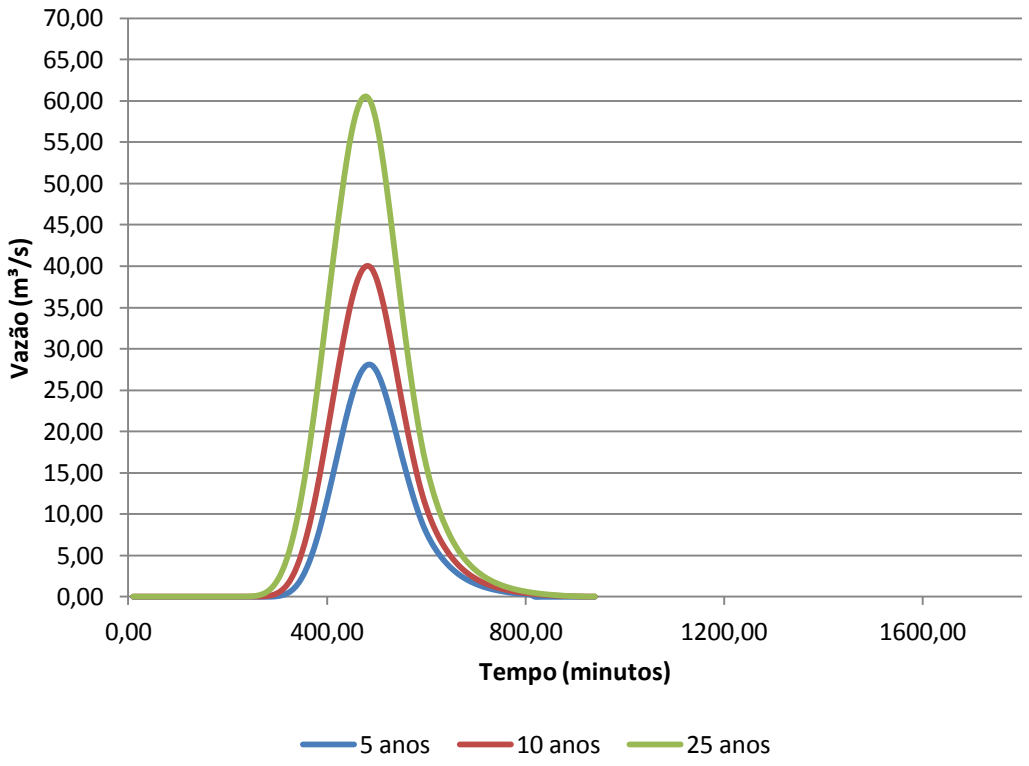

Figura 23: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método SCS do cenário de urbanização atual para diferentes períodos de retorno.

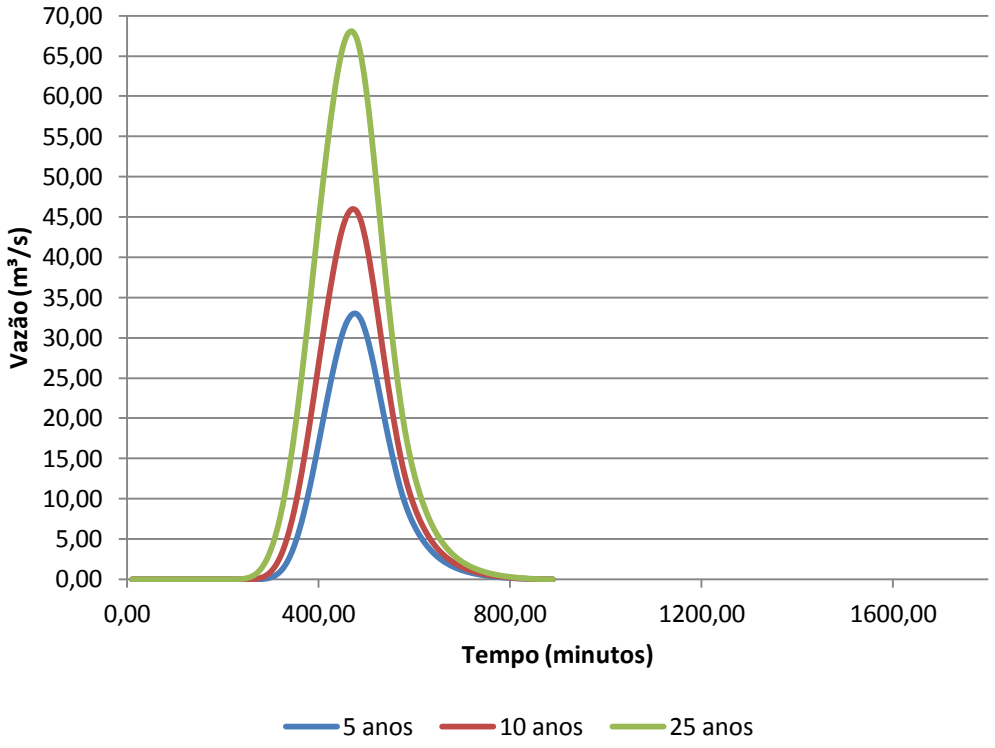

Figura 24: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método SCS do cenário de urbanização futura para diferentes períodos de retorno.

Verifica-se por meio das Figuras 21 a 24 a redução do tempo de pico à medida que a porcentagem de área impermeável aumenta na bacia hidrográfica, da mesma forma, observa-se o aumento nos valores de vazões máximas, assim como aumenta o período de retorno.

5.4. VAZÃO DE PROJETO OBTIDA PELO MÉTODO CUHP

Da mesma forma que se procede com o método SCS, a determinação da vazão de projeto pelo método de CUHP envolve a construção do hidrograma unitário e hidrograma de cheia. A obtenção do hidrograma unitário de CUHP requer os parâmetros de entrada listados pela Tabela 25 com seus respectivos valores obtidos para cada cenário ambiental.

Tabela 25: Parâmetros de entrada para construção do hidrograma unitário de CUHP.

Parâmetro	**Unidade**	**Cenários**			
		Pré Urbanização	Urbanização Inicial	Urbanização Atual	Urbanização Futura
Área da Bacia	Km²	37,36	37,36	37,36	37,36
Área Impermeável	%	0,05	2,31	16,92	22,79
Comprimento do talvegue	Km	27,04	27,04	27,04	27,04
Comprimento do centro de gravidade da bacia até seção de controle	Km	6,63	6,63	6,63	6,63
Declividade	m/m	0,15	0,15	0,15	0,15
Coeficiente da porcentagem de impermeabilização da bacia	-	0,16	0,15	0,11	0,11
Fator de pico	-	2,16	2,15	2,66	3,16
Coeficiente da capacidade de armazenamento da bacia	-	0,52	0,49	0,45	0,50
Tempo de pico	horas	1,76	1,67	1,24	1,16
Vazão de pico por unidade de área	m³/s.Km²	0,82	0,81	1,01	1,20
Vazão de pico	m³/s	30,58	30,38	37,65	44,74
Duração da chuva unitária	horas	0,17	0,17	0,17	0,17
Tempo de ascensão	horas	2,05	1,95	1,47	1,37

A apropriação de $W_{50\%}$ e $W_{75\%}$, que corresponde respectivamente ao tempo dentro da curva do hidrograma unitário de 50% e 75% da vazão de pico, permitiu montar o referido hidrograma para cada cenário, apresentado pela Figura 25.

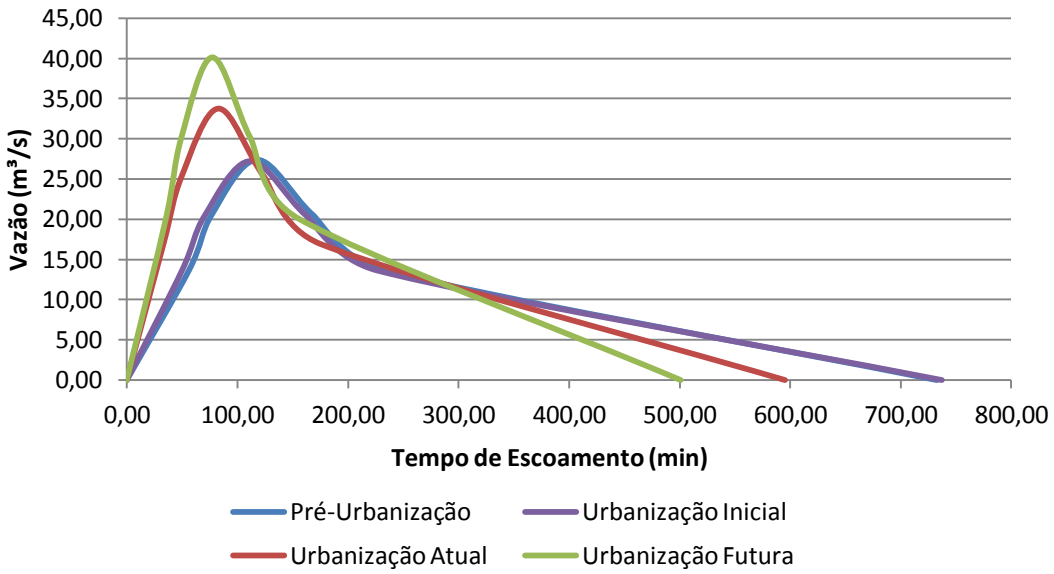

Figura 25: Hidrograma unitário de CUHP apropriado para cada cenário.

Assim como observado nos hidrogramas unitários obtidos pelo método SCS, a Figura 25 permite observar tempos de pico menores para os cenários com maiores área urbanas, devido ao maior escoamento superficial em áreas impermeáveis.

Não houve diferença significativa nos hidrogramas unitários dos cenários de pré-urbanização e urbanização inicial, visto que as áreas impermeáveis para estes cenários são menores que 10% e por isso representam o mesmo valor do coeficiente de porcentagem impermeável na bacia, um dos responsáveis pela caracterização do uso do solo.

A forma dos hidrogramas unitários está relacionada a construção do mesmo na forma de segmentos de reta, como recomendado por CUHP, de forma que a área situada abaixo do hidrograma seja igual ao volume unitário de escoamento superficial. As junções das vazões dos hidrogramas unitários com as precipitações excedentes resultam nos hidrogramas de cheia dos cenários ambientais, representados graficamente pelas Figuras 26 a 29 relacionadas aos períodos de retorno de 5, 10 e 25 anos.

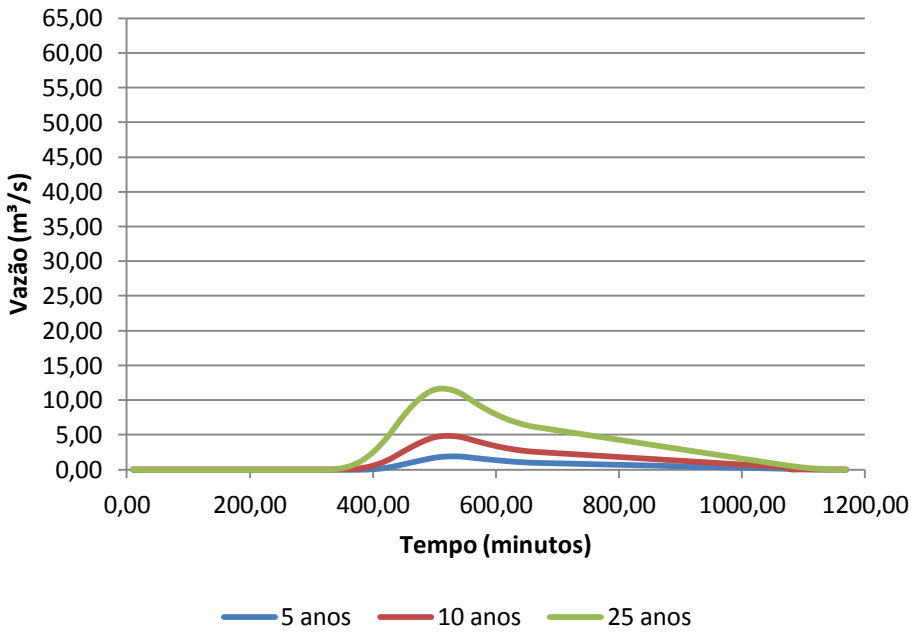

Figura 26: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método CUHP do cenário de pré-urbanização para diferentes períodos de retorno.

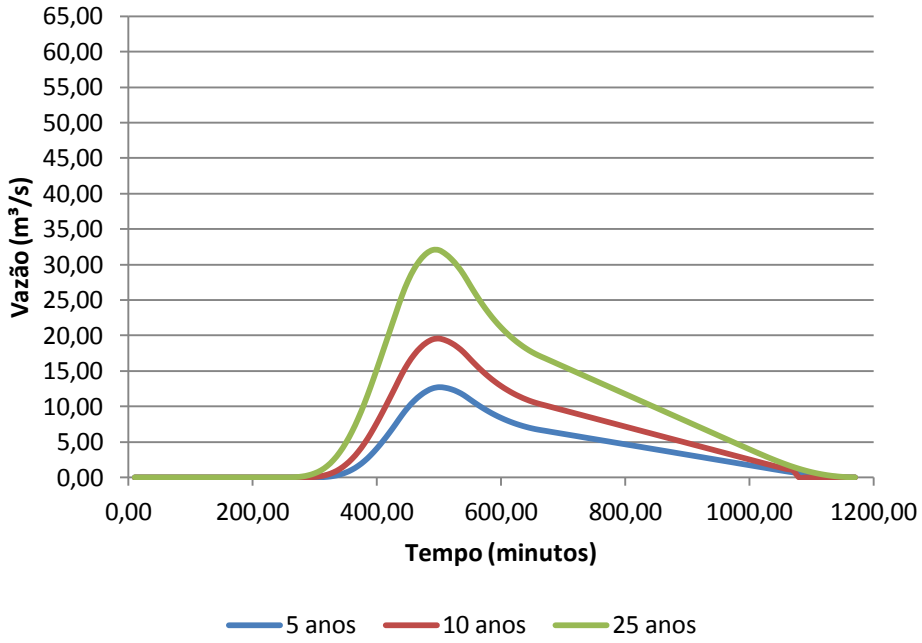

Figura 27: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método CUHP do cenário de urbanização inicial para diferentes períodos de retorno.

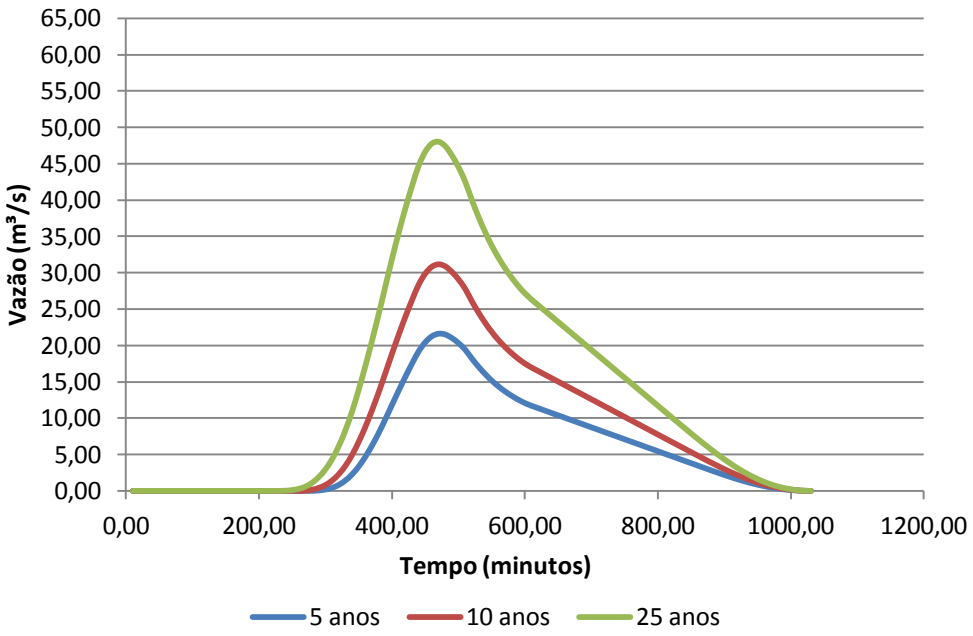

Figura 28: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método CUHP do cenário de urbanização atual para diferentes períodos de retorno.

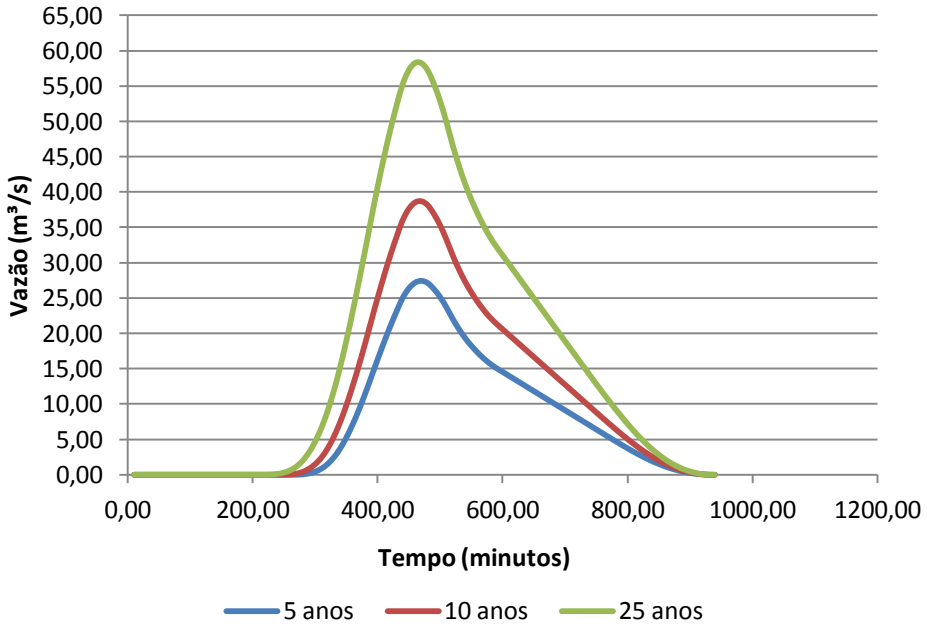

Figura 29: Hidrogramas de cheia obtidos pelo método CUHP do cenário de urbanização futura para diferentes períodos de retorno.

Partindo da mesma análise realizada para os hidrogramas de cheia obtidos pelo método SCS, observa-se por meio das Figuras 28 a 31 a redução do tempo de pico a medida que a porcentagem de área impermeável aumenta, além do aumento nos valores de vazões máximas, ambos mais significativos que os do método SCS.

5.5. ANÁLISE DO IMPACTO URBANÍSTICO SOBRE SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO GABRIEL

Os valores apresentados pela da Tabela 26 referem-se às vazões de projeto estimadas pelos métodos SCS e CUHP, e o acréscimo percentual desta variável hidrológica a partir do incremento da urbanização, ou seja, o consequente aumento da impermeabilização do solo ao longo dos cenários ambientais. Esses resultados são contemplados separadamente para os períodos de retorno de 5, 10 e 25 anos. Por sua vez, as Figuras 30 e 31 ilustram graficamente os resultados dessas vazões, obtidas por cada método.

Tabela 26: Vazões de projeto estimadas pelos métodos SCS e CUHP e incrementos de vazão em relação ao cenário anterior para diferentes períodos de retorno.

Cenários		**% aumento da área urbana**	**Métodos**			
			SCS		**CUHP**	
			Vazão (m^3/s)	**Incremento (%)**	**Vazão (m^3/s)**	**Incremento (%)**
Período de Retorno = 5 anos	Pré-urbanização	0,00	1,30	-	1,88	-
	Urbanização Inicial	2,31	18,32	1310,14%	12,68	572,94%
	Urbanização Atual	630,93	28,03	53,03%	21,59	70,23%
	Urbanização Futura	34,69	32,96	17,59%	27,38	26,85%
Período de Retorno = 10 anos	Pré-urbanização	0,00	3,44	-	4,87	-
	Urbanização Inicial	2,31	27,95	711,88%	19,59	302,48%
	Urbanização Atual	630,93	39,99	43,11%	31,18	59,21%
	Urbanização Futura	34,69	46,00	15,01%	38,69	24,08%
Período de Retorno = 25 anos	Pré-urbanização	0,00	8,43	-	11,65	-
	Urbanização Inicial	2,31	45,04	434,46%	32,09	175,54%
	Urbanização Atual	630,93	60,52	34,37%	47,98	49,53%
	Urbanização Futura	34,69	68,09	12,52%	58,25	21,41%

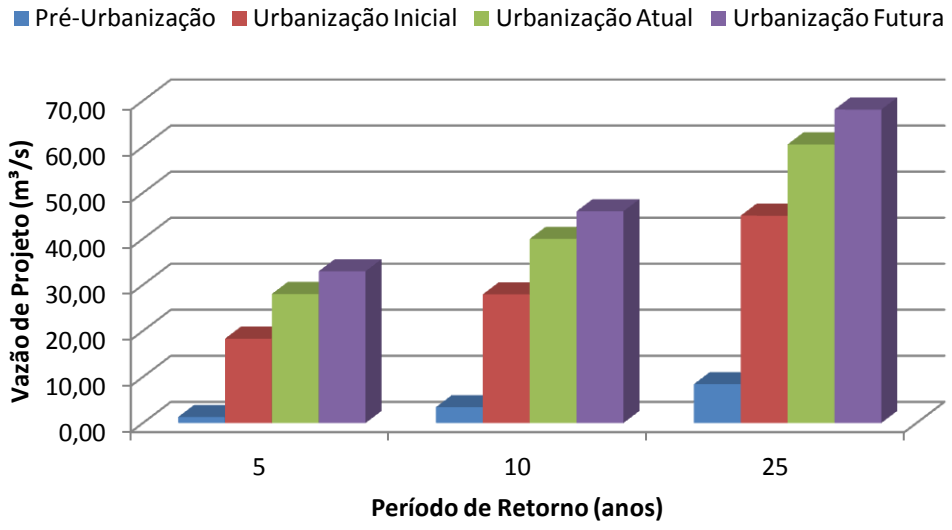

Figura 30: Vazões de projeto para cada cenário obtidas pelo método SCS.

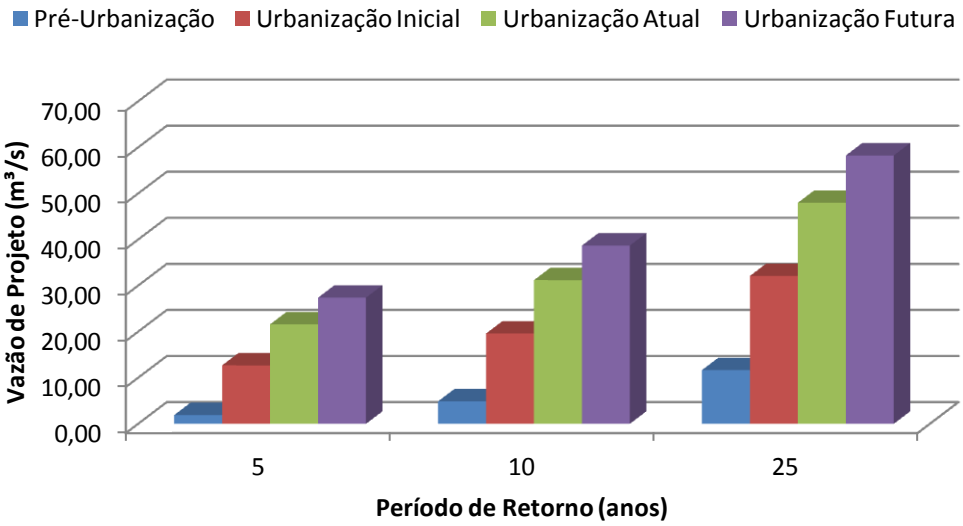

Figura 31: Vazões de projeto para cada cenário obtidas pelo método CUHP.

Observa-se que os resultados das vazões de projeto estimados pelos métodos SCS e CUHP apresentam valores relativamente próximos para todos os cenários e períodos de retorno. Sendo que para o método SCS os valores são menores que 31%, em relação ao método de CUHP, para todos os cenários, exceto para o cenário da pré-urbanização no qual o método SCS apresentou vazões de projeto menores em torno de 42%.

Com relação às vazões observadas em cada cenário ambiental, nota-se significativo incremento proporcionado pelo aumento da área impermeável na bacia hidrográfica, resultando do aumento do escoamento superficial. Incremento expressivo nas vazões observadas entre os cenários de pré-urbanização e urbanização inicial é resultado na redução significativa da cobertura vegetal, consequência da expansão rural, pois a porcentagem de área urbanizada no cenário inicial de urbanização é relativamente pequena com relação ao uso e ocupação do solo por pastagens e áreas agrícolas.

O estudo realizado por Bastos (2009) na sub-bacia do Córrego dos Monos, afluente do Rio Itapemirim, no município de Cachoeiro de Itapemirim, ao sul do estado do Espírito Santo, verificou a influência das condições de uso e ocupação do solo atuais e previsão na ampliação de área urbanizada nas vazões de pico da sub-bacia. As metodologias aplicadas foram as do Hidrograma Unitário do SCS, de Snyder de acordo com Porto *et al*. (1995) e Tucci (2004) e dos métodos Racional e Racional Modificado. A construção dos cenários de evolução temporal da mancha urbana seguiu a mesma metodologia deste trabalho, considerou apenas período de retorno igual a 50 anos e observou-se incremento da vazão de pico ao longo dos cenários, sendo o maior entre os cenário de pré-urbanização e urbanização inicial. As vazões obtidas pelos métodos Racional e Racional Modificado foram maiores que os demais métodos, já o método SCS apresentou vazões menores que o método de Snyder proposto por Porto *et al.* (1995) que corresponde ao método de CUHP.

A ausência de estações de monitoramento de vazão em cursos d'águas representativos em malhas urbanas leva à necessidade de se utilizar métodos para estimar a vazão, principalmente em localidades que sofrem problemas com inundações, tais como métodos de transformação chuva em vazão. Esta alternativa demanda cuidadosa seleção das variáveis que lhe dão forma a fim de evitar valores que divergem da realidade local.

Houve incremento das vazões, em todos os cenários entre 40 a 53% do período de retorno 10 anos em comparação as vazões estimadas para o período de retorno de 5 anos, para ambos os métodos, exceto para o cenário da pré-urbanização no qual houve incremento de 165%. As vazões sofreram incremento, para os mesmos cenários, entre 48 a 61% do período de retorno de 25 em comparação ao de 10 anos, em ambos os métodos, já para o cenário da pré-urbanização, as vazões

aumentaram na ordem de 145%. É importante destacar que para períodos de retorno pequenos, como o de 5 anos, por exemplo, o processo de infiltração é mais evidenciado; consequentemente, há menor escoamento superficial. Esse incremento é relevante em projetos de macrodrenagem pluvial. A escolha inadequada do período de retorno reflete no dimensionamento incorreto das estruturas, gerando riscos à segurança da população e perdas materiais. Por outro lado, o menor risco requer grandes investimentos financeiros, muitas vezes inviáveis às condições de determinado local. O processo de escolha desta variável requer a compatibilização desses fatores.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As principais conclusões do presente trabalho podem ser assim sumarizadas:

- A construção dos cenários de uso e ocupação do solo com foco à evolução da mancha urbana na sub-bacia hidrográfica do córrego São Gabriel permitiu quantificar a intensificação da urbanização na Sede Municipal de São Gabriel da Palha, no qual se mostrou bastante significativa;
- A apropriação de equação de chuvas intensas juntamente com a análise de uso e ocupação do solo ao longo dos cenários ambientais permitiu apropriar as chuvas excedentes na área de estudo, onde foi verificado no cenário de pré-urbanização escoamento superficial insignificante comparado com os demais cenários;
- Os métodos SCS e de CUHP permitiram estimar as vazões de projeto para a área de estudo, no qual para ambos foram relativamente similares, sendo o que método SCS apresentou valores maiores de vazões comparadas com método de CUHP, exceto para o cenário da pré-urbanização. Contudo esses métodos devem ser analisados com cautela devido ao grau de incerteza relacionado aos seus parâmetros de entrada, em especial, o tempo de concentração e os coeficientes relacionados ao uso e ocupação do solo;
- O incremento dos valores das vazões para cada período de retorno empregado foi maior de 40% em todos os cenários e métodos de transformação de chuva em vazão, o que direciona ao processo de decisão eficaz em obras de drenagem pluvial a fim de evitar problemas de inundações e ao mesmo tempo deve atender aos recursos financeiros locais.

Como recomendações são consideradas relevantes:

- Desenvolvimento de estudos experimentais na bacia hidrográfica com medições de variáveis hidrológicas e levantamento de características geológicas, geomorfológicas, de solo, uso e ocupação do solo, para subsidiar a aplicação de métodos empíricos e de modelos chuva-vazão para a região;
- Monitoramento de vazões no período chuvoso com intuito de obter uma comparação com as vazões estimadas;

- Apropriar recursos necessários, tais como uso de *softwares* especializados nos processos de propagações das vazões estimadas a fim de traçar as zonas de inundação;
- Verificar as melhores alternativas de controle de inundação, estrutural e não estrutural, para a área de estudo.

7. REFERÊNCIAS

ANDRADE FILHO, A. G.; BRIK, E. M. J.; SANDAKA, G. **Hidrogramas de enchentes através dos métodos Colorado Urban Hydrograph procedure e Muskingum-Cunge - Estudo da bacia do Arroio Olarias em Ponta Grossa**. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia Civil, 2001, 10 páginas.

BARBOSA, Francisco de Assis dos Reis. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

BASTOS, Patrícia Covre. **Efeitos da Urbanização sobre Vazões de Pico de Enchente**. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2009.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição [da] República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei n° 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Disponível em: <http://www.in.gov.br>. Acesso em: 16 jun. 2014.

BRASIL. Lei n° 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1o de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Disponível em: <http://www.in.gov.br>. Acesso em: 16 jun. 2014.

BRASIL. Lei n° 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Disponível em: <http://www.in.gov.br>. Acesso em: 16 jun. 2014.

BRITO, Fausto; HORTA, Cláudia Júlia Guimarães; AMARAL, Ernesto Friedrich de Lima. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas.** 2012. Arquivo disponível pelo Núcleo Regional de Educação de Cascavel – PR.

CARDOSO NETO, A. **Sistemas urbanos de drenagem**. 1998. Apostila oferecida pelo Laboratório de Drenagem do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Santa Catarina.

COELHO, André Luiz Nascentes et al. **Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo**. 2012. Nota Técnica 28 do Instituto Jones dos Santos Neves.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. 2008. Apostila oferecida pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade do Rio Grande do Sul.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana – Manual de projeto**. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.

DEG – Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Hidrologia de Superfície: escoamento superficial. Lavras. Disponível em: <http://www.deg.ufla.br/site/_adm/upload/file/Hidrologia%20I/escoamentosuperficial.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2014.

ENOMOTO, C.F. Estudo de medidas não estruturais para controle de inundações. **Revista Publicatio UEPG Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, p. 69-90, 2000.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética & MME – Ministério de Minas e Energia. Avaliação Ambiental Integrada. 2006. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/AAI/MeioAmbiente_7aspx?CategoriaID=101>.

FCTH — Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. Prefeitura Municipal de São Paulo, Secretaria de Vias Públicas: São Paulo, 1999.

FCTH — Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais**. Prefeitura Municipal de São Paulo, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano: São Paulo, 2012.

GARCIA, F.; RAMOS, D. A. **Comparação entre custos de obras de macrodrenagem dimensionadas com vazões calculadas pelo método Racional e pelo método do SCS (“Soil Conservation Service”) na sub-bacia do rio Morro**

Alto, em Joinville, SC. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17., 2007, São Paulo.

GENOVEZ, A. M.; Vazões Máximas. In: Paiva, J. B. D.; Paiva, E. M. C. D. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográfica**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 33-112.

GRECCO, Larisse Brunoro et al. Influência da Seleção de Variáveis Hidrológicas no Projeto de Sistemas Urbanos de Macrodrenagem: Estudos de Caso para o Município de Vitória - ES. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p.197-206, dez. 2012.

IBGE, Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Urbanização:** Metrópoles em movimento. 2006. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=994:reportagens-materias&Itemid=39>. Acesso em: 16 jun. 2014.

LOPES, J. W. B. et al. **Análise de confiabilidade do modelo SCS-CN em diferentes escalas espaciais no semiárido**. In: Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, 15., 2012, Fortaleza.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?**, 2012. Artigo Científico oferecido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MATHIAS, Dener Toledo; CUNHA, Cenira Maria Lupinacci da; MORUZZI, Rodrigo Braga. Implicações Geomorfológicas das Alterações do Escoamento Superficial pela Urbanização: Análise dos Processos Erosivos na Bacia Hidrográfica do Córrego Tucunzinho (São Pedro - SP). **Revista Brasileira de Recursos hídricos,** Porto Alegre, v. 18, n. 4, p.101-113, dez. 2013.

MCCUEN, R. H. **A guide to hydrologic analysis using SCS methods.** Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.

MCCUEN, R. H. **Hydrologic Analysis and Design.** 2. ed., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1998.

MCCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W. J. Estimating urban time of concentration. **Journal of Hydraulic Engineering**, Knoxville, v. 110, n.7, p. 887-904, 1984.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4. ed., Rio de Janeiro: ABES, 2006.

MOTH. **Hydraulics manual**. Columbia: Ministry of Transportation and Highways (MOTH), Engineering Branch. Province of British, 1998.

NALI, Jôze Oliveira *et al*. **Avaliação da resposta de diferentes de equações de chuvas intensas obtidas para as bacias hidrográficas dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória, ES.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17., 2007, São Paulo.

NASCIMENTO, Flávia Alves *et al.* **O Método do Soil Conservation Service Revisitado: Verificação de validade de premissas e aplicabilidade em projetos de mineração**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19., 2011, Maceió.

NICKLOW/BOULOS/MULETA. Comprehensive urban hydrologic modeling handbook for engineers and planners. 376 páginas ISBN 0-97455689-6-1. Chapter five-Surface runoff.

PARKINSON, J. et al. **Relatório Drenagem Urbana Sustentável no Brasil**, In: Workshop, 2003, Goiânia – GO.

Programa das Nações Unidas, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada e Fundação João Pinheiro. **Perfil do Município de São Gabriel da Palha, ES.** Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/perfil_print/sao-gabriel-da-palha_es>. Acesso em: 28 jun. 2014.

Prefeitura Municipal de São Gabriel da Palha. **Dados Geográficos.** Disponível em: <http://www.saogabriel.es.gov.br/>. Acesso em: 28 jun. 2014.

PINTO, Nelson L. de Spuza et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

PORTO, R. L. L. Escoamento Superficial Direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. P. (org.). **Drenagem Urbana**, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 5, Ed. da Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1995.

SÃO GABRIEL DA PALHA. Lei Complementar n° 14, de 23 de novembro de 2006.

Institui o Plano Diretor do município de São Gabriel da Palha e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Disponível em: <http://www.in.gov.br>. Acesso em: 28 jun. 2014.

SÃO GABRIEL DA PALHA. Lei n° 1.850, de 28 de maio de 2008. Dispõe sobre o ordenamento territorial no município de São Gabriel da Palha e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Disponível em: <http://www.in.gov.br>. Acesso em: 28 jun. 2014.

SCHARFFENBERG, W. A.; FLEMING, M. J. Hydrologic Modeling System HEC-HMS – User`s Manual. Hydrologic Engineering Center, HEC. Davis, CA. 2010.

SCHEEREN, Maria Helena et al. **A utilização do Plano Diretor Municipal como ferramenta de gestão ambiental: o caso das inundações urbanas em Campo Grande**, MS. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17, 2007, São Paulo.

SCS, 1972 - (Soil Conservation Service). National Engineering Handbook, Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. SCS. **Urban hydrology for small watersheds**. Washington, DC: Technical Release 55. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (SCS), 1986.

SEMADENI-DAVIES, Annette et al. The impacts of climate change and urbanization on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater. **Journal Of Hydrology**, v. 350, n. 1-2, p.114-125, fev. 2008.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, n. 10, p.5-23, 2005.

TOMAZ, Plínio. **Capítulo 142: Convolução**. 2012. Apostila oferecida pelo curso de Manejo de Águas Pluviais oferecido pela Rainwater Consultoria e Saneamento.

TOMAZ, Plínio. **Capítulo 99: Método SCS (*Soil Conservation Service)* para várias bacias**. 2012. Apostila oferecida pelo curso de Manejo de Águas Pluviais oferecido pela Rainwater Consultoria e Saneamento.

TUCCI, C.E.M. "**Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil**". In REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina, 1(1): 59-73. 2004.

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana**. Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, RS, 1995.

TUCCI, Carlos E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** Porto Alegre, v. 7, n. 1, p.5-27, Jan/Mar 2002.

TUCCI, Carlos E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** Porto Alegre, v. 2, n. 2, p.5-12, dez. 1997.

TUCCI, Carlos E.M. Escoamento superficial. In: Tucci C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. - Porto Alegre: Editora da UFRS: ABRH, 2004. cap. 11, p. 391-441 (Coleção ABRH de recursos hídricos ; v.4).

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial.** São Paulo: Companhia Tecnologia de Saneamento Ambiental.