

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

Frederico Coli Mendes

**DIRETRIZES AO PLANEJAMENTO URBANO DA BACIA DO CÓRREGO
SUÇUAPARA (PALMAS-TO) COM BASE EM SUA RESPOSTA HIDROLÓGICO-
HIDRÁULICA À DIFERENTES CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO**

Palmas - TO

2018

Frederico Coli Mendes

**DIRETRIZES AO PLANEJAMENTO URBANO DA BACIA DO CÓRREGO
SUÇUAPARA (PALMAS-TO) COM BASE EM SUA RESPOSTA HIDROLÓGICO-
HIDRÁULICA À DIFERENTES CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO**

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Rui da Silva Andrade

Palmas – TO
2018

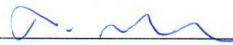
FOLHA DE APROVAÇÃO

FREDERICO COLI MENDES

DIRETRIZES AO PLANEJAMENTO URBANO DA BACIA DO CÓRREGO
SUÇUAPARA (PALMAS-TO) COM BASE EM SUA RESPOSTA HIDROLÓGICO-
HIDRÁULICA À DIFERENTES CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,
Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca
Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rui da Silva Andrade
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



Prof. Dr. Gírlene Figueiredo Maciel
Universidade Federal do Tocantins



Prof. Dr. Felipe de Azevedo Marques
Universidade Federal do Tocantins

Aprovada em: 27 de julho de 2018
Local de defesa: sala 101 do bloco J
Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

M538d Mendes, Frederico Coli.

DIRETRIZES AO PLANEJAMENTO URBANO DA BACIA DO
CÓRREGO SUÇUAPARA (PALMAS-TO) COM BASE EM SUA RESPOSTA
HIDROLÓGICO-HIDRÁULICA A DIFERENTES CENÁRIOS DE
OCUPAÇÃO. / Frederico Coli Mendes. – Palmas, TO, 2018.

163 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado)
Profissional em Engenharia Ambiental, 2018.

Orientador: Rui da Silva Andrade

1. Planejamento urbano. 2. Drenagem urbana. 3. Medidas não
convencionais. 4. SWMM. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

À minha bisavó, por me ensinar a amar a vida e as oportunidades por ela oferecida.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a espiritualidade que nos acompanha e verdadeiramente nos guia em nossos projetos. Por muitas vezes, nos vemos apenas conduzidos, haja vista a fraqueza de nossa vontade e persistência, face a face a misericórdia divina, que não nos desampara;

À minha família por ser, em síntese, a fundação de qualquer edificação que se manifeste em nossa individualidade;

Ao meu amigo Ítalo, cujo companheirismo tem se mostrado imprescindível para nosso equilíbrio e sustentação perante os desafios do cotidiano;

À Universidade Federal do Tocantins que, mais uma vez, nos abre as portas para nosso aprimoramento;

À Prefeitura Municipal de Palmas, por apoiar a qualificação de seus profissionais;

Aos meus verdadeiros mestres nos labores acadêmicos, Professores Doutores Felipe de Azevedo Marques e Lílian dos Santos Fontes Pereira Bracarense;

Ao Professor Doutor Rui da Silva Andrade que nos brindou, mais uma vez, com a alegria de termos, em nosso avançar nos caminhos técnico-científicos, orientadores exemplares e que fazem jus ao referido título.

Efetivamente, que são alguns anos para a aquisição de tudo o de que precisa o ser, a fim de se considerar perfeito, embora apenas se tenha em conta a distância que vai do selvagem ao homem civilizado?

ALLAN KARDEC

RESUMO

O crescimento populacional das últimas décadas, cada vez mais concentrado no ambiente urbano, tem pressionado as cidades a aliar a absorção desse contingente à proteção e convívio com seus recursos naturais. A cidade de Palmas não se furta a esse cenário, embora tenha a característica peculiar de possuir planos diretores urbanísticos desde a sua concepção. Nesse sentido, este estudo buscou oferecer diretrizes para o planejamento urbano municipal, com base na resposta hidrológico-hidráulica a diferentes cenários de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Córrego Suçuapara. Esta bacia localiza-se na região central da cidade, com alto potencial de impermeabilização, e começa a apresentar eventos de transbordamento em uma de suas estruturas hidráulicas. A resposta da bacia aos cenários modelados fora analisada com o auxílio de um modelo construído no software SWMM. Além disso, avaliou-se a utilização de valas, trincheiras e poços de infiltração. Os resultados apontaram que os transbordamentos da estrutura hidráulica advêm da insuficiência de sua capacidade frente à inserção de novas redes de drenagem a montante, embora a sua expansão não comprometa os trechos à jusante. Os demais trechos da rede de drenagem, incluindo o curso d'água principal, são plenamente capazes de escoar as vazões, mesmo nos cenários com maior impermeabilidade da bacia. Também fora observado que, ainda com a utilização de todo o potencial construtivo da bacia, mantendo-se a atual taxa de habitantes/m², os valores de densidades atingidos são aquém dos preconizados pelos planos urbanísticos municipais. Para a potencialização de sua ocupação, sem grandes impactos ao sistema de drenagem da bacia, fora recomendado o possível aumento do potencial construtivo concedido pela Outorga Onerosa do Diretor de Construir, a concepção de uma Operação Urbana Consorciada para a implantação completa do Parque Linear dos Povos Indígenas, adjacente ao Córrego Suçuapara, e a possível alteração de uso do solo de algumas áreas verdes das quadras.

PALAVRAS-CHAVE: planejamento urbano; drenagem urbana; medidas não convencionais; SWMM

ABSTRACT

The population growth of the last decades, increasingly concentrated in the urban environment, has pressed the cities to combine the absorption of this contingent to living together and protect its natural resources. The city of Palmas does not escape this scenario, although it has the peculiar characteristic of owning urbanistic master plans from its conception. In this sense, this study sought to offer guidelines for municipal urban planning, based on the hydrological-hydraulic response to different scenarios of land use and occupation of the Córrego Suçuapara catchment. This catchment is located in the central region of the city, with high potential for increasing its impervious area, and begins to show events of overflow in one of its hydraulic structures. The response of the catchment to the modeled scenarios was analyzed with the aid of a SWMM software model. In addition, the use of swales, infiltration trenches and infiltration wells was evaluated. The results indicated that the overflow of the hydraulic structure comes from the insufficiency of its capacity in front of the insertion of new drainage networks upstream, although its expansion does not compromise the downstream sections. The other stretches of the drainage network, including the main river, are fully capable of convey the discharge, even in the scenarios with greater impervious areas on the catchment. It was also observed that, even with the use of all the constructive potential of the catchment, maintaining the current inhabitants/m² rate, the densities reached are lower than those recommended by the municipal urban plans. In order to enhance its occupation without major impacts to the drainage system of the catchment, it was recommended the possible increase in the constructive potential granted by the *Outorga Onerosa do Direito de Construir*, the design of an *Operação Urbana Consorciada* for the complete implementation of the *Parque Linear dos Povos Indígenas*, adjacent to the Córrego Suçuapara catchment, and the possible alteration of the land use of some green areas of the blocks.

KEYWORDS: urban planning; urban drainage; compensatory techniques; SWMM

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais componentes do ciclo hidrológico terrestre, em área vegetada.....	23
Figura 2 – Efeitos hipotéticos da urbanização no hidrogramas de um curso d'água	24
Figura 3 – Impacto da urbanização na vazão de uma bacia hidrográfica.....	25
Figura 4 – Instrumentos tradicionais de planejamento urbano.....	28
Figura 5 – Principais parâmetros de ocupação do solo	29
Figura 6 – Inundações advindas da supressão e ocupação de várzeas	30
Figura 7 – Relação entre traçado viário e escoamento de águas pluviais.....	32
Figura 8 – Impermeabilização acarretada pelo traçado viário, em %	33
Figura 9 – Vala de Infiltração associada à Trincheira de Infiltração.....	42
Figura 10 – Comparação de vazões entre um canal de escoamento e valas vegetadas.....	43
Figura 11 – Vala de Infiltração estudada por Lucke et al. (2014).....	44
Figura 12 – Trincheira de Infiltração.....	45
Figura 13 – Poço de infiltração.....	47
Figura 14 – Redução de vazão por poços de infiltração em diferentes proporções de área.....	49
Figura 15 – Exemplo de objetos físicos do SWMM	54
Figura 16 – Modelo conceitual de escoamento utilizado pelo SWMM	58
Figura 17 – Bacia de drenagem urbana do Córrego Suçuapara	72
Figura 18 – Fases de ocupação de Palmas previstas no Plano Básico (1989).....	78
Figura 19 – Histórico dos Parcelamentos Aprovados	79
Figura 20 – Usos predominantes de quadras da Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara..	82
Figura 21 – Uso do solo em lotes da quadra ARNE-54	84
Figura 22 – Áreas de ocupação prioritária e preferencial na Bacia do Córrego Suçuapara	86
Figura 23 – Incidência da Outorga Onerosa e do IPTU Progressivo no Tempo.....	87
Figura 24 – Densidade das quadras da Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara.....	93
Figura 25 – Ocupação em diferentes quadras.....	97
Figura 26 – Distribuição de equipamentos urbanos em diferentes quadras	98
Figura 27 – Áreas de abrangência das bacias natural e de drenagem do Córrego Suçuapara	101
Figura 28 – Hietograma para chuva com TR de 100 anos	102
Figura 29 – Sub-bacias de drenagem do Córrego Suçuapara.....	103
Figura 30 – Hidrograma achatado por insuficiência de seção.....	109
Figura 31 – Apresentação da interface do modelo inserido no SWMM	111
Figura 32 – Hidrogramas Cenário Atual	113

Figura 33 – Hidrogramas Cenário Crítico	114
Figura 34 – Comparação entre hidrogramas dos cenários Atual e Crítico.....	115
Figura 35 – Hidrogramas Cenário Trincheira/Poços	116
Figura 36 – Áreas Verdes selecionadas para Cenário Trincheiras/Poços	117
Figura 37 – Comparação de hidrogramas entre os cenários Atual, Crítico e Trincheiras/Poços	118
Figura 38 – Mapa de alagamento do Córrego Suçuapara para o Cenário Crítico.....	120
Figura A.1 – Localização das seções irregulares.....	145
Figura A.2 – Seção Irregular 2	146
Figura A.3 – Seção Irregular 3	146
Figura A.4 – Seção Irregular 4	146
Figura A.5 – Seção Irregular 5	147
Figura A.6 – Seção Irregular 6	147
Figura A.7 – Seção Irregular 7	147
Figura A.8 – Seção Irregular 8	148
Figura C.1 – Hietograma para chuva com TR de 2 anos.....	153
Figura C.2 – Hietograma para chuva com TR de 10 anos.....	153
Figura C.3 – Hietograma para chuva com TR de 25 anos.....	153
Figura C.4 – Hietograma para chuva com TR de 50 anos.....	154
Figura C.5 – Hietograma para chuva com TR de 100 anos.....	154

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Crescimento da População Brasileira e Participação da Parcela Urbana	23
Quadro 1 – Resumo de impactos hidrológicos da urbanização entre os anos 60 e 80	25
Tabela 2 – Relação entre impermeabilização e aumento da vazão	26
Tabela 3 - Dimensões da Vala de Infiltração analisada por Frello (2016)	44
Tabela 4 – Características de alguns modelos de simulação hidrológico-hidráulica	51
Tabela 5 – Correspondência entre módulos e objetos físicos ou visuais do SWMM	54
Tabela 6 – Resultados obtidos para diferentes níveis de discretização da bacia hidrográfica .	55
Tabela 7 – Técnicas LID e camadas utilizadas na sua representação pelo SWMM	61
Tabela 8 – Curva Número para áreas urbanas	67
Tabela 9 – Valores de CN corrigidos para as condições de umidade do solo	69
Tabela 10 – Metodologia para classificação da cobertura do solo das sub-bacias	70
Tabela 11 – Uso do Lote e Taxas de Permeabilidade	75
Tabela 12 – Resumo de áreas do Plano Básico	78
Tabela 13 – Dimensões do sistema viário	85
Tabela 14 – Aplicação do IPTUp na Bacia de drenagem do Córrego Suçuapara	88
Tabela 15 – Distribuição de usos e características gerais das quadras que compõem a Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara	91
Tabela 16 – Áreas destinadas a habitação	94
Tabela 17 – Projeção da população da Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara	96
Tabela 18 – Características Morfométricas da Bacia Natural do Córrego Suçuapara	100
Tabela 19 – Características das sub-bacias	104
Tabela 20 – Comparação de parâmetros entre Cenário Atual e Crítico	105
Tabela 21 – Comparação de parâmetros entre Cenário Crítico, Cenário Permeável e Cenários com medidas não convencionais	106
Tabela 22– Comparação de cobertura de drenagem entre o PMSB e o Cadastro Municipal.	107
Tabela 23 – Parâmetros dos Nós do SWMM	108
Tabela 24 – Parâmetros dos Trechos do SWMM	110
Tabela 25 – Resumo de resultados do Cenário Atual	113
Tabela 26 – Resumo de resultados do Cenário Crítico	114
Tabela 27 – Resumo de resultados do Cenário Trincheira/Poços	118
Tabela 28 – Resumo de resultados dos cenários para TR de 2 e 100 anos	119
Tabela 29 – Comparativo de resultados entre diferentes publicações	121

Tabela 30 – Comparativo de parâmetros físicos entre diferentes publicações.....	125
Quadro B.1 – Usos e parâmetros de ocupação do solo	149

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Área
AIDC	Áreas impermeáveis diretamente conectadas
AMC	Antecedent moisture condition
C	Coeficiente de Hazen-Williams
CN	Número curva (curve number)
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
CR	Taxa de captação do pavimento
DAEE/CETESB	Departamento de Águas e Energia Elétrica/Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
dp	Armazenamento em depressões
F	Coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach
G	Aceleração da gravidade
H	Diferença de cota de montante e de jusante da bacia
HEC	<i>Hydrologic Engineering Center</i>
I	Intensidade da precipitação
Ia	Abstrações iniciais
IDF	Intensidade-duração-frequência
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPTU	Imposto Predial Territorial Urbano
ISF	Fração de superfície impermeável
L	Comprimento do rio principal
L _e	Comprimento equivalente
l _e	Largura equivalente
LID	Dispositivos de baixo impacto (low impact development)
mm/h	Milímetros por hora
MMA	Ministério do Meio Ambiente
n	Coeficiente de rugosidade de Manning
NRCS	Natural Resources Conservation Service
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas

OUC	Operação Urbana Consorciada
P	Precipitação (referente ao método SCS)
P	Perímetro (referente ao comprimento equivalente)
PA	Precipitação total anual
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PMP	Prefeitura Municipal de Palmas
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
Q	Vazão
$Q_{p_{cal}}$	Vazão de pico calculada
$Q_{p_{obs}}$	Vazão de pico observada
R^2	Coefficiente de determinação
Rh	Raio Hidráulico
S	Declividade (referente ao cálculo de vazão)
S	Potencial de retenção máxima (referente ao método do SCS)
SCS	Soil Conservation Service
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
T	Espessura da camada de pavimento
tc	Tempo de concentração
TD	Tempo de duração da chuva
tl	Tempo de retardo (<i>lag time</i>)
tp	Tempo de Pico
TR	Tempo de Retorno
V_{cal}	Volume calculado
V_{obs}	Volume observado
VR	Índice de vazios do sistema
UN	United Nations
Y_{clog}	Tempo de colmatção do sistema
Δt	Varição do tempo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Contextualização e justificativa	17
1.2	Objetivos	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	Urbanização e recursos hídricos.....	22
2.1.1	Impactos da urbanização no comportamento hidrológico e hidráulico dos cursos d'água	22
2.1.2	O planejamento urbano e os impactos hidrológicos e hidráulicos na bacia	27
2.2	Práticas de drenagem urbana	38
2.2.1	Microdrenagem.....	38
2.2.2	Macro-drenagem.....	39
2.2.3	Medidas não convencionais em drenagem urbana.....	40
2.3	Modelagem hidrológico-hidráulica	49
2.3.1	Softwares de modelagem hidrológico-hidráulica.....	51
2.3.2	Storm Water Management Model (SWMM).....	52
3	METODOLOGIA	62
3.1	Caracterização da área de estudo.....	62
3.1.1	Análise urbanística	62
3.1.2	Análise Morfométrica.....	64
3.2	Construção do Modelo Hidrológico-Hidráulico no SWMM.....	65
3.2.1	Precipitação de projeto	65
3.2.2	Modelo de infiltração, escoamento superficial e propagação de fluxo	67
3.2.3	Modelagem das sub-bacias no SWMM	71
3.2.4	Modelagem dos condutos no SWMM	73
3.2.5	Modelagem das medidas não convencionais no SWMM	74
3.3	Cenários e diretrizes ao planejamento urbano	75
4	RESULTADOS.....	77
4.1	Análise Urbanística.....	77
4.1.1	Aspectos históricos.....	77
4.1.2	Análise da legislação.....	81
4.1.3	Análise de ocupação	90
4.2	Análise Morfométrica	100
4.3	Modelo Hidrológico-Hidráulico no SWMM.....	102
4.3.1	Precipitação de Projeto	102

4.3.2	Sub-Bacias e suas características	102
4.3.3	Condutos e nós	107
4.3.4	Resultados dos Cenários	112
5	DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	121
5.1	Validade dos Resultados.....	121
5.2	Considerações urbanísticas	122
5.3	Parâmetros físicos e resultados da modelagem	124
5.4	Interface entre o planejamento urbano e as respostas hidrográficas	128
5.5	Recomendações	130
6	CONCLUSÕES	132
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
	APÊNDICE A – SEÇÕES IRREGULARES DO CURSO D'ÁGUA	145
	APÊNDICE B – USOS E PARÂMETROS DE OCUPAÇÃO DO SOLO	149
	APÊNDICE C – HIETOGRAMAS DE PROJETO	153
	APÊNDICE D – <i>PROJECT DATA</i> DO SWMM	155

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e justificativa

O contexto dos assentamentos humanos tem sido marcado, nas últimas décadas, por um intenso fluxo migratório de pessoas do meio rural para o meio urbano. Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2016, 54,5% da população mundial vivia em assentamentos urbanos enquanto, no Brasil, este valor era de 85,9%. Para efeitos de comparação, em 1950 a população urbana mundial e brasileira representavam, respectivamente, 29,6% e 36,2% (UNITED NATIONS, 2014a).

Esta urbanização apresenta, como importante desafio, aliar a oferta de infraestrutura e serviços para áreas e contingentes populacionais cada vez maiores, enquanto se preservam os recursos naturais necessários, justamente, à qualidade de vida desses habitantes. Além disso, deve-se levar em conta a relação intrínseca entre a alteração das condições naturais de determinada área e suas respectivas respostas aos fenômenos que lhe são característicos, dentre os quais se destaca o comportamento hidrológico-hidráulico dos cursos d'água.

Tendo em vista tais mudanças, as atenções das políticas públicas têm se voltado cada vez mais para o contexto das cidades. Neste sentido, muitos dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), pactuados pelos países membros da ONU (2015), tratam diretamente ou possuem interface com as atividades e estruturas urbanas.

Cada Objetivo do Desenvolvimento Sustentável possui um conjunto de metas, das quais importa citar, para o presente estudo, as que se referem à gestão integrada de recursos hídricos, preservação dos recursos naturais e aumento da resiliência das cidades à desastres relacionados à água, que permitem garantir acesso a habitações seguras. Como elementos de propulsão a estas metas, encontram-se outros referentes ao aumento de pesquisa, desenvolvimento e inovação, bem como de compartilhamento e difusão de conhecimento e tecnologia.

No entanto, a concentração da população em ambientes urbanos e a busca para atingir os ODS se dão em um cenário marcado pelas mudanças climáticas, que introduzem dificuldades até então desconsideradas. Tais mudanças foram reconhecidas pelas lideranças das nações-membro da ONU no Acordo de Paris (2015), que viria a ser ratificado pelo Brasil em setembro de 2016, conforme notícia vinculada no Portal Brasil (2016).

Na interface com os recursos hídricos, sobretudo no que se refere à drenagem urbana, o relatório sobre gerenciamento de eventos extremos do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2012) aponta para um aumento de ocorrência de precipitações extremas, mesmo em localidades onde a precipitação total diminuiu, embora destaque que na América do Sul as tendências possuem confiança baixa à média, com variações regionais significativas. Como a precipitação consiste em uma das principais etapas do ciclo hidrológico, a ocorrência de eventos extremos, aliada à crescente urbanização de algumas bacias hidrográficas, pode levar ao aumento dos eventos de cheias, culminando em prejuízos sociais, econômicos e ambientais relevantes. A urbanização contribui para os eventos de cheias, sobretudo, pela impermeabilização de áreas que anteriormente propiciavam a infiltração de águas da chuva que, na ausência desta possibilidade, escoam com maior velocidade para os cursos d'água.

Nesse sentido, é importante entender o comportamento das bacias hidrográficas urbanas e sua relação com o uso e ocupação do solo, pois, conforme destacado no Relatório de Mudanças Climáticas e Cidades, produzido pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2016), decisões equivocadas envolvendo perda de capital natural podem ser tomadas pela falta de informação e conhecimento referentes a importância de serviços ecossistêmicos. Reconhecendo isso, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, instituído pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2016), destaca relativa importância à produção e disseminação do conhecimento científico relativo à modelagem de fenômenos climáticos e hidrológicos.

No âmbito das cidades, a política citada acima ressalta a necessidade de identificação de ações de “não arrependimento”, que geram benefícios a sociedade, independentemente do fato de as previsões para mudança do clima se concretizarem ou não. Percebe-se que estas ações são alinhadas ao Princípio da Precaução, inserido na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC, 1992), que coloca a necessidade de realizar estudos e ações práticas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, mesmo sem ter a plena certeza científica da concretização destes efeitos.

Especificamente no Brasil, percebe-se que as políticas nacionais que tratam da interface cidade – recursos hídricos, mesmo anteriores aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, Acordo de Paris e Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima já se encontravam alinhadas ao atual entendimento. A Política Nacional de Recursos Hídricos, por exemplo, instituída pela Lei Federal nº 9.433/1997 traz como objetivo, em seu Art. 2º, inciso III, “a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do

uso inadequado dos recursos naturais”. Ainda, como diretriz de ação, no Art. 3º, inciso VI, “*a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo*” (BRASIL, 1997).

No mesmo diapasão, a Lei Federal nº 10.257/2001, denominada Estatuto da Cidade que, entre outros aspectos, estabelece diretrizes gerais para a política urbana, apresenta, no Art. 2º, inciso IV, a seguinte diretriz (BRASIL, 2001):

“Planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente”.

A lei prevê, também, a correta ordenação e controle do uso do solo, na tentativa de evitar usos excessivos ou inadequados da infraestrutura urbana, a poluição e a degradação ambiental, bem como a exposição da população a riscos de desastres.

Por fim, ainda dentro da estrutura legal nacional, tem-se a Política Nacional de Saneamento Básico, estabelecida pela Lei Federal 11.445/2007, que traz como princípios fundamentais, expressos em seu Art. 2º, a disponibilidade de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais que sejam adequados à saúde pública, segurança da vida e proteção do patrimônio público e privado, em todas as áreas urbanas, com práticas adequadas à realidade local. Tudo isso pensado de maneira articulada com as demais políticas de desenvolvimento urbano como habitação, proteção ambiental e outras (BRASIL, 2007).

Assim, percebe-se que as políticas nacionais mais diretamente relacionadas na interface entre o desenvolvimento urbano e os recursos hídricos encontram-se completamente alinhadas às necessidades atuais de conhecimento e prevenção de riscos ambientais, sobretudo considerando o presente cenário de mudanças climáticas. Isto oferece respaldo às pesquisas científicas que, com maior facilidade, podem levar aos órgãos executores propostas de intervenções aliadas a seus pressupostos legais.

Em detrimento disso, no âmbito do Município de Palmas, pontua-se os constantes transtornos enfrentados pela população pelo inadequado manejo das águas pluviais. Embora não se tratem de enchentes nas proporções das grandes metrópoles, o que se observa são sinais da necessidade de estudos mais aprofundados e práticas de manejo para que se evite o crescimento da magnitude de tais eventos. Destaca-se que no dia 17 de janeiro de 2017, após um evento de intensa precipitação – 145mm em 7 horas, com intensidade máxima chegando a

67,6mm/h, conforme dados da Estação Meteorológica Palmas-A009, do Instituto Nacional de Meteorologia, o nível das águas do Córrego Suçuapara subiu de tal maneira que chegou a transbordar um dos bueiros necessários à ligação entre as regiões central e norte da cidade, conforme matéria veiculada no portal G1 Tocantins (2017).

Especificamente com relação à bacia do Córrego Suçuapara, ocupada por quadras que apresentam densidades relativamente altas considerando o cenário municipal, observam-se poucos estudos relacionados ao comportamento hidrológico-hidráulico dos corpos d'água que a compõem. Neste sentido, destacam-se o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e o Plano de Ação Palmas Sustentável.

No primeiro, há a estimativa dos hidrogramas para a realidade atual e para um cenário com aumento da urbanização dos principais córregos que participam do sistema de drenagem urbana de Palmas, entre eles, o Suçuapara. O plano coloca esta bacia entre as principais afetadas pelos problemas relacionados aos alagamentos. No entanto, não se verifica o comportamento hidráulico do curso d'água, que se apresenta como ação com prazo para 2015, mas que, até o momento, não se concretizou. Existem, também, poucas indicações às práticas de controle na fonte, que são relegadas à uma ação de estudos, com prazo para 2017, também não cumprido.

Pontua-se que o PMSB (PMP, 2014) diagnosticou que todas as bacias hidrográficas municipais, mesmo aquelas com boa parte de sua área localizada na parcela urbana da cidade, apresentam um baixo índice de cobertura por rede de drenagem. Como o plano indica a necessidade de execução de diversas obras de drenagem e, conseqüentemente, um aumento neste índice, é importante que se conheça com maior clareza o comportamento dos córregos e se os mesmos terão capacidade para suportar essas novas cargas.

No Plano de Ação Palmas Sustentável (PMP, 2015), fruto de uma metodologia que busca identificar e priorizar ações para que a cidade atinja a sustentabilidade, tem-se a divisão dos temas em três dimensões principais: ambiental e mudanças climáticas; desenvolvimento urbano; e fiscal e governança. No eixo ambiental e mudanças climáticas destaca-se como uma das áreas mais críticas a drenagem urbana, novamente, pela falta de redes de drenagem.

O estudo específico realizado para Vulnerabilidade e Riscos Ambientais, realizado por IDOM e COBRAPE (2014), que contém o componente de comportamento hidrológico-hidráulico das bacias urbanas, não apontou riscos para a Bacia do Córrego Suçuapara. No entanto, deve-se levar em conta que, conforme apontado pelos autores, os mesmos não contaram com batimetria dos canais para análise, o que reduz a confiabilidade dos resultados, alicerçado, ainda, pelas notícias de eventos do ano de 2017.

Destaca-se a ausência de simulação de cenários com evolução do uso e ocupação do solo, o que limita a interpretação dos resultados obtidos, observando a tendência de adensamento e impermeabilização do solo presente na cidade. Ainda, não há menção para práticas de controle na fonte, que poderiam ser utilizadas, mesmo que os cenários não indiquem grandes riscos. Vale ressaltar que o manejo de águas pluviais em Palmas ainda é marcado pelas tradicionais práticas estruturais de canalização.

O atual plano diretor da cidade, instituído pela Lei Municipal Complementar nº 400 (PALMAS, 2018), conta com título específico para Meio Ambiente e Mudanças Climáticas contando, entre suas diretrizes, com o necessário incentivo a adoção dos sistemas de drenagem sustentável aliados à drenagem convencional, de maneira a ampliar a capacidade de retenção, absorção e infiltração do solo. Neste sentido, revela-se certa desconexão entre os estudos supracitados com o que preconiza o principal regimento da política urbana municipal. Alinhado à preservação de seus recursos hídricos, o plano também delimita Áreas de Preservação Permanente com largura mínima de 42 metros no entorno de todos os seus cursos d'água.

Pontua-se, por fim, a falta de trabalhos científicos que estudem o comportamento desta bacia e a possível adoção de práticas de controle de drenagem na fonte e de medidas não estruturais aplicadas à Palmas. Isto prejudica a análise dos resultados expostos nos demais estudos, visto não haver contraposição.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é analisar a resposta hidrológica-hidráulica à diferentes cenários de uso e ocupação do solo e de práticas de drenagem na bacia do Córrego Suçuapara, identificando possíveis riscos provenientes da urbanização e maneiras de mitigação. Para isso, o trabalho será desenvolvido com vistas a atingir os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a forma e as causas do atual estado de ocupação da bacia, bem como suas tendências;
- Simular, por meio de um modelo computacional hidrológico-hidráulico, o comportamento da bacia em sua ocupação atual e para diferentes cenários de uso e ocupação do solo;
- Analisar possíveis causas de transbordamento do córrego;
- Avaliar a eficácia da aplicação de medidas não convencionais em drenagem urbana; e
- Propor diretrizes para o uso e ocupação do solo na bacia de interesse.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Partindo do atual estado de acentuada urbanização e concentração de pessoas nas cidades importa saber, no âmbito deste estudo, como este fenômeno impacta no comportamento dos cursos d'água. Assim, faz-se necessária uma leitura acerca da relação urbanização e recursos hídricos, sobretudo quanto ao aspecto de uso e ocupação do solo urbano, para determinar a situação atual de comportamento da bacia hidrográfica e prever sua resposta para os diferentes cenários aos quais ela possa ser induzida, propiciando diretrizes para uma ocupação com características sustentáveis e que promovam sua resiliência.

Neste sentido, a compreensão e utilização de modelos hidrológicos capazes de simular o comportamento das bacias tem se tornado prática recomendada. Aliado a isso, a necessária mudança de paradigma quanto a maneira de efetuar a drenagem das águas pluviais – partindo de práticas puramente higienistas para utilização de medidas de controle na fonte e não estruturais, já se mostra amplamente divulgada, carecendo, no entanto, de avaliações de sua efetividade nas diferentes bacias urbanas e ações práticas de implementação.

A revisão bibliográfica a seguir busca apresentar o conhecimento consolidado quanto aos tópicos acima, propiciando, também, subsídios para a posterior discussão dos resultados atingidos. Desta maneira, se estruturará em três tópicos principais: urbanização e recursos hídricos; práticas de drenagem urbana; e modelagem hidrológico-hidráulica.

2.1 Urbanização e recursos hídricos

2.1.1 *Impactos da urbanização no comportamento hidrológico e hidráulico dos cursos d'água*

Conforme pode se visualizar na Tabela 1, a população urbana brasileira saltou de 19,52 milhões para 174,508 milhões entre os anos de 1950 e 2015, o que representa um salto de 36,2% para 85,7%, respectivamente, de sua participação quanto ao total de habitantes no país. Este crescimento, impulsionado após meados do século XX se deve, sobretudo, pelo processo tardio de industrialização do país e afeta diretamente o comportamento dos ciclos hidrológicos nas bacias hidrográficas, como se verá a seguir.

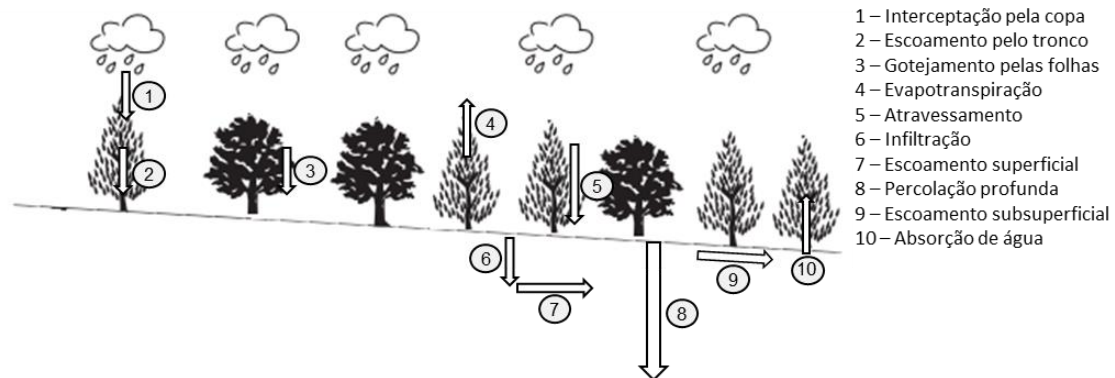
Tabela 1 – Crescimento da População Brasileira e Participação da Parcela Urbana

Ano	Total	Urbana	%
1950	53 975	19 517	36,2%
1955	62 903	25 826	41,1%
1960	72 776	33 578	46,1%
1965	84 379	43 065	51,0%
1970	96 060	53 706	55,9%
1975	108 220	65 785	60,8%
1980	121 740	79 700	65,5%
1985	136 223	95 169	69,9%
1990	149 648	110 623	73,9%
1995	161 891	125 643	77,6%
2000	174 505	141 684	81,2%
2005	186 142	154 190	82,8%
2010	195 210	164 631	84,3%
2015	203 657	174 508	85,7%

Fonte: United Nations (2014a) e United Nations (2014b)

Em bacias hidrográficas que se apresentam em condições naturais e com cobertura florestal, a água precipitada possui vários caminhos para atingir o curso d'água, ilustrados na Figura 1. Pode sofrer interceptação na copa das árvores e posterior evaporação, escoar pelo tronco ou atingir diretamente o solo. Após atingir o solo, tem-se como possíveis caminhos o armazenamento sobre a cobertura vegetal, o escoamento por esta mesma camada, a infiltração em uma pequena profundidade e posterior escoamento subsuperficial, a infiltração em grandes profundidades, propiciando a alimentação dos lençóis freáticos e aquíferos, ou, ainda, a absorção pelas raízes dos vegetais (BOTELHO, 2011).

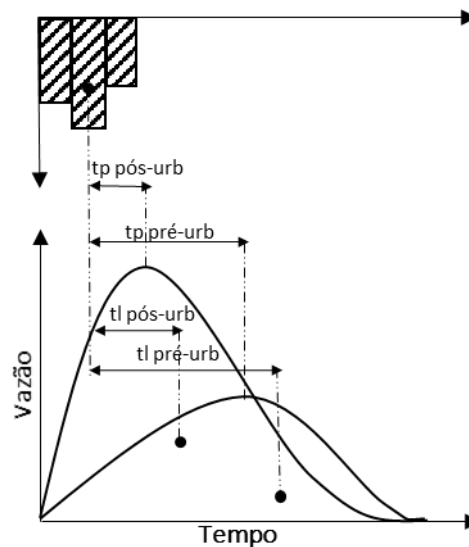
Figura 1 – Principais componentes do ciclo hidrológico terrestre, em área vegetada



Fonte: Adaptado de Botelho (2011)

A autora supracitada pontua que com a urbanização da bacia as possibilidades de caminhos para a água das chuvas se restringem, basicamente, ao binômio escoamento e infiltração, com preponderância do primeiro. Isto impacta diretamente alguns fatores utilizados para medir o comportamento da água na bacia hidrográfica, com destaque para o aumento da vazão de pico no curso d'água e do volume total escoado na bacia, bem como a diminuição dos tempos de pico – intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e a máxima vazão do hidrograma (t_p), e de retardo – intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de massa do hidrograma resultante (t_l). A variação destes fatores pode ser visualizada na Figura 2, de maneira conceitual. Além disso, manifesta-se um aumento nas ocorrências de erosões e prejuízos à qualidade da água, embora estas não façam parte do escopo deste trabalho.

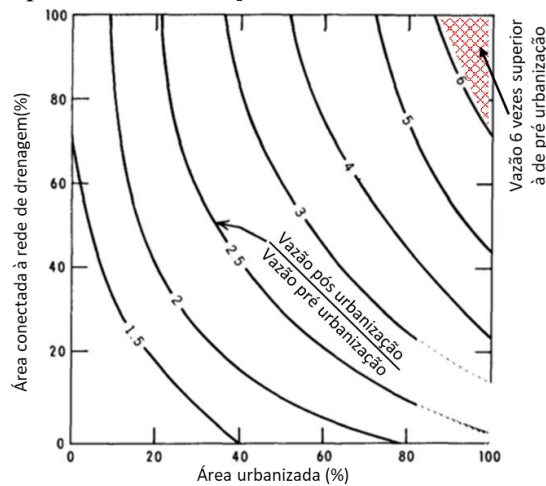
Figura 2 – Efeitos hipotéticos da urbanização no hidrogramas de um curso d'água



Fonte: Elaborada pelo autor

As alterações citadas se encontram vastamente documentadas na bibliografia, datando de estudos pioneiros realizados por Leopold (1968), que compilou resultados obtidos para várias cidades estadunidenses. Alguns destes resultados merecem destaque. A autora, após o levantamento de resultados obtidos quanto a análise do comportamento de bacias que passaram por processos de ocupação urbana, concluiu que há uma relação direta entre a parcela de área impermeável, a parcela de área que possui rede de drenagem implantada e o aumento da vazão nos cursos d'água que recebem esta carga. Um dos principais resultados de seu trabalho é apresentado na Figura 3, na qual chama a atenção a possibilidade de vazão em uma área completamente impermeabilizada e drenada ser superior à seis vezes a sua vazão de pré urbanização.

Figura 3 – Impacto da urbanização na vazão de uma bacia hidrográfica



Fonte: Leopold (1968)

Outro aspecto importante é quanto à capacidade de escoamento dos cursos d'água. Segundo a autora citada, o leito menor dos rios é capaz de escoar vazões um pouco menores do que as médias de vazões de pico anuais, que são aquelas com tempo de recorrência aproximado à 2,3 anos. Assim, afirma que estes leitos são capazes de escoar vazões de tempo de recorrência entre 1,5 e 2,0 anos. No entanto, com a impermeabilização advinda da urbanização e a consequente implantação de infraestrutura de drenagem, vazões dessa magnitude passam a ocorrer com maior frequência, gerando transtornos recorrentes, sobretudo quando da ocupação das áreas inundáveis.

Mais recentemente, Jacobson (2011), em seu artigo de revisão sobre os impactos hidrológicos da impermeabilização em áreas urbanas, apresentou informações catalogadas de trabalhos realizados entre os anos 60 e 80. Estas informações estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo de impactos hidrológicos da urbanização entre os anos 60 e 80

Autores	Características Hidrológicas	Impacto
Espei et al., 1966	Tempo de retardo Vazão de pico	Diminui Aumenta
Leopold, 1968	Vazão do leito menor	Aumenta
Seaburn, 1969	Duração da cheia	Diminui
Hammer, 1972	Área da seção transversal do canal	Aumenta
Hollis, 1975	Tempo de recorrência para pequenas cheias Tempo de recorrência para grandes cheias	Aumenta muito Aumenta pouco
Graf, 1977	Densidade de drenagem Tempo de retardo	Aumenta Diminui
Arnold et al., 1982	Erosão das margens Tamanho do material sedimentado Taxa de escoamento de material sedimentado	Aumenta Aumenta Aumenta
Simmons e Reynolds, 1982	Escoamento de base	Diminui

Fonte: Jacobson (2011)

Quantos aos estudos pós anos 80, Jacobson (2011), ao citar outros autores, destaca que as pesquisas observaram alguns efeitos indiretos em bacias urbanizadas, além dos efeitos diretos de mudança nos tempos de retardo e vazão de pico. Dentre estes efeitos indiretos, os principais citados, com seus respectivos autores, são:

- a possibilidade de visualizar dois picos de vazão distintos para a mesma precipitação, a depender da localização da área urbanizada;
- a possibilidade de redução do escoamento de base, embora isto esteja intrinsicamente associado à prática de drenagem utilizada; e
- a existência de um limite de área impermeável abaixo do qual não se percebe mudanças significativas no comportamento hidrológico da bacia, variando entre 3 a 5%, até 20%.

Uma crítica importante realizada por Jacobson (2011) é a de que muitos estudos tentam associar as mudanças do comportamento hidrológico com alguma métrica de fácil acompanhamento, relacionada a urbanização da bacia. Cita que alguns autores usam a densidade populacional ou a densidade de vias como unidade de medida, mas que estas podem não representar uma real associação entre os fenômenos observados.

É importante que se pontue, também, estudos brasileiros sobre a temática, do qual destaca-se o de Tucci (2000). Em seu trabalho, o autor demonstra claramente os impactos da urbanização e da conseqüente impermeabilização das bacias, refletidos em aumento da vazão específica e do volume de escoamento superficial, quando comparadas a condição rural. Seus resultados apresentam-se sintetizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre impermeabilização e aumento da vazão

Área impermeável lote (%)	Área impermeável bacia (%)	Aumento vazão específica*	Aumento volume escoamento superficial*
7	20	6,52	2,15
20	30	9,65	3,22
33,3	40	12,90	4,29
46,7	50	16,24	5,36
60	60	19,65	6,44
73,3	70	23,14	7,51
80	80	26,67	8,58

*Aumento em número de vezes quando comparado a condição rural.

Fonte: Tucci (2000)

Embora se possa apontar que os estudos são sempre restritos à algumas bacias – no caso de Tucci (2000), 12 bacias do Sul e Sudeste brasileiro, o que se observa é que o aumento da vazão e do volume escoado, variando em magnitude, estão sempre presentes como consequências da urbanização, seja no contexto brasileiro ou de outros países. Isto é o que resulta da análise das publicações citadas e de algumas mais recentes (BASTOS, 2009; ROCHA, 2013; MILLER et al., 2014; NIGUSSIE e ALTUNKAYNAK, 2016).

Neste sentido, o reflexo advindo da mudança de comportamento do ciclo hidrológico nas regiões urbanas se manifestará, sobretudo, na forma de enchentes. Por conta das alterações relatadas, aumenta o número de vezes em que o leito de inundação natural dos rios é solicitado. Além disso, este leito pode, inclusive, não ser suficiente para determinados eventos. Conforme o nível de ocupação das áreas possivelmente alagáveis, tem-se maiores prejuízos com perdas materiais, interrupção de atividades, transmissão de doenças de veiculação hídrica e, em alguns casos, perdas de vidas humanas.

Destas elucidaciones vislumbra-se que a relação da cidade com as cheias de seus cursos d'água estará intimamente ligada com o planejamento urbano adotado. Este planejamento, por sua vez, é o que induz a ocupação territorial da cidade e possui consequências diretas em como a bacia hidrográfica irá drenar as precipitações. Esta relação é abordada com maior detalhamento no tópico a seguir.

2.1.2 O planejamento urbano e os impactos hidrológicos e hidráulicos na bacia

2.1.2.1 Contextualização

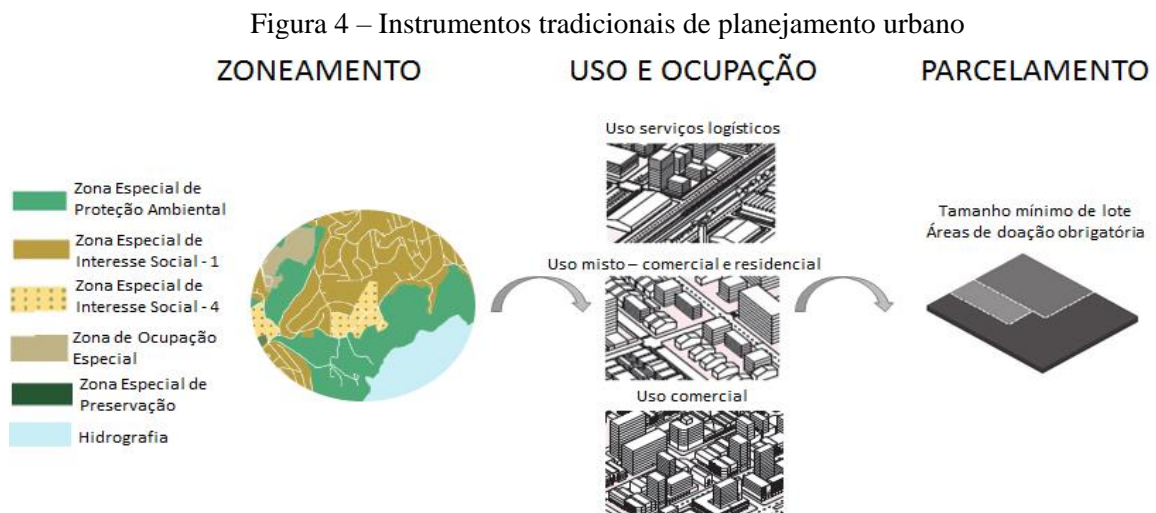
A Lei Federal nº 9433/97, que, entre outros, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos adotou a bacia hidrográfica como unidade territorial para sua implementação. Assim, o instrumento de planejamento e gestão por ela delimitado para a implantação desta política - os Planos de Recursos Hídricos, devem ser elaborados no âmbito desta unidade.

Peres e Silva (2013) comentam que estes planos podem apontar diretrizes para os Planos Diretores dos municípios, sobretudo quanto ao crescimento urbano, proteção de mananciais e localização das atividades produtivas. Estas diretrizes acabam por relacionar-se diretamente com o uso e ocupação do solo urbano.

O Plano Diretor Municipal “é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana”, conforme estabelecido pelo Art. 40 da Lei Federal 10.257/2001 – conhecida

como Estatuto da Cidade. Resta clara, então, a necessária compatibilização entre ambos os instrumentos de planejamento e gestão - Planos de Recursos Hídricos e Planos Diretores Municipais.

Para dar sentido prático as diretrizes de ambos os planos, os municípios se utilizam de alguns instrumentos tradicionais, como apontam Carneiro et al. (2004), que se destinam ao controle do uso e ocupação do solo, representados por três níveis: o zoneamento, a ocupação do solo e o parcelamento do solo, visualizados na Figura 4. Embora os diferentes níveis de abrangência, cada um deles repercutirá diretamente no outro, de maneira que as diretrizes dadas pelo zoneamento irão influenciar em como se dará o parcelamento do solo em cada área.



Fonte: Adaptado de PMSP (2016), PMSP (2014a) e Chaussê (2014)

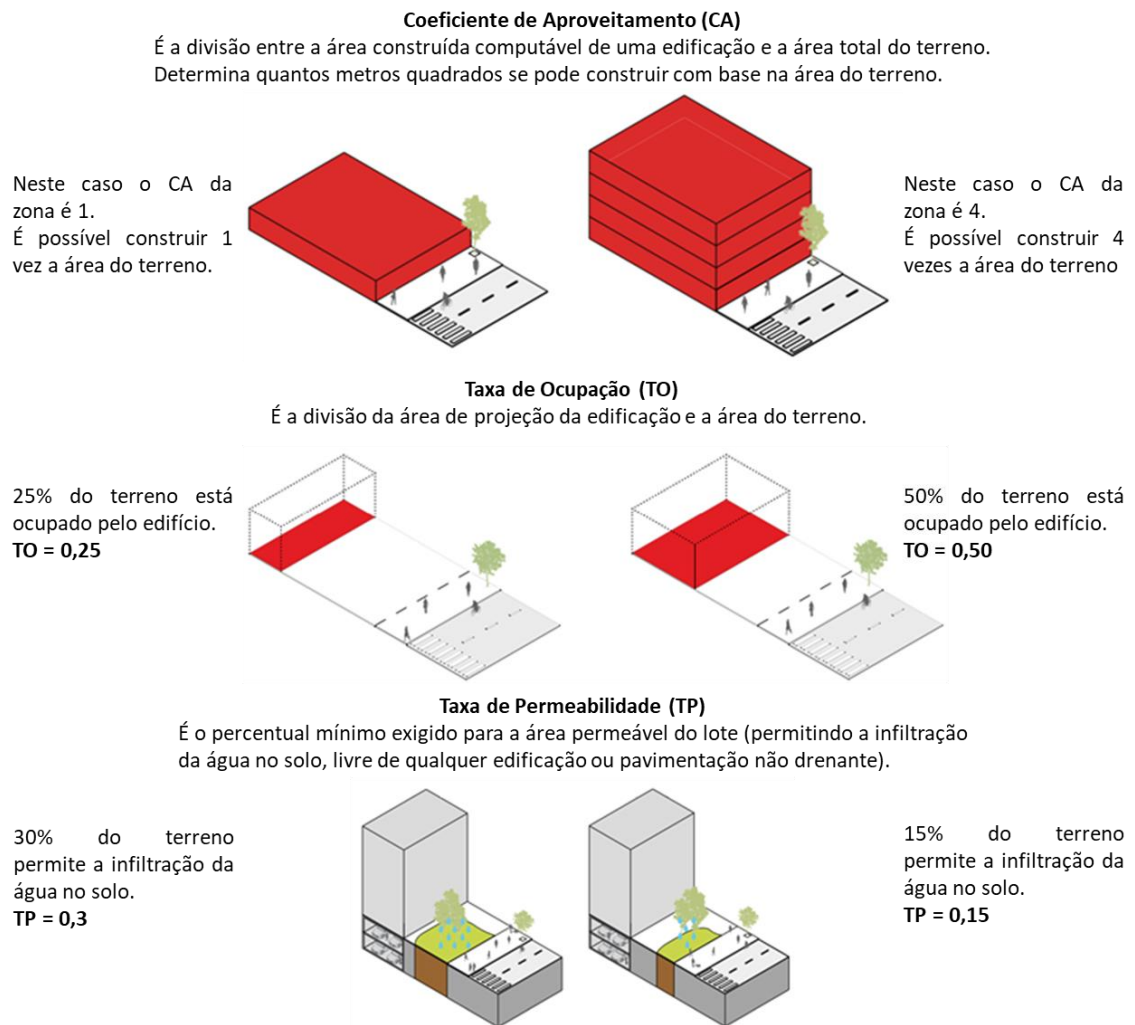
2.1.2.2 Zoneamento e uso e ocupação do solo

O zoneamento, segundo Dorneles (2010), irá determinar a divisão territorial da cidade, delimitando como se dará a expansão urbana e a distribuição da população. Seu objetivo principal é garantir o desenvolvimento econômico-social e o equilíbrio ambiental.

Para cumprir este objetivo, é determinado o que pode ser construído (empreendimentos habitacionais, comerciais, mistos, indústrias, entre outros), influenciando diretamente a ocupação do solo e seus parâmetros, como as taxas de ocupação, coeficientes de aproveitamento e permeabilidade do solo, bem como as dimensões dos lotes do parcelamento, para cada região da cidade. As zonas são comumente delimitadas nos próprios planos diretores ou nas leis de uso e ocupação do solo municipal. Estas últimas costumam conter, também, os limites para os parâmetros de ocupação do solo acima elencados. Para entendê-los melhor, pode-se consultar a Figura 5.

Percebe-se que os aspectos mencionados acima irão impactar diretamente o comportamento do ciclo hidrológico da área, sobretudo pelas áreas impermeáveis resultantes de sua ocupação. Assim, ao se estabelecer o zoneamento municipal, as características do ambiente natural devem ser consideradas, de maneira a possibilitar a proteção e preservação dos recursos hídricos, da cobertura vegetal, da paisagem, de áreas com importância histórico-cultural e outras que possam ser identificadas (BASTOS, 2009).

Figura 5 – Principais parâmetros de ocupação do solo



Fonte: PMSP (2014b)

Como exemplo do impacto destes parâmetros, cita-se o trabalho de Rocha (2013). Na análise da Bacia do Córrego Samambaia, em Goiânia-GO, a autora comparou a situação de ocupação em 2012 – com 24,50% de área impermeável total, à máxima permitida pela legislação – 70% de área impermeável total. Os resultados apontaram que, caso a bacia seja ocupada conforme previsto em lei, a vazão de pico no córrego poderá aumentar até 2,5 vezes e o escoamento total em torno de 5 vezes.

Neste mesmo sentido, Bastos (2009) simulou cenários que variaram entre a condição de pré-urbanização, a urbanização atual e a máxima permitida pelo Plano Diretor e respectivos usos na Bacia do Córrego dos Monos, em Cachoeiro do Itapemirim – ES. Os níveis de urbanização da bacia, quando da época do estudo, variavam em torno de 18,56%, enquanto a permitida pelos códigos urbanísticos é de aproximadamente 40,70%. O autor encontrou variações entre 19,75% a 106,44% de incremento da vazão comparando os dois cenários. Este grande intervalo de variação diz respeito aos diferentes modelos chuva-vazão utilizados.

Além do tipo e forma de ocupação permitida, o zoneamento deve levar em conta, também, os limites de avanço da ocupação do território. Isso se traduz em áreas de preservação e distâncias de ocupação com referência aos cursos d'água. A própria Lei Federal nº 12.651/2012 – o Código Florestal, já traz distâncias mínimas a serem respeitadas, enquadrando-as como Áreas de Preservação Permanente, que variam entre 30 e 500 metros conforme a largura do curso d'água.

Os prejuízos devido à não delimitação e preservação dessas áreas é vastamente documentado. A título de exemplificação, Canholi (2014) aponta que as vias de fundo de vale foram historicamente sendo implantadas, de maneira que as várzeas dos rios passaram a fazer parte do sistema viário das zonas urbanas. Isso se fez possível pela retificação e canalização dos córregos, permitindo a construção viária sobre antigos meandros. A Figura 6 ilustra, de maneira esquemática, como essas várzeas, inundadas sazonalmente, foram suprimidas, com a consequente aceleração do escoamento, aumento do pico de vazão e, conseqüentemente, das inundações.

Figura 6 – Inundações advindas da supressão e ocupação de várzeas



Fonte: Ramachandra e Mujumdar (2009)

Tominaga (2013) apresenta o histórico de ocupação da Bacia da Luz, localizada a margem esquerda do famigerado Rio Tietê, em São Paulo-SP. No final do século XIX, a região passou por um intenso processo de indução de crescimento proporcionado pela instalação de duas ferrovias – a São Paulo Railway e a Sorocabana. A demanda por espaço pressionaria a ocupação do leito maior do rio, o que levaria a sua canalização e rebaixamento da calha natural. Atualmente, a região sofre com constantes problemas de alagamentos.

Resultados semelhantes podem ser observados na bacia do Ribeirão Arrudas, que atravessa a cidade de Belo Horizonte. O projeto inicial da cidade previa uma população de 200 mil habitantes, muito aquém da estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística no ano de 2016 – 2,52 milhões¹. Lucas et al. (2015) apontam que desde o início a cidade fora concebida para possuir intensa ocupação de suas várzeas, inclusive suprimindo os rios e desconsiderando as formas naturais da região.

Os exemplos do Rio Tietê e Ribeirão Arrudas são clássicos e mostram como a indevida ou irregular ocupação do solo pode acarretar transtornos dificilmente reversíveis. Após o adensamento histórico dessas áreas, os próprios autores supracitados apontam a grande complexidade de se atuar nestas bacias.

2.1.2.3 Parcelamento

Para além do zoneamento e ocupação, tem-se o próprio parcelamento do solo urbano, regido pela Lei Federal nº 6.766/1979, que traz diretrizes para os projetos de loteamento. Segundo Mota (2003), é no momento do parcelamento que o município tem a oportunidade de exigir e direcionar a distribuição de lotes, vias e equipamentos públicos, de maneira a influir na preservação e conservação de seus recursos hídricos.

Em nível de parcelamento do solo, Carneiro et al. (2004) destacam como parâmetros mais usuais: o tamanho mínimo do lote, dado em função da zona em que se encontra o parcelamento; as áreas que serão doadas obrigatoriamente ao poder público para instalação de seus equipamentos, áreas verdes e sistema viário; as dimensões viárias e, por fim, a infraestrutura que deverá ser obrigatoriamente implantada pelo loteador. Estes parâmetros devem ser balizados pelos aspectos que se relacionam com os recursos hídricos. Mascarió (2005) cita, entre outros, as áreas de preservação ecológica pela presença de água superficial, a

¹ Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>>. Acesso em: maio 2018.

declividade do local de implantação e a própria delimitação das bacias hidrográficas que se apresentam no interior dos parcelamentos.

O autor descreve, com mais detalhes, que declividades muito baixas - menores que 2%, são prejudiciais pelo alagamento constante e sedimentação das tubulações, e declividades muito altas - maiores que 6%, aumentam demasiadamente a velocidade das águas, resultando em processos erosivos. Estes valores devem fazer parte da análise quando da locação dos diferentes usos à que se destinam cada parcela de um novo loteamento.

Mascaró (2005) ainda traz comentários relacionando o traçado das vias, as declividades apresentadas pelo terreno e seu impacto no escoamento das águas pluviais. A Figura 7, abaixo, sintetiza suas contribuições a respeito.

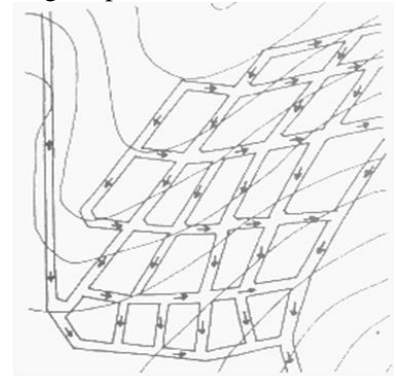
Figura 7 – Relação entre traçado viário e escoamento de águas pluviais



Em terrenos de forte declividade, haverá erosão nas ruas que se desenvolverem perpendiculares às curvas de nível, pela alta velocidade das águas. Não se aconselha tal traçado.



Neste traçado, a velocidade das águas pluviais irão diminuir pela requeente troca de direção pelo desencontro de ruas, sendo um pouco melhor que a opção anterior.

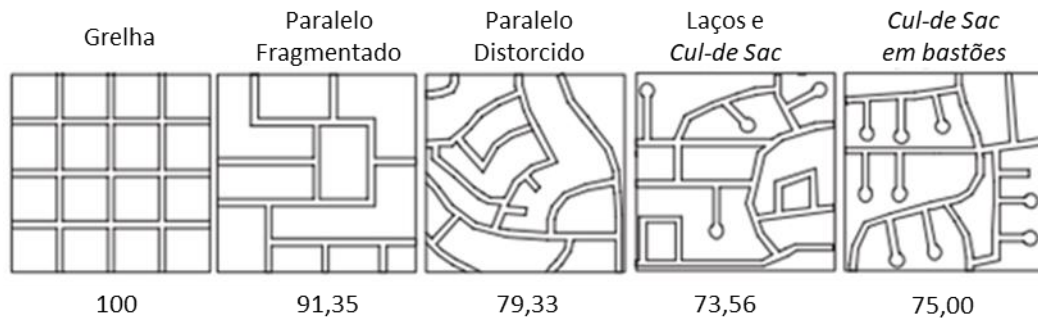


Para esta opção, a velocidade das águas também é reduzida. No entanto, pode-se prejudicar o tráfego pela excessiva quantidade de valetas atravessando o pavimento para conduzir as águas superficiais ou aumento de custos pela elevada quantidade de bocas-de-lobo.

Fonte: Mascaró (2005)

Especificamente sobre o sistema viário, Prince George County (1999) mostra que a escolha do traçado pode significar em uma redução de até 26% da área impermeável em um loteamento. A Figura 8 apresenta as contribuições percentuais quando da opção por diferentes tipos de traçado, tomando como base o ortogonal simples.

Figura 8 – Impermeabilização acarretada pelo traçado viário, em %



Fonte: ULI (1980) apud Prince George County (1999)

O mesmo autor também destaca a contribuição que pode ser obtida pela largura das vias. Em sua localidade – Maryland, Estados Unidos, a mudança destas dimensões de aproximadamente 11 metros para 7,3 metros possibilitou uma redução em torno de 33% de área impermeável devido a pavimentação de vias. O material indica até a possibilidade de implantação de calçadas em apenas um dos lados das vias como medida para diminuir as áreas impermeáveis.

No que diz respeito as áreas reservadas para uso público, Lima e Amorim (2006) reforçam o papel central da administração pública, já que é ela, respaldada pela Lei Federal nº 6.766/79 e suas alterações, que fornecerá as diretrizes para a locação e destinação adequada destas áreas. Assim, o poder público possui o poder-dever de impedir o fragmento das áreas simplesmente pelo interesse do loteador de produzir o maior número de lotes possível. Os autores pontuam, por exemplo, o caso da cidade de Osvaldo Cruz – SP, na qual muitas áreas verdes foram destinadas sem a correta consideração de integração às necessidades de preservação ambiental e de lazer da população, resultantes, apenas, de espaços que foram considerados inadequados ao loteamento e que se encontram, invariavelmente, no entorno dos mesmos.

Loboda e De Angelis (2005) pontuam o potencial das áreas verdes públicas para garantirem a preservação ambiental e a redução do escoamento superficial, de maneira a influir diretamente no balanço hídrico. Oliveira et al. (2016) apresentam três exemplos de sucesso na utilização de áreas verdes distintas para auxiliar no manejo das águas pluviais em Guarulhos-SP, com a possibilidade, inclusive de desconexão de parte do escoamento da rede pluvial. O uso primordial das áreas é um campo de futebol, uma área de lazer para cães em parque público e uma área sob um viaduto, demonstrando a versatilidade de compatibilizações possíveis e que podem ser potencializadas logo no parcelamento do solo urbano.

Araújo et al. (2012) chamam a atenção para necessária conexão entre as áreas verdes e sua distribuição entre as diferentes localidades das cidades, de maneira que não fiquem concentradas apenas nas regiões periféricas, como em Curitiba-PR, localidade de seu estudo. Atrelado a isso, reforçam que as áreas verdes representam uma alternativa de equilíbrio à impermeabilização e ao adensamento dos centros urbanos, sobretudo quando compõem corredores verdes com a presença de espaços permeáveis.

Mais especificamente quanto ao impacto da forma e dimensões das parcelas (lotes), algumas considerações são necessárias. Conforme pontuado por Mascaró (2005), há uma tendência por parte de loteadores privados para a redução de áreas das parcelas, na tentativa de aumentar os rendimentos advindos do parcelamento. Neste sentido, cita casos de loteamentos de baixo custo onde as áreas das parcelas chegam a apenas 60m², com 1,2m de frente.

Neste sentido observa-se, mais uma vez, a conexão com o zoneamento previsto para a área. A redução do tamanho das parcelas resulta em uma maior densidade habitacional e menores áreas permeáveis internas aos lotes. As consequências da impermeabilização já foram largamente discutidas nos tópicos anteriores.

Assim, estas medidas devem ser tomadas levando em consideração as diretrizes apontadas pelo seu zoneamento, de maneira a não induzir ocupações que não sejam condizentes à capacidade de suporte dos recursos naturais – neste caso, os corpos d'água receptores do escoamento. Há de se levar em conta, também, a necessária infraestrutura para suportar uma maior densidade, de maneira à que possíveis sobrecargas não induzam passivos ambientais.

2.1.2.4 Novos instrumentos

Os novos instrumentos preconizados pelo Estatuto da Cidade podem ser divididos entre aqueles que criam novos direitos subjetivos, que independem de ações do poder público para serem efetivados, e os que ampliam as possibilidades de intervenção da administração local. Como exemplo, entre os primeiros, citam-se a usucapião especial urbana e a concessão especial de uso, enquanto entre os segundos pode-se destacar a edificação compulsória, o imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana progressivo no tempo e a outorga onerosa do direito de construir (CARNEIRO, 2008).

O autor supracitado traça um paralelo entre estes novos instrumentos e sua articulação com a Gestão dos Recursos Hídricos. A seguir encontram-se resumidos as principais contribuições do mesmo acerca dos instrumentos de maior destaque, bem como uma definição simplificada de cada um, baseada no Estatuto da Cidade:

- Parcelamento, edificação ou utilização compulsória: obriga o parcelamento, a edificação ou a utilização do solo urbano conforme parâmetros fixados no plano diretor. Propicia o atendimento à demanda por terra e moradia, reduzindo a pressão sobre áreas de preservação ambiental e áreas em risco de enchente;
- IPTU progressivo no tempo: em caso de descumprimento das determinações do instrumento anterior, permite a majoração da alíquota de IPTU incidente sobre tais áreas. Os resultados são semelhantes ao do parcelamento, edificação ou utilização compulsória;
- Desapropriação com pagamentos em dívida pública: após a cobrança do IPTU progressivo durante cinco anos consecutivos, caso o proprietário não tenha cumprido a obrigação do parcelamento, edificação ou utilização compulsória, a administração municipal poderá desapropriar o imóvel mediante pagamento com títulos da dívida pública. Permite que o poder público tenha posse de áreas de interesse ambiental ou voltados para minimização de riscos de inundação, como parques lineares, reservatórios de detenção, entre outros;
- Direito de preempção: confere ao Poder Público municipal a preferência para aquisição de imóvel urbano de seu interesse, localizado previamente em áreas de interesse em consonância ao plano diretor. Benefícios semelhantes aos de desapropriação com pagamentos de dívida pública;
- Outorga onerosa do direito de construir: permite a construção acima do índice de aproveitamento, mediante contrapartida, em áreas previamente fixadas no plano diretor. As contrapartidas podem ser destinadas para melhorias ambientais e investimento em infraestrutura de prevenção a enchentes;
- Transferência do direito de construir: permite ao proprietário exercer em outro local ou alienar seu direito de construir, caso seu imóvel seja necessário, entre outros fins, para preservação ambiental. Permite a preservação de áreas necessárias ao controle de enchentes;
- Operações urbanas consorciadas: conjunto de intervenções coordenadas pelo Poder Público e participação de moradores, proprietários e investidores, em uma área delimitada, para alcançar transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e valorização ambiental. Para isso, utiliza-se de alteração dos parâmetros urbanísticos, concessão de incentivos e regularização de construções. Por meio das operações urbanas consorciadas a administração municipal pode implementar medidas de recuperação ambiental e controle de inundações, sobretudo em áreas degradadas;
- Estudo de impacto de vizinhança: o estudo visa levantar os efeitos positivos e negativos quanto à qualidade de vida da população na área de influência de instalação de novos

empreendimentos. Para isso, analisa, entre outras, questões de uso e ocupação do solo, patrimônio natural e adensamento populacional. Durante o estudo, podem ser previstas contrapartidas ao empreendimento, como obras de drenagem, reserva e manutenção de áreas verdes, implantação de estruturas de retenção de água, entre outros.

- Zonas especiais de interesse social: são zonas com um plano específico de urbanização em que há um maior comprometimento em atender as demandas das camadas sociais mais carentes. Permite a recuperação ambiental, sobretudo por meio de obras de infraestrutura e de regularização fundiária.

O rol de novos instrumentos apresentados pelo Estatuto da Cidade permite uma ampla margem de ação ao poder público, sobretudo no sentido da preservação ambiental e do controle de uso e ocupação do solo. Mesmo acarretando em uma maior possibilidade de correção de situações existentes, não apenas agindo na prevenção, Carneiro et al. (2004) apontaram, à época, que as potencialidades dos novos instrumentos ainda eram pouco exploradas. Mesmo atualmente, durante a elaboração desta revisão bibliográfica, poucos avanços foram identificados.

Um exemplo exitoso é destacado por Tucci (2004), em que o município de Estrela – RS, trocou áreas localizadas em zonas diagnosticadas como inundáveis por solo criado ou coeficiente de aproveitamento nas áreas mais valorizadas da cidade, acima dos anteriormente previstos no Plano Diretor. Destaca-se, mais recentemente, a utilização das Operações Urbanas Consorciadas (OUC).

Cita-se como exemplo a OUC Água Branca, em São Paulo – SP, que por meio da Lei Municipal nº 15.893/2013, estabeleceu novas diretrizes para a referida operação (as diretrizes iniciais datavam da Lei Municipal nº 11.774/1995). Entre os objetivos expresso em seu Art. 6º tem-se, em referência direta à gestão de águas pluviais:

VI - promover a reinserção urbanística e a reconfiguração urbanística e paisagística das várzeas e áreas de proteção permanente dos cursos d'água existentes; e

VII - solucionar os problemas de inundações em seu perímetro com a implantação de reservatórios para contenção de cheias, dispositivos de drenagem e capacitação da permeabilidade do solo, entre outras.

Como diretrizes, a lei aponta a compatibilização da infraestrutura com o adensamento e a harmonia com o uso e ocupação do solo, ampliação e melhoria da infraestrutura de drenagem, inclusive pela utilização, nas obras de pavimentação, de materiais com maior permeabilidade, bem como a implantação de parques lineares ao longo dos cursos d'água existentes, promovendo o retardamento do escoamento das águas pluviais. Angeli (2011) apontava, ainda em análise quando da vigência da lei anterior, que a OUC estava permitindo maior dinamismo na região e uma conseqüente revitalização urbana.

Bitencourt (2004) apresenta interessante evolução do instrumento de transferência do direito de construir aplicado na cidade de Curitiba-PR. A autora aponta que na referida cidade o instrumento era aplicado mesmo antes do Estatuto da Cidade, ainda em 1982, para fins de proteção à imóveis históricos. A partir da Lei Municipal nº 9.800/2000, o instrumento também passou a ser utilizado para a proteção e preservação do patrimônio natural.

Para a preservação ambiental permitia-se a aplicação do instrumento em três áreas com classificação distinta: áreas de influência do anel de conservação sanitário ambiental (áreas ambientalmente frágeis, no limite da cidade); áreas de conservação ambiental; e áreas de proteção de mananciais. No trabalho é destacado que, com a criação da Lei Municipal nº 8.000/2000 – criação do fundo de áreas verdes, os recursos de transferência dessas áreas passaram a integrá-lo e permitiram a transformação de algumas áreas verdes em três parques e quatro bosques.

Assim, percebe-se que, seja com a utilização dos instrumentos de planejamento urbano tradicionais ou com os novos (sobretudo após o Estatuto das Cidades), o poder público conta com uma variedade de opções para regular o uso e ocupação do solo da cidade. No entanto, outro fator preponderante para avaliação dos impactos no comportamento hidrológico da bacia, advindos de sua urbanização, se referem as práticas de drenagem utilizadas, revisadas no próximo tópico. Restará claro que elas se ligam diretamente as políticas de zoneamento e parcelamento do solo, de maneira que, inclusive, algumas se tornam impraticáveis caso não sejam previstas nestas fases.

2.2 Práticas de drenagem urbana

Historicamente, segundo Canholi (2014), o problema da perda de armazenamento natural promovida pela urbanização tem sido objeto de busca de solução, por parte dos engenheiros responsáveis, por sistemas centrados em obras de canalização. Estas obras provocam, invariavelmente, o aumento da velocidade do escoamento, de maneira que o problema é transferido para a jusante, que passa a correr mais riscos de inundação. Isto ocorre por conta da linearidade dos condutos, redução da rugosidade e eliminação das barreiras naturais ao escoamento.

Na abordagem clássica, estes sistemas de drenagem podem ser divididos, simplificadamente, em micro e macrodrenagem. Para Righetto et al. (2009), observar a funcionalidade e a capacidade destas partes é um imperativo para o planejamento urbano e a própria ocupação do território, de maneira a evitar alagamentos e prejuízos à jusante. Para além disso, destacam-se as medidas não convencionais, às quais será dispensado maior detalhamento na presente revisão, justamente por seu caráter menos consolidado em comparação à abordagem clássica, e como possível subsídio ao estudo dos cenários de simulação para a bacia em foco.

2.2.1 *Microdrenagem*

Tucci et al. (1995) definem a microdrenagem urbana “pelo sistema de condutos pluviais a nível do loteamento ou de rede primária urbana”. Ainda, apontam que o dimensionamento deste tipo de rede é dividido, basicamente, em três etapas: subdivisão da área e traçado; determinação das vazões que afluem à rede de condutos; e dimensionamento da rede de condutos. Destaca-se que esse dimensionamento é comumente realizado pelo Método Racional.

Os principais dispositivos que compõem o sistema de microdrenagem são as galerias, poços de visita, bocas-de-lobo, condutos de ligação, caixas de ligação ou de passagem, meio-fio, sarjetas, sarjetões, estruturas de dissipação de energia e estações de bombeamento. Diogo e Sciammarella (2008) apontam que obras com este caráter são necessárias para a promoção de condições favoráveis à circulação de pedestres e veículos quando da ocasião de precipitações relativamente frequentes (período de retorno entre dois e dez anos).

Teixeira (2015) destaca que a microdrenagem está diretamente relacionada à promoção da saúde, sendo um componente essencial que contempla o saneamento básico de uma municipalidade. A autora propõe que a microdrenagem urbana é condição necessária para a

efetivação de uma Habitação Saudável e, como consequência, para que se atinja o objetivo geral da Política Nacional de Promoção a Saúde.

2.2.2 *Macrodrenagem*

Conforme esclarecido por Tucci et al. (1995), a macrodrenagem tem por função realizar a destinação final das águas pluviais coletadas pela microdrenagem. É formada, sobretudo, pela rede de drenagem natural – córregos, riachos e rios, que se localizam nos talwegues e vales, ainda antes da implantação dos loteamentos urbanos.

O autor supracitado afirma que, além das obras de microdrenagem – que aumentam as vazões destinadas aos cursos d'água pela redução do tempo de concentração, outros fatores induzem à ampliação da capacidade da macrodrenagem, a saber: a ocupação dos leitos maiores; aumento da sedimentação; ampliação da malha viária sobre os vales; e o saneamento de áreas alagáveis. A ampliação desta capacidade se dá, principalmente, por retificação dos cursos d'água, aumento da seção de escoamento, revestimento do perímetro ou a implantação de galerias de grandes dimensões.

Ao citar os padrões do DAEE/CETESB (1980), Righetto et al. (2009) apontam que o tempo de retorno para as obras destinadas à macrodrenagem pode variar de 50 a 100 anos para áreas comerciais e residenciais e até 500 anos para áreas de importância específica. O elevado tempo de retorno implica cuidados e critérios mais rigorosos para o dimensionamento destas intervenções para que as estruturas não se tornem inviáveis sob o ponto de vista econômico e de ocupação de áreas lindeiras.

Righetto et al. (2009) ainda chamam a atenção para o fato de que a adoção de valores tabelados por tempo de retorno responde apenas ao controle de cheias associado à um único risco de projeto. O autor indica que, modernamente, tem-se empregado o conceito de gestão de risco hidrológico, que compreende, principalmente, o zoneamento de áreas inundáveis conforme o nível de risco e a utilização de áreas de menor impacto para direcionamento de escoamentos (parques, praças, quadras de esporte). Faz-se necessário, portanto, analisar o funcionamento do sistema mesmo nos casos de precipitações mais significativas que as adotadas para o dimensionamento das estruturas hidráulicas.

2.2.3 *Medidas não convencionais em drenagem urbana*

Antes de adentrar especificamente nas práticas que se caracterizam como não convencionais, cabe a contextualização da terminologia. Percebe-se, ao se revisar os trabalhos que abordam tais práticas, uma dificuldade em uniformizar os conceitos.

Canholi (2014) opta pela utilização do termo medidas não convencionais em drenagem urbana, classificando-as como as que incrementam o processo de infiltração, retém os escoamentos em reservatórios, retardam o fluxo nas calhas dos cursos d'água, proteção de áreas baixas e derivação de escoamentos. Assim, define estas medidas como:

“[...] estruturas, obras, dispositivos ou mesmo como conceitos diferenciados de projeto, cuja utilização não se encontra disseminada. São soluções que diferem do conceito tradicional de canalização, mas podem estar a elas associadas, para adequação ou otimização do sistema de drenagem”.

Righetto et al. (2009) apresentam conceituação próxima à de Canholi (2014), subdividindo as práticas entre estruturais (obras de engenharia) e não estruturais (meios naturais, ações de cunho social/legal, programas educacionais, entre outros).

Tucci et al. (1995) se apropriam da divisão entre medidas estruturais e não estruturais, mas consideram tais práticas como medidas de controle do escoamento, dividindo-as da seguinte maneira, conforme sua abrangência na bacia hidrográfica:

- Distribuída ou na fonte: controle que atua ao nível do lote, da praça ou do passeio;
- Na microdrenagem: controle que atua nos hidrogramas de um ou mais loteamentos; e
- Na macrodrenagem: controle sobre os principais cursos d'água urbanos.

Baptista et al. (2015) citam classificação diferente, definindo estas medidas como técnicas compensatórias, embora mantenham a divisão entre medidas estruturais e não-estruturais. A análise de trabalhos como os de Silva (2007), Tominaga (2013), Oliveira et al. (2016), e mesmo os de Rezende (2010) e Feitosa (2015) evidenciam a falta de clareza nas terminologias empregadas.

A problemática da conceituação não se restringe aos pesquisadores brasileiros, possuindo extensa análise realizada por Fletcher et al. (2015). Estes autores associam o

surgimento de novos termos para as técnicas de drenagem urbana como um resultado direto de dois fenômenos: o maior interesse social pela gestão das águas pluviais urbanas e o aumento de sua interface com outras disciplinas, para além da associação direta à engenharia civil, como ecologia, arquitetura, paisagismo, planejamento urbano e sociologia.

Os termos levantados por Fletcher et al. (2015) foram: *low impact development (LID)* / *low impact urban design and development (LIUDD)*; *water sensitive urban design (WSUD)*; *integrated urban water management (IUWM)*; *sustainable urban drainage systems (SUDS)* / *sustainable drainage systems (SuDS)*; *best management practices (BMPs)*; *stormwater control measures (SCMs)*; *alternative techniques (ATs) or compensatory techniques (CTs)*; *source control*; e *green infrastructure*. As técnicas compensatórias, anteriormente citadas, são uma tradução direta de *compensatory techniques*, bem como as medidas de controle na fonte provém do termo *source control*.

Os autores supracitados afirmam, no entanto, que independentemente do termo a ser utilizado, o importante é que se mantenham os dois eixos que sustentam tais práticas, quais sejam, a mitigação das mudanças hidrológicas, com foco nos níveis naturais ou objetivos ambientais locais, e o melhoramento da qualidade da água e redução de poluentes. Considerando a necessária interface que os termos devem ter com a realidade local e a ausência de pesquisas, nesse sentido, em Palmas – TO, optou-se pela utilização do conceito de medidas não convencionais em drenagem urbana.

Não obstante a divergência das definições, os autores brasileiros abordam, com determinado alinhamento, as seguintes técnicas: aumento de áreas de infiltração/percolação; reservatórios residenciais; telhados verdes; jardins de chuva; planos de infiltração; valas de infiltração; trincheiras de infiltração/percolação; bacias de infiltração/percolação; pavimentos permeáveis; superfícies pavimentadas; reservatórios de retenção; ocupação com áreas de lazer (parques e jardins); diques de proteção;

Visando um maior aprofundamento e subsídios para construção de eventuais cenários, realizou-se uma pré-seleção de técnicas. Esta pré-seleção teve como critério principal a possibilidade de a técnica ser aplicada diretamente pelo poder público, não dependendo da adesão de residentes, o que reduz os riscos para sua efetiva implantação. Assim, optou-se pelo estudo das valas de infiltração; trincheiras de infiltração/percolação; poços de infiltração; e aumento de áreas permeáveis – estas últimas já comentadas nos tópicos anteriores.

Os reservatórios de retenção e os diques de proteção não foram contemplados pois são técnicas para contenção de maiores volumes, o que não condiz com a realidade pré-identificada na bacia do Córrego Suçupara. A seguir, serão apresentados os conceitos e funcionamento

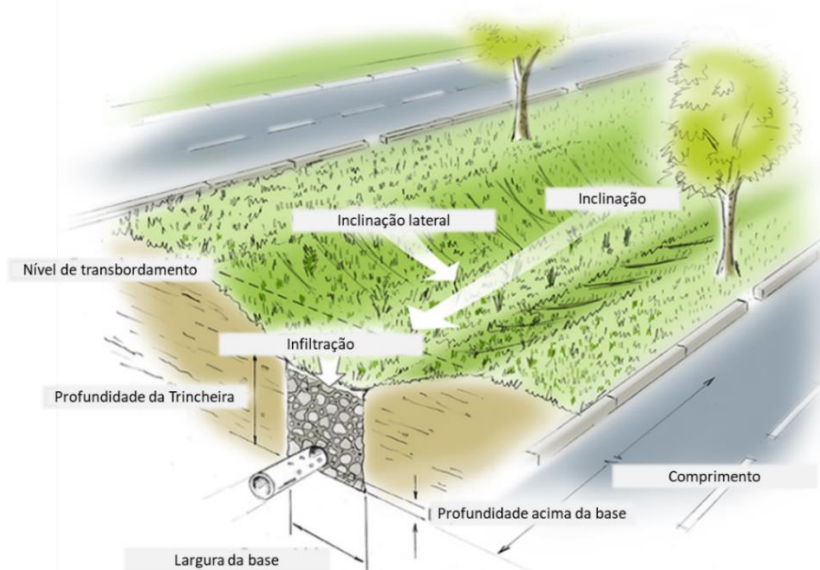
geral das técnicas selecionadas, bem como os resultados atingidos em casos de aplicação ou simulação por outros pesquisadores.

2.2.3.1 Valas de infiltração

São comumente utilizadas próximas à ruas, estradas, estacionamentos e habitações. Seu funcionamento consiste em, por meio de inclinações inseridas no terreno, direcionar o escoamento para a vala, de maneira que a água possa infiltrar ao longo da mesma.

Quando há uma intensa precipitação, o nível d'água na vala sobe e mantém-se elevado por algum tempo devido a lenta infiltração, o que a leva a funcionar como um reservatório de detenção. Assim, deve ser dimensionada para não transbordar ou o fazer em áreas previamente preparadas para isso. Pode ter sua ação potencializada pela associação com uma trincheira de infiltração, conforme ilustrado na Figura 9 (TUCCI et al., 1995).

Figura 9 – Vala de Infiltração associada à Trincheira de Infiltração



Fonte: xpdrainage 2017.1 Help Documentation – Swale²

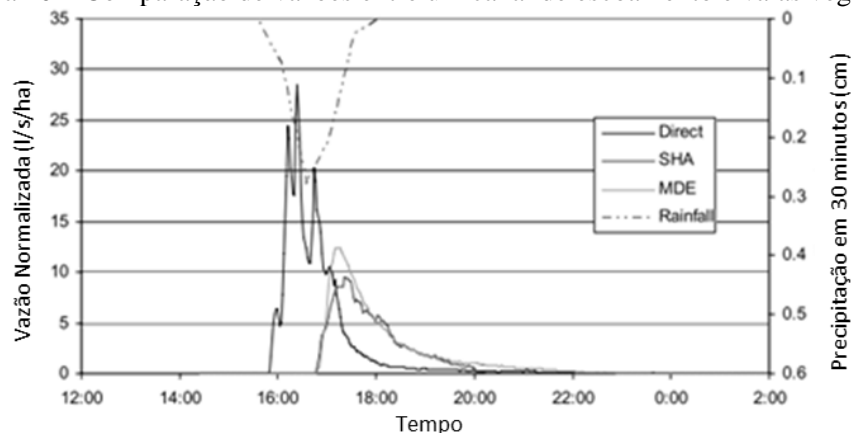
Como se observa, essas estruturas são de fácil construção, necessitando apenas de escavações e posterior revestimento vegetal. Segundo Tominaga (2013), podem ser inseridas pequenas canaletas de outros materiais no fundo para facilitar o escoamento. A autora ainda recomenda a inserção de pequenas barragens em terrenos com declividades maiores que 2%, de maneira a prevenir a erosão dos taludes laterais.

² Disponível em: <<https://help.xpsolutions.com/display/XDH2017v1/Swale>>. Acesso em: ago. 2018.

Os resultados de Stagge (2006), que comparou os regimes de escoamento resultantes da observação de 23 eventos de precipitação em duas valas vegetadas com grama (SHA – 198 metros de comprimento, e MDE – 137 metros de comprimento) a um canal de escoamento direto em concreto (*Direct* – 168 metros de comprimento), localizados em regiões próximas, sujeitos as mesmas precipitações e fonte de escoamento – rodovia, apontaram melhorias significativas proporcionadas pelas valas. Destaca-se a completa infiltração de precipitações de baixa intensidade, que representam por volta de 67% das precipitações ocorridas na área de estudo (Maryland – Estados Unidos).

No que se refere à vazão de pico, tempo de retardo e suavização do hidrogramas, a Figura 10 exemplifica os resultados obtidos ao se observar o escoamento gerado por uma precipitação típica. SHA e MDE representam as valas monitoradas, *Direct* o canal de escoamento direto e *Rainfall*, a precipitação. Percebe-se a representativa redução da vazão de pico, aumento do tempo de retardado e a suavização do hidrograma.

Figura 10 – Comparação de vazões entre um canal de escoamento e valas vegetadas

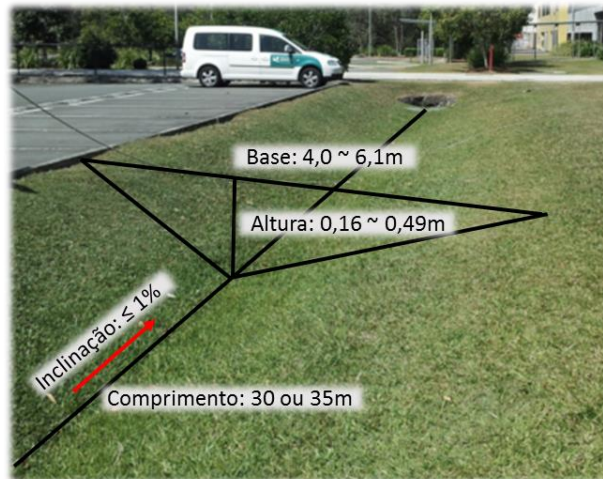


Fonte: Stagge (2006)

O autor destaca que, para as precipitações que não foram completamente infiltradas nas valas, houve uma redução média nas vazões de pico de 53% (vala SHA) e 50,2% (vala MDE). Ainda, para o tempo de retardo, os resultados demonstraram um aumento de 34 e 33 minutos para as valas SHA e MDE, respectivamente. Para as mesmas valas, observou-se, também, uma redução do volume total escoado variando entre 46~54%.

Estudo mais recente de Lucke et al. (2014) apontou resultados semelhantes. Após experimentos em 3 valas de formato triangular com 30 a 35 metros de comprimento (Figura 11), foram observadas reduções de 52% na vazão média e 61% de redução na vazão de pico em uma das valas. Os autores apontam que as valas com menor umidade quando do início das precipitações simuladas obtiveram os melhores resultados.

Figura 11 – Vala de Infiltração estudada por Lucke et al. (2014)



Fonte: Adaptado de Lucke et al. (2014)

Em contrapartida aos autores supracitados, Frello (2016), ao avaliar a eficiência de uma vala de infiltração instalada em Florianópolis – SC ainda na década de 70, cujas dimensões podem ser visualizadas na Tabela 3, concluiu que a mesma não apresentou comportamento satisfatório. Dos 39 eventos de precipitação monitorados pelo autor, em apenas 49% o volume de infiltração foi maior que o volume escoado. Em 64% dos eventos a porcentagem de infiltração variou entre 30 e 60%, valores que enquadraram a vala em um desempenho médio.

Tabela 3 - Dimensões da Vala de Infiltração analisada por Frello (2016)

Dimensão	Valor
Comprimento (m)	10,5
Largura Superior (m)	2,9
Largura Inferior (m)	1,6
Profundidade (m)	1,1
Área do Fundo (m ²)	16,8
Inclinação (m/m)	0,03

Fonte: Pacheco (2015) apud Frello (2016)

Os resultados elencados e as discussões realizadas pelos próprios autores indicam que um dos parâmetros determinantes para a eficiência das valas é o comprimento da mesma. Além disso, há de se levar em conta cuidados quando da execução de tais dispositivos.

Lucas et al. (2015) destacam que a principal dificuldade na utilização dos mesmos encontra-se na manutenção da taxa de infiltração do solo, que possui tendência à colmatação. Para isso, recomendam a utilização de manta geotêxtil instalada sobre o solo, com atenção para a proteção da mesma quando da construção da vala, evitando colmatação e carreamento de finos

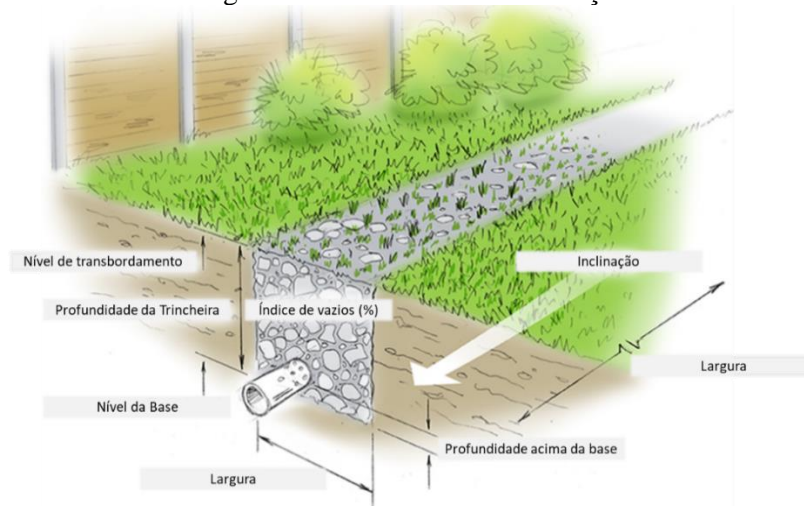
nas fases iniciais da implantação. Como cuidado adicional, indica que a vala seja isolada até que a cobertura vegetal do entorno se consolide.

Vale citar, ainda, que as valas de infiltração possuem outros benefícios, como a fácil integração paisagística e a melhoria na qualidade da água. Estes fatores não foram pormenorizados por não fazerem parte do escopo deste trabalho.

2.2.3.2 Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração, conforme visualiza-se na Figura 12, consistem em pequenas escavações preenchidas com material granular, proporcionando permeabilidade suficiente à maior infiltração da água no solo. Podem receber o escoamento superficial lateral ou por meio de uma descarga pontual. Geralmente possuem largura e profundidade em torno de 1 a 2 m e comprimento variável. O material granular deve possuir diâmetro aproximado de 40 a 60mm e a trincheira deve ser revestida com manta geotêxtil, de maneira a evitar a colmatção precoce (CANHOLI, 2014).

Figura 12 – Trincheira de Infiltração



Fonte: xpdrainage 2017.1 Help Documentation – Infiltration Trench³

A colmatção ocorre pelo carregamento de sedimentos da superfície de escoamento para as trincheiras. O material granular funciona como um filtro, levando as partículas a se acumularem pouco a pouco no fundo e, por vezes, nas paredes laterais. Este fenômeno tende a reduzir a capacidade de infiltração das trincheiras com o passar do tempo.

³ Disponível em: <<https://help.xpsolutions.com/display/XDH2017v1/Infiltration+Trench>>. Acesso em: ago. 2018.

Caputo (2012), ao citar Bower (2002) e Browne (2011), pontua que as camadas colmatadas estão presentes na maioria das trincheiras e chegam a ser menos permeáveis que o solo natural, passando a controlar o processo de infiltração. Assim, indicam que devem ser utilizadas medidas de pré-tratamento e consideração de fatores de segurança no dimensionamento destas estruturas para mitigar os efeitos da colmatção.

Silva (2007) realizou, para a bacia do Córrego dos Buritis, em Goiânia – GO, a simulação de 13 cenários com variação de área permeável nos lotes urbanos (30% a 50%) e utilização de dispositivos de controle na fonte: microrreservatórios, trincheiras de infiltração e bacias de detenção. Os resultados mostraram que o melhor cenário fora o obtido pela combinação de aumento de área permeável – 50%, e utilização de trincheiras de infiltração, o que possibilitou uma redução de 50% na vazão de pico e 45,6% no volume extravasado pela rede de drenagem.

Moruzzi e Trindade (2011) estudaram a possibilidade de utilização de trincheiras de infiltração na cidade de Rio Claro – SP. Os autores citaram como entrave o fato de que parte do município apresenta solos argilosos, que possuem baixa condutividade hidráulica. No entanto, para as áreas com latossolos – alta condutividade, fora possível dimensionar dispositivos que apresentaram reduções de 48 a 100% do volume escoado, considerando precipitações com tempos de retorno de 2 a 5 anos. Cabe o destaque que as trincheiras foram dimensionadas para utilização em lotes e por isso, na prática, seriam limitadas às dimensões dos mesmos.

Ao analisar cenários de instalação de trincheiras de infiltração em lotes e em vias públicas em Belo Horizonte – MG, Caputo (2012) observou reduções entre 21 a 68% nas vazões de pico gerada pelos lotes, quando da presença de trincheiras, e 12 a 29% de redução nas vazões de pico geradas pelas vias. Para uma seção transversal de 1,30 x 0,60m, o comprimento dos dispositivos modelados pela autora foram de 1,00 a 79,50m (lotes) e 1,00 a 42,50m (vias de 12m de largura).

A autora estudou as possíveis localidade de implantação no município levando em consideração a condutividade hidráulica, profundidade do lenço freático, profundidade do leito rochoso e declividade do terreno. A análise destes fatores e os extensos comprimentos atingidos reduziram de maneira significativa as possibilidades de locais para a implantação das trincheiras.

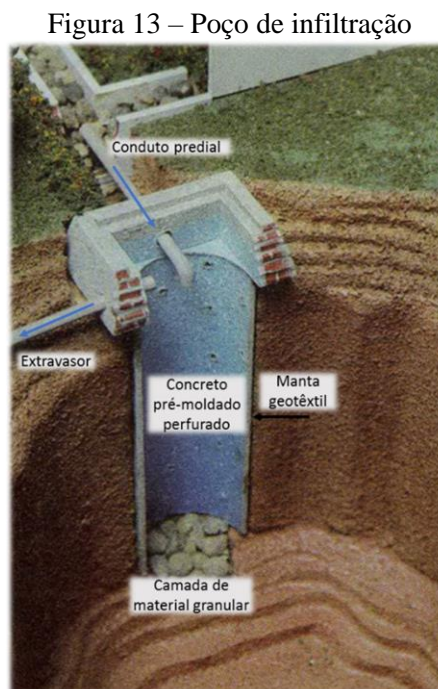
Por fim, importa destacar o trabalho de Lucas et al. (2015), no qual fora construído um modelo real de um sistema composto por filtro gramado, vala de infiltração e trincheira de

infiltração. Esta experiência propiciou aos autores apontarem problemas de cunho prático quando da construção do dispositivo, quais sejam:

- 1 Ausência de cadastro dos sistemas instalados na proximidade (água, esgoto, telefonia, etc.);
- 2 Falhas na locação e no nivelamento das estruturas;
- 3 Compactação do solo pelo movimento das máquinas utilizadas nas escavações; e
- 4 Lavagem e erosão do solo, ocasionando a precoce colmatação de partes do sistema, consequência da construção no período chuvoso.

2.2.3.3 Poços de Infiltração

Canholi (2014) afirma que os poços de infiltração são os dispositivos mais recomendados para áreas de urbanização consolidada e sem o espaço necessário para a implantação de medidas dispersivas, como as valetas. Alerta que para que funcionem adequadamente, faz-se necessário um baixo nível de lençol freático e camadas arenosas no subsolo. A Figura 13 traz um exemplo da estrutura em concreto.



Fonte: Adaptado de Keep Our Earth Now – The Benefits of Infiltration Wells (2012)⁴

⁴ Disponível em: < <http://keepourearthnow.blogspot.com.br/2012/03/benefits-of-infiltration-wells.html>>. Acesso em: ago. 2018.

Os poços de infiltração são comumente construídos pela escavação do solo para inserção de anéis de concreto perfurado ou de paredes de tijolo assentados em crivo. As paredes e fundo do poço devem ser revestidas por manta geotêxtil para evitar a colmatação e a perda de permeabilidade. As águas pluviais são direcionadas ao poço e infiltram pouco a pouco no solo. Deve contar com extravasor abaixo da linha da tubulação afluyente e acima dos dispositivos de drenagem subsequentes – bocas de lobo, sarjetas, entre outros.

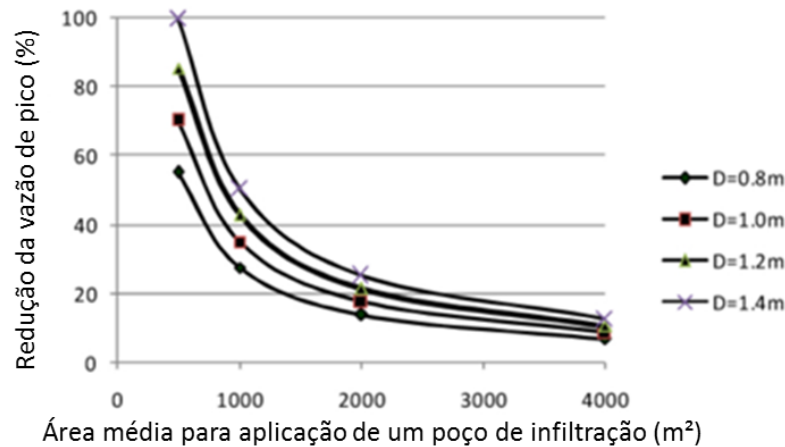
Ao comparar um poço de infiltração construído com anéis de concreto revestidos por manta geotêxtil (1,10m de diâmetro interno e 1,30m de profundidade) à um poço teste escavado a trado com a mesma profundidade e sem nenhum tratamento, em Goiânia-GO, Reis et al. (2008) encontraram valores de infiltração até 19 vezes superior para o poço. Observaram, também, que durante os 10 meses de acompanhamento das estruturas, a manta geotêxtil que revestia o fundo do poço teve sua capacidade de infiltração reduzida em 31,47%, embora esta redução não tenha impactado na infiltração total. Os autores justificam esta observação pelo fato de que, ainda assim, a permeabilidade da manta era superior à do solo. Os resultados foram semelhantes aos encontrados por Barbassa et al. (2014) para um poço monitorado em São Carlos – SP.

Kusumastuti et al. (2014) realizaram projeções de cenários para a cidade de Bandar Lampung, na Indonésia. No estudo comenta-se que a cidade vem passando por um intenso processo de urbanização e crescimento econômico, resultando em impermeabilização do solo pela construção de edifícios e pavimentação de vias. Há um plano regional que determina a preservação de cerca de 30% da área verde da bacia estudada (Way Kuala Garutang) até 2030, no entanto, os autores reconhecem que este limite provavelmente não será respeitado.

Para dois cenários com aumento das áreas de impermeabilização fora observada a elevação do pico de vazão em 32,28% e 28,66%. Como medida mitigadora, Kusumastuti et al. (2014) indicam, então, a utilização de poços de infiltração. Primeiramente, os autores realizaram um mapeamento das áreas passíveis de instalação desses dispositivos, levando em consideração os padrões nacionais mínimos de permeabilidade do solo (2 cm/h), nível da água do lençol freático mais raso (3m) e declividade máxima (30%). O mapeamento indicou a possibilidade de aplicação dos poços em cerca de 81,47% da área da bacia.

Após este mapeamento, fora feita a comparação da vazão amortecida considerando a razão do número de poços de infiltração pela área e a variação do diâmetro dos mesmos, adotando uma profundidade fixa de 3m. A Figura 14 sintetiza os resultados alcançados pelos autores.

Figura 14 – Redução de vazão por poços de infiltração em diferentes proporções de área



Fonte: Kusumastuti et al. (2014)

Os resultados demonstram que a redução no pico da vazão proporcionada pelos poços é impactada significativamente pelos dois parâmetros em destaque. Também se percebe, como comentado pelos autores, que a adoção de um intervalo de 2000m² resulta em uma redução na vazão de pico – 25,29%, próxima ao aumento que as possíveis mudanças no uso do solo podem resultar. O estudo ainda destaca que boa parte das áreas passíveis a aplicação dos poços de infiltração são equipamentos e repartições públicas.

Por todo o exposto acerca das diferentes práticas de drenagem urbana, sejam elas tradicionais ou não convencionais, e os fatores que devem ser levados em conta para o seu correto dimensionamento e, sobretudo, para sua inserção no meio urbano, percebe-se a complexidade de se mensurar e determinar os impactos e o melhor conjunto de dispositivos a serem utilizados. Na tentativa de facilitar estas análises e possibilitar a ampla consideração de fatores e cenários distintos para uma determinada bacia, lança-se mão da modelagem hidrológico-hidráulica, foco das próximas considerações.

2.3 Modelagem hidrológico-hidráulica

Rocha (2013), ao citar Echenique (1975), aponta que os modelos são uma das ferramentas intelectuais mais antigas da humanidade, constituindo-se em representações simplificadas da realidade. Nesse sentido, a modelagem envolve uma certa subjetividade e as características a serem extraídas do cenário real serão determinadas pela finalidade do modelo.

Pode-se entender o modelo como um sistema de equações e de procedimentos básicos. Primeiramente, tem-se as variáveis que representam o estado do sistema em um instante de tempo. Após isso, os processos ou fluxos entre os componentes do próprio modelo. Para completar, insere-se as entradas (fatores que não são afetados pelos processos internos do modelo) e, por fim, as constantes das equações matemáticas, ou parâmetros (RENNÓ, 2004).

Para o caso da modelagem em drenagem urbana, o objetivo é buscar uma representação dos fenômenos hidrológico-hidráulicos, ou seja, o escoamento da precipitação sobre o terreno, a interceptação, a infiltração, a evapotranspiração e entender como estes processos interagem com a rede de drenagem destinada ao escoamento das águas pluviais (RIGHETTO et al., 2009).

Os modelos hidrológicos utilizam, em sua maioria, a bacia hidrográfica como objeto de estudo, de maneira que estas reúnem as superfícies que recebem a precipitação e contribuem para um ou mais canais de escoamento e que possuem apenas um exutório. Assim, o modelo hidrológico terá como entrada uma série de precipitações na bacia, apresentando as parcelas do ciclo hidrológico que se deseja modelar como resultados (PEREIRA, 2009).

Tominaga (2013) afirma, de maneira resumida e simplificada, que os modelos hidrológicos irão gerar os hidrogramas de cheia e escoamento, baseados nos dados de entrada da precipitação. Por isso, alguns destes modelos são conhecidos como chuva-vazão. Estes hidrogramas são os dados de entrada para os modelos hidrodinâmicos, que poderão calcular os níveis e as vazões nos cursos d'água. Alguns modelos atuais são capazes de integrar, em apenas uma ferramenta, tanto os processos hidrológicos quanto os hidráulicos.

Para Canholi (2014), a simulação e avaliação de diferentes cenários torna a modelagem hidrológico-hidráulica de bacias urbanas importante pois, por meio de seus resultados, pode-se planejar o seu sistema de drenagem. Além disso, tendo-se estes resultados, pode-se avaliar a maneira mais eficaz de se ocupar a bacia, relacionando o uso e a ocupação do solo com seus respectivos impactos sobre o sistema de drenagem.

Como existem uma série de modelos matemáticos para cada processo do ciclo hidrológico e para a propagação dos escoamentos no curso d'água, lança-se mão, atualmente, da utilização de softwares que integram boa parte desses processos e que podem simular diferentes modelos, a depender de sua robustez e das opções do modelador. É neste sentido que Righetto et al. (2009) afirmam, então, que os softwares de drenagem urbana são constituídos pela associação dos modelos tipo chuva-vazão com modelos de propagação de escoamentos em canais ou galerias.

2.3.1 Softwares de modelagem hidrológico-hidráulica

Collodel (2009), à época da elaboração de seu trabalho, realizara extensa revisão bibliográfica quanto aos softwares de modelagem da drenagem urbana. Cita, então, o *Modelling of Urban Sewer* (MOUSE), o *Chicago Hydrogram Method* (CHM), o *Illinois Urban Drainage Area Simulator* (ILLUDAS), o *Storage, Treatment, Overflow Runoff Model* (STORM), o TR-55, o *Distributed Routing Rainfall-Runoff Model* (DR3M), o IPHS1 e o próprio SWMM, apontando este último como o mais completo, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Características de alguns modelos de simulação hidrológico-hidráulica

Capacidade de Simulação	CHM	ILLUDAS	STORM	IPHS1	SWMM
Múltiplas sub-bacias	X	X	-	X	X
Entrada de diversos hietogramas	X	-	-	X	X
Evaporação	X	-	X	-	X
Degelo	-	X	X	-	X
Escoamento de base	X	X	-	X	X
Escoamento de superfície de áreas impermeáveis	X	X	X	X	X
Escoamento de superfície de áreas permeáveis	X	X	X	X	X
Áreas diretamente conectadas	-	X	-	-	X
Balanço hídrico entre eventos	X	-	X	X	X
Escoamento em sarjetas	X	X	X	-	X
Propagação em galerias	X	X	X	X	X
Múltiplas seções transversais	-	-	-	-	X
Escoamento sob pressão	-	-	-	-	X
Derivação	-	X	X	X	X
Estações elevatórias	-	X	-	-	X
Armazenamento	-	X	X	X	X
Cálculo de nível	-	X	-	X	X
Cálculo de velocidades	-	X	-	X	X
Simulação contínua	-	-	X	X	X
Escolha do passo de tempo	X	X	-	X	X
Cálculo de projetos	X	X	-	X	X
Código computacional disponível	X	X	X	X	X

Fonte: Machado (1981) e Viessman & Lewis (2002) apud Collodel (2009)

Canholi (2014) cita alguns critérios importantes que devem ser considerados quando da opção pela utilização de determinado software na modelagem hidrológico-hidráulica, quais sejam: disponibilidade de modelos; funcionalidades; interface amigável; visualização e apresentação dos resultados; integração com Sistema de Informações Geográficas (SIG); documentação; manutenção e suporte; e aplicabilidade em diferentes sistemas operacionais.

Considerando estes critérios, aponta que as plataformas *Hydrologic Engineering Center* (HEC) e *Storm Water Management Model* (SWMM) tem sido bastante utilizadas para planejamento e projeto de drenagem urbana, já que se apresentam eficazes para tais fins e possuem licenças gratuitas. Souza et al. (2012), ao compararem o HEC-HMS e o SWMM aplicando-os à Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia, em Goiânia-GO, concluíram que o primeiro possui melhor ajuste para as bacias rurais, enquanto o segundo é mais adequado à modelagem da drenagem em bacias urbanas.

Righetto et al. (2009), ainda no final da última década, já apontavam que o SWMM era o software mais utilizado nas simulações de drenagem urbana. Na mesma linha, vários trabalhos recentes, nacionais e internacionais, utilizados como referência para a elaboração deste estudo, optaram pela utilização do SWMM para a modelagem de bacias em contexto urbano, como a do Córrego Suçupara, objeto central desta pesquisa. À título de exemplo, citam-se os trabalhos de Rocha (2013), Tominaga (2013), Feitosa (2015), Formiga et al. (2016), Gurgel (2016), Yao et al. (2016) e Bisht et al. (2016).

Importa, por fim, destacar a observação realizada por Tominaga (2013), apontando que nas versões mais recentes o SWMM incorporou funcionalidades para simular as medidas não convencionais de drenagem urbana. Esta característica é imprescindível para o desenvolvimento do presente trabalho, reforçando a opção pelo *software* em comento. O tópico a seguir abordará de maneira mais detalhada o SWMM, apresentando seus recursos, as considerações utilizadas na sua modelagem e os modelos internos para simulação das etapas do ciclo hidrológico que serão necessárias à consecução dos objetivos deste estudo.

2.3.2 *Storm Water Management Model (SWMM)*

O SWMM possui extensa documentação produzida pelos próprios desenvolvedores do *software*, contemplando: Manual do Usuário; Manual de Aplicações; e os manuais de referência para as considerações hidrológicas, hidráulicas e de qualidade da água utilizadas pela plataforma (volumes I, II e III). Assim, para que se tenha a visão ampla de seu funcionamento, basta a consulta aos referidos manuais, de maneira que boa parte deste tópico os tem como base.

Rossman (2015) explica que o SWMM se constitui em um modelo dinâmico de simulação chuva-vazão, seja para eventos chuvosos pontuais ou de longa duração, visando a análise de parâmetros de quantidade e qualidade da água escoada. Tem como foco as áreas urbanas, com seu módulo de escoamento superficial operando com base em uma série de áreas, denominadas como sub-bacias, responsáveis pelas parcelas de escoamento superficial e cargas poluidoras. O autor indica que o software é capaz de modelar e realizar os seguintes processos:

- Hidrológicos
 - Precipitação variável no tempo;
 - Evaporação de águas empoçadas;
 - Acumulação e degelo da neve;
 - Interceptação de precipitações por armazenamento em depressões;
 - Infiltração das precipitações em camadas do solo não saturadas;
 - Percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos;
 - Troca de fluxos entre os aquíferos e o sistema de drenagem;
 - Encaminhamento do fluxo superficial por meio de reservatórios não lineares; e
 - Captação e retenção das precipitações e dos escoamentos em diversos dispositivos LID.
- Hidráulicos
 - Manipulação de redes de tamanho ilimitado;
 - Utilização de ampla variedade de geometrias para condutos abertos ou fechados, bem como para canais naturais;
 - Modelagem de elementos especiais como unidades de armazenamento e tratamento, divisores de fluxo, bombas, vertedores e orifícios;
 - Consideração de fluxos externos e parâmetros de qualidade da água advindos do escoamento superficial, trocas com aquíferos, infiltrações de poluentes derivados da precipitação, águas residuárias em tempos secos e outros que podem ser definidos pelo usuário;
 - Utilização de onda cinemática ou onda dinâmica completa como métodos de propagação de fluxo; e
 - Modelagem de distintos regimes de fluxo, como remanso, entrada em carga, fluxo reverso e alagamento de superfícies.

Conforme o referido material, o SWMM utiliza quatro módulos para representar o comportamento do sistema de drenagem e o fluxo da água no mesmo. Cada módulo é composto por um ou mais objetos físicos – que possuem representação gráfica, para processar as entradas e saídas de água no sistema. Os módulos e seus principais objetos físicos ou visuais estão dispostos na Tabela 5. O tópico seguinte trará descrição mais detalhada dos objetos e dos processos realizados e dados recebidos pelos mesmos.

Tabela 5 – Correspondência entre módulos e objetos físicos ou visuais do SWMM

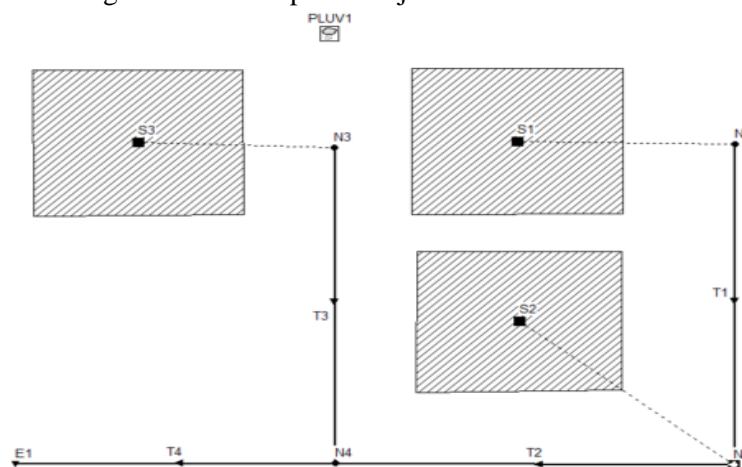
MÓDULOS	OBJETOS FÍSICOS
Atmosférico	Pluviômetro
Superfície do Solo	Sub-bacias
Água Subterrânea	Aquíferos (objeto virtual)
Transporte	Nós e Trechos

Fonte: Rossman (2015)

2.3.2.1 Objetos Visuais

Um exemplo dos objetos visuais que serão descritos abaixo pode ser visualizado na Figura 15, elaborada na interface gráfica do software. Vale ressaltar que nem toda simulação no SWMM deve, necessariamente, utilizar todos os módulos e objetos. Alguns podem ser substituídos por objetos virtuais como, por exemplo, o pluviômetro que pode ser substituído por um hidrograma previamente calculado pelo modelador. As informações a seguir utilizaram sobretudo, como fonte de pesquisa, o *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*, do já referenciado Rossman (2015), com demais autores citados no decorrer do texto.

Figura 15 – Exemplo de objetos físicos do SWMM



Fonte: Rossman (2015)

Pluviômetros

Os Pluviômetros são a principal maneira de inserção de dados de precipitação no modelo, sendo vinculados a uma ou mais sub-bacias. A precipitação pode ser inserida manualmente ou por um arquivo externo ao programa. Os Pluviômetros apresentam as seguintes propriedades principais: tipo de dados de chuva (intensidade, volume, volume acumulado, etc); intervalo de tempo dos dados; e origem dos dados (série temporal definida ou arquivo externo).

Sub-bacias

O modelador deve dividir sua área de estudo em sub-bacias, que são áreas cuja topografia e elementos de drenagem conduzem o escoamento advindo da precipitação para um único ponto. Garcia et al. (2004) estudaram o comportamento do modelo para diferentes níveis de discretização, tomando como referência eventos ocorridos na Bacia Hidrográfica do Cancela, em Santa Maria – RS. Para isso, simularam a bacia concentrada – sem discretização, e dividida em 7 e 11 sub-bacias. Os resultados obtidos, conforme sintetizados na Tabela 6, apontam que não é viável utilizar a bacia concentrada e que não há ganhos efetivos aumentando o nível de discretização para além das 7 sub-bacias.

Tabela 6 – Resultados obtidos para diferentes níveis de discretização da bacia hidrográfica

Evento	Discretização	Δt (min)	R^2	V_{cal}/V_{obs}	Qp_{cal}/Qp_{obs}	Erro Tp (min)	$Qp_{cal} - Qp_{obs}$ (m ³ /s)	$V_{cal} - V_{obs}$ (m ³)
18/04/04	Concentrada	5	0,57	0,99	1,15	30	0,22	59,16
	7 sub-bacias	5	0,93	1,03	0,95	10	-0,06	501,06
	11 sub-bacias	5	0,92	1,03	1,02	5	0,03	450,66
22/04/04	Concentrada	5	0,49	0,90	1,27	40	0,88	-2304,23
	7 sub-bacias	5	0,98	1,03	0,99	0	-0,06	634,56
	11 sub-bacias	5	0,99	1,04	1,01	5	0,04	886,56
07/05/04	Concentrada	5	0,21	0,95	1,26	30	1,39	-1329,74
	7 sub-bacias	5	0,96	0,99	1,10	5	0,54	-332,14
	11 sub-bacias	5	0,96	0,98	1,13	5	0,72	-626,84

V_{obs} e V_{cal} – volume observado e calculado respectivamente

Qp_{obs} e Qp_{cal} – vazões de pico observadas e calculadas respectivamente

Tp – tempo de pico

Fonte: Garcia et al. (2004)

Além disso, as sub-bacias apresentam áreas permeáveis e impermeáveis, cuja representatividade deve ser inserida. As áreas impermeáveis ainda podem ser divididas pelo fato de conterem ou não armazenamento em depressões. Na subárea permeável, a água precipitada poderá infiltrar com comportamento obedecendo um dos seguintes modelos: Horton, Green-Ampt ou Curva Número do SCS.

Souza et al. (2013) simularam o comportamento dos três modelos de infiltração para a Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, no Distrito Federal. Os resultados apontam que o modelo de Horton é o que gera o melhor ajuste, embora o da Curva Número do SCS gere as maiores vazões de pico, trabalhando em favor da segurança.

Outros parâmetros importantes a serem fornecidos referentes a sub-bacia são: pluviômetro; nó exutório ou sub-bacia de descarga; uso do solo; área; declividade; largura do fluxo superficial; coeficiente de Manning para áreas permeáveis e impermeáveis; e Propagação do Escoamento.

Este último parâmetro irá definir como a água é conduzida internamente à sub-bacia, tendo como opções: *IMPERVIOUS*, *PERVIOUS* e *OUTLET*. Na primeira, o escoamento superficial das áreas permeáveis escoam para as áreas impermeáveis e, então, para o exutório. Na segunda, o processo acontece de maneira inversa, das áreas impermeáveis para as permeáveis. Na última, o escoamento de ambas as áreas é direcionado diretamente ao exutório.

Nós de Conexão e Exutórios

Os Nós de Conexão são responsáveis por conectar diferentes trechos das rede de drenagem entre si. Esses nós podem representar poços de visita, confluências naturais de canais e conexões de tubulações. Possíveis contribuições externas são inseridas por meio destes nós. As principais informações a serem inseridas nos mesmos são: cota do radier da estrutura representada; profundidade do radier em relação ao terreno; área superficial que será empoçada acima do nó quando do transbordamento – informação opcional; e contribuições externas – informação opcional.

Os Nós Exutórios representam a terminação das redes de drenagem, sendo os pontos mais a jusante do sistema. No caso de utilização do modelo de propagação da Onda Dinâmica, também servem para determinar as condições de contorno finais. Suas principais propriedades são: cota do radier da estrutura representada; tipo e descrição da condição de contorno; e presença de dispositivos de retenção.

Trechos

Os principais objetos físicos utilizados como trechos da rede de drenagem são os Conduitos, que representam as tubulações ou canais condutores de água entre os nós. O SWMM possui uma biblioteca com 21 seções de formato pré-definido e dimensões editáveis, além da possibilidade de inserção de seções transversais irregulares, por meio de cotas e distâncias da margem. Também conta com uma seção que considera a perda de seção pelo assoreamento que se manifesta no decorrer do tempo.

Para estabelecer a relação entre vazão escoada (Q), área da seção transversal (A), raio hidráulico (R_h) e declividade (S), o software se utiliza da equação de Manning, conforme Equação 1 abaixo:

$$Q = \frac{1}{n} AR_h^{2/3} \sqrt{S} \quad (1)$$

Para o caso de seções circulares operando em carga, utiliza-se da equação de Hazen-Williams (Equação 2) ou Darcy-Weisbach (Equação 3). Na primeira, “C” é o coeficiente de Hazen-Williams e na segunda, “g” é a aceleração da gravidade e “f”, o coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach.

$$Q = 0,5493CR_h^{0,63} S^{0,54} \quad (2)$$

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} AR_h^{1/2} S^{1/2} \quad (3)$$

Os principais parâmetros a serem inseridos nos condutos são: identificação do nó de entrada e saída; *offset* do nó de entrada e saída; comprimento; coeficiente de Manning; seção transversal; coeficiente de perdas – informação opcional; e dispositivo de retenção de fluxo inverso – informação opcional. Ainda, também são objetos físicos classificados como trechos as bombas, orifícios, vertedores e bocais, plenamente modelados pelo software.

Além dos objetos físicos, o SWMM utiliza-se de uma série de objetos virtuais que não possuem representação gráfica, mas que também interferem na modelagem. Estes objetos não serão detalhados aqui, mas se referem a dados de climatologia, acumulação de neve, aquíferos, hidrogramas unitários, seções transversais irregulares, contribuições externas de vazão, regras

de controle, agentes poluentes, usos do solo, tratamento, curvas, séries temporais, padrões temporais e dispositivos de baixo impacto (LID).

Por fim, faz-se importante destacar, aqui, o trabalho de Zaghoul (1983), que ainda na década de 80 realizou uma análise de sensibilidade dos diferentes parâmetros de entrada do SWMM. Seus resultados apontaram que os mais relevantes para simulação do escoamento superficial são o percentual de área impermeável e a largura do fluxo superficial. No que se refere ao transporte hidráulico, destacaram-se como importantes o comprimento dos condutos ou cursos d'água, que deve variar em um intervalo máximo de, aproximadamente, 1220 a 1525 metros, e o coeficiente de rugosidade de Manning. Para os demais parâmetros o autor indica que a utilização de valores *default* do software se mostra adequada.

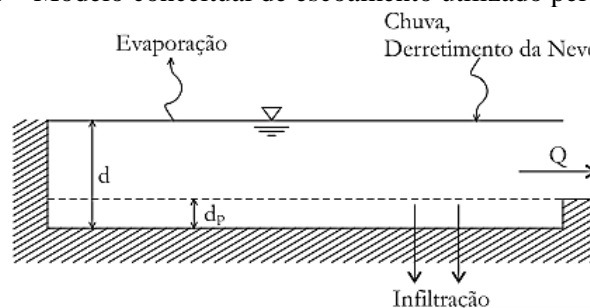
2.3.2.2 Métodos Computacionais

Para realizar suas simulações, o SWMM se apropria de soluções discretas ao longo do tempo, além de utilizar os princípios da conservação de massa, energia e quantidade de movimento. Abaixo descreve-se, de forma sucinta, os principais métodos computacionais empregados, extraídos, também, de Rossman (2015).

Escoamento Superficial

O SWMM trata cada sub-bacia como um reservatório não-linear, com contribuições provenientes da precipitação ou de sub-bacias a montante, e saídas pelos processos de escoamento superficial, infiltração e evaporação, conforme Figura 16 abaixo. Só acontece escoamento superficial quando o volume de armazenamento em depressões (d_p) é superado e para cada passo no tempo, a lâmina d'água na depressão é recalculada, bem como os demais fenômenos do balanço hídrico.

Figura 16 – Modelo conceitual de escoamento utilizado pelo SWMM



Fonte: Rossman (2015)

Infiltração

O SWMM possibilita a utilização, por opção do modelador, de três modelos distintos de infiltração: Horton, Green-Ampt e Curva-Número do SCS. Para o modelo de Horton, são necessários os parâmetros de taxa de infiltração máxima e mínima, coeficiente de decaimento e o tempo de secagem completa do solo. O modelo de Green-Ampt solicita, como entrada, o déficit inicial de umidade do solo, sua condutividade hidráulica e potencial matricial na frente de umedecimento. Por fim, o modelo de Curva-Número do SCS se mostra como o mais simples no sentido de parâmetros de entrada, já que necessita apenas que o modelador defina a Curva-Número atrelada ao tipo de solo da sub-bacia modelada e o tempo para a secagem completa do solo saturado.

Modelo de Transporte Hidráulico

Sabe-se que, em uma tubulação, a água é transportada de maneira a obedecer as equações de conservação de massa e quantidade de movimento, quando de um regime variado não permanente, resultando na necessária resolução das equações de Saint Venant. Para isso, o SWMM dispõe dos modelos de Onda Cinemática e Onda Dinâmica, além do fluxo em regime uniforme.

No caso do fluxo em regime uniforme, considera-se que em cada passo de tempo o regime é uniforme e permanente. Assim, o que acontece é que o modelo apenas transfere hidrogramas do nó de entrada para o de jusante nos condutos. A equação de Manning permite obter a relação entre vazão, área e profundidade no conduto. Recomenda-se que este fluxo só seja considerado em sistemas ramificados, nos quais cada nó possui apenas conduto de saída único.

Para o modelo de Onda Cinemática, resolve-se a equação da continuidade conjuntamente à uma simplificação da quantidade de movimento em cada conduto. Pela equação de Manning, determina-se a vazão do tubo cheio, que também é a máxima a fluir no conduto. Caso o nó de entrada apresente excesso de vazão, esta alaga a superfície acima do nó ou é perdida para o sistema. A aplicação deste modelo se restringe às redes ramificadas.

O modelo de Onda Dinâmica é considerado o mais preciso por aplicar as equações da continuidade de quantidade de movimento nos condutos, além da continuidade dos volumes nos nós. Assim, é o único a resolver completamente as equações unidimensionais de Saint

Venant. Desta maneira, pode-se representar condutos operando pressurizados, com seção completamente cheia, resultando em vazões maiores do que as obtidas apenas pelas equações de Manning.

Uma grande vantagem apresentada pelo modelo de Onda Dinâmica é a capacidade de simular o armazenamento em condutos, o ressaltado hidráulico, perdas nas entradas e saídas de condutos, remansos e o próprio fluxo pressurizado. Por calcular simultaneamente os níveis de água nos nós e as vazões nos condutos, pode ser empregado em qualquer tipo de rede de drenagem.

No trabalho realizado por Souza et al. (2013), anteriormente citado, o melhor ajuste se deu pelo uso do modelo de Onda Cinemática. Os autores atribuem este resultado ao fato de que dificilmente se constrói o modelo com toda a complexidade de suas estruturas hidráulicas, de maneira que a robustez do modelo de Onda Dinâmica acaba não sendo necessária. Os trabalhos consultados nessa revisão bibliográfica dividem-se quanto a utilização do fluxo em regime uniforme e Onda Cinemática, com predominância do segundo.

Objetos LID

O SWWM representa as diferentes técnicas não convencionais de drenagem por meio da superposição de camadas verticais, onde cada uma possui características homogêneas e é representada por unidade de área, permitindo que sejam empregadas em várias sub-bacias, variando, apenas, a área total. As quatro camadas consideradas são: superficial, pavimento, solo, armazenamento e dreno profundo.

Para cada passo de tempo na simulação, o software determina quanto escoar de uma camada a outra, bem como o que fica armazenado em cada uma delas, por meio do balanço hídrico. A Tabela 7 relaciona as técnicas de controle LID e as camadas utilizadas para cada uma. Utilizando-se destas camadas, pode-se modelar ou criar outras técnicas, variando quais camadas deverão fazer parte e suas respectivas características.

Tabela 7 – Técnicas LID e camadas utilizadas na sua representação pelo SWMM

Controle LID	Superfície	Pavimento	Solo	Armazenamento	Dreno Profundo
Bacia de Infiltração	X	-	X	X	O
Pavimento poroso	X	X	-	X	O
Trincheira de Infiltração	X	-	-	X	O
Cisterna	-	-	-	X	O
Vala de Infiltração	X	-	-	-	O

X = opcional; O = requerido

Fonte: Fonte: Rossman (2015)

Outra abordagem para a utilização de algumas técnicas LID é a proposta por Silva (2007). Em seus estudos, a pesquisadora testou a possibilidade de modelagem da estrutura LID completa e comparou com o incremento de volume, ou altura da lâmina (mm), da depressão correspondente à estrutura, na sub-bacia. A autora atingiu resultados que diferem, entre as duas técnicas, em apenas 0,98% nos valores da vazão de pico, diferença considerada não significativa para os objetivos do presente estudo, facultando sua utilização.

Vale ressaltar que Silva (2007) também pondera a necessidade de alteração do atributo Propagação do Escoamento a depender da técnica utilizada e da conformação da sub-bacia. Se a água for drenada para as estruturas LID e estas forem impermeáveis – como bacias de retenção, então as opções *IMPERVIOUS* ou *OUTLET* deve ser utilizada. Isso também se dá quando o escoamento não é direcionado para as estruturas LID, possuindo elas camadas permeáveis ou não. Caso as estruturas possuam camadas permeáveis e o escoamento da sub-bacia for direcionado para as mesmas, então a opção *PERVIOUS* deve ser utilizada.

Como se observa, o software SWMM é robusto, contando com várias opções para a modelagem dos processos do balanço hídrico, bem como o comportamento hidráulico referente ao escoamento das águas em canais abertos ou em redes de condutos. Além disso, por ser capaz de modelar as estruturas LID e pela consolidada utilização na atual produção científica e prática de engenharia, fora considerado capaz de dar respostas aos objetivos deste trabalho. Desta maneira, finda-se a revisão bibliográfica e, a seguir, descreve-se a metodologia empregada para a consecução dos objetivos propostos.

3 METODOLOGIA

Para dar cumprimento aos objetivos elencados e conforme justificado nos tópicos anteriores, o estudo hidrológico-hidráulico da Bacia do Córrego Suçupara se desenvolveu por meio da utilização do modelo SWMM. Aliada à sua utilização, foi realizada uma análise do uso e ocupação da bacia, com foco nos tradicionais e novos instrumentos de planejamento urbano, que permitiram uma leitura mais completa das causas para seu estado atual, suas tendências e possibilidades.

Além disso, a utilização do modelo SWMM possibilitou a simulação e comparação dos parâmetros hidrológicos-hidráulicos para diferentes cenários, incluindo alterações no uso e ocupação do solo e a utilização de medidas não convencionais em drenagem urbana. Fora possível, também, identificar as causas dos transbordamentos noticiados no período chuvoso de 2017. A seguir, serão descritas as etapas que compõem a metodologia utilizada, bem como os dados e *softwares* necessários a consecução do estudo.

3.1 Caracterização da área de estudo

3.1.1 Análise urbanística

A análise urbanística realizada se deu, primeiramente, sob o ponto de vista do histórico de sua ocupação, tendo como subsídios principais a Memória do Plano Básico de Palmas – Grupo Quatro (1989) e o trabalho de Rodovalho (2012), que apresentam, respectivamente, as diretrizes iniciais e as ocupações efetivamente realizadas nos primeiros anos de implantação de Palmas. O objetivo fora identificar as condições e motivações reais para essas ocupações, considerando possíveis potencialidades econômicas, ambientais, de integração urbana e de acesso à lotes urbanos (fundiárias), bem como a tipologia das construções e equipamentos públicos implantados. Desta maneira, visualizou-se tendências de uso e ocupação da bacia, bem como, preliminarmente, o padrão de impermeabilização do solo proporcionado pelo espaço construído.

Após a análise histórica, foram levantados os padrões legais vigentes quanto aos tradicionais e novos instrumentos que regem o uso e ocupação do solo da região. Estes padrões encontram-se regulamentados pelas seguintes leis:

- Lei Federal nº 6.766/1979 – Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano;
- Lei Municipal nº 31/1989 e alterações – Aprova o Código de Obras do Município;
- Lei Municipal nº 85/1991 e alterações – Institui a Lei de Uso e Ocupação do Solo do Município de Palmas e dá outras providências;
- Lei Complementar Municipal nº 386/1993⁵ e alterações – Dispõe sobre a divisão da Área Urbana da Sede do Município de Palmas em Zonas de Uso e dá outras providências;
- Lei Municipal nº 468/1994 – Plano Diretor Urbanístico de Palmas;
- Lei Complementar Municipal nº 155/2007 – Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de Palmas;
- Lei Complementar Municipal nº 195/2009 – Regulamentação e Aplicação do Parcelamento, Edificação e Utilização Compulsório do Solo Urbano (PEUC);
- Lei Complementar Municipal nº 274/2012 – Aplicação da Outorga Onerosa do Direito de Construir e da Mudança de Uso;
- Lei Complementar Municipal nº 400/2018 – Plano Diretor Participativo do Município de Palmas-TO.

A análise das leis fora sistematizada, além da forma de texto descritivo, em mapas e tabelas para melhor compreensão da distribuição das áreas da bacia em estudo, de maneira a propiciar os subsídios para a construção dos cenários simulados no SWMM. Posteriormente, realizou-se a interpretação visual de imagens disponibilizadas pelo software *Google Earth* de agosto de 2017 – por apresentarem resolução compatível com este trabalho e serem de pronto acesso, o que possibilitou a classificação de todas as parcelas da bacia em estudo em ocupadas e desocupadas. Esta classificação fora desenvolvida com base no arquivo vetorial das parcelas urbanas, disponível no portal GeoPalmas⁶.

⁵ A Lei Complementar nº 386/1994 passou a vigorar sob o número de 321/2015 após 13 de agosto de 2015.

⁶ Disponível em: < <http://geo.palmas.to.gov.br/>> - Arquivos diversos – Macro e Micro Zoneamento – Shapes Quadras e Loteamentos. Acesso em: fev. 2018.

A classificação de usos se deu, sobretudo, entre os seguintes: área de lotes, área verde e área de pavimentação. A área de lotes fora obtida diretamente pela compilação das áreas das parcelas do arquivo vetorial de quadras e loteamentos. Para a pavimentação, somaram-se os valores das vias internas das quadras à metade das vias arteriais adjacentes a cada uma delas, além de uma estimativa realizada após um levantamento amostral no Mapa Geral da Cidade, por meio do software AutoCAD, que apontou valores para calçadas de aproximadamente 70% do representado pelas vias e que cerca de 50% de suas áreas eram pavimentadas.

Além das leis citadas acima, foram utilizados como subsídios à presente análise os relatórios de diagnóstico e prognóstico para a revisão do anterior plano diretor⁷. Ainda, por meio dos dados populacionais coletados pelos agentes municipais de saúde – referentes ao ano de 2017 e disponibilizado pelo Instituto de Planejamento Urbano de Palmas, foram elaborados mapas e tabelas de densidade populacional.

Também se realizou a classificação da distribuição dos lotes destinados à habitação (unifamiliares e multifamiliares) e o levantamento de características gerais das quadras (tamanho médio dos lotes residenciais e comerciais, largura média das vias). As características gerais das quadras foram obtidas por levantamento amostral no MAPA GERAL DE PALMAS_VERSÃO_ABR_2017.dwg, disponível no portal GeoPalmas⁸, e com o auxílio do software AutoCAD 2016. De posse das áreas destinadas a habitação e da atual densidade por quadra, bem como dos potenciais construtivos adicionais propiciados pela Outorga Onerosa do Direito de Construir, fora projetada a população e densidade quando da máxima ocupação dos lotes da bacia. Por fim, levantou-se a cobertura dos equipamentos públicos de maneira a identificar possíveis pressões por inexistência dos mesmos.

3.1.2 *Análise Morfométrica*

Nesta etapa foi realizada a delimitação da Bacia Hidrográfica do Córrego Suçuapara – divisores topográficos naturais, e sua comparação com a efetiva bacia de drenagem urbana – em termos de área de contribuição, bem como a análise de alguns parâmetros morfométricos. Cabe salientar que a rede drenagem urbana, por vezes, gera bacias de maneira diferente da bacia hidrográfica natural, sobretudo pelo desenvolvimento do sistema viário e da divisão do

⁷ Disponível em: <<http://planodiretor.palmas.to.gov.br/arquivos/>> - Arquivos diversos – Mapas Temáticos. Acesso em: fev. 2018.

⁸ Disponível em: <<http://geo.palmas.to.gov.br/>> - Arquivos diversos – Mapas Temáticos. Acesso em: fev. 2018.

loteamento, que são limitadores para a inserção da rede de captação. A bacia hidrográfica natural foi delimitada de maneira automática utilizando-se da altimetria disponível no portal GeoPalmas⁹ - curvas de nível de 1m, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento.

Após a obtenção da bacia natural, foi possível levantar alguns parâmetros morfométricos para que se tivesse, de antemão e de maneira sintética, uma leitura do comportamento de sua drenagem. Foram levantados os seguintes parâmetros morfométricos: área; perímetro; comprimento do rio principal; densidade de drenagem; fator de forma; coeficiente de compacidade; declividade do rio principal e declividade média da bacia. Parte destes parâmetros são produtos diretos do processo de geração automática da bacia e os demais foram obtidos por aritmética simples em planilhas eletrônicas.

3.2 Construção do Modelo Hidrológico-Hidráulico no SWMM

3.2.1 Precipitação de projeto

O estudo foi baseado em um modelo chuva-vazão, o qual necessita de precipitações-padrão para a análise do comportamento da bacia hidrográfica e de sua rede de condutos destinada a drenagem. Para isso, foi utilizada a equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) resultante dos estudos de Andrade (2014), disposta a seguir, na Equação 4:

$$i = \frac{884,669 * TR^{0,156}}{(t_d + 9,884)^{0,726}} \quad (4)$$

Onde:

i = intensidade da precipitação (mm/h);

TR = tempo de retorno (anos); e

t_d = duração da chuva (minutos).

O PMSB (PMP, 2014) também apresenta uma equação IDF para o município. No entanto, os valores obtidos nas análises promovidas por Andrade (2014) apontam que, além da equação apresentada por esse autor ser estatisticamente válida em comparação à do PMSB, os

⁹ Disponível em: < <http://geo.palmas.to.gov.br/>> - Arquivos diversos – (Shapes)Altimetria_Urbana. Acesso em: fev. 2018.

valores resultantes para as intensidades de precipitação são mais elevados, sendo a favor da segurança.

Para o tempo de retorno foram utilizados os mesmos valores do PMSB, quais sejam: 2, 10, 25, 50 e 100 anos. Estes valores também condizem com as recomendações aos sistemas de macrodrenagem apresentadas no capítulo anterior. O tempo de duração da chuva é comumente adotado como o tempo de concentração da bacia. Para seu cálculo em bacias urbanas tem-se utilizado largamente a fórmula de Kirpich, disposta na Equação 5:

$$t_c = 57 * L^{1,155} * H^{-0,385} \quad (5)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração (minutos);

L = comprimento do rio principal (quilômetros); e

H = diferença entre as cotas de saída e do ponto mais a montante da bacia (metros).

De posse da equação I-D-F e do tempo de concentração fora possível determinar os hietogramas de projeto, dado de entrada para o objeto *Pluviômetro*, no SWMM. Neste trabalho se utilizou, para elaboração deste hietograma, do método dos blocos alternados com base no arranjo 5-3-1-2-4-6. A elaboração do hietograma se fez por aritmética simples em planilhas eletrônicas, com as seguintes etapas, seguindo a descrição da metodologia de blocos alternados conforme apontado por Tucci (1995):

1. Seleção da duração total da chuva – tempo de concentração, e do intervalo de discretização (a ser determinado após o cálculo do tempo de concentração);
2. Obtenção das intensidades das precipitações para cada duração, advindas da equação I-D-F;
3. Transformação das intensidades em alturas de chuva, com acúmulo até o último passo de tempo;
4. Separação dos incrementos de chuva para cada passo de tempo; e
5. Rearranjo dos incrementos de chuva nos passos de tempo, de maneira que o maior valor se situe no centro da duração da precipitação, com decréscimo conforme se distancia deste centro.

3.2.2 Modelo de infiltração, escoamento superficial e propagação de fluxo

Conforme abordado nos tópicos anteriores, o SWMM permite a utilização dos modelos de infiltração de Green-Ampt, Horton ou SCS. Os modelos de Green-Ampt e Horton necessitam de parâmetros de infiltração do solo advindos de medidas reais, enquanto o SCS utiliza-se de fatores empíricos – Curva Número (CN), estimados indiretamente pelo tipo de cobertura do solo da bacia. Pela ausência de dados de infiltração reais para a bacia e praticidade na utilização, optou-se, neste trabalho, pelo método SCS. O material utilizado para consulta dos valores de CN foi o trabalho original do atual Natural Resources Conservation Service (NRCS, 1986), que apresenta valores de CN para bacias urbanas, dispostos na Tabela 8:

Tabela 8 – Curva Número para áreas urbanas

Descrição da cobertura	CN para os grupos hidrológicos de solo					
	Média área impermeável (%)	A	B	C	D	
Espaços abertos (gramados, relvados, parques, cemitérios):						
Condição pobre (cobertura de relva <50%)		68	79	86	89	
Condição razoável (cobertura de relva entre 50% e 75%)		49	69	79	84	
Condição boa (cobertura de relva >75%)		39	61	74	80	
Áreas impermeáveis:						
Estacionamentos pavimentados, telhados, vias pavimentadas		98	98	98	98	
Ruas e avenidas:						
Pavimentadas; meio-fio e rede de drenagem		98	98	98	98	
Pavimentadas; valas abertas		83	89	92	93	
Cascalho		76	85	89	91	
Barro		72	82	87	89	
Distritos Urbanos:						
Comércio e negócios	85	89	92	94	95	
Industrial	72	81	88	91	93	
Zonas residenciais por área média do lote (m ²)						
<500		65	77	85	90	92
1000		38	61	75	83	87
1300		30	57	72	81	86
2000		25	54	70	80	85
4000		20	51	68	79	84

Fonte: NRCS (1986)

Cabe salientar que o referido método tem sido amplamente utilizado, como observa-se nos estudos semelhantes ao aqui pretendido, a saber: Rocha (2013), Tominaga (2013), Souza et al. (2012) e em diversos trabalhos citados por Righetto et al. (2009). Para se optar por um dos valores deve-se, primeiramente, conhecer o tipo de solo da bacia (A, B, C ou D). Esses tipos são identificados por meio das seguintes características:

- A: solos com alta infiltração e baixo escoamento superficial, comumente arenosos profundos ou cascalhos;
- B: solos menos permeáveis que os do tipo A, arenosos menos profundos, com permeabilidade superior à média e com textura grossa a moderadamente finas;
- C: solos com capacidade de infiltração abaixo da média, gerando escoamento superficial acima da média, contendo considerável porcentagem de argila e pouco profundo, além de textura moderadamente fina a fina; e
- D: solos pouco profundos, contendo argilas expansivas e com baixa capacidade de infiltração, sendo os que geram o maior escoamento superficial.

O mapa pedológico de Palmas¹⁰ classifica o solo da área urbana como um Latossolo Vermelho-Amarelo. Segundo o Manual Técnico de Pedologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), estes solos são profundos e apresentam boa drenagem. Assim, neste trabalho, o solo da bacia será considerado do tipo B.

Comumente há uma crítica quanto a utilização direta dos dados do NRCS, considerando que foram obtidos para condições e solos dos Estados Unidos. No entanto, para o caso em estudo, mesmo consultando autores brasileiros que propuseram novas classificações, sobretudo Sartori et al. (2005), os mesmos mantêm os latossolos vermelho-amarelo no grupo hidrológico B, não resultando em alteração nos valores de CN.

Além do tipo de solo, há de se definir as condições de umidade prévias à precipitação de projeto. Estas condições são classificadas em (TUCCI et al., 2001):

- AMC I: os solos apresentam-se secos e a precipitação acumulada nos cinco dias anteriores à precipitação é menor que 36mm;

¹⁰ Disponível em: < <http://geo.palmas.to.gov.br/> > - Arquivos diversos – Meio Ambiente - Solos em: fev. 2018.

- AMC II: os solos apresentam a umidade correspondente à da capacidade de campo, sendo considerada uma condição média; e
- AMC III: os solos se encontram saturadas por ocorrência de precipitações significativas nos cinco dias anteriores, acumulando mais que 53mm.

Para a definição da condição do solo, foram verificados os dados da Estação Pluviométrica Taquaruçu do Porto, por ser a mais próxima à Palmas e contar com série histórica significativa – 30 anos de dados consistidos. Por meio de planilha eletrônica com as precipitações diárias da referida estação, foram examinados os valores totais de precipitações, acumulados em 5 dias, para o enquadramento nas condições acima. Para o caso em que os solos sejam situados nas condições AMC I ou AMC III, os valores de CN da Tabela 8 deverão ser corrigidos conforme a Tabela 9:

Tabela 9 – Valores de CN corrigidos para as condições de umidade do solo

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

Fonte: Tucci et al. (2001)

A cobertura de cada parcela das sub-bacias foi determinada mediante as informações advindas da etapa de análise urbanística e por interpretação visual das imagens disponibilizadas no software *Google Earth*, datadas de agosto de 2017. Além disso, não foram necessárias classificações automáticas, haja vista a pequena dimensão da bacia e sua característica urbana.

Fora necessário, também, refinar as diferentes coberturas do solo. Esse refinamento é importante para a não homogeneização do comportamento da sub-bacia, considerando os diferentes usos presentes em cada uma. Assim, fora adotado a classificação disposta na Tabela 10.

Tabela 10 – Metodologia para classificação da cobertura do solo das sub-bacias

Classificação	Descrição
Espaços Abertos – Bom	Faixa de 50 metros ao longo do curso d'água
Espaços Abertos – Razoável	Quadras com uso predominante de Área Verde menos o valor da faixa de 50 metros ao longo do curso d'água
Espaços Abertos – Pobre	Área verde interna as quadras, total da área da quadra ASR-NE 15, áreas de pavimentação abertas mas não pavimentadas
Áreas Impermeáveis	Vias e calçadas pavimentadas
Distritos Urbanos: Comércio e Negócio; Industrial	Área total da quadra com uso predominantemente comercial ou industrial, menos as áreas verdes remanescentes e sistema viário
Zonas Residenciais com área média do lote < 500m ²	Área total das quadras com uso predominantemente residencial, menos as áreas verdes remanescentes e sistema viário

Fonte: Elaborada pelo autor

Após a determinação do CN para cada parcela das sub-bacias – impermeáveis e permeáveis, foi realizada a média ponderada considerando a área ocupada por cada cobertura do solo – CN. Esses dados possibilitam ao SWMM computar o escoamento superficial gerado pela precipitação padronizada (hietograma de entrada) para cada passo de tempo.

Primeiramente, ainda conforme o método do SCS, calculam-se as abstrações iniciais (I_a , dado em milímetros), que representam a parcela da precipitação retida antes do início do processo de escoamento superficial. Seu cálculo é realizado por meio da Equação 6.

$$I_a = 0,2 * S \quad (6)$$

Na equação acima, S (milímetros) é o potencial de retenção máxima após o início do escoamento superficial. É relacionado à cobertura do solo, ou seja, ao CN, de maneira que o seu resultado é obtido por meio da Equação 7.

$$S = 25,4 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (7)$$

Por fim, pode-se obter a precipitação efetiva, ou o escoamento superficial, decorrente da precipitação padronizada. Para isso, utiliza-se da Equação 8.

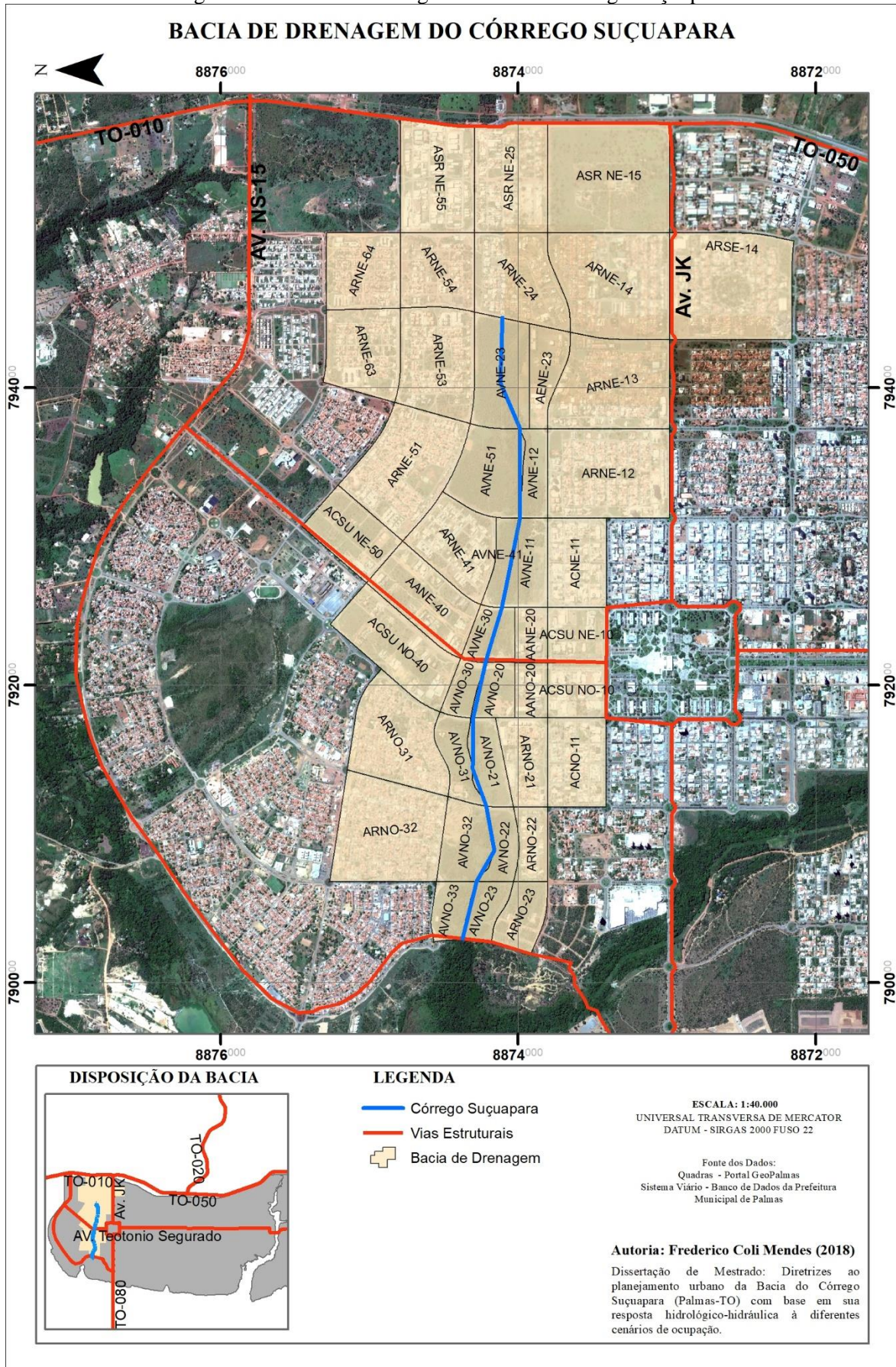
$$Q = \left(\frac{(P - 0,2 * S)^2}{(P + 0,8 * S)} \right) \quad (8)$$

Quanto ao modelo de propagação de fluxo, considerando a revisão bibliográfica referente ao tema, foi utilizado do modelo de Onda Cinemática. Esta opção condiz com o indicado e utilizado pela maior parte dos autores consultados.

3.2.3 Modelagem das sub-bacias no SWMM

Conforme descrito no tópico de análise morfométrica, a bacia hidrográfica foi considerada nos limites da bacia de drenagem urbana, conforme o mapa BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS, encontrado no PMSB (PMP, 2014), cuja bacia do Córrego Suçupara é exibida na Figura 17. Para sua discretização, levou-se em consideração as bacias de contribuição da rede de macro drenagem e a tentativa de limitar essa sub-divisão, conforme recomenda no trabalho de Garcia et al. (2004).

Figura 17 – Bacia de drenagem urbana do Córrego Suçuapara



Fonte: Elaborada pelo autor

Para a largura do fluxo superficial foi utilizado o método do caminho crítico, que indica a divisão da área da sub-bacia pelo maior caminho percorrido pela água até a sua chegada no exutório. Já para os valores de n de Manning optou-se pelos valores padrões indicados no manual do SWMM (Rossman, 2010), sendo 0,011 para as áreas impermeáveis – asfalto liso, e 0,15 para as áreas permeáveis (grama curta). Os valores padrão de armazenamento em depressões para áreas permeáveis e impermeáveis (PA-Perm. e PA-Imperm.) também foram retirados do manual, assumindo os valores de 5,08 mm e 1,27 mm. Vale ressaltar que estes últimos parâmetros foram alterados nos cenários LID, como esclarecido na continuidade deste capítulo.

Para o percentual de áreas impermeáveis sem armazenamento adotou-se o valor recomendado (25%) no *User's Guide to SWMM5*, de James et al. (2010). A definição do tipo de propagação (PERVIOUS, IMPERVIOUS e OUTLET) fora realizada da seguinte maneira: caso a sub-bacia contemple rede de macrodrenagem inserida no modelo, a condição adotada fora IMPERVIOUS e, caso contrário, PERVIOUS. O tipo de propagação também foi alterado nos cenários LID.

3.2.4 Modelagem dos condutos no SWMM

No que se refere aos condutos, foram considerados, neste trabalho, tanto o curso d'água principal do Córrego Suçuapara, bem como trechos das estruturas de macrodrenagem instaladas para direcionamento das águas pluviais. Conforme sugerido por Zaghoul (1983), quando da discretização das sub-bacias, foi buscado manter os comprimentos do curso d'água e das tubulações de macrodrenagem no intervalo máximo entre 1220 a 1525 m.

No que se refere à seção do curso d'água natural, foi feita uma campanha de levantamento em campo para aferir valores reais. A definição da forma geométrica de cada seção foi inserida, então, no SWMM, buscando a adequação às dimensões reais observadas em campo. Após a simulação dos modelos, percebeu-se que a largura das seções levantadas era insuficiente para a propagação das vazões do curso d'água, gerando a necessidade de alongamento das mesmas, mantendo a inclinação dos últimos pontos levantados em cada seção. As seções irregulares inseridas no SWMM estão disponíveis no APÊNDICE A.

Para os canais de macrodrenagem, fora consultado o cadastro da rede de drenagem fornecido pela Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas. Observaram-se diversas lacunas, como inexistência do cadastro de algumas redes apontadas como existentes

no PMSB, além de incompatibilidade das cotas do cadastro com as cotas da altimetria. As redes inexistentes foram ignoradas e, quanto as cotas, adotou-se os valores da altimetria, utilizando apenas as profundidades do cadastro da rede de drenagem.

É importante salientar que a modelagem completa da rede é inviável pelas inúmeras sub-bacias que seriam necessárias para contemplar cada ponto de captação de água, de maneira que foram inseridos apenas os trechos e poços de visita que concentrassem todo o escoamento da sub-bacia. Como coeficiente de rugosidade de Manning adotou-se o valor de 0,11 (tubulação de cimento) e 0,03 (canais naturais com seção razoavelmente regular), ambos seguindo as recomendações do Manual do SWMM de Rossman (2010).

3.2.5 Modelagem das medidas não convencionais no SWMM

As medidas não convencionais modeladas nesse trabalho, como comentado na revisão bibliográfica, foram as valas, trincheiras e poços de infiltração. Para a sua modelagem no SWMM optou-se pela utilização das metodologia proposta por Silva (2007). Nesta metodologia faz-se necessário calcular o volume de captação da estrutura a ser instalada e depois obter a lâmina correspondente, por meio da Equação 9:

$$Lâmina = \frac{Volume}{Área * (Impermeabilização ou Permeabilização)} \quad (9)$$

A equação sugere que o volume que seria captado pela estrutura será distribuído pela área correspondente à sua característica – impermeável ou permeável. Para o presente estudo, as valas e as trincheiras/poços foram consideradas permeáveis. O valor da lâmina obtido é então adicionado ao parâmetro *PA_Permeável* da sub-bacia em análise.

Para a obtenção da lâmina de cada estrutura fora considerada, para as valas, uma seção transversal com largura média de 4,00 metros e profundidade média de 0,50 metros, instaladas nos canteiros centrais das vias estruturais das quadras que compõem cada sub-bacia, cuja soma é o comprimento da estrutura.

Para as trincheiras/poços concebeu-se uma seção transversal com profundidade média de 1,00 metro aplicada as áreas verdes remanescentes das quadras. Não houve variação das trincheiras/poços considerando que, a depender da quadra e da área disponível, a opção passa pela facilidade de execução de cada estrutura, estando a caráter do possível executor. Além disso, como nessas estruturas é acrescentado material mais permeável, as áreas verdes

destinadas à sua implantação foram reclassificadas como “Espaços Abertos – Bom” para a inserção dos valores de CN, de maneira a tentar simular o ganho de permeabilidade dos materiais.

3.3 Cenários e diretrizes ao planejamento urbano

Para a comparação entre os cenários foram utilizados os seguintes parâmetros: vazão de pico, volume escoado, volume infiltrado, coeficiente de escoamento (razão entre o volume escoado e o volume precipitado) e cota no exutório, além da própria visualização dos hidrogramas para cada precipitação. Os cenários modelados foram: Cenário Atual; Cenário Crítico; Cenário Permeável; Cenário Valas; e Cenário Trincheiras/Poços.

No Cenário Atual utilizou-se dos parâmetros de ocupação advindos da fotointerpretação das imagens disponibilizadas pelo *Google Earth*, datadas de agosto de 2017. Entende-se que a defasagem correspondente às conclusões deste estudo não é relevante – menos de um ano. Além disso, foram consideradas as Taxas de Permeabilidade da legislação atual, à exceção dos lotes destinados à habitação multifamiliar (HM – 10%) pois, durante a fotointerpretação, percebeu-se que boa parte dos mesmos não apresenta nenhuma área permeável identificável sendo, em sua maioria, completamente pavimentados, além da própria área ocupada pela cobertura do edifício. Possíveis variações na mudança da legislação não foram contempladas, haja vista a impossibilidade de definir precisamente quando cada lote fora ocupado. A Tabela 11 apresenta as taxas utilizadas. Maiores ponderações acerca dos usos dos lotes estão inseridas no Capítulo 4 e no APÊNDICE B.

Tabela 11 – Uso do Lote e Taxas de Permeabilidade

Uso do Lote	Taxa de Permeabilidade
HM	10%
AR	25%
QC	0%
ACSV	0%
AC	10%
ACSU 1	25%
AA (E,I,M)	25%
AE	40%
ASR	25%
PAC	0%
AVNA	100%

Fonte: (PALMAS, 1991, 1993)

Para o Cenário Crítico considerou-se que todos os lotes da bacia estivessem ocupados, mantendo-se as taxas de permeabilidade determinadas por lei, e que todas as vias projetadas e calçadas estivessem executadas, o que incrementou seu parâmetro de percentual de área impermeável e valores de CN. Vale ressaltar que não houve inserção de redes de drenagem nas quadras que ainda não a possuem, o que tende a aumentar, a futuro, as vazões de pico, coeficientes de escoamento e retardar o tempo de pico dos hidrogramas.

Para os cenários Permeável, Valas e Trincheiras/Poços tem-se como parâmetros de partida o Cenário Crítico, haja vista a tentativa de, por meio de medidas não convencionais em drenagem urbana, propiciar comportamento da bacia hidrográfica semelhante às condições atuais. No Cenário Permeável optou-se por simular um ajuste na legislação que regula a Taxa de Permeabilidade, incrementando as taxas dos lotes residenciais. Assim, os lotes AR passariam a ter Taxa de Permeabilidade de 30% e os HM, 25%. Isto resulta na alteração do parâmetro de percentual de área permeável

No Cenário Valas foram computadas as áreas de canteiros centrais das vias arteriais que contornam cada quadra e projetada a sua inserção nos mesmos, o que acarreta na alteração do parâmetro de *PA_Permeável*. Já para o Cenário Trincheira/Poços, além do incremento do parâmetro *PA_Permeável*, reduziu-se os valores de CN das áreas verdes identificadas para inserção das técnicas, bem como alterou-se a propagação do escoamento nas sub-bacias de *IMPERVIOUS* para *PERVIOUS*.

Além dos valores referentes a vazão e ao balanço hídrico, foram verificados possíveis alagamentos dos *nós* – objetos que representam também os bueiros existentes, transbordamentos do curso d'água e insuficiência da rede de drenagem modelada. De posse desses resultados, fora possível elencar algumas diretrizes e recomendações para ocupação da bacia no que se refere a cobertura do solo, taxas de impermeabilização, áreas de preservação, índices urbanísticos e ajustes ou aplicação dos tradicionais e novos instrumentos de planejamento urbano.

4 RESULTADOS

Como consequência da metodologia apresentada no tópico anterior, estão expostos, nesse capítulo, a consolidação dos resultados advindos de sua execução. Procurou-se, aqui, realizar a apresentação e explicações breves dos mesmos, haja vista a inserção de tópico específico, após este, para discussões mais pormenorizadas. O tópico se divide em: análise urbanística; análise morfométrica; e modelo hidrológico-hidráulico no SWMM.

4.1 Análise Urbanística

Este tópico tem por objetivo principal identificar as condições e motivações que levaram ao atual uso e ocupação do solo da bacia em estudo, bem como permitir que se vislumbre as tendências para os próximos anos. Além disso, se constitui no subsídio necessário à posterior construção dos cenários de simulação de comportamento hidrológico-hidráulico, sobretudo no que se refere a definição de áreas impermeáveis e localidades disponíveis para utilização de medidas não convencionais.

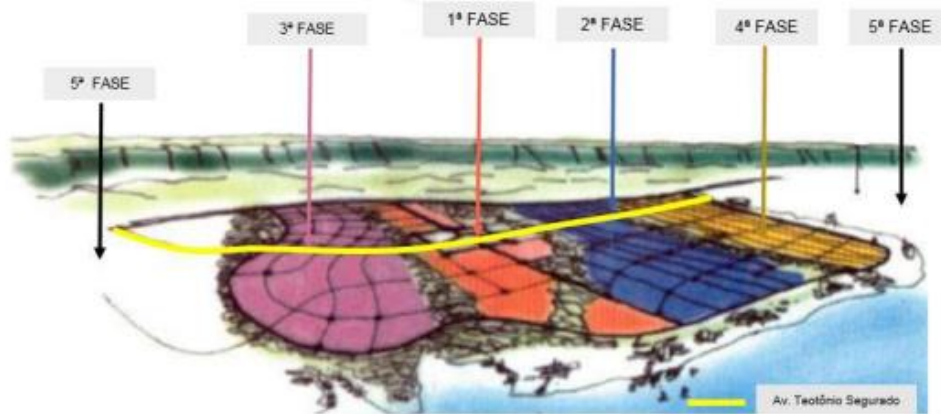
4.1.1 Aspectos históricos

Os aspectos históricos da ocupação de um determinado território são importantes, sob o ponto de vista da drenagem urbana, para que seja possível vislumbrar as tendências que acompanharão a bacia hidrográfica e, em última instância, refletirão nas taxas de impermeabilização e nas parcelas de escoamento. Considerando a fundação recente de Palmas – 1º de Maio de 1989, qualquer análise urbanística que leve em consideração seus aspectos históricos inicia-se, necessariamente, pelos subsídios fornecidos por seu Plano Básico, elaborado pelo GRUPO QUATRO (1989). Neste documento apresentam-se diretrizes importantes no que se refere aos horizontes de povoamento, princípios para expansão da urbanização, dimensões básicas das quadras e bairros e reserva de áreas verdes.

O Plano Básico do GRUPO QUATRO (1989) estabelecia previsões de povoamento da ordem de 300 a 500 mil habitantes nos primeiros 15 anos. A urbanização se daria por etapas, conforme a Figura 18, com destaque para a primeira etapa, entre os córregos Brejo Comprido

e Suçupara que, segundo Teixeira (2009), um dos autores do projeto, abrigaria cerca de 200 mil habitantes nos primeiros 10 anos. O autor ainda pontua que a completa ocupação da área reservada no plano básico resultaria em uma população de 1,2 milhão de habitantes.

Figura 18 – Fases de ocupação de Palmas previstas no Plano Básico (1989)



Fonte: Fernando Teixeira Arquitetos Associados¹¹

A urbanização da cidade seria promovida utilizando-se do princípio de grandes quadras, com dimensões gerais de 600 x 700 metros, que abrigariam entre 7 a 10 mil pessoas, com densidade de aproximadamente 300 hab./ha. A Tabela 12, abaixo, fora extraída do Plano Básico e apresenta o resumo de áreas do mesmo por tipo de ocupação.

Tabela 12 – Resumo de áreas do Plano Básico

Descrição	Área (ha)	%
Zonas residenciais	5894	53
Zonas institucionais	180	1,5
Zona de serviços regionais	383	3,2
Zona de serviços metropolitanos	671	6,1
Centro urbano	147	1,2
Ensino	132	1,1
Lazer e recreação	1112	9,9
Áreas Verdes	994	9
Sub-total	9493	-
Sistema Viário	1294	15
Total	10787	100

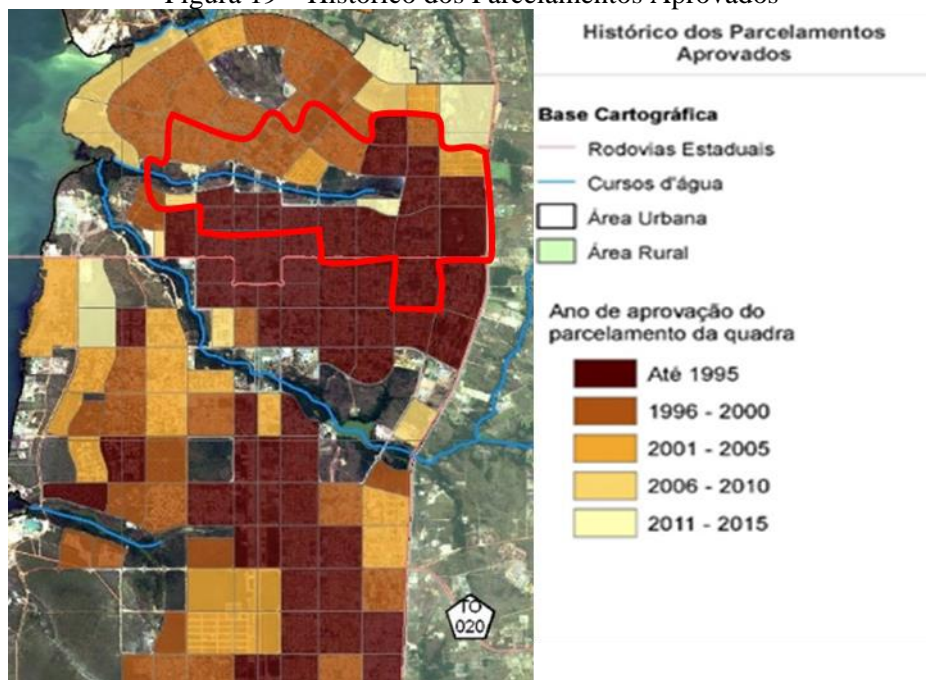
Fonte: GRUPO QUATRO (1989)

¹¹ Disponível em: < <https://fernandoteixeira.arq.br/inicio/escritorio/urbanismo/plano-diretor-palmas-to/#lightbox-7/>>. Acesso em: abril. 2017.

Não há especificações diretas a respeito do sistema de drenagem, mas o GRUPO QUATRO (1989) realizaria a proposta de um “sistema de áreas verdes composto pelo Parque Ecológico, Parques Urbanos, Parques Lineares, pelas Áreas Verdes Comunitárias que alcançarão um índice de 19 m²/habitante”. Além disso, recomendava a preservação de 15% de áreas verdes na área total das quadras. Estas diretrizes impactam diretamente o comportamento hidrológico-hidráulico de uma bacia hidrográfica e, igualmente, a bacia do Córrego Suçuapara.

Apesar das diretrizes do Plano Básico, Rodovalho (2012) conclui, após extensa revisão documental do processo de implantação da cidade entre os anos de 1989 e 1994, que a influência destas se restringiu apenas a parte do desenho do macroparcelamento urbano (grandes quadras) e a distribuição das zonas de uso e ocupação pelo território. Destaca que as primeiras legislações se distanciaram do plano inicial e que foram aplicadas de maneira arbitrária, favorecendo a ocupação espalhada da cidade com seus vazios urbanos e especulação imobiliária. Observando a Figura 19, que apresenta o histórico do parcelamento em boa parte da Região Central, fica claro o completo desalinhamento com a proposta de ocupação por faixas conforme as necessidades de crescimento populacional.

Figura 19 – Histórico dos Parcelamentos Aprovados



Fonte: Adaptado de GeoPalmas (2015)¹²

¹² Disponível em: <<http://geo.palmas.to.gov.br/>>. - Mapas Temáticos – Planejamento Urbano. Acesso em: jan. 2018.

Especificamente quanto a urbanização da área da bacia de drenagem do Córrego Suçupara, localizada na primeira e terceira etapa de ocupação inicialmente pensada, percebe-se que até o ano 2000 a mesma encontrava-se praticamente parcelada em sua totalidade, mesmo com a cidade possuindo apenas 137.355 habitantes, segundo o IBGE (2016)¹³, distribuídos em localidades muito além da região central.

Neste contexto, merece destaque a ocupação da área popularmente denominada de Vila União (atuais ARNOs 31, 32 e 33). Segundo Lira (1995), os lotes nessas quadras teriam sido doados em regime de comodato para servidores públicos do alto escalão, prefeitos e vice-prefeitos, durante a primeira gestão estadual. Na segunda gestão, iniciada em 1991 por Moisés Avelino, declara-se inválido o ato de doação, o que acarretaria, segundo o autor, em uma “invasão estatal” da área, formando-se a Vila União. Em uma entrevista concedida a Rodovalho (2012), Paz (2012) afirma que a invasão era composta por cerca de 3 mil pessoas. A área seria regularizada pelo mesmo governador, por meio da Lei Estadual nº 649/1994.

O pequeno apanhado histórico permite observar que, mesmo quando se dispõe de diretrizes claras e rígidas, é necessário que haja um comprometimento dos poderes estatais e populares para seu cumprimento. A ocupação ordenada e eficiente do ponto de vista dos gastos públicos, inicialmente pensada, fora descumprida sob influência do próprio governo. Seu reflexo nas densidades ficará claro nos próximos tópicos.

Não obstante, importa salientar a relevante quantidade de áreas verdes reservadas no Plano Básico, mesmo que para os sistemas de drenagem não tenham sido emitidas recomendações diretas. A reserva dessas áreas, por si só, contribui para a preservação dos leitos naturais dos cursos d’água e da permeabilidade do solo e, pelo mapa de histórico dos parcelamentos, percebe-se que houve eficiência no cumprimento dessas diretrizes, pois não houve ocupação ou parcelamento destas áreas, pelo menos na região analisada neste trabalho.

¹³ Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?codmun=172100>>. Acesso em: mar. 2018.

4.1.2 *Análise da legislação*

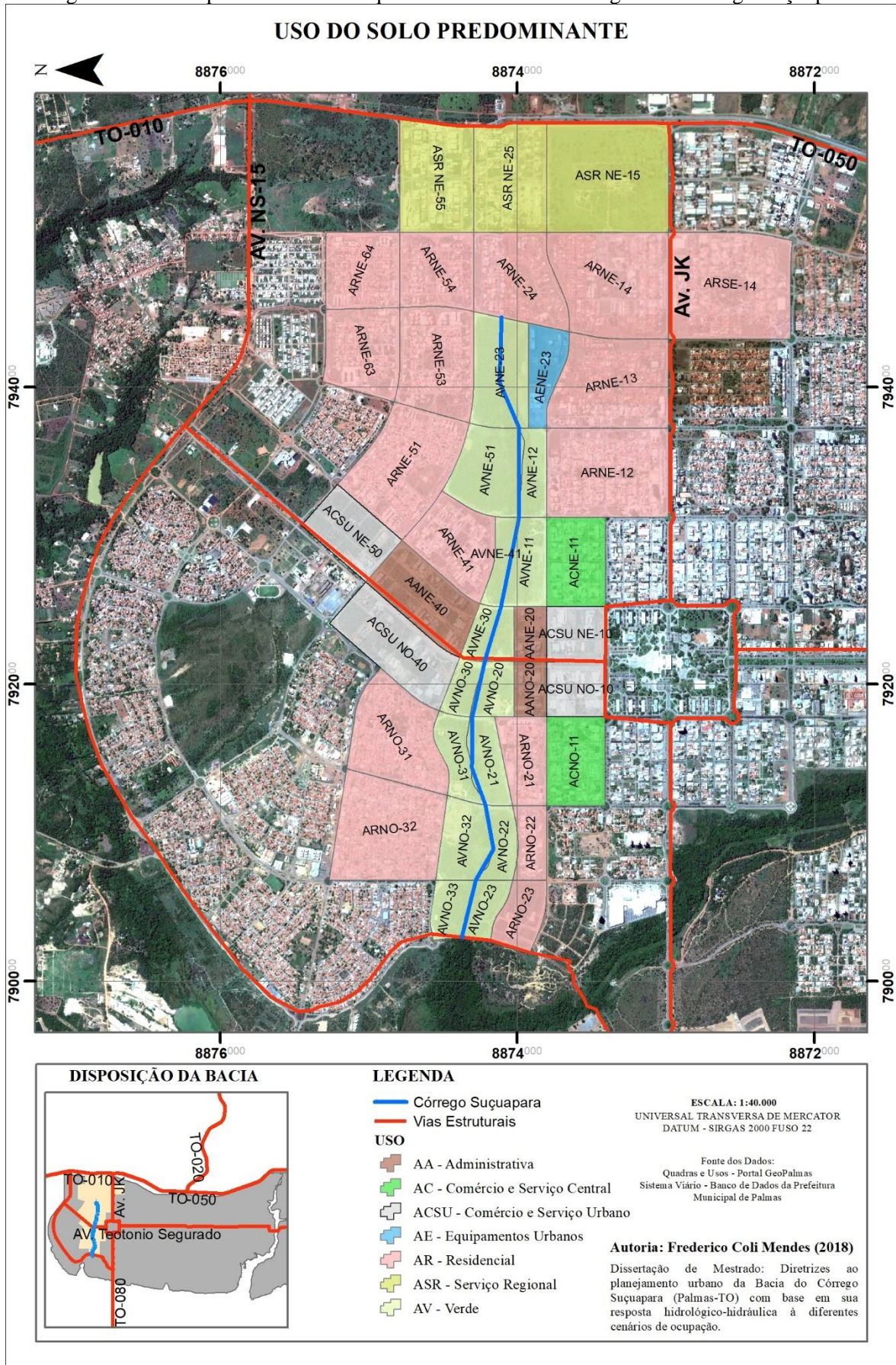
Após histórico sintético da implantação de Palmas e da Bacia do Córrego Suçuapara, encontram-se abaixo aspectos quanto ao cerne da legislação que sustentou a ocupação da mesma, resultando no espaço construído que se apresenta.

Iniciando com a Lei Federal nº 6.766/1979 e suas alterações – dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providência (BRASIL, 1979), que é o ponto de partida legal para os parcelamentos urbanos no Brasil, visualiza-se indicações de cunho geral e que afetam, direta ou indiretamente, o comportamento hidrológico-hidráulico da bacia. Em suas disposições preliminares tem-se que o lote deve ser servido de infraestrutura básica, ou seja, equipamentos urbanos de saneamento – inclusive águas pluviais, iluminação pública, energia elétrica e sistema viário. Além disso, salvo condições específicas, não é permitido o parcelamento em áreas com declividade superior à 30% e em áreas de preservação ecológica.

Ainda conforme a Lei Federal, as dimensões mínimas dos lotes são definidas como frente de cinco metros e 125m² de área, salvo casos de urbanização específica. Obriga-se, também, a reserva de faixa não-edificável de 15 metros de cada lado de corpos hídricos. Por fim, remete-se aos Municípios a necessidade de elaboração de normas complementares que definam: dimensões e índices urbanísticos para as zonas que o compõe (com a obrigatoriedade dos usos permitidos, áreas mínimas e máximas de lotes e coeficientes máximos de aproveitamento); e as áreas destinadas à implantação de equipamentos públicos e infraestrutura viária (BRASIL, 1979).

Nesse sentido, o uso e ocupação do solo em Palmas passou a ser regulado, para além das diretrizes gerais do Plano Básico e da Lei Federal supracitada, a partir da Lei Municipal nº 85/1991, que seria substituída pouco tempo depois pela Lei Municipal nº 386/1993 e suas alterações. As leis atribuem a cada quadra uma Zona de Uso, caracterizada pela predominância de um uso permitido específico, conforme a Figura 20. As Zonas de Uso da Bacia do Suçuapara não foram alteradas entre as leis.

Figura 20 – Usos predominantes de quadras da Bacia de Drenagem do Córrego Suçupara



Fonte: Elaborada pelo autor

Importante observar no mapa que as quadras contíguas ao Córrego Suçuapara são atribuídas ao uso de Área Verdes. Essas áreas tem o intuito, sobretudo, de preservação ambiental, podendo abrigar equipamentos públicos de baixo impacto, como poderá ser observado abaixo. Também são suficientes para cobrir as exigências referentes à Áreas de Preservação Permanente, de 30 a 50 metros adjacentes as bordas do leito regular, conforme a Lei Federal nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012).

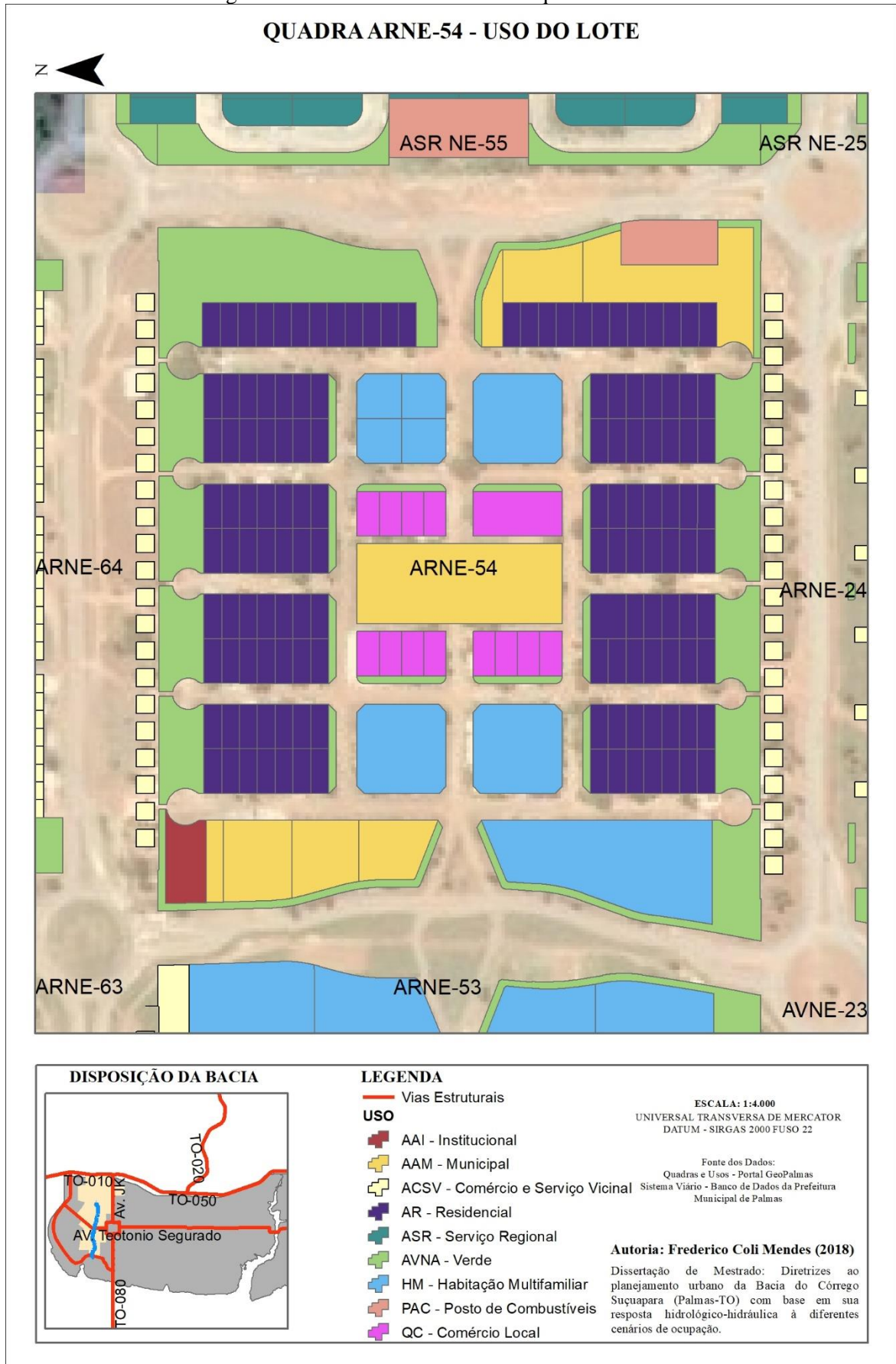
A análise das leis de uso do solo e suas alterações é resumida no APÊNDICE B, sendo de destacada importância, haja vista definirem os usos permitidos, coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação, taxa de permeabilidade e afastamentos mínimos – este último de pouca importância para o caráter do presente estudo. Sob o ponto de vista legal, constituem-se na matéria de maior repercussão no que se refere ao comportamento hidrológico-hidráulico da bacia. O comparativo entre as leis permitiu sintetizar as informações de maneira única, haja vista a percepção de que não foram realizadas alterações significativas ao longo do tempo (as de maior relevância estão destacadas).

Importante destacar que a Taxa de Permeabilidade é definida apenas para as áreas residenciais e, mesmo assim, só o fora após 2011. Ainda, cabe o esclarecimento que a Zona atribuída se refere ao uso predominante da quadra, de maneira que, por exemplo, em quadras residenciais (AR), tem-se a presença de lotes categorizados como comércio e serviço local (QC). A Figura 21 traz o exemplo da Quadra ARNE-54, parte da bacia em estudo.

Quanto as Lei Municipais nº 31/1989, nº 45/1990 e alterações, referentes ao Código de Obras do Município, não foram identificadas ponderações de grande relevância para o escopo do trabalho. Destaque para indicação de inclinações de 3% nas calçadas em direção ao meio-fio (PALMAS, 1990).

Interessante observar que o primeiro Plano Diretor do município só entraria em vigor por meio da Lei Municipal nº 468/1994. Esta lei apresenta algumas determinações importantes, conforme destaca-se de seu artigo 7º, que define a densidade mínima de 300 hab./ha nos microparcelamentos em áreas de uso predominantemente residencial, bem como a determinação de destinação mínima de 15% da área para Áreas Públicas Municipais, que somadas ao sistema viário devem resultar em um mínimo de 35% de área. Também determina uma destinação de 5% da área para equipamentos urbanos e comunitários e 3% de área para comércio local (PALMAS, 1994).

Figura 21 – Uso do solo em lotes da quadra ARNE-54



Fonte: Elaborada pelo autor

A Lei Complementar nº 94/2004, citada no trecho acima, dispõe sobre o uso e ocupação do solo da Área de Urbanização Prioritária II, que se localiza na Região Sul da área urbana da cidade. Esta área é uma das definidas pela Lei Municipal nº 58/2002, que institui o Macrozoneamento Territorial do Município. No entanto, as disposições desta lei não afetam a bacia em estudo.

Além do Plano Diretor e das leis de uso e ocupação do solo já mencionadas, merece destaque o Decreto Municipal nº 35/2004, que fixa os procedimentos a serem adotados para aprovação de projetos urbanísticos de empreendimentos. Destaca-se, desse decreto, a destinação mínima de 5% da área bruta da gleba para áreas verdes não edificáveis – excluídas as Áreas de Preservação Permanente, determinação não presente nas legislações anteriores. Além disso, emite diretrizes para o sistema viário municipal, no que se refere a suas dimensões, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Dimensões do sistema viário

Tipo	Dimensões
Ruas Locais	Largura mínima de 13m, sendo 7m de faixa de rolamento e 3m de passeio lateral em cada lado.
Av. JK, LOs e NSs	Largura de 36m, sendo duas faixas de rolamento com largura de 10,50m cada uma, canteiro central de 5m e 5m de passeio lateral em cada lado.
Av. Parque	Largura de 51m, sendo duas faixas de rolamento com largura de 10,50m cada uma, canteiro central de 20m e 5m de passeio lateral em cada lado.
Av. Teotônio Segurado	Largura de 150m, sendo duas faixas de rolamento com largura de 14m cada uma, canteiro central de 45m e 10m de passeio lateral em cada lado.
Demais avenidas	Largura mínima de 36m sendo 2 faixas de rolamento com largura mínima de 10,50m cada uma, canteiro central de 5m e 5m de passeio lateral em cada lado.

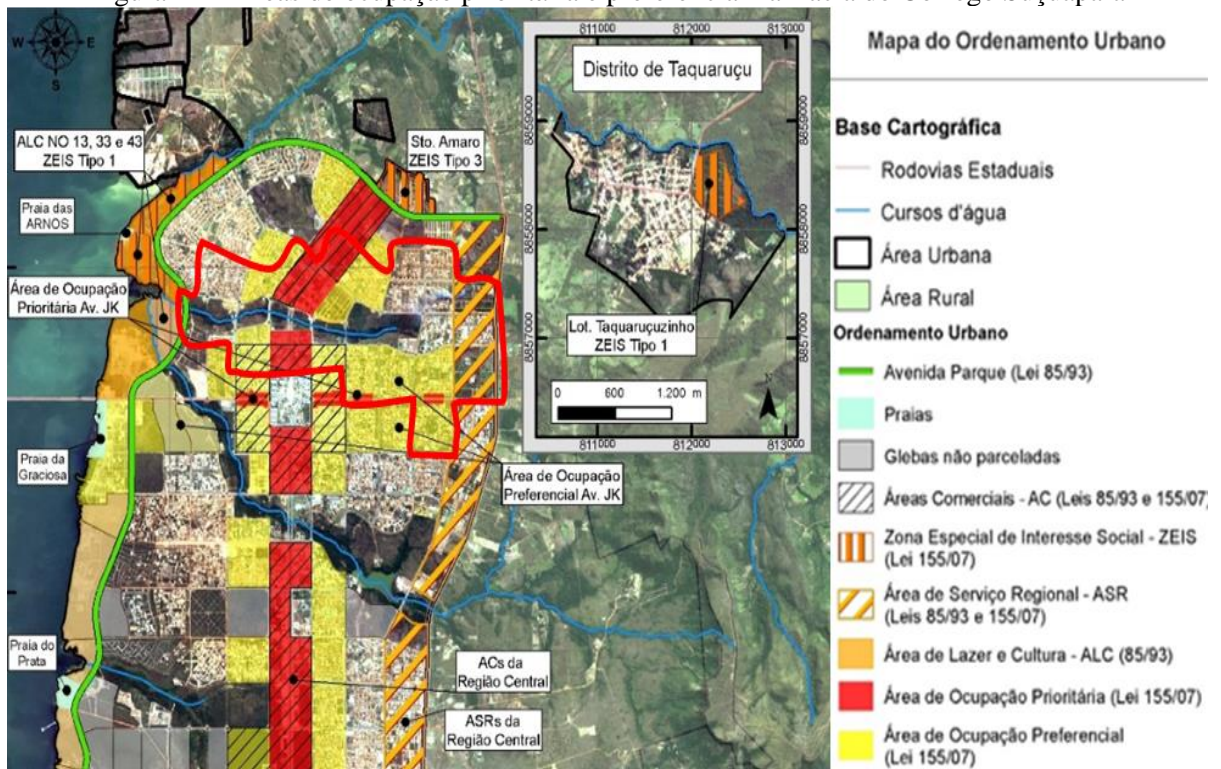
Fonte: PALMAS (2004)

Por fim, o decreto impõe ao interessado pelo parcelamento a obrigação de executar as obras de escoamento de drenagem de águas pluviais, obras de revestimento primário das vias internas e asfaltamento e drenagem de metade das vias estruturais contíguas ao loteamento. Em detrimento disso, pode-se observar que tem sido determinado aos loteamentos mais recentes a pavimentação das vias internas, como aconteceu com a quadra 304 Norte, situada na área da bacia em estudo. No entanto, conforme visualizado e comentado anteriormente, boa parte das quadras da bacia foram ocupadas antes da entrada em vigor do referido decreto, de maneira que a execução de seu sistema de drenagem fica sob responsabilidade da Prefeitura Municipal de Palmas.

Seguindo a linha temporal dos marcos legais que interferiram na ocupação da Bacia do Córrego Suçupara, tem-se a Lei Municipal nº 155/2007 e suas alterações, que constitui a revisão do primeiro plano diretor (Lei Municipal nº 468/1994). Destaca-se como pontos relevantes a obrigatoriedade de taxa de permeabilidade de 50% para Áreas Públicas Municipais – compreendem todas as áreas “destinadas à implantação de equipamentos urbanos e comunitários, inclusive aquelas concedidas a outras instituições públicas e privadas” (PALMAS, 2007).

O novo plano também estabeleceria Áreas de Ocupação Prioritária, que se desenvolveriam, no âmbito da Bacia do Córrego Suçupara, nas quadras imediatamente adjacentes à Av. Teotônio Segurado e à Av. JK. Também criaria às Áreas de Ocupação Preferencial, da qual destacamos às das quadras logo após as imediatamente adjacentes, também ao longo das avenidas referenciadas acima. A Figura 22 apresenta a disposição dessas áreas na cidade.

Figura 22 – Áreas de ocupação prioritária e preferencial na Bacia do Córrego Suçupara



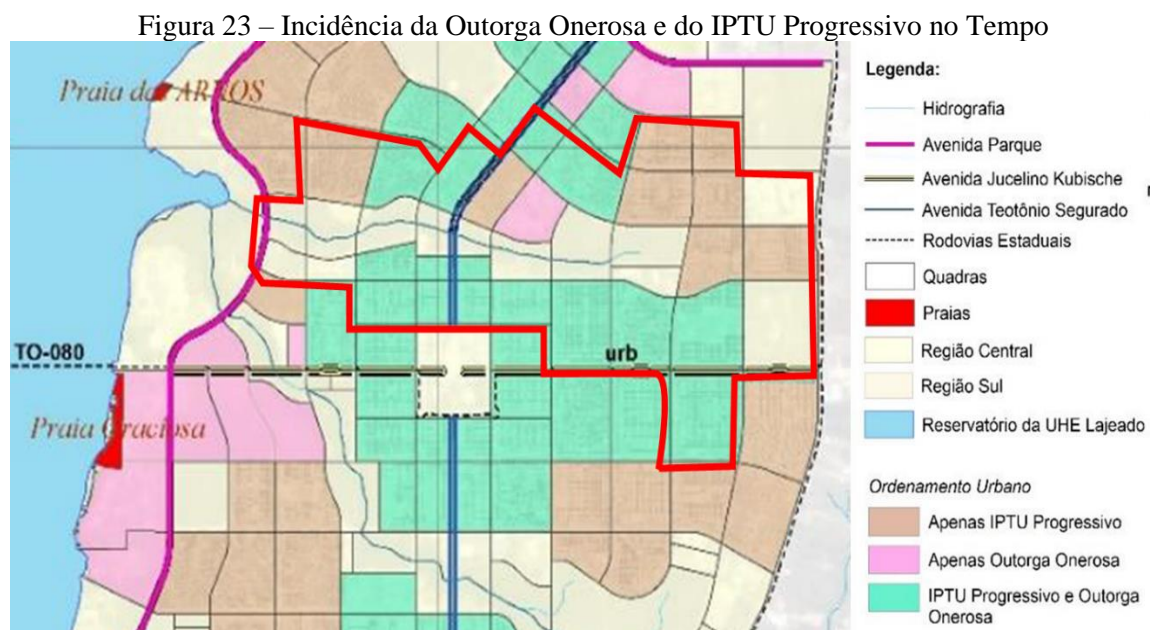
Fonte: Adaptado de GeoPalmas (2015)¹⁴

¹⁴ Disponível em: <<http://geo.palmas.to.gov.br/>>. - Mapas Temáticos – MACRO e MICROZONEAMENTO. Acesso em: jan. 2018.

A Lei Municipal 155/2007 também criaria as Unidades de Conservação que, conforme seu artigo 27, “constituem espaços territoriais especialmente protegidos do município, por sua relevância natural e paisagística”. Dentre as Unidades de Conservação criadas estaria a Suçupara, composta pelas Áreas Verdes da Bacia do Córrego Suçupara, já indicadas nas Leis de Uso e Ocupação do Solo anteriores, bem como um complemento de uma faixa de 100m em cada lado do córrego (PALMAS, 2007).

A lei ainda traria diretrizes quanto a drenagem urbana – Art. 57, das quais destacamos: utilização de técnicas para redução de erosão e aumento da infiltração da água no solo; implantação de macrodrenagem nas avenidas com base na densidade populacional, riscos ambientais e à saúde pública; e o incentivo e priorização de ocupação das bacias já dotadas de macrodrenagem. Por fim, a Lei Municipal nº 155/2007 criaria três instrumentos que serão destacados nesse trabalho: o Parcelamento, Edificação ou Utilização Compulsórios (PEUC), o IPTU Progressivo no Tempo (IPTUp) e a Outorga Onerosa do Direito de Construir (OODC). Os dois primeiros foram regulados pela Lei Municipal nº 195/2009, enquanto o segundo, pela Lei Municipal nº 274/2012.

A Figura 23 permite perceber que todas as quadras da Bacia do Córrego Suçupara, à exceção das Áreas Verdes, são afetadas por pelo menos um dos instrumentos citados acima. Além disso, percebe-se que a combinação dos mesmos se deu, sobretudo, nas Áreas de Ocupação Prioritária e Preferencial.



Fonte: Adaptado de Palmas (2017)¹⁵

¹⁵ Disponível em: Disponível em: <<http://planodiretor.palmas.to.gov.br/arquivos/>>. - FASE 2: LEITURA DA CIDADE – Anexo 111. Acesso em: jan. 2018.

O IPTUp e o PEUC são aplicados nos lotes ou glebas não edificados, ou seja, com coeficiente de aproveitamento igual a zero, conforme Palmas (2009b) e nos imóveis subutilizados e/ou não utilizados, conforme Art. 75 da Lei Municipal nº 155/2007 (PALMAS, 2007).

O Anexo 109 da leitura técnica de revisão do plano diretor aponta que, embora a regulamentação tenha entrado em vigor em 2009, apenas em 2015 o instrumento fora efetivamente aplicado na bacia em estudo, conforme a Tabela 14. Os dados revelam que não fora aplicado o instrumento em nenhuma quadra para Parcelamento Compulsório, haja vista que todas já se encontram parceladas.

Tabela 14 – Aplicação do IPTUp na Bacia de drenagem do Córrego Suçuapara

Quadra	Edificação Compulsória		
	2015	2016	2017
ACNE 11	4	3	5
ARNE 12	13	10	10
ARNE 13	15	12	13
ARNE 14	17	18	29
TOTAL	49	43	57

Fonte: Palmas (2017)¹⁶

No que se refere à OODC, o artigo 7º da Lei Municipal nº 274/2012 determina que a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação deveria definir o Estoque de Potencial construtivo para cada quadra, com sua posterior publicação no Diário Oficial do Município. Ainda, em seu artigo 9º, determinava como limites máximos para aumento de potencial construtivo a taxa de 50% para lotes com uso de habitação multifamiliar e comercial, 30% para lotes com uso industrial e 25% para lotes com uso institucional (PALMAS, 2015).

A leitura técnica realizada para a revisão do plano diretor, em seu Anexo 111, fornece a quantidade de empreendimentos e os valores totais arrecadados em contrapartida desde a entrada em vigor do instrumento. Para a bacia em estudo, identifica-se a concessão de apenas uma OODC, realizada na 106 Norte (ARNE 12), em 2013, no valor de R\$ 120.262,50 (PALMAS, 2017).

Por fim, há que se destacar a Lei Complementar Municipal nº 400/2018, atual plano diretor. O plano apresenta importantes princípios em seu Art. 5º, alinhados à legislação nacional

¹⁶ Idem

e ao escopo deste estudo, como a preservação e conservação do meio ambiente, a função ambiental da propriedade, a adaptação e mitigação dos impactos relacionados às mudanças climáticas, a gestão dos recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental (PALMAS, 2018).

Neste plano, todo o território da bacia faz parte da denominada Macrozona de Ordenamento Controlado (MOCont) que possui, como diretrizes gerais, o incentivo a ocupação e ao adensamento para melhor aproveitamento da infraestrutura urbana, respeitando as Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo dos córregos. Também é criado o Sistema Municipal de Infraestrutura Verde (SisMIV), o qual define com APPs os trechos com largura de 42 metros, partindo das margens do leito regular dos córregos.

Além disso, a antiga Unidade de Conservação do Suçupara permanece em sua abrangência territorial, possuindo a denominação de Parque Linear Urbano dos Povos Indígenas, que confere caráter de APP aos remanescentes florestais do entorno do córrego do Suçupara, com o restante integrando a nova denominação de Área Verde Urbana. Nesta área é permitido a implantação de equipamentos urbanos, principalmente para esporte e lazer, que deverão conter, pelo menos, 25% de Área Permeável. Por fim, cabe destacar que as novas diretrizes devem impactar em futuras revisões da Lei de Uso do Solo municipal e em seus instrumentos, como o IPTUp e a OODC.

Sucintamente, observa-se que a legislação em vigor vai ao encontro das diretrizes iniciais de preservação de quantidades expressivas de áreas verdes não edificáveis. Chama a atenção a indefinição de taxas de permeabilidade para alguns usos de lote, conforme depreende-se do APÊNDICE B, e de largura expressiva do sistema viário. Visualiza-se, também, um esforço para o adensamento da área urbana do município, com a aplicação, sobretudo, dos instrumentos de OODC, PEUC e IPTUp, que incidem em todas as quadras da bacia em estudo, à exceção das Áreas Verdes. No entanto, percebe-se que a aplicação da OODC é tímida ou pode não ter encontrado viabilidade sob o ponto de vista do mercado de imóveis, pois fora pouco utilizada.

4.1.3 *Análise de ocupação*

Para finalizar a análise urbanística, será apresentado, neste tópico, como a bacia em estudo se encontra atualmente, no que se refere a ocupação de sua área, combinada a características sociodemográficas da população e a distribuição dos equipamentos públicos existentes. Seu estado é consequência do que fora descrito nos tópicos anteriores – aspectos históricos e arcabouço legal, que, além disso, indicam as tendências futuras da área. A combinação destes fatores refletirá no comportamento hidrológico-hidráulico da bacia nos diversos cenários que serão simulados em tópicos posteriores.

De acordo com o mapa de situação apresentado na metodologia, a bacia de drenagem urbana do Córrego Suçuapara apresenta a distribuição de usos predominantes de suas 44 quadras conforme a Tabela 15, na próxima página. A tabela também possibilita uma visão geral de cada quadra, com a área total, percentual da área destinada a lotes, áreas verdes e pavimentação – incluindo calçadas, a largura média das vias, bem como a área média dos lotes comerciais e residenciais.

As áreas apresentadas são advindas de levantamento baseado no parcelamento das quadras, não devendo ser confundidas com a atual ocupação, ou seja, algumas vias não estão pavimentadas, bem como alguns lotes não estão ocupados. Ressalta-se que a existência de um uso predominante para a quadra não o atribui, obrigatoriamente, a todos os lotes que a compõem, o que já foi exemplificado por meio da Figura 21.

Chama a atenção a preservação das quadras cujo uso predominante é definido como Área Verde (AV). Estas áreas fazem parte, atualmente, do Parque Linear Urbano dos Povos Indígenas, na região central da cidade, como toda a bacia de estudo, e merece destaque por não ser fato comum entre outras cidades, tendo como exemplo as elencadas da revisão bibliográfica. Esta preservação, além de representar, sob o ponto de vista da drenagem, grandes bolsões de área permeável, afastam a ocupação do leito natural do curso d'água, o que possibilita o seu transbordamento sem maiores prejuízos ambientais e urbanos.

A ocupação atual da bacia resultou nas densidades que são representadas na Figura 24. Observa-se que a maior concentração de população se dá nas ARNOs, quadras implantadas sob um processo inicial de ocupação irregular.

Tabela 15 – Distribuição de usos e características gerais das quadras que compõem a Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara

(continua)

Quadra	Uso Predominante	Área Total (ha)	% Área Lotes	% Área Verde	% Área Pavimentação	Largura média vias (m)	Lote residencial tipo (m ²)	Lote comercial tipo (m ²)
AANE-20	AA	8,16	41,60%	10,42%	47,98%	26	-	1800,00
AANE-40	AA	27,79	43,28%	19,79%	36,93%	24	-	2300,00
AANO-20	AA	8,16	41,78%	9,92%	48,30%	24	-	1800,00
ACNE-11	AC	23,76	47,76%	4,92%	47,32%	10,5	700,00	700,00
ACNO-11	AC	23,77	47,50%	5,29%	47,21%	10,5	640,00	640,00
ACSU NE-10	ACSU	14,70	55,97%	11,57%	32,46%	8	6000 e 1800	6000 e 1800
ACSU NE-50	ACSU	21,37	56,95%	9,39%	33,65%	11	2340 e 1800	2340 e 1800
ACSU NO-10	ACSU	14,68	55,17%	12,29%	32,54%	8	1800 e 6000	1800 e 6000
ACSU NO-40	ACSU	32,90	60,12%	16,99%	22,89%	9	1920 e 6000	1920 e 6000
AENE-23	AE	13,52	81,51%	0,65%	17,83%	8	-	-
ARNE-12	AR	49,32	57,22%	16,01%	26,77%	10	360,00	144,00
ARNE-13	AR	45,77	61,82%	14,26%	23,92%	8	360,00	144,00
ARNE-14	AR	52,33	53,84%	19,65%	26,51%	8	300,00	144,00
ARNE-24	AR	33,31	50,78%	25,37%	23,85%	7,5	450,00	100,00
ARNE-41	AR	27,24	47,02%	23,60%	29,37%	8	360,00	144,00
ARNE-51	AR	44,80	60,60%	10,53%	28,87%	7	260,00	132,00
ARNE-53	AR	35,53	46,73%	24,49%	28,77%	8	360,00	144,00
ARNE-54	AR	25,03	43,91%	24,59%	31,51%	10	360,00	144,00
ARNE-63	AR	28,19	50,67%	23,00%	26,32%	7	360	144
ARNE-64	AR	25,50	49,36%	23,56%	27,09%	9,5	360,00	144,00
ARNO-21	AR	17,39	49,48%	14,44%	36,08%	10	360,00	180,00
ARNO-22	AR	10,25	48,00%	22,74%	29,26%	7	566,00	-

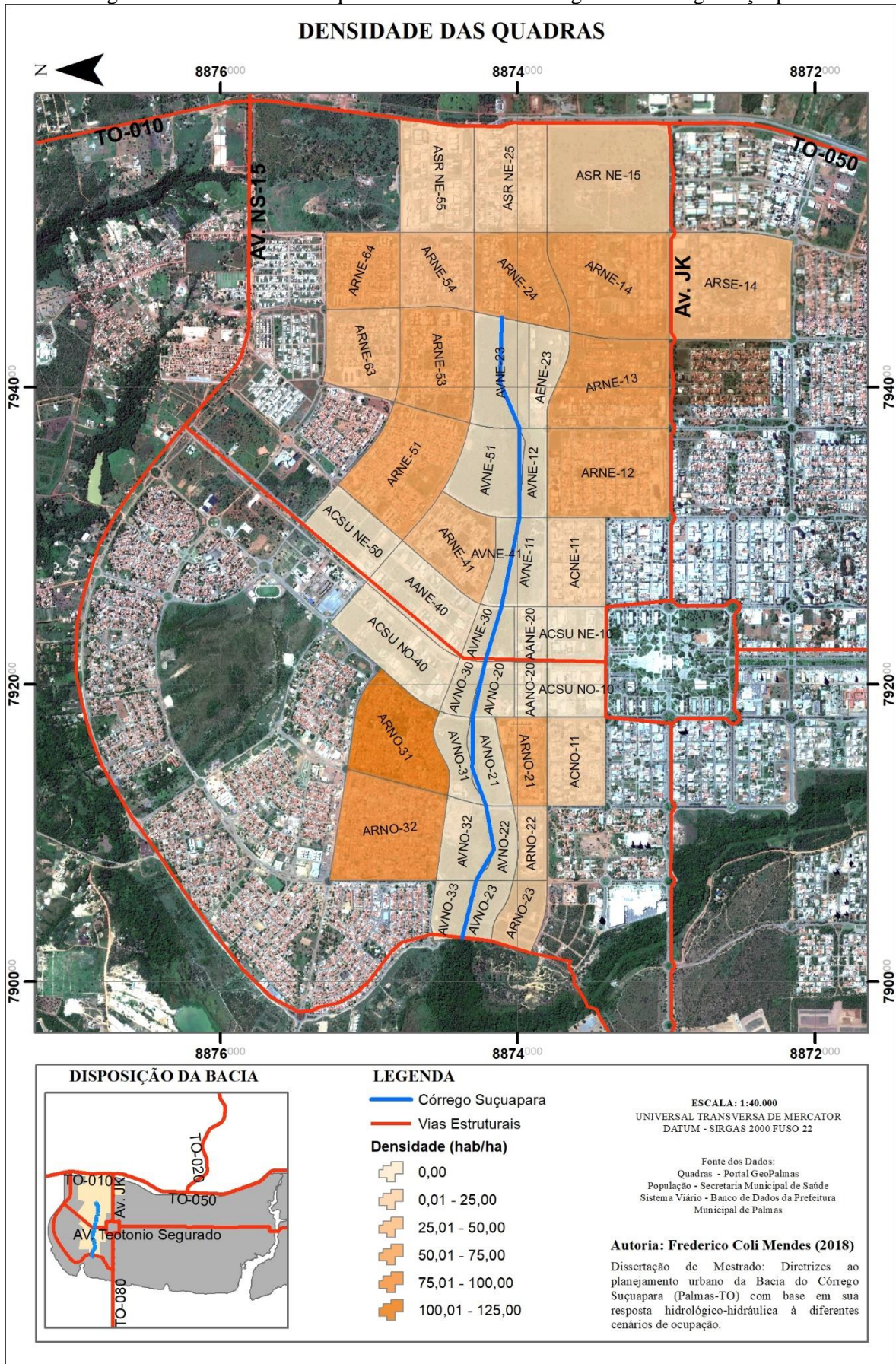
Tabela 15 – Distribuição de usos e características gerais das quadras que compõem a Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara

(conclusão)

Quadra	Uso Predominante	Área Total (ha)	% Área Lotes	% Área Verde	% Área Pavimentação	Largura média vias (m)	Lote residencial tipo (m ²)	Lote comercial tipo (m ²)
ARNO-23	AR	12,76	51,88%	17,92%	30,20%	10	600,00	-
ARNO-31	AR	36,96	53,48%	20,52%	26,00%	7	250,00	250,00
ARNO-32	AR	47,02	55,91%	9,57%	34,53%	8	275,00	275,00
ARSE-14	AR	58,20	57,50%	19,08%	23,42%	8	360,00	144,00
ASR NE-15	ASR	61,14	0,00%	94,12%	5,88%	-	-	-
ASR NE-25	ASR	36,05	54,20%	24,06%	21,74%	9	-	660,00
ASR NE-55	ASR	36,91	58,09%	16,93%	24,98%	12	-	940,00
AVNE-11	AV	14,79	0,00%	83,97%	16,03%	-	-	-
AVNE-12	AV	10,22	0,00%	85,33%	14,67%	-	-	-
AVNE-20	AV	5,26	0,00%	76,09%	23,91%	-	-	-
AVNE-23	AV	27,72	0,00%	97,14%	2,86%	-	-	-
AVNE-30	AV	6,03	0,00%	71,32%	28,68%	-	-	-
AVNE-41	AV	7,59	0,00%	79,59%	20,41%	-	-	-
AVNE-51	AV	25,35	0,00%	90,95%	9,05%	-	-	-
AVNO-20	AV	9,35	0,00%	84,96%	15,04%	-	-	-
AVNO-21	AV	12,67	0,00%	91,29%	8,71%	-	-	-
AVNO-22	AV	9,50	0,00%	88,69%	11,31%	-	-	-
AVNO-23	AV	9,00	0,00%	87,35%	12,65%	-	-	-
AVNO-30	AV	7,11	0,00%	74,32%	25,68%	-	-	-
AVNO-31	AV	11,40	0,00%	84,55%	15,45%	-	-	-
AVNO-32	AV	16,94	0,00%	89,92%	10,08%	-	-	-
AVNO-33	AV	9,30	0,00%	83,80%	16,20%	-	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 24 – Densidade das quadras da Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara



Fonte: Elaborada pelo autor

De maneira a dar mais ênfase nas áreas disponíveis para ocupação com fins de habitação, pode-se estimar o estoque de área por quadra com base em seus coeficientes de aproveitamento (1,0 para unifamiliares e 2,5 para multifamiliares) e área dos lotes. Esta estimativa fora realizada e é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 – Áreas destinadas a habitação

Quadra	Área Quadra (m ²)	Área Lotes Unifamiliares (m ²)	Área Lotes Multifamiliares (m ²)	Representatividade (%)	Estoque Habitação (m ²)
ARNE-12	493.199,23	179.712,42	59.801,71	49%	329.216,68
ARNE-13	457.724,18	191.649,73	30.958,76	49%	269.046,64
ARNE-14	523.264,57	228.232,10	4.688,04	45%	239.952,21
ARNE-24	333.117,42	119.756,19	43.281,85	49%	227.960,80
ARNE-41	272.428,49	86.829,62	18.676,19	39%	133.520,10
ARNE-51	448.036,88	158.585,42	52.875,38	47%	290.773,87
ARNE-53	355.326,53	95.757,18	42.292,19	39%	201.487,66
ARNE-54	250.269,76	48.960,00	22.164,26	28%	104.370,65
ARNE-63	281.858,32	74.931,08	24.522,94	35%	136.238,43
ARNE-64	254.966,89	74.382,18	19.177,78	37%	122.326,63
ARNO-21	173.935,86	46.766,57	22.885,79	40%	103.981,06
ARNO-22	102.536,93	49.219,76	-	48%	49.219,76
ARNO-23	127.561,80	30.775,21	24.034,91	43%	90.862,47
ARNO-31	369.632,75	154.780,90	-	42%	154.780,90
ARNO-32	470.182,84	215.563,72	-	46%	215.563,72
ARSE-14	582.000,50	259.301,42	7.143,58	46%	277.160,36
TOTAL	5.496.042,94	2.015.203,49	372.503,38	-	2.946.461,95

Fonte: Elaborada pelo autor

Fora considerado, para esta estimativa, apenas os lotes com uso de Área Residencial, seja unifamiliar ou multifamiliar, embora os lotes classificados como Área de Comércio e Serviços Central (AC), Área de Comércio e Serviços Urbanos (ACSU), Área de Comércio e Serviços Vicinais (ACSV) e Área de Comércio e Serviços Locais (QC) sejam caracterizados como de uso misto, ou seja, podem receber habitação, conforme os apontamentos do APÊNDICE B. Esta diretriz foi adotada pelo fato de que, na prática, os lotes de uso misto são pouco utilizados para fins de habitação no Município de Palmas, prevalecendo o uso comercial.

Salienta-se, mais uma vez, que nem todos os lotes das quadras estão ocupados. Por meio da fotointerpretação das imagens do Google Earth e com o auxílio de técnicas de geoprocessamento fora possível mapear a existência de ocupação de cada lote presente no interior da bacia. Os resultados revelaram que 85,64% dos lotes da bacia estão ocupados, sejam

com fins de habitação ou não, e que o potencial construtivo remanescente para fins exclusivos de habitação, desprezando a subutilização em lotes já ocupados, é de 764.617,16 m² (76,46ha). Este potencial já considera a Outorga Onerosa do Direito de Construir (OODC), que permite o aumento da área construída em 50% para os lotes multifamiliares.

Para possibilitar uma estimativa da população que poderia ser abrigada, por quadra, fora levantada a métrica de habitantes/m², obtida com os dados da ocupação atual e com o potencial construtivo já utilizado, o que resultou na Tabela 17. Estima-se que a bacia ainda pode sofrer um aumento de 30% de sua população, totalizando cerca de 42,12 mil habitantes, frente aos atuais 32,34 mil. A densidade, por consequência, também aumentaria, saltando de 30,66 hab/ha para um valor de aproximadamente 39,93 hab/ha. Importante a ressalva de que os dados de população não se encontravam subdivididos em edifícios unifamiliares e multifamiliares, de maneira que se considerou essa relação idêntica para ambas as tipologias, embora se espere um valor maior para os multifamiliares.

Quanto as características de forma das quadras, observa-se que há uma relativa diferença entre as quadras fruto de ocupação irregular (ARNOS-31 e 32), demais quadras habitacionais (por exemplo, ARNE-24), e as quadras com fins institucionais e comerciais. Estas diferenças podem ser visualizadas na Figura 25.

Nas primeiras, percebe-se um traçado mais próximo ao paralelo fragmentado, bem como larguras médias das vias reduzidas. Para as demais quadras habitacionais, tem-se a predominância do uso de padrões em *cul-de-sac* em bastões e algumas em paralelo distorcido com largura média das vias um pouco maior que as anteriores. As quadras destinadas para fins institucionais e comerciais adotam, em sua maioria, um padrão que flutua entre grelha e o paralelo fragmentado com largura média das vias elevada.

Quanto a forma de parcelamento das quadras em relação as curvas de nível, são variadas as tipologias. Na ARNO-32, por exemplo, percebe-se que as vias se dão, sobretudo, no sentido perpendicular ao declive principal, reduzindo a necessidade de bocas de lobo, mas aumentando a velocidade e o potencial erosivo das águas. Na ARNE-24, por sua vez, o que se percebe é um padrão mais diagonal às curvas de nível, o que reduz a velocidade das águas, sobretudo pela mudança de direção mais frequente. Estes padrões se alternam entre as diferentes quadras da bacia, não se podendo atribuir um comportamento majoritário.

No que se refere aos equipamentos públicos, a Figura 26 apresenta a distribuição dos mesmos na bacia. Para além de saúde e educação, destacam-se o Parque dos Povos Indígenas, a pista de bicicross, quadras poliesportivas e boa cobertura de pontos de ônibus.

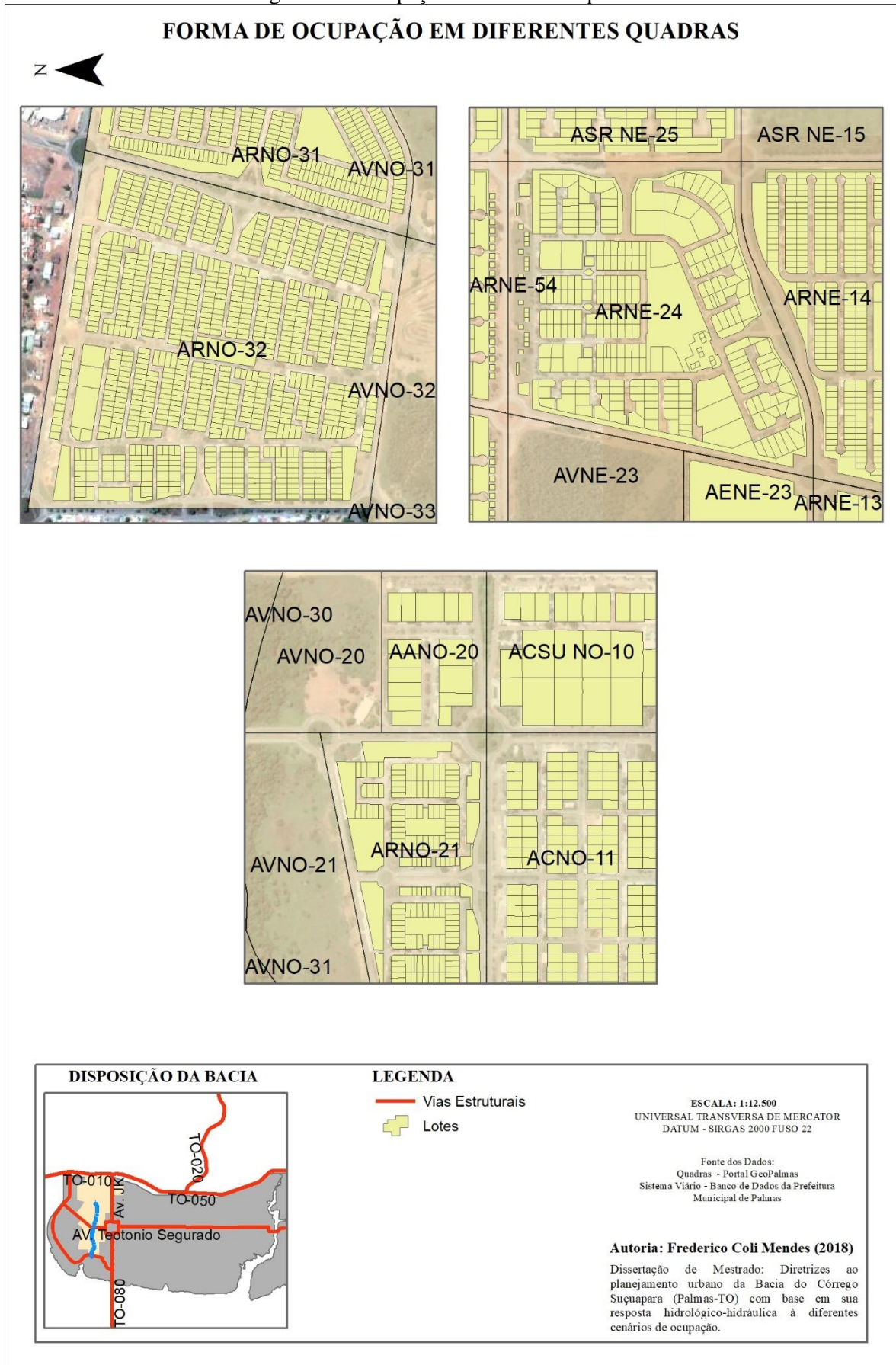
Tabela 17 – Projeção da população da Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara

Quadra	População atual (hab)	Densidade quadras atual (hab/ha)	Densidade lotes residenciais (hab/m ²)	Estoque de área unifamiliar (m ²)	Estoque de área multifamiliar (m ²)	População adicional (hab)	População projetada (hab)	Densidade projetada (hab/ha)
ACNE-11	224	9,43	0,0000	0	0,00	0,00	224,00	9,43
ACNO-11	265	11,15	0,0000	0	0,00	0,00	265,00	11,15
ARNE-12	3270	66,30	0,0115	7.360,73	55.367,09	719,86	3.989,86	80,90
ARNE-13	2690	58,77	0,0119	23.874,39	25.335,32	579,87	3.269,87	71,44
ARNE-14	2622	50,11	0,0123	26.361,83	0,00	323,61	2.945,61	56,29
ARNE-24	2099	63,01	0,0144	15.378,00	90.436,18	1.458,41	3.557,41	106,79
ARNE-41	820	30,10	0,0091	25.954,26	26.328,51	476,28	1.296,28	47,58
ARNE-51	2790	62,27	0,0112	6.625,62	51.787,11	652,87	3.442,87	76,84
ARNE-53	2480	69,79	0,0150	4.949,43	46.167,19	764,78	3.244,78	91,32
ARNE-54	890	35,56	0,0150	11.879,99	49.834,73	926,75	1.816,75	72,59
ARNE-63	720	25,54	0,0071	6.130,84	42.787,88	346,73	1.066,73	37,85
ARNE-64	1396	54,75	0,0128	5.971,15	10.759,55	213,92	1.609,92	63,14
ARNO-21	1073	61,69	0,0128	2.523,57	25.951,21	363,05	1.436,05	82,56
ARNO-22	146	14,24	0,0073	29.238,48	0,00	213,64	359,64	35,07
ARNO-23	68	5,33	0,0183	27.062,03	90.130,90	2.146,17	2.214,17	173,58
ARNO-31	3820	103,35	0,0248	742,64	0,00	18,42	3.838,42	103,84
ARNO-32	4240	90,18	0,0198	1.046,60	0,00	20,69	4.260,69	90,62
ARSE-14	2317	39,81	0,0102	41.241,79	13.390,16	557,65	2.874,65	49,39
ASR NE-15	4	0,07	0,0000	0	0,00	0,00	4,00	0,07
ASR NE-25	360	9,99	0,0000	0	0,00	0,00	360,00	9,99
ASR NE-55	44	1,19	0,0000	0	0,00	0,00	44,00	1,19
TOTAL	32.338,00	30,66	0,01377	236.341,33	528.275,83	9.782,70	42.120,70	39,93

Fonte: Elaborada pelo autor

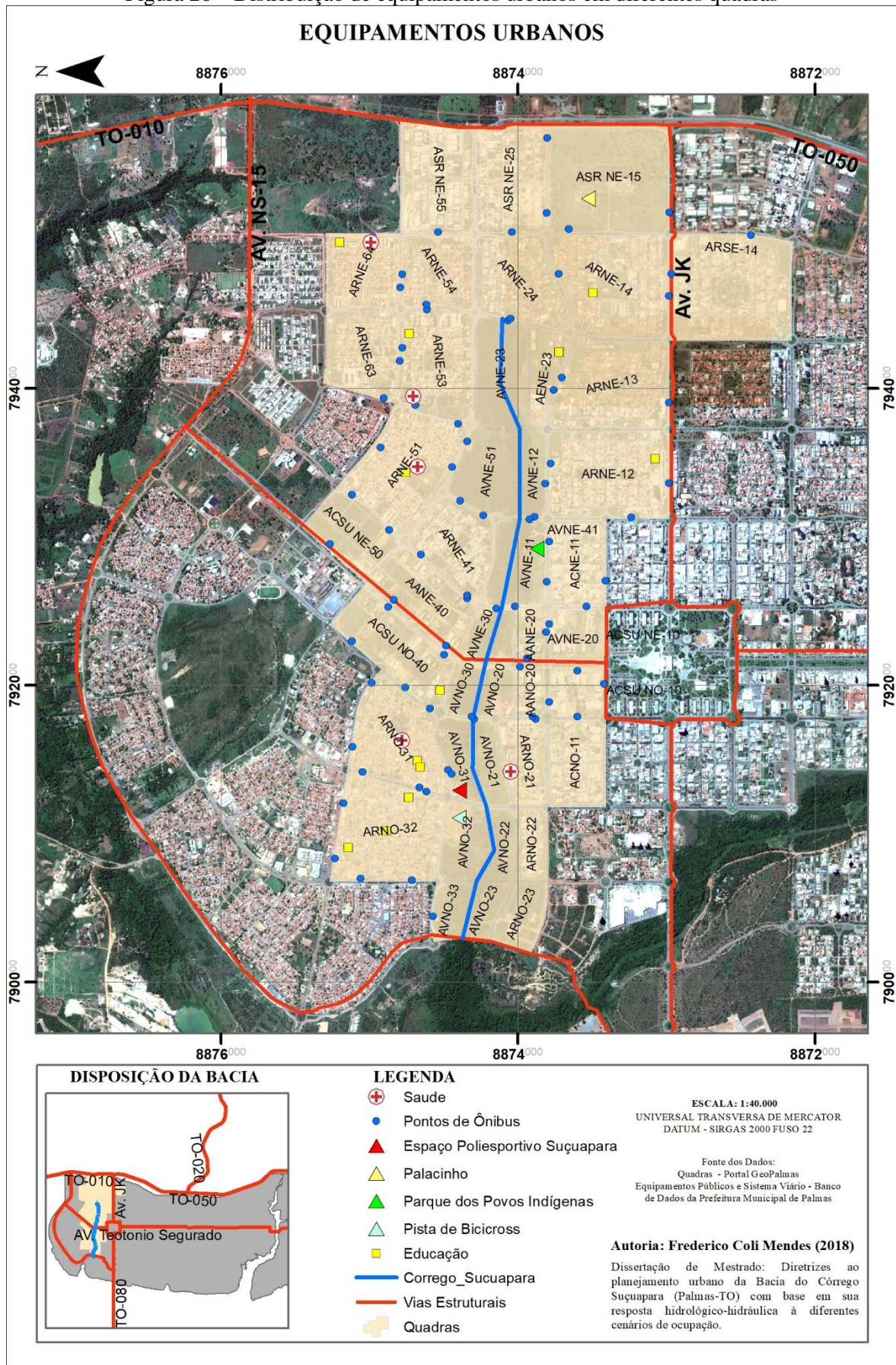
Nota: As quadras ausentes são as que apresentaram população atual 0 e, portanto, não contribuem às projeções - em sua maioria, áreas verdes.

Figura 25 – Ocupação em diferentes quadras



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 26 – Distribuição de equipamentos urbanos em diferentes quadras



Fonte: Elaborada pelo autor

A análise expedita da distribuição dos equipamentos públicos sobre a bacia permite inferir uma razoável cobertura destes. Aliado às áreas públicas remanescentes para fins de construção de outros equipamentos, não se observa grandes problemas para a expansão de atendimento, caso necessário.

Entende-se que o tópico de análise urbanística cumpriu seus objetivos. Quanto aos aspectos históricos, destaca-se o fato de a cidade possuir diretrizes para sua ocupação desde sua fundação, embora não integralmente seguidas. Há que se pontuar a extrema relevância da inserção de preservação das adjacências aos córregos municipais, que resultou em extensas áreas verdes contíguas a estes. Problemática relevante se deve a baixa densidade de ocupação da bacia, muito distante dos parâmetros inicialmente recomendados nos planos municipais.

No que se refere a legislação, percebe-se que ela fora a grande responsável pelos padrões de uso e ocupação do solo, sobretudo por conta da definição da predominância dos usos. As diretrizes específicas para cada uma das categorias são visíveis na maneira da conformação das quadras e de seus parâmetros urbanísticos. Exceção se faz às quadras fruto de ocupação – ARNOS 31 e 32.

A utilização dos novos instrumentos se restringe à Outorga Onerosa do Direito de Construir, Parcelamento e Utilização Compulsória do Solo Urbano e IPTU progressivo no tempo. Os instrumentos são aplicados explicitamente com o fim de corrigir os problemas de adensamento, embora ainda não se tenham observados grandes resultados.

As conclusões acerca da legislação são perceptíveis, também, ao se verificar a distribuição percentual de áreas para lotes, áreas verdes e pavimentação, além da própria relação de hab/m² de área construída para fins residenciais. Por fim, destaca-se que mesmo projetando-se a população com a utilização dos instrumentos hoje existentes, atinge-se uma densidade aquém das diretrizes da legislação municipal.

4.2 Análise Morfométrica

Neste tópico fora realizado, por rotina automática de técnicas de geoprocessamento, a delimitação da bacia natural do Córrego Suçuapara. Pode-se visualizar, na Figura 27, que ela é consideravelmente diferente, quanto à forma, da bacia de drenagem delimitada pelos divisores viários das quadras.

No que se refere a área de contribuição, os valores encontrados para a bacia natural e de drenagem são, respectivamente, 10,15 km² e 10,55 km². Já para o perímetro, tem-se 14,93 km e 18,37 km. A Figura 28 e os valores de área e perímetro demonstram claramente que a bacia de drenagem acaba por se estender sobre o espaço construído de maneira diferente e mais abrangente que a bacia natural. Os demais parâmetros morfométricos da bacia natural estão expressos na Tabela 18.

Tabela 18 – Características Morfométricas da Bacia Natural do Córrego Suçuapara

Característica	Unidade	Valor
Área	km ²	10,15
Perímetro	km	14,93
Comprimento do Rio Principal	km	4,10
Densidade de Drenagem	km/km ²	0,40
Fator de Forma	adimensional	0,60
Coefficiente de Compacidade	adimensional	1,31
Declividade do Rio Principal	%	2,36
Declividade Média da Bacia	%	2,24
Tempo de Concentração	minutos	65,84

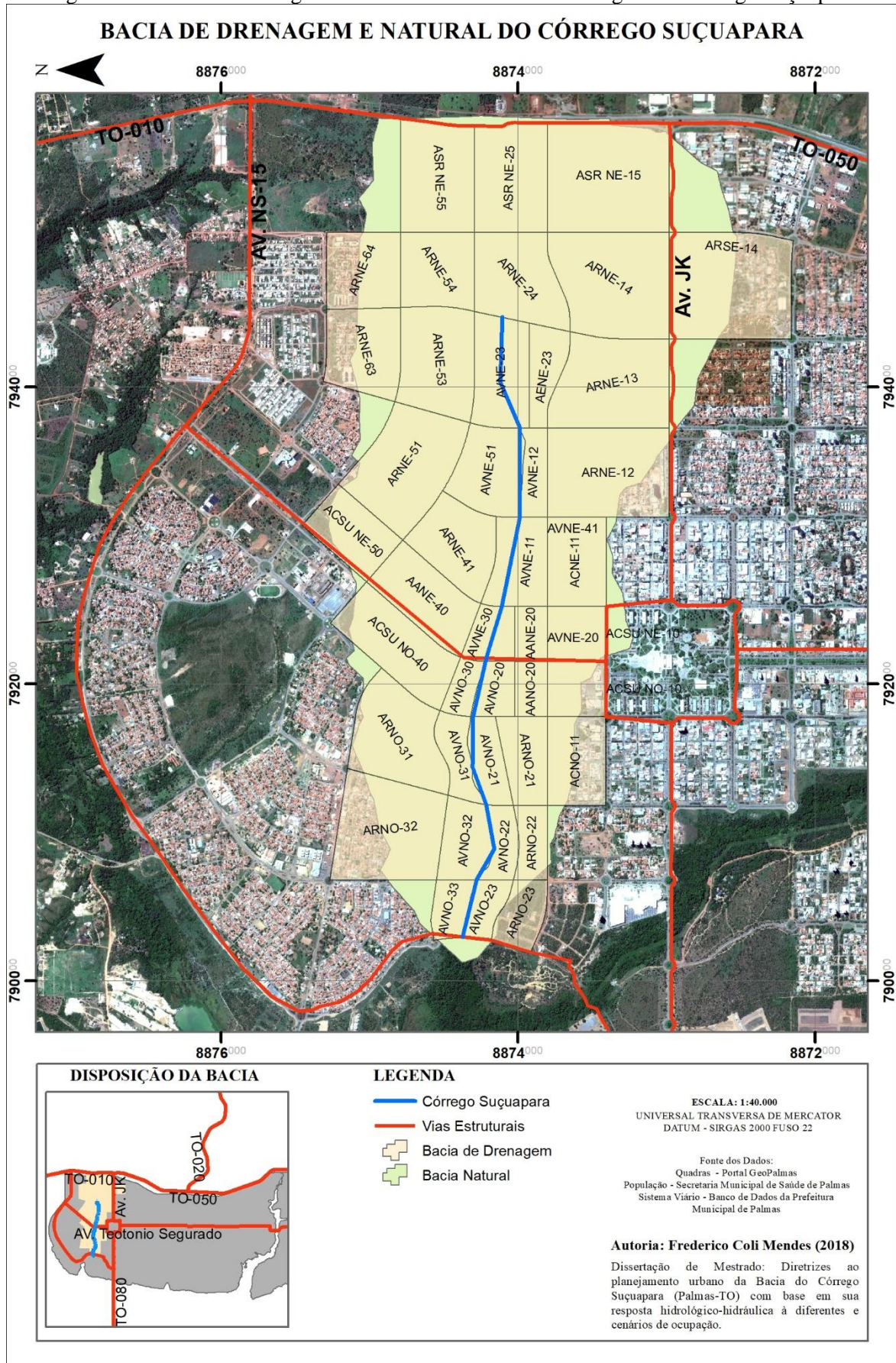
Fonte: Elaborada pelo autor

Nota: Para essa bacia, o comprimento da rede de drenagem total é o mesmo do rio principal

A combinação de valores de Fator de Forma (0,60) e Coeficiente de Compacidade (1,31) indicam que a bacia não se enquadra nas de maior risco com respeito as inundações, embora não esteja próxima aos extremos de uma drenagem sem riscos, o que lhe atribui um comportamento mediano, nesse aspecto. O valor da densidade de drenagem, considerando apenas o rio principal, é bastante reduzido, embora para bacias urbanas, com sistemas de drenagem artificial implantado, seja precipitado tomar conclusões acerca disso, pois o sistema, em tese, substitui ou incrementa os caminhos pelos quais a água pode escoar e ser conduzida até o curso d'água principal.

Assim, a análise morfométrica deixa claro que o comportamento da bacia será, invariavelmente, determinado pelo modelo de drenagem implantado. O tempo de concentração obtido é dado de entrada necessário para a definição dos hietogramas que, por sua vez, são dados de entrada para as simulações hidrológico-hidráulicas.

Figura 27 – Áreas de abrangência das bacias natural e de drenagem do Córrego Suçuapara

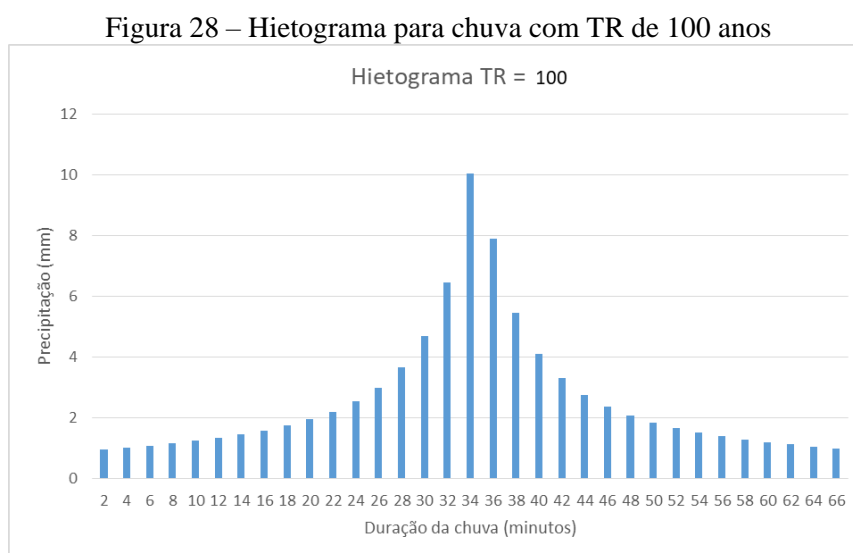


Fonte: Elaborada pelo autor

4.3 Modelo Hidrológico-Hidráulico no SWMM

4.3.1 Precipitação de Projeto

A Figura 28 abaixo apresenta exemplo do hietograma mais crítico utilizado para as simulações no SWMM. Ele se refere a precipitação com Tempo de Recorrência de 100 anos e demais parâmetros seguindo a Equação de Chuva proposta por Andrade (2014). O Tempo de Concentração da bacia fora de 65,84 minutos, de maneira que se utilizou 66 minutos como Tempo de Duração da chuva, facilitando a discretização proposta pela metodologia de blocos alternados. Os demais hietogramas são apresentados no APÊNDICE C.



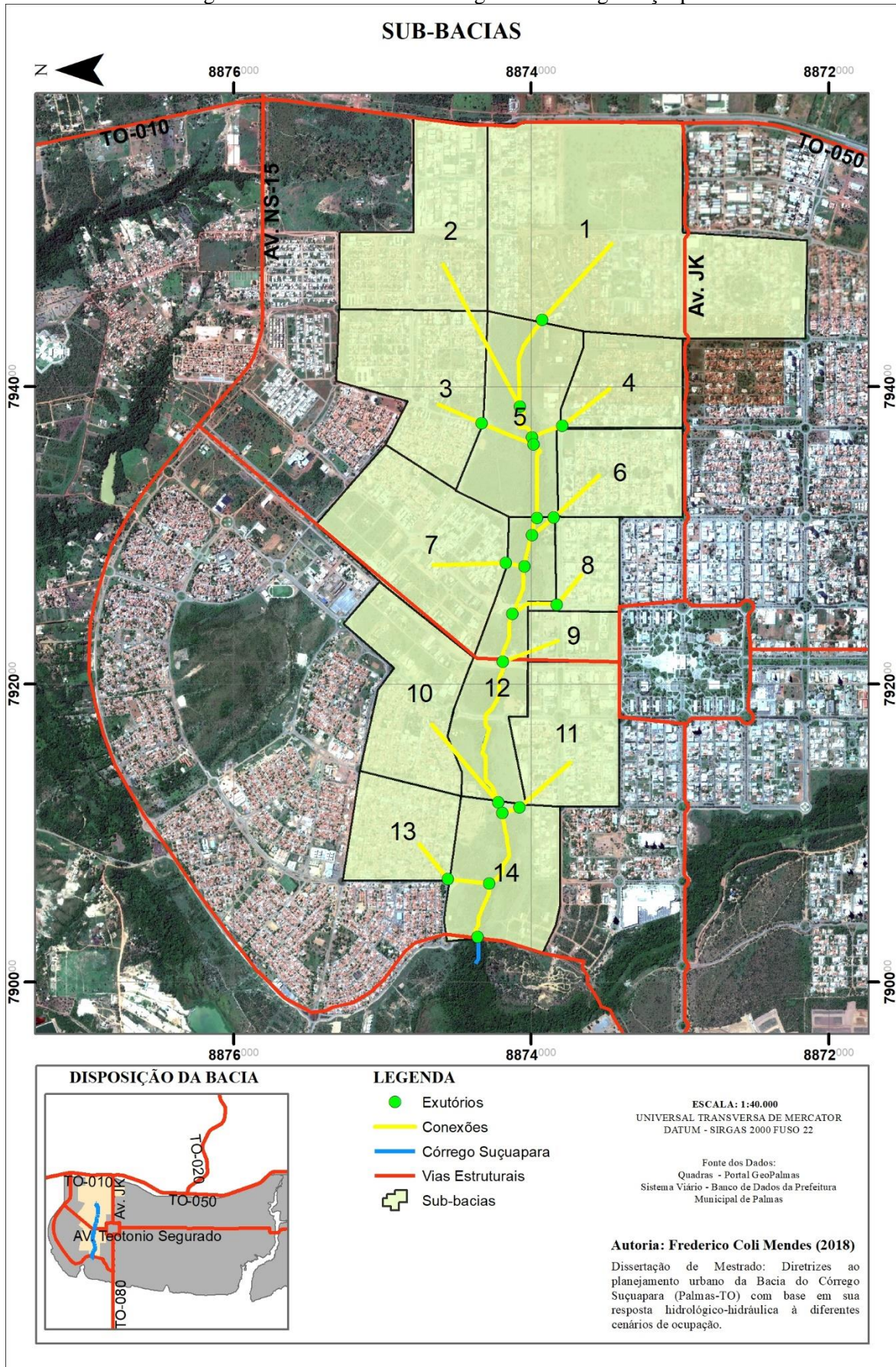
Fonte: Elaborada pelo autor

4.3.2 Sub-Bacias e suas características

Quando da subdivisão da Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara em sub-bacias, não fora possível realizá-la acompanhando a recomendação de Garcia et al. (2004), ou seja, restringir à apenas 7 sub-bacias. Isto se deve ao fato da necessidade de acompanhar as diversas redes de drenagem já instaladas, bem como a necessidade de direcionar a contribuição das sub-bacias antes dos pontos previamente entendidos como críticos, como o bueiro na AV NS-03.

Outra impedância que influenciou na divisão foi a distinção clara entre as quadras caracterizadas como Áreas Verdes e as demais. Resultou-se, então, em um total de 14 sub-bacias, ilustradas por meio da Figura 29.

Figura 29 – Sub-bacias de drenagem do Córrego Suçuapara



Fonte: Elaborada pelo autor

Após a divisão das sub-bacias, fora possível determinar suas características relacionadas a forma e uso e ocupação do solo, advindas dos resultados parciais das rotinas utilizadas na etapa de Análise Morfométrica, e relacionadas a ocupação, advindas da etapa de Análise de Ocupação. A Tabela 19 apresenta os valores inseridos para os parâmetros das sub-bacias no Cenário Atual. Vale ressaltar que o extrato dos valores inseridos para todos os parâmetros necessários à modelagem no SWWM, além dos referidos às sub-bacias, e para cada cenário, encontram-se dispostos no APÊNDICE D, e podem ser utilizados para averiguação de qualquer interessado, com a simples inserção no *software* e alteração dos parâmetros conforme os diferentes cenários.

Tabela 19 – Características das sub-bacias

Sub-Bacia	Área (ha)	Largura (m)	Declividade (%)	Área		CN
				Impermeável (%)	Propagação	
1	241,03	1295,86	1,57	43%	IMPERVIOUS	93,96
2	87,44	546,47	2,35	39%	PERVIOUS	93,57
3	86,12	700,16	1,47	56%	IMPERVIOUS	94,55
4	45,77	457,72	1,2	64%	IMPERVIOUS	94,81
5	76,80	537,06	2,96	15%	PERVIOUS	87,28
6	49,32	493,19	1,5	66%	IMPERVIOUS	95,09
7	98,80	754,20	2,48	41%	IMPERVIOUS	94,15
8	23,76	325,47	1,46	83%	IMPERVIOUS	97,40
9	22,86	262,75	1,84	54%	IMPERVIOUS	95,83
10	69,86	558,88	2,6	48%	IMPERVIOUS	94,39
11	64,01	533,40	2,15	68%	IMPERVIOUS	96,34
12	74,20	353,33	5,11	11%	PERVIOUS	85,82
13	47,02	494,92	2,77	75%	IMPERVIOUS	95,70
14	67,75	615,92	4,08	6%	PERVIOUS	87,30

Fonte: Elaborada pelo autor

Em comparação ao Cenário Atual, o Cenário Crítico apresenta alterações apenas nos parâmetros de Área Impermeável e CN. A comparação dos valores em ambos os cenários é visualizada na Tabela 20.

É importante frisar que os valores de CN utilizados referem-se à condição de umidade prévia AMC III. Esta opção fora adotada pois, em análise à Estação Pluviométrica Taquaruçu do Porto, considerando os anos com dados consistidos e o período chuvoso (outubro a abril), constatou-se que em aproximadamente 28,57% dos dias o solo da região havia recebido precipitações acumuladas para cinco dias acima do valor de 53 mm.

Tabela 20 – Comparação de parâmetros entre Cenário Atual e Crítico

Sub-Bacia	Cenário Atual		Cenário Crítico	
	Área		Área	
	Impermeável (%)	CN	Impermeável (%)	CN
1	43%	93,96	49%	94,19
2	39%	93,57	65%	95,25
3	56%	94,55	66%	94,99
4	64%	94,81	70%	95,00
5	15%	87,28	17%	87,53
6	66%	95,09	71%	95,25
7	41%	94,15	67%	95,90
8	83%	97,40	87%	97,59
9	54%	95,83	68%	96,77
10	48%	94,39	64%	95,62
11	68%	96,34	75%	96,71
12	11%	85,82	12%	86,02
13	75%	95,70	76%	95,73
14	6%	87,30	27%	88,79
	CN Médio	92,93	CN Médio	93,63

Fonte: Elaborada pelo autor

Para o Cenário Permeável, o que se observa é apenas uma alteração nos valores de Área Impermeável. Isso acontece devido ao fato de que foram variados apenas as Taxa de Permeabilidade dos lotes residenciais (AR e HM). Isso não os retira da categoria de Áreas residenciais com lote médio menor que 500 m², conforme classificação do método da Curva Número, não alterando seu CN.

Para os cenários de medidas não convencionais (Valas ou Trincheiras/Poços) a principal diferença se dá no parâmetro *PA-Permeável*. No entanto, para o Cenário Trincheiras/Poços há também uma mudança no CN, haja vista que esta opção conta com camadas que possibilitam maior permeabilidade, diferentemente das Valas, que são apenas escavações no terreno, mantendo o mesmo material, e no tipo de propagação de fluxo, que em algumas sub-bacias mudou de *Impervious* para *Pervious*. As sub-bacias nas quais essa mudança ocorrerá são aquelas que não contam com sistema de microdrenagem interna às quadras, permitindo que a água esco primeiro para as trincheiras/poços e depois seja captada pela macrodrenagem dispostas, sobretudo, nos canteiros centrais das avenidas.

Vale ressaltar que os parâmetros base para os cenários Permeável, Valas e Trincheiras/Poços são os do Cenário Crítico, na tentativa de compensar o impacto da futura ocupação da bacia. A Tabela 21 compara os valores do Cenário Crítico com os demais.

Tabela 21 – Comparação de parâmetros entre Cenário Crítico, Cenário Permeável e Cenários com medidas não convencionais

Sub-Bacia	Cenário Crítico (parâmetros base)				Cenário Permeável	Cenário Valas	Cenário Trincheiras/Poços		
	AI (%)	CN	PA Perm. (mm)	Propagação	AI (%)	PA Perm. (mm)	PA Perm. (mm)	CN	Propagação
1	49%	94,19	5,08	IMPERVIOUS	47%	9,45	89,39	93,85	PERVIOUS
2	65%	95,25	5,08	PERVIOUS	63%	13,62	250,98	94,57	PERVIOUS
3	66%	94,99	5,08	IMPERVIOUS	63%	13,69	221,90	94,45	IMPERVIOUS
4	70%	95,00	5,08	IMPERVIOUS	67%	13,79	158,34	94,64	PERVIOUS
5	17%	87,53	5,08	PERVIOUS	17%	8,36	5,08	87,53	PERVIOUS
6	71%	95,25	5,08	IMPERVIOUS	67%	13,44	162,69	94,89	PERVIOUS
7	67%	95,90	5,08	IMPERVIOUS	66%	18,04	87,99	93,84	IMPERVIOUS
8	87%	97,59	5,08	IMPERVIOUS	87%	30,54	5,08	97,59	PERVIOUS
9	68%	96,77	5,08	IMPERVIOUS	68%	13,69	5,08	96,77	PERVIOUS
10	64%	95,62	5,08	IMPERVIOUS	63%	10,67	77,51	95,42	PERVIOUS
11	75%	96,71	5,08	IMPERVIOUS	75%	18,61	14,35	96,69	IMPERVIOUS
12	12%	86,02	5,08	PERVIOUS	12%	8,16	5,08	86,02	PERVIOUS
13	76%	95,73	5,08	IMPERVIOUS	74%	15,92	121,16	95,53	IMPERVIOUS
14	27%	88,79	5,08	PERVIOUS	26%	10,35	12,53	88,75	PERVIOUS

AI – área impermeável

PA Perm. – profundidade de armazenamento na área permeável

Fonte: Elaborada pelo autor

Nota: Para cada cenário foram inseridos apenas os valores dos parâmetros alterados. Para os demais parâmetros, os valores são os mesmos do Cenário Crítico.

Pode-se ter uma visão mais abrangente dos cenários considerando a área impermeável resultante na bacia. Para o Cenário Atual, esse valor é de 43,24%, e nos demais, 73,64%. Os valores foram obtidos por meio de uma média ponderada entre as sub-bacias e suas respectivas áreas. Esta visão de conjunto é importante, haja vista ser um dos parâmetros mais influentes na geração do escoamento superficial.

4.3.3 Conduitos e nós

Para modelagem dos conduitos e nós observou-se grande dificuldade no que se refere aos dados de macro e microdrenagem existentes. O cadastro disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Palmas é falho na cobertura e nos dados existentes no próprio cadastro e contrasta com o próprio PMSB. A Tabela 22 apresenta a comparação entre as informações do PMSB e do cadastro:

Tabela 22– Comparação de cobertura de drenagem entre o PMSB e o Cadastro Municipal

Quadra	Microdrenagem		Macrodrenagem	
	PMSB	Cadastro	PMSB	Cadastro
AANE-20	N	N	N	N
AANE-40	N	N	N	N
AANO-20	N	N	S	N
ACNE-11	S	N	S	S
ACNO-11	N	N	N	S
ACSU NE-10	S	N	S	S
ACSU NE-50	N	N	N	N
ACSU NO-10	N	N	S	N
ACSU NO-40	N	N	N	N
AENE-23	N	N	N	N
ARNE-12	S	N	S	S
ARNE-13	S	N	S	S
ARNE-14	S	N	S	S
ARNE-24	S	S	S	S
ARNE-41	S	N	N	N
ARNE-51	S	N	S	N
ARNE-53	S	S	S	S
ARNE-54	N	N	N	N
ARNE-63	S	S	S	S
ARNE-64	N	N	N	N
ARNO-21	S	S	S	S
ARNO-22	N	N	N	N
ARNO-23	N	N	N	N
ARNO-31	S	N	S	N
ARNO-32	S	N	S	N
ARSE-14	S	N	S	S
ASR NE-15	N	N	N	N
ASR NE-25	S	S	S	S
ASR NE-55	N	N	N	N

Fonte: Elaborada pelo autor

Observa-se que, das 29 quadras cujos usos não são predominantemente Área Verde – e por isso não necessitam de rede de drenagem, em 13 há discrepância entre o PMSB e o cadastro. Como maior prejuízo para este trabalho cita-se as 5 quadras que, segundo o PMSB possuem rede de macrodrenagem, mas estas redes são inexistentes no cadastro. Assim, fora necessário realizar suposições ou extrapolações em alguns condutos, como valores de cotas, comprimentos e seções transversais, baseando-se no restante da rede atrelada aos mesmos.

Também foram inseridos PVs fictícios de maneira que os condutos da rede não ficassem muito extensos e em desacordo com os demais. Outro problema enfrentado fora a inexistência de uma cota base. Esse problema fora contornado utilizando-se como base o Modelo Digital de Elevação (MDE) advindo da etapa de Análise Morfométrica, de maneira que a rede fora toda ajustada para as referências do MDE, variando suas cotas com base nas profundidades dos nós da rede cadastrada. A Tabela 23 apresenta os parâmetros inseridos para cada Nó no modelo SWMM.

Tabela 23 – Parâmetros dos Nós do SWMM

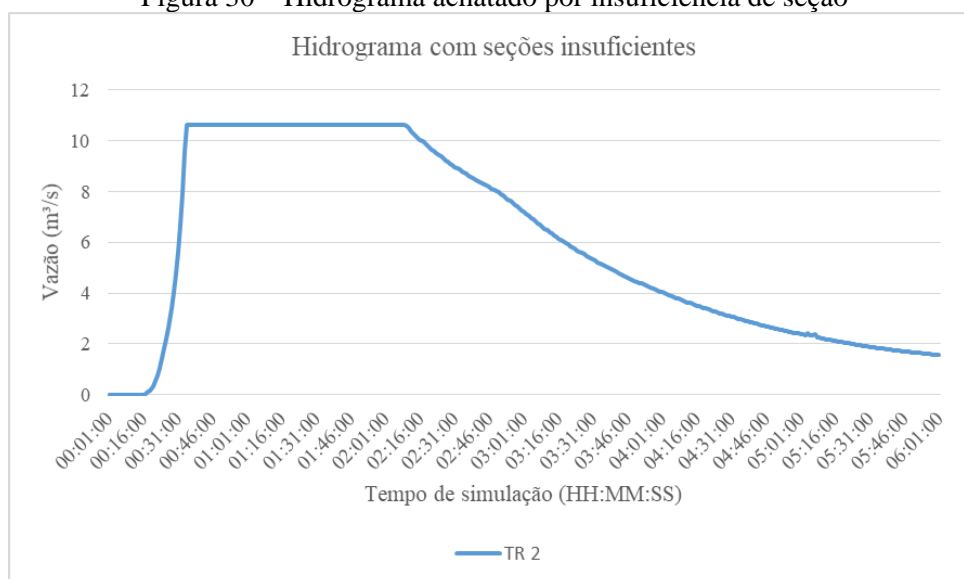
Nó	Cota do Radier (m)	Nó	Cota do Radier (m)
S1_PV23	269.90	S7_PV11	254.16
S1_PV24	268.79	S8_PV38	254.25
S1_PV25	267.30	S8_PV39	252.93
S1_PV26	266.79	S8_PV40	250.94
S1_E_Inicio_Corrego	262.48	S8_CC	249.39
S4_PV42	264.78	S8_E	245.81
S4_PV_FICT	261.08	S9_E	241.00
S2_E	261.15	S12_E	228.90
S4_E	258.50	S10_E	228.60
S3_PV68	267.49	S11_PV24	231.25
S3_E	258.00	S11_E	228.38
NO_BUEIRO_1	255.50	S13_PV21	226.93
NO_BUEIRO_2	254.95	S13_E	222.00
S5_E	256.00	S14_E	217.08
S6_E	253.58	S13_PV_FICT	225.24
S6_PV43	256.53	EXUTORIO	216.99
S7_E	251.14		

S – Sub-bacia
 PV – Poço de Visita
 E – Exutório
 FICT – Fictício
 CC – Caixa Coletora

Fonte: Elaborada pelo autor

Outro problema enfrentado nos condutos se refere às seções irregulares do curso d'água levantadas em campo. Nas primeiras simulações percebeu-se que a largura adotada não fora suficiente para acomodar razoavelmente toda a vazão, o que levava à “falsos alagamentos” dos condutos e, conseqüentemente, a interrupção da vazão e hidrogramas “achatados” no exutório (Figura 30). A distribuição das seções irregulares pode ser visualizada no APÊNDICE A.

Figura 30 – Hidrograma achatado por insuficiência de seção



Fonte: Elaborada pelo autor

Para contornar a problemática dos hidrogramas achatados fora necessário aumentar a largura das seções irregulares. A profundidade dos incrementos de largura fora obtida, então, por meio de um prolongamento de reta com mesma inclinação da que ligava as duas profundidades do extremo de cada seção.

A SEÇÃO01 não foi utilizada, pois representa um pequeno trecho de escoamento natural que é completamente captado pela SEÇÃO02, oriunda da erosão proporcionada pela descarga de um trecho de macrodrenagem a montante. Assim, os parâmetros inseridos em cada trecho, no SWMM, podem ser visualizados na Tabela 24.

Além dos problemas de cadastro da rede, ao dar início a modelagem no software constatou-se a inviabilidade de inserção de todos os trechos da rede de drenagem (micro e macro). Isso se deve ao fato de que, se assim o fosse, para cada trecho ou nó seria necessário criar uma bacia específica, pois, supondo que o nó representasse um PV que receberia captação de determinada boca de lobo, só uma pequena parcela de toda a área teria como exutório essa boca de lobo. Nesse sentido, a inserção de toda a rede só se viabiliza caso o objetivo central do estudo seja analisar áreas menores, como apenas um trecho da macrodrenagem, ou apenas uma parcela de quadra ou bairro de Palmas.

Ainda, importa frisar que o conduto T13 fora alterado entre as simulações para considerar o cenário de alagamento observado em janeiro de 2017. À época, o escoamento no referido trecho era realizado por um Bueiro Duplo de Concreto com diâmetro de 1,50m. Atualmente, esta estrutura fora substituída por um Bueiro Celular Triplo de 3,50m, seção apresentada na Tabela 24.

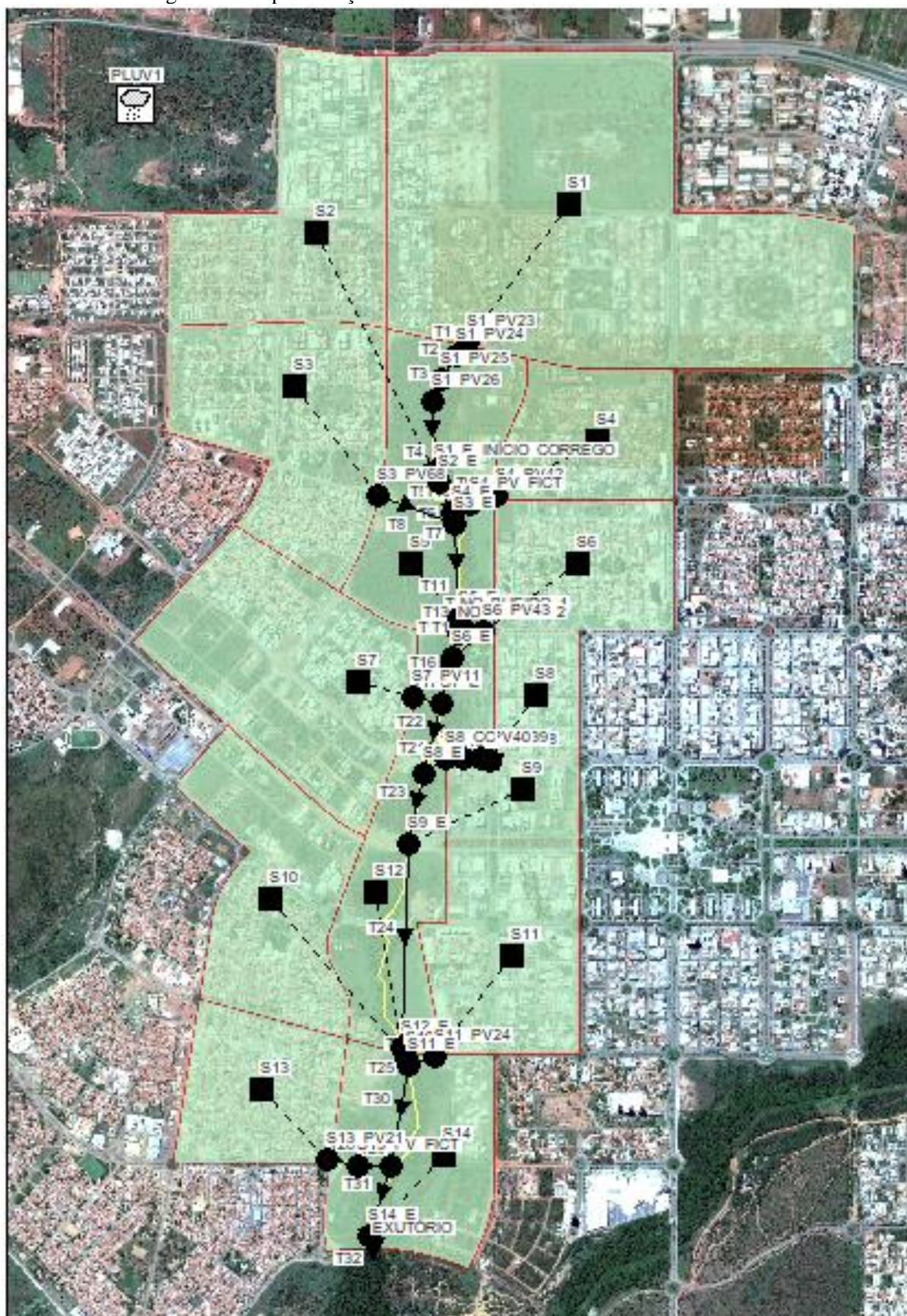
Tabela 24 – Parâmetros dos Trechos do SWMM

Conduto	Nó Inicial	Cota		Cota Final (m)	Comprimento (m)	Seção Transversal
		Inicial (m)	Nó Final			
T1	S1_PV23	269,90	S1_PV24	268,79	48,05	R - 3,5X3,5
T2	S1_PV24	268,79	S1_PV25	267,30	60,60	R - 3,5X3,5
T3	S1_PV25	267,30	S1_PV26	266,79	70,75	R - 3,5X3,5
T4	S1_PV26	266,79	S1_E_Inicio_Co rrego	262,48	71,30	R - 3,5X3,5
T9	S4_PV42	264,78	S4_PV_FICT	261,08	110,00	C - 2X1,50
T10	S4_PV_FICT	261,08	S4_E	258,50	110,00	C - 2X1,50
T8	S3_PV68	267,49	S3_E	258,00	270,00	R - 3X3
T13	NO_BUEIRO_1	255,50	NO_BUEIRO_2	254,95	30,00	R - 3(3X3)
T15	S6_PV43	256,53	S6_E	253,58	100,00	C - 2X1,50
T17	S7_PV11	254,16	S7_E	251,14	100,00	C - 1.5
T18	S8_PV38	254,25	S8_PV39	252,93	30,00	C - 1.5
T19	S8_PV39	252,93	S8_PV40	250,94	81,31	C - 1.5
T20	S8_PV40	250,94	S8_CC	249,40	100,00	C - 1.5
T21	S8_CC	249,40	S8_E	245,82	30,40	C - 1.5
T27	S11_PV24	231,25	S11_E	228,38	120,00	C - 2X1,50
T28	S13_PV21	226,94	S13_PV_FICT	225,24	125,00	C - 1.5
T29	S13_PV_FICT	225,24	S13_E	222,00	125,00	C - 1.5
T5	S1_E_Inicio_Cor rego	262,48	S2_E	261,15	67,03	SEÇÃO2
T6	S2_E	261,15	S4_E	258,50	226,80	SEÇÃO3
T7	S4_E	258,50	S3_E	258,00	58,24	SEÇÃO3
T11	S3_E	258,00	S5_E	256,00	458,11	SEÇÃO4
T12	S5_E	256,00	NO_BUEIRO_1	255,50	27,53	SEÇÃO4
T14	NO_BUEIRO_2	254,95	S6_E	253,58	125,82	SEÇÃO4
T16	S6_E	253,58	S7_E	251,14	215,32	SEÇÃO5
T22	S7_E	251,14	S8_E	245,82	334,94	SEÇÃO5
T23	S8_E	245,82	S9_E	241,00	332,75	SEÇÃO5
T24	S9_E	241,00	S12_E	228,90	1033,89	SEÇÃO6
T25	S12_E	228,90	S10_E	228,60	43,64	SEÇÃO7
T26	S10_E	228,60	S11_E	228,38	31,54	SEÇÃO7
T30	S11_E	228,38	S13_E	222,00	542,76	SEÇÃO7
T31	S13_E	222,00	S14_E	217,08	381,84	SEÇÃO7
T32	S14_E	217,08	EXUTORIO	216,99	9,82	SEÇÃO8

Fonte: Elaborada pelo autor

A inserção de todos esses elementos físicos no SWMM (pluviômetro, sub-bacias, trechos e nós) gerou o modelo apresentado na Figura 31. Embora a qualidade gráfica não seja significativa, a imagem possibilita ao leitor observar como o modelo se apresenta no software. Ressalta-se que a imagem de fundo apresentada também é inserida na interface do SWMM.

Figura 31 – Apresentação da interface do modelo inserido no SWMM



Fonte: Elaborada pelo autor

4.3.4 *Resultados dos Cenários*

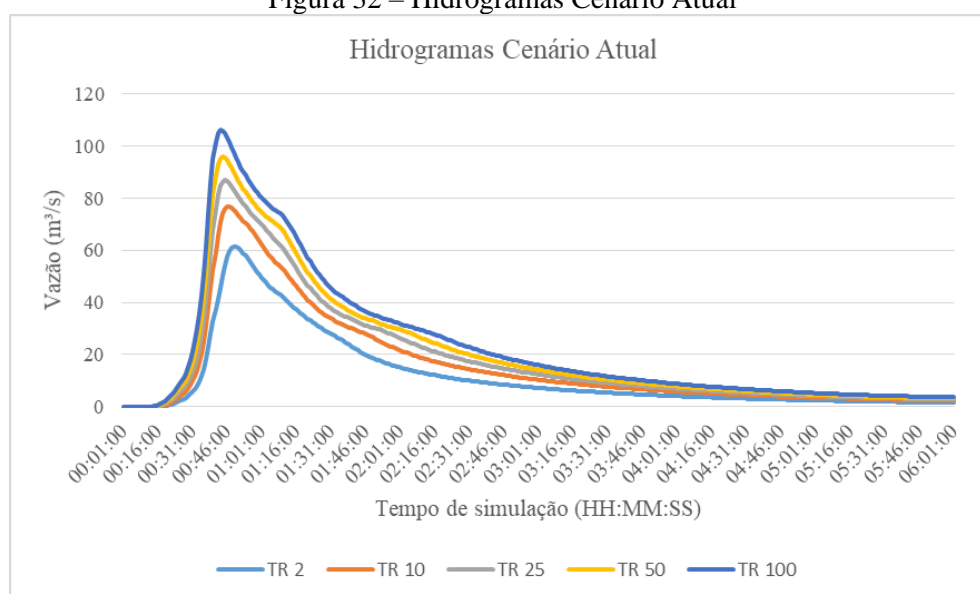
Neste tópico são apresentados os resultados das simulações dos diferentes cenários propostos e simulados no SWMM. Estes resultados destacam-se, sobretudo, por meio de hidrogramas, vazões e profundidades no exutório da bacia em estudo. Também buscou-se realizar apontamentos sobre trechos e nós que se mostraram em potencial risco no que se refere a alagamentos e inundações.

Conforme comentado parcialmente no tópico sobre os condutos e os nós, nas primeiras modelagens realizadas no Cenário Atual, a seção do trecho T13 era a correspondente à um bueiro circular duplo de diâmetro igual a 1,50m. Nas simulações efetuadas, já com o hietograma correspondente ao Tempo de Retorno (TR) de 2 anos, o trecho apresenta sobrecarga, operando cheio durante aproximadamente 29 minutos das 6 horas simuladas. Para o hietograma com o TR de 10 anos, esse tempo de operação cheio sobe para 42 minutos, mostrando que realmente essa seção era incompatível com a vazão afluyente ao trecho.

Entretanto, atualmente este trecho sofrera ampliação, apresentando um bueiro celular triplo de 3,00m. Esta seção fora inserida para verificar se seria, então, suficiente para escoar a vazão afluyente e os resultados apontam que sim. Mesmo na simulação com hietograma cujo o TR é de 100 não foram observadas sobrecargas no conduto. Deste ponto em diante e de maneira a simular o estado da rede atual, os resultados apresentados consideram o trecho T13 com a referida seção.

Os resultados apresentados para a simulação do Cenário Atual podem ser visualizados na Figura 32, que apresenta os hidrogramas gerados no exutório da bacia para os diversos hietogramas. Percebe-se que os hidrogramas apresentam o comportamento esperado, com aumento da vazão de pico e antecipação do tempo de pico a medida que o TR aumenta.

Figura 32 – Hidrogramas Cenário Atual



Fonte: Elaborada pelo autor

Além dos hidrogramas acima, pode-se averiguar o comportamento da bacia por meio de seu balanço hídrico. A Tabela 25 resume os resultados para os diversos TR do Cenário Atual, bem como as vazões máximas. Percebe-se o constante aumento do coeficiente de escoamento, que chega a 74% para o hidrograma com TR de 100 anos.

Tabela 25 – Resumo de resultados do Cenário Atual

Parcela	Tempo de Retorno (anos)				
	2	10	25	50	100
Precipitação Total (mm)	46,79	60,14	69,39	77,31	86,14
Perdas por Infiltração (mm)	12,76	12,96	12,96	12,96	12,96
Escoamento Superficial (mm)	28,07	39,84	48,3	55,68	64,02
Armazenamento Final (mm)	5,98	7,38	8,17	8,71	9,21
Coefficiente de Escoamento (%)	60%	66%	70%	72%	74%
Vazão Máxima (m³/s)	61,58	76,66	86,85	95,88	106,12
Cota máxima no exutório (m)	214,98	215,06	215,11	215,15	215,20

Fonte: Elaborada pelo autor

Neste cenário nenhum nó apresentou altura de sobrecarga, embora alguns nós que representavam o exutório das sub-bacias apresentaram-se com inundação. A inundação significa que o nó recebeu uma vazão superior à que é capaz de escoar, mas esse nó só irá ter altura de sobrecarga se essa vazão não puder ser acomodada nos condutos que estão ligados a ele. A elevação de cota no exutório também se mostrou bastante reduzida.

No Cenário Crítico observou-se um representativo incremento na vazão, como se esperava, advindo da maior impermeabilização das sub-bacias e, conseqüentemente, de um maior coeficiente de escoamento. Na Figura 33 e na Tabela 26 são apresentados os principais resultados observados.

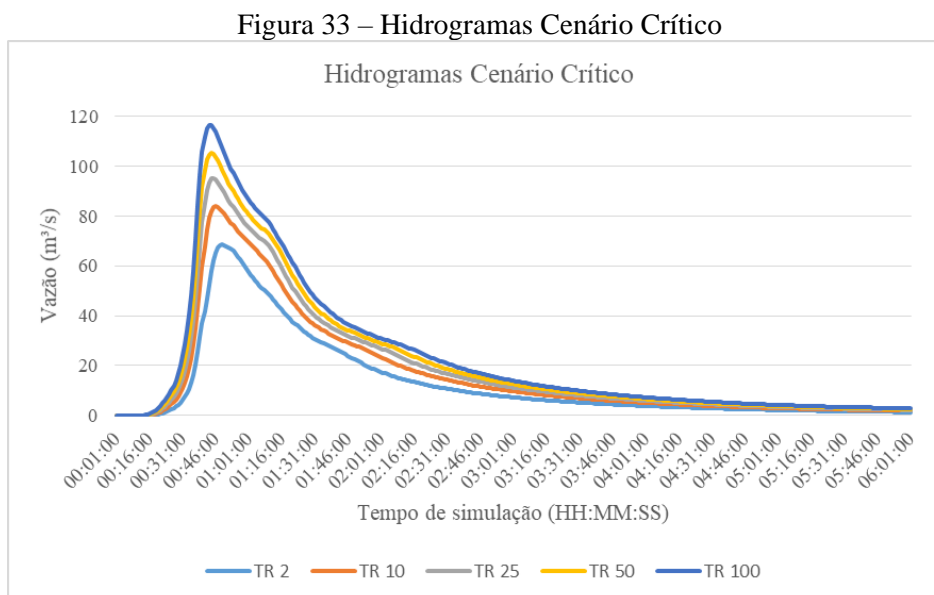


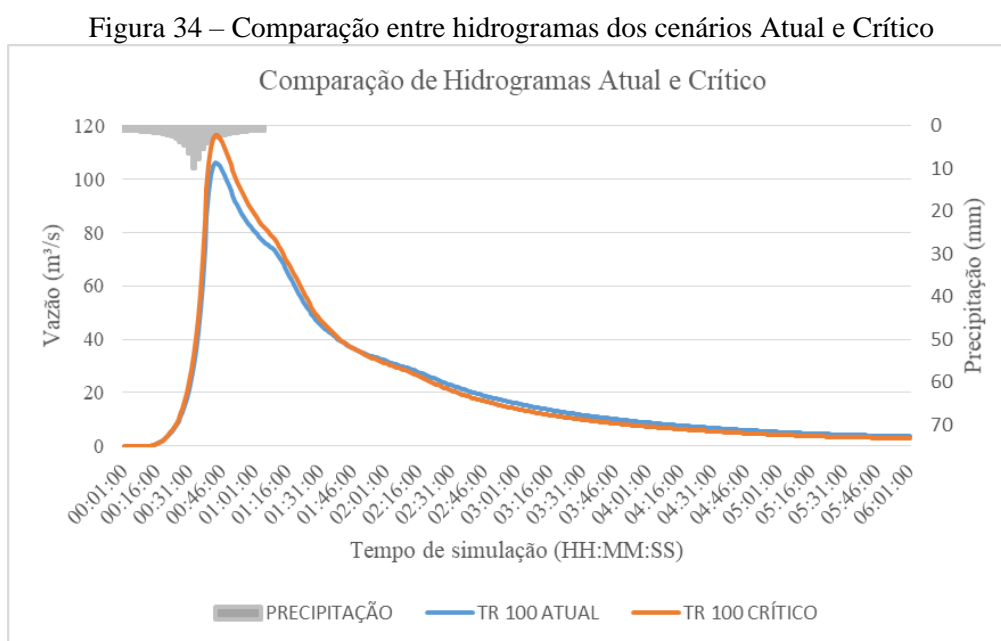
Tabela 26 – Resumo de resultados do Cenário Crítico

Parcela	Tempo de Retorno (anos)				
	2	10	25	50	100
Precipitação Total (mm)	46,79	60,14	69,39	77,31	86,14
Perdas por Infiltração (mm)	9,97	10,1	10,1	10,1	10,1
Escoamento Superficial (mm)	31,91	44,13	52,81	60,36	68,83
Armazenamento Final (mm)	4,93	5,95	6,52	6,9	7,26
Coefficiente de Escoamento (%)	68%	73%	76%	78%	80%
Vazão Máxima (m ³ /s)	68,45	83,85	95,16	105,25	116,54
Cota máxima no exutório (m)	215,02	215,10	215,15	215,20	215,25

Fonte: Elaborada pelo autor

Destaca-se que neste cenário, para o hidrograma com TR de 100 anos, foram observadas sobrecargas em dois nós – o S7_PV11 e o S8_PV40. As alturas de sobrecarga foram de 0,85 e 2,10 metros, respectivamente, o que chama a atenção, se consideramos o caráter urbano da área em que se encontram e o relevo relativamente plano. No entanto, por se manifestarem apenas com TR de 100 anos, entende-se que não há necessidade de intervenções. Além disso, mesmo em comparação ao Cenário Atual, a variação de cotas no exutório é pouco significativa

Comparando-se os valores de vazão entre os cenários Crítico e Atual, tem-se um incremento médio de 9,95% do primeiro em relação ao segundo. Este incremento pode ser melhor visualizado na Figura 34, que comprara os hidrogramas de ambos os cenários para o TR de 100 anos. Curioso observar que não há antecipação do tempo de pico e que o incremento de vazão não é deveras significativo. Isto se deve ao fato de ambos os cenários já se apresentarem bastante impermeáveis.



Fonte: Elaborada pelo autor

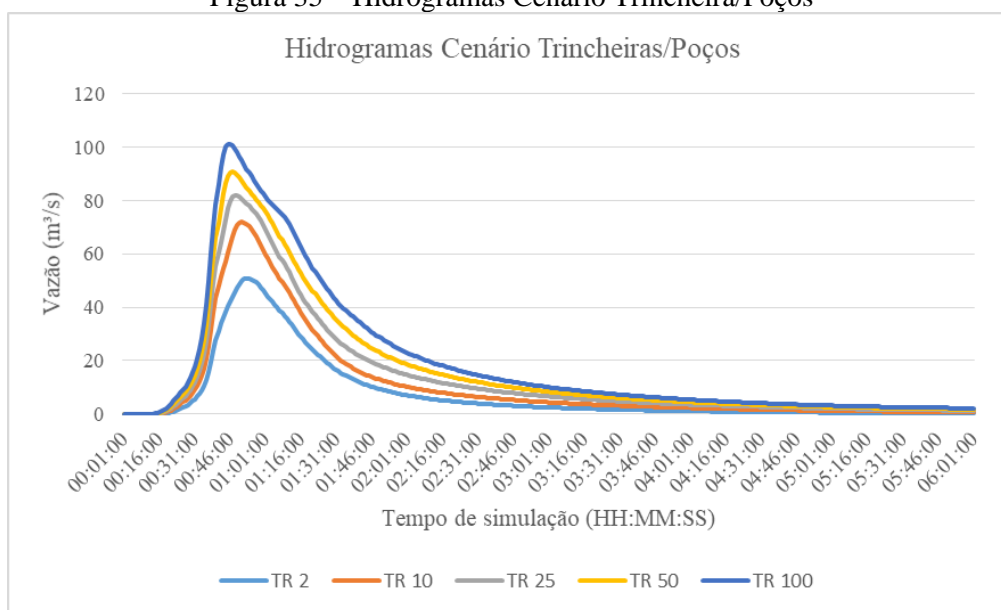
No que se refere ao Cenário Permeável, a proposta de alteração da taxa de permeabilidade em lotes residenciais (AR e HM) se mostrou ineficaz. A redução média nas vazões, em comparação ao Cenário Crítico, para os diferentes TR, foi de apenas 0,63%. Isso se deve, sobretudo, pelo pequeno aumento da taxa de permeabilidade promovido no cenário, aliado a menor representatividade dos lotes residenciais na bacia em estudo.

Quanto aos cenários LID, houve relevante contraste entre a utilização das valas e das trincheiras/poços. Para as valas, pela reduzida área disponível para sua aplicação e por não alterar o regime de propagação das sub-bacias, já que o local de sua inserção – canteiros centrais das avenidas, não passaria a receber o escoamento de outras parcelas, a alteração nas vazões fora pouco significativa, com valores reduzidos, em média, 2,55% em comparação ao cenário crítico.

Para as trincheiras/poços, no entanto, os resultados se apresentaram bastante promissores. A análise mostra que isso se justifica, sobretudo, pela mudança do regime de propagação das sub-bacias sem sistema de microdrenagem, o que propiciaria a passagem do escoamento superficial pelas áreas verdes em que estes dispositivos potencialmente seriam instalados.

A análise dos hidrogramas, dispostos na Figura 35, permite visualizar a redução significativa da vazão, que fora, em média, de 16,09% em comparação ao Cenário Crítico e 7,77% em comparação ao Cenário Atual. Observa-se, inclusive, uma suavização do pico, sobretudo nas precipitações de menor TR, além de praticamente a completa propagação das vazões no período da simulação, o que não aconteceu nos demais cenários. As Áreas Verdes selecionadas para a possível inserção dos dispositivos estão dispostas na Figura 36.

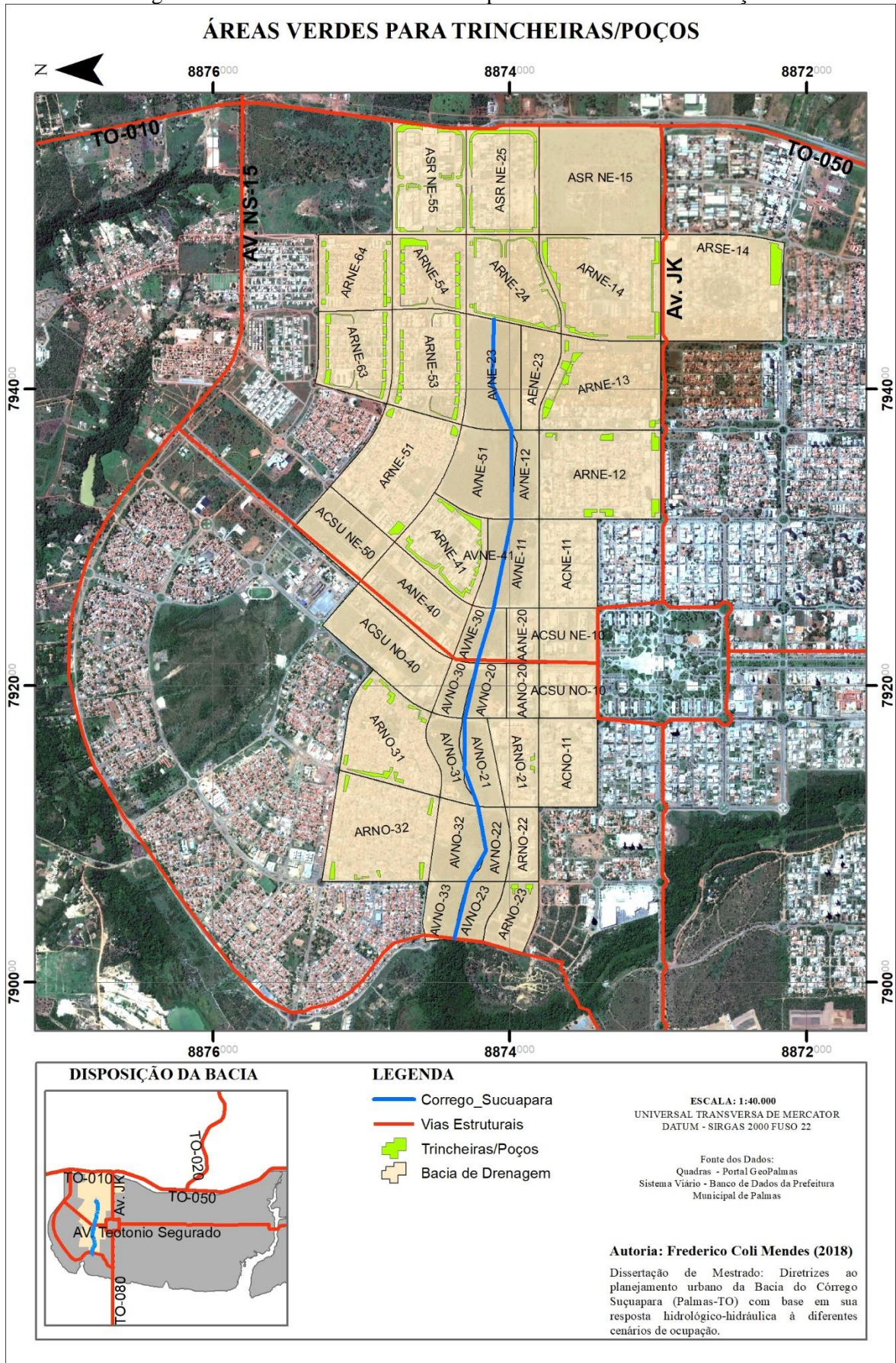
Figura 35 – Hidrogramas Cenário Trincheira/Poços



Fonte: Elaborada pelo autor

A Tabela 27 evidencia a mudança no padrão do balanço hídrico para esse cenário. Há uma significativa redução do coeficiente de escoamento, ficando abaixo de 50% para todos os TR. Além disso, a parcela de Escoamento Superficial só supera o Armazenamento Final para os TR com 50 e 100 anos. Importa salientar, também, que não houveram sobrecargas em condutos e nós para este cenário. Embora tímida há, ainda, uma redução na cota máxima do exutório.

Figura 36 – Áreas Verdes selecionadas para Cenário Trincheiras/Poços



Fonte: Elaborada pelo autor

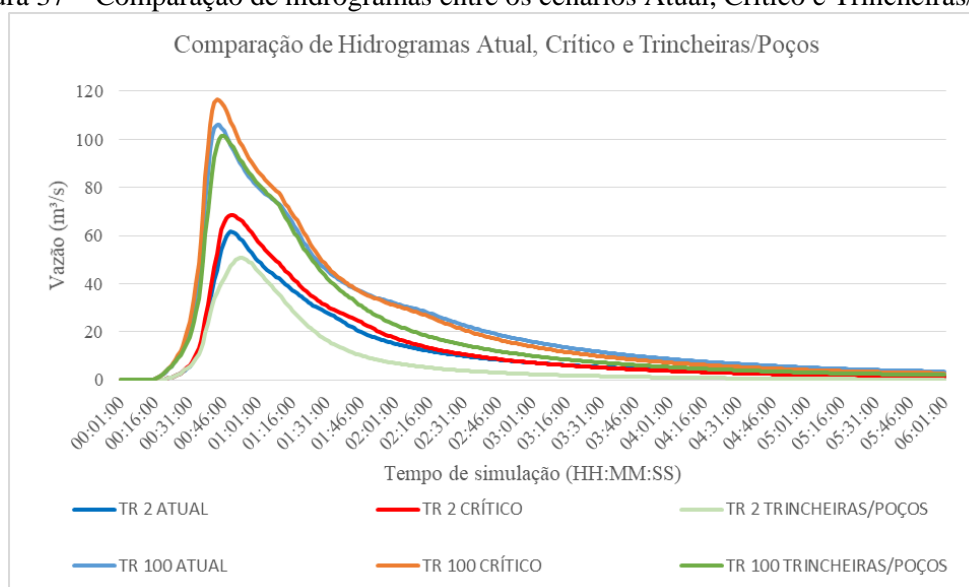
Tabela 27 – Resumo de resultados do Cenário Trincheira/Poços

Parcela	Tempo de Retorno (anos)				
	2	10	25	50	100
Precipitação Total (mm)	46,79	60,14	69,39	77,31	86,14
Perdas por Infiltração (mm)	10,41	10,54	10,54	10,54	10,54
Escoamento Superficial (mm)	15,45	22,58	29,27	35,29	42,14
Armazenamento Final (mm)	20,94	27,05	29,6	31,52	33,51
Coefficiente de Escoamento (%)	33%	38%	42%	46%	49%
Vazão Máxima (m ³ /s)	50,83	72,02	81,98	90,92	101,25
Cota máxima no exutório (m)	214,91	215,03	215,09	215,13	215,18

Fonte: Elaborada pelo autor

Para melhor visualização da diferença entre os cenários Atual, Crítico e Trincheiras/Poços, pode-se analisar a Figura 37. Esta figura apresenta a comparação entre os hidrogramas dos 3 cenários para os TR de 2 e 100 anos.

Figura 37 – Comparação de hidrogramas entre os cenários Atual, Crítico e Trincheiras/Poços



Fonte: Elaborada pelo autor

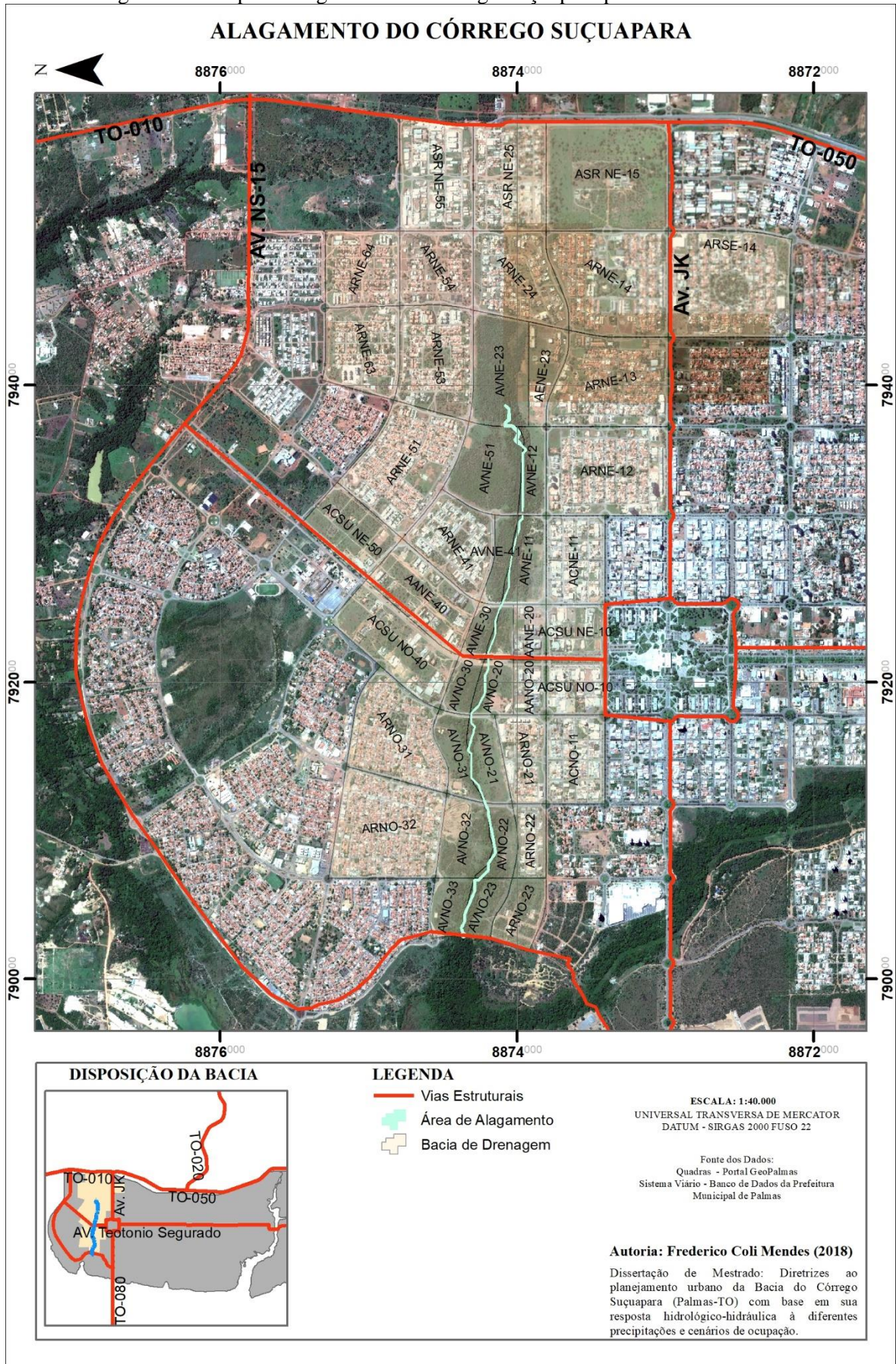
Um resumo dos resultados obtidos nessa seção pode ser visualizado na Tabela 28. Ela apresenta os valores do balanço hídrico, coeficiente de escoamento, vazão máxima e cota máxima no exutório para todos os cenários simulados, considerando as chuvas com TR de 2 e 100 anos, propiciando uma comparação mais direta e sintética. Por fim, um mapa com as áreas de alagamento, realizado por meio das profundidades atingidas nas seções naturais do curso d'água, para o cenário Crítico com TR de 100, é apresentado na Figura 38.

Tabela 28 – Resumo de resultados dos cenários para TR de 2 e 100 anos

Parcela	Período de Retorno									
	2					100				
	Cenários									
	Atual	Crítico	Permeável	Valas	Trincheiras/ Poços	Atual	Crítico	Permeável	Valas	Trincheiras/ Poços
Precipitação Total (mm)	46,79	46,79	46,79	46,79	46,79	86,14	86,14	86,14	86,14	86,14
Perdas por Infiltração (mm)	12,76	9,97	10,18	10,18	10,41	12,96	10,1	10,32	10,32	10,54
Escoamento Superficial (mm)	28,07	31,91	31,48	31,48	15,45	64,02	68,83	68,32	68,32	42,14
Armazenamento Final (mm)	5,98	4,93	5,14	5,14	20,94	9,21	7,26	7,56	7,56	33,51
Coefficiente de Escoamento (%)	60%	68%	67%	67%	33%	74%	80%	79%	79%	49%
Vazão Máxima (m ³ /s)	61,58	68,47	68,07	66,69	50,83	106,12	116,54	115,75	113,68	101,25
Cota máxima no exutório (m)	214,98	215,02	-	-	214,91	215,20	215,25	-	-	215,18

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 38 – Mapa de alagamento do Córrego Suçuapara para o Cenário Crítico



Fonte: Elaborada pelo autor

5 DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste tópico é, após a apresentação sucinta dos resultados alcançados anteriormente, investigar como eles podem ser explicados e quais fatores podem os ter influenciados de diversas maneiras. Além disso, serão comparados com resultados de outros autores para verificar se a literatura aponta para sua validade ou não.

5.1 Validade dos Resultados

Primeiramente, deve-se analisar se os resultados apresentados para a bacia estudada, de uma maneira geral, encontram respaldo em outras publicações. Nesse sentido, a Tabela 29 traça comparativo entre os principais parâmetros advindos do modelo simulado, do PMSB (PMP, 2014) e dos trabalhos no âmbito do Plano de Ação Palmas Sustentável, em seu estudo sobre Vulnerabilidade e Análise de Riscos Ambientais (IDOM e COBRAPE, 2014).

Tabela 29 – Comparativo de resultados entre diferentes publicações

Parâmetro	Fonte da informação		
	Modelo Cenário Atual	PMSB	Palmas Sustentável
Vazão de Pico (m ³ /s) – TR 2	61,58	28,24	40,40
Vazão de Pico (m ³ /s) – TR 10	76,66	38,5	-
Vazão de Pico (m ³ /s) – TR 25	86,85	44,64	73,92
Vazão de Pico (m ³ /s) – TR 50	95,88	50,17	82,42
Vazão de Pico (m ³ /s) – TR 100	106,12	56,18	90,93
CN	92,93	74,33	91,85
Tempo de Concentração (min.)	65,84	-	99

Fonte: Elaborada pelo autor

A comparação dos resultados apresenta-se coerente com os parâmetros adotados em cada trabalho. As vazões do PMSB (PMP, 2014) são bastante reduzidas em comparação aos demais, haja vista o baixo valor de CN adotado, pois é considerado as condições de umidade do solo AMC II, além da não realização do levantamento de áreas impermeáveis e permeáveis, apenas uma classificação entre área urbana, com CN 85, e não urbana, com CN 62.

Os valores obtidos por IDOM e COBRAPE (2014) são mais semelhantes aos do modelo, haja vista a proximidade dos valores do CN, que também foram ajustados para as condições de umidade do solo AMC III, com classificação automática de uso e ocupação. As menores vazões

podem ser atribuídas ao maior tempo de concentração utilizado. Vale ressaltar que no relatório de IDOM e COBRAPE (2014) os autores chegam a calcular o tempo de concentração pelo método de Kirpich, obtendo valor de 57,6 minutos, embora tenham utilizado, para os hidrogramas, uma média entre diversas metodologias, que resultou no valor de 99 minutos. Ainda, há que se pontuar que estes autores também simularam o comportamento da bacia em um modelo computacional, o HEC-RAS, e não observaram alagamentos no córrego

Por todo exposto, entende-se que os resultados apresentados pelo modelo são condizentes aos dados utilizados e aos valores atingidos pelos demais autores. As diferenças são plenamente explicáveis pelas premissas adotadas em cada trabalho. Vale ressaltar que melhores ajustes poderiam ser realizados em caso de existência de dados fluviométricos coletados no Córrego Suçuapara, o que permitiria uma calibração e validação do modelo. Apesar da inexistência desses dados, a convergência de resultados de diferentes autores atesta a consistência dos mesmos.

5.2 Considerações urbanísticas

No que se refere aos resultados advindos das análises urbanísticas, percebe-se o claro descumprimento da proposta inicial de ocupação por fases. Este descumprimento reflete nas densidades reduzidas, mesmo para as quadras cujo uso predominante é o residencial e que deveria, conforme as recomendações do GRUPO QUATRO (1989), apresentar valores próximos a 300 hab./ha.

Além disso, merece destaque o fato de que mesmo em quadras cuja análise de ocupação demonstra um alto grau de ocupação e um baixíssimo estoque de área para habitação, como a ARNE-12, ARNE-13 e ARNE-14, e ainda com a população projetada pelo uso da Outorga Onerosa do Direito de Construir, as densidades se apresentam muito aquém da planejada, não atingido os 100 hab./ha. Isso é explicado, sobretudo, pelo tamanho médio dos lotes. O contraste é claro com as quadras advindas de um processo de ocupação irregular – ARNO-31 e ARNO-32, que, por consequência, possuem áreas médias dos lotes bem menores. Há, também, a influência da largura média das vias, no mesmo sentido, confirmando o apontado por Prince George County (1999).

Deve-se levar em conta que o fato de identificar um lote ocupado/construído nas imagens não necessariamente implica que esteja habitado, como em empreendimentos verticais (conjuntos de apartamentos) que só tem sua ocupação estabelecida após alguns meses de sua conclusão. As densidades projetadas poderiam ser maiores, também, considerando que assim

o são para os lotes multifamiliares, em comparação aos unifamiliares. Por falta de informações com esse nível de caracterização, fora utilizada uma densidade uniforme, independente do uso do lote, levando em consideração apenas o potencial construtivo. Isso também se aplica, de certa maneira, aos lotes de uso misto, que não foram computados nas projeções. Entretanto, estas ponderações não ensejam alterações significativas nos parâmetros levantados, considerando a distância dos mesmos aos valores de referência.

Quanto às áreas verdes, o que se percebe é que muitas das quadras chegam a extrapolar largamente os 15% inicialmente recomendados no Plano Básico. Obviamente, considera-se que os valores levantados com base nas parcelas disponíveis na base de dados do GeoPalmas podem ter variações e alterações de uso não computadas, mas isso não justifica quadras com percentual de áreas verdes próximo aos 25%.

Em suma, o que se percebe é que essa combinação de fatores incidentes sobre a bacia lhe acarretará uma densidade baixa mesmo quando completamente ocupada, conforme mostrado pelas projeções. Posto isto, os novos instrumentos urbanísticos atualmente aplicados – IPTUp e OODC, são insuficientes para proporcionar uma ocupação condizente aos índices inicialmente projetados pois, ao que se percebe, houveram falhas na concepção inicial das quadras.

Para além da discussão sobre densidades, há de se ressaltar a preservação das áreas verdes adjacentes ao curso d'água. A fotointerpretação de imagens e as visitas em campo quando do levantamento de seções transversais não revelou ocupações irregulares. Esta perspectiva reforça o planejamento inicial, conforme ponderado por um de seus autores, (TEIXEIRA, 2009):

“Portanto os recursos hídricos e a proteção de suas matas de galeria foram elementos determinantes para a configuração urbanística do macrozoneamento da cidade. Trata-se de avanço no planejamento do território onde a bacia hidrográfica insinua a organização do território”.

Importa frisar a grande distinção desta abordagem com a de outras cidades, como São Paulo e Belo Horizonte, apresentadas na revisão bibliográfica, que avançaram a ocupação urbana sobre o leito de seus cursos d'água. Entende-se que esta prática deve ser mantida, haja vista que, além das grandes áreas desocupadas no perímetro urbano de Palmas, as próprias quadras possuem áreas verdes que poderiam ser usadas em detrimento das primeiramente

citadas. Salienta-se que o atual Plano Diretor, recentemente revisado, preservou estas áreas, estando alinhado a tais recomendações, ao criar o Parque Linear dos Povos Indígenas (PALMAS, 2018).

O parque, embora criado legalmente, ainda é pouco consolidado sob o ponto de vista de infraestrutura para lazer, práticas de esportes, contemplação paisagística, entre outros. Aliando este fato às baixas densidades apresentadas, entende-se como oportuno a concepção, logicamente considerando demais fatores, sobretudo econômicos, de uma Operação Urbana Consorciada para a região ou de um aumento no potencial construtivo concedido pela Outorga Onerosa do Direito de Construir.

Seria pertinente a criação de um fundo concentrador dos recursos destes instrumentos, que poderiam ser redirecionados para implantação da infraestrutura do parque. Esta ação viria a incrementar a densidade em uma região central da cidade, além de fortalecer a preservação das áreas adjacentes ao córrego, por representar uma verdadeira ocupação sustentável do mesmo. Alguns equipamentos públicos para saúde e educação também poderiam ser implantados nessa área, mas não se observou, pela avaliação expedita, a necessidade de áreas para tais fins.

Percebe-se, também, que para as primeiras quadras parceladas, foram seguidas as recomendações de implantação da rede de drenagem anteriormente a pavimentação, bem como da implantação de macrodrenagem com base na densidade populacional. Isto se percebe pois as quadras contempladas, segundo as informações do PMSB, são justamente as de maior densidade.

Há que se pontuar, por fim, a dificuldade para o entendimento do arcabouço legal que regula o uso e ocupação do solo no município. As leis são diversas, incidem sobre regiões diferentes da área urbana do município e, por vezes, as mais atuais apenas alteram ou acrescentam certos aspectos, não revogando as anteriores. No entanto, as taxas de permeabilidade apresentadas condizem com os padrões adotados em outras cidades do país, que flutuam em torno de 25% para lotes residenciais.

5.3 Parâmetros físicos e resultados da modelagem

Para se aliar, na modelagem, aos parâmetros de uso e ocupação do solo da bacia, fora realizado o levantamento de seus parâmetros físicos. A comparação dos resultados alcançados, para investigar a sua validade pode ser feita, novamente, com o PMSB e o Plano de Ação Palmas Sustentável. A Tabela 30 apresenta esta comparação.

Tabela 30 – Comparativo de parâmetros físicos entre diferentes publicações

Parâmetro	Fonte da informação		
	Modelo	PMSB	Palmas Sustentável
Área total (km ²)	10,15	12,79	12,39
Perímetro total (km)	14,93	17,81	
Comprimento Rio Principal (km)	4,10	4,40	4,63
Densidade de Drenagem (km/km ²)	0,40	0,34	
Fator de Forma (K _f)	0,60	0,66	
Coefficiente de Compacidade (K _c)	1,31	1,39	
Declividade do Rio Principal	2,36%	2,70%	2,00%
Declividade Média da Bacia	2,24%	-	

Fonte: Elaborada pelo autor

Percebe-se que, embora haja diferenças entre os valores encontrados nesse trabalho em comparação aos demais, elas flutuam em uma tendência que se explica pelo fato de ter se considerado a bacia de drenagem e não a bacia natural. Isto acarretou, de pronto, como apresentado nos resultados, em uma área e perímetro menor, o que se reflete em todos os demais parâmetros, embora com importância relativa diferente.

Além disso, neste estudo foi utilizada a altimetria disponibilizado pelo portal GeoPalmas, com curvas de 1,00 metro de diferença de nível. No estudo do Plano de Ação Palmas Sustentável, a altimetria foi obtida por imagens ASTER com resolução de 30,00 metros (IDOM e COBRAPE, 2014). Posto isso, entende-se que os resultados para os parâmetros físicos são consistentes.

Embora para uma avaliação mais fidedigna entenda-se que pelo menos as redes de macrodrenagem deveriam ser consideradas para a obtenção dos valores de densidade de drenagem, como o foco do estudo não se deu sobre os parâmetros morfométricos, o impacto é reduzido. O principal objetivo ao levantar estes parâmetros era visualizar algum comportamento explicitamente tendencial e comparar os resultados com os demais trabalhos no intuito de avaliar minimamente sua robustez.

A impossibilidade de inserção de toda a rede de drenagem, pelos motivos já elencados, prejudicou a análise do comportamento completo da bacia. Neste sentido, alguns parâmetros como a vazão de pico e o tempo de pico dos hidrogramas devem aumentar e diminuir, respectivamente, conforme apontado na revisão bibliográfica, quando da inserção da rede completa. Importante lembrar que também não foram consideradas a sedimentação e perda de

seção por assoreamento da rede, o que impactaria, também, os resultados obtidos, embora a sua relevância não tenha sido ponderada nos trabalhos consultados.

A análise dos hidrogramas gerados demonstra que não houveram grandes variações do tempo de pico nos diferentes cenários simulados. É preciso ponderar, nesse sentido, e agindo a favor da segurança, que isto se deve ao alto índice de impermeabilização da bacia – expressa nos altos valores de CN, dentro do que seu parcelamento permite, bem como da não simulação da inserção de redes de drenagem futuras.

Segundo o PMSB (PMP, 2014), o Índice de Cobertura por Rede de Drenagem na Bacia do Córrego Suçupara é de 0,79. Esse índice representa a razão entre a área urbanizada da bacia atendida por rede de drenagem e a área urbanizada total da bacia. O índice demonstra que ainda resta 21% de área urbanizada atual desprovida de rede, além das áreas que serão urbanizadas à futuro o que, com certeza, alterará o comportamento da bacia. A simples impermeabilização fora simulada neste trabalho e não apresentou impactos de elevada magnitude embora, para uma avaliação mais refinada, seria necessário a simulação também da rede de drenagem futura.

A não simulação de boa parte da rede de drenagem dificulta a comparação dos resultados com os encontrados por Leopold (1968), mas confirmam a tendência apontada pela área impermeabilizada. Os resultados deste autor apontam que, para uma variação de área impermeabilizada próxima à 10% e mantendo-se o percentual de área conectada à rede, o impacto na vazão do curso d'água também é de, aproximadamente, 10%.

De qualquer maneira, embora a não simulação de toda a rede, os trechos inseridos demonstraram-se suficientes para conduzir o escoamento da bacia. Observou-se limitação apenas no cenário crítico para chuvas com TR de 100 anos, de maneira que a rede, então, segue os parâmetros da DAEE/CETESB (1980) levantados por Righetto et al. (2009).

As seções transversais inseridas foram suficientes para acomodar as vazões sem alturas de transbordamento, mas isso pode ser explicado, sobretudo, ao arranjo de ligação entre os diferentes trechos da rede, nas quais o modelo considera a possibilidade de aumento do nível a montante. Ainda, vale lembrar que algumas seções foram expandidas pelo ajuste das cotas dos últimos pontos levantados, pela insuficiência inicial apresentada no modelo. Para uma avaliação mais fidedigna, o interessante seria realizar o levantamento de seções com larguras correspondentes às diferentes áreas de proteção e de possível inserção dos equipamentos urbanos como, por exemplo, os 42 metros de APP no entorno do curso d'água.

A solução adotada para os problemas de extravasamento do bueiro na AV NS-03 se mostrou suficiente e não comprometeu os trechos a jusante, o que deve ser sempre verificado quando da inserção de estruturas que aumentam a vazão escoada. Há que se ponderar, no

entanto, que a sua inserção pode ter sido um dos fatores para a necessidade de aumento das seções transversais dos córregos, embora, em verdade, a fonte primária sejam as descargas de macrodrenagem realizadas a montante do bueiro.

No que se refere aos demais alagamentos, ponderados com recorrência pela população e noticiários, pode-se atribuí-los a inexistência de cobertura completa da rede de drenagem nas quadras, agravando-se pela baixa declividade média encontrada. Desta maneira, há uma tendência para a retenção de parte do escoamento superficial, eliminado, aos poucos, pela dispersão de veículos e pela evaporação.

Para a delimitação das bacias, foi seguida a recomendação de Zaghoul (1983), mantendo os trechos de curso d'água com extensão menor que 1525m. Para as largura da bacia, embora tenha se utilizado o método do caminho crítico, James et al. (2010) recomendam que este parâmetro, por ser de difícil definição, deva ser utilizado para calibração, o que não fora possível neste trabalho.

No que se refere ao método de infiltração adotado, é preciso ponderar, para avaliação crítica dos resultados, a certa fragilidade do método da Curva Número. Isso pode ser observado, por exemplo, nos valores de CN aplicados a áreas residenciais. A variação se dá pelo tamanho médio dos lotes, não transferindo de maneira precisa os impactos do Cenário Permeável, que propõe um aumento da permeabilidade dos lotes. Isto explica, de certa maneira, os resultados simplórios deste cenário, contrastando com os advindos de trabalhos como os de Tucci (2000). Nesse sentido, a utilização de outros modelos de infiltração poderia gerar resultados diferentes, embora necessitem de informações específicas do solo da bacia.

Os resultados simplórios e divergentes da literatura apontados para as Valas de Infiltração explicam-se pelo reduzido impacto de sua cobertura, considerando toda a área da bacia, e por se localizarem em locais que impossibilitam o escoamento da água para que a percorrem – definido pelo tipo de propagação utilizado. Em contrapartida, para as Trincheiras/Poços de infiltração encontraram-se valores mais condizentes com a literatura consultada, justamente pela maior área de cobertura e por estarem inseridas em localidades que permitem que o escoamento seja direcionado as suas estruturas. No entanto, como a consideração do armazenamento, no modelo SWMM, é estática para a precipitação, resultados mais apurados poderiam ser obtidos em caso de simulação de precipitações espaçadas no tempo, de maneira a observar o impacto do alagamento das depressões.

De qualquer maneira, pelos resultados alcançados e pelas possibilidades de simulação que se abrem após as explorações deste trabalho, o SWMM pode ser considerado, confirmando o apontado na literatura, um software plenamente robusto e capaz de modelar diferentes

cenários de uso e ocupação do solo em bacias urbanas. Pondera-se, mais uma vez, os ganhos de qualidade e refinamento dos resultados em caso da possibilidade de inserção de toda a rede de drenagem e na existência de dados fluviométricos para possível calibração do modelo.

5.4 Interface entre o planejamento urbano e as respostas hidrográficas

A análise aprofundada do planejamento e ocupação da Bacia de Drenagem do Córrego Suçupara e a simulação de cenários para avaliar o comportamento hidrológico-hidráulico da mesma possibilita uma visão abrangente da ligação entre estas duas áreas do conhecimento. Restou claro que a prática de planejar a ocupação com reservas de áreas verdes implica em um comportamento completamente distinto do apresentado em outras cidades.

As áreas verdes adjacentes ao curso d'água contempladas desde o Plano Básico do GRUPO QUATRO (1989) e respeitadas ao longo do tempo permitem que haja flexibilidade de opções de ocupação no restante da área urbana da bacia em estudo. Embora ainda não consolidado, o Parque Linear dos Povos Indígenas constitui-se em uma barreira que, além de acomodar o aumento do escoamento advindo da urbanização, configura-se em uma reserva de área verde que pode ter seu potencial de infiltração ou detenção aumentados a medida que isto se observe necessário. Esta característica é ainda mais pronunciada pela visualização das áreas de alagamento, que mesmo no cenário crítico, não ocupam área maior que os limites do próprio parque.

Pelos resultados obtidos e certo alinhamento com o trabalho de IDOM e COBRAPE (2014), para as vazões obtidas e suficiência da rede de drenagem, pode-se inferir que o mesmo comportamento se manifeste na Bacia de Drenagem do Córrego Brejo Comprido. Esta bacia também se localiza na região central da área urbana, contando com as amenidades e disponibilidade de serviços já comentadas, mas também com densidades reduzidas. A preocupação em potencializar sua ocupação deve se dar, então, nos moldes da aqui estudada, bem como a consolidação das áreas verdes adjacentes ao seu córrego.

Não obstante, a ocupação dispersa da área urbana municipal implica que estas bacias, com adensamento ocioso, plenamente cobertas de serviços públicos e pontos de concentração de empregos na cidade, não contribuam com todo o potencial que possuem. Isso poderia, inclusive, impedir que novas ocupações avancem sobre os demais córregos da cidade, se estabelecendo em áreas de risco, como se observa na Bacia do Córrego Machado, ou em áreas de proteção de mananciais para abastecimento público, como na Bacia do Taquaruçu Grande (PMP, 2014; PMP, 2015).

Mesmo com as projeções populacionais, percebeu-se certo distanciamento aos índices do planejamento inicial da cidade, tanto em densidade como reserva de áreas verdes internas as quadras. Aliando a este estudo, que se ateu às respostas hidrológicas-hidráulica, aspectos como mobilidade urbana, capacidade dos sistemas de esgotamento sanitário, entre outros, pode-se avançar em propostas que alterem o uso de algumas destas áreas, possibilitando a sua utilização para expansão dos serviços públicos se e quando necessárias, bem como para fortalecer outras políticas públicas, como a habitação de interesse social. Mantendo o princípio de ações de não arrependimento, estes empreendimentos poderiam ser construídos, por exemplo, com sistemas de retenção e infiltração da água que mantivessem o mesmo coeficiente de escoamento na bacia.

A comparação entre o Cenário Atual e o Cenário Crítico permitiu avaliar que um aumento equivalente à 30% da população ocasionaria um incremento médio de aproximadamente 10% na vazão no exutório da bacia. Este incremento não ocasionou extravasamento da rede, tampouco inundações das áreas urbanas.

Há que se levar em conta, ainda, a possibilidade de aumento das densidades por meio da utilização dos novos instrumentos. Com as ressalvas necessárias já apontadas, eventuais potencializações da Outorga Onerosa do Direito de Construir e da inserção de uma possível Operação Urbana Consorciada na bacia não trariam, à princípio, impactos sob o ponto de vista do comportamento hidrológico-hidráulico da bacia, contribuindo com a melhor utilização desta área.

Caso a iniciativa privada não apresente recursos necessários para os empreendimentos, o poder público municipal pode se valer também dos Consórcios Imobiliários. O Consórcio Imobiliário, presente no Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), é uma ferramenta com o objetivo de viabilizar financeiramente empreendimentos, no qual, por exemplo, o proprietário de um lote o cede para o poder público executar o empreendimento e recebe como pagamento unidades imobiliárias no mesmo, após sua execução.

Os cenários simulados permitiram observar, também, como a localização das áreas verdes afeta em sua potencialidade para aumento da capacidade de infiltração das bacias. As pequenas áreas, como em canteiros centrais das avenidas – utilizados para a simulação das Valas de Infiltração, possuem maior dificuldade de aproveitamento, haja vista estarem, de certa maneira, desconectadas das áreas que geram o escoamento superficial. Não obstante, um olhar mais detalhista, mesmo nas maiores áreas aqui consideradas para receberem as Trincheiras/Poços, poderiam ser identificadas áreas também desconectadas, sobretudo pela topografia local.

Dito isto, faz-se importante que, além da mera reserva de áreas verdes internas as quadras, essas áreas sejam inseridas de maneira a que possam ser aproveitadas como dispositivos de drenagem. Isto pode ser incrementado na regulamentação de novos parcelamentos, mas pouco efeito terá na Bacia de Drenagem do Córrego Suçuapara, haja vista possuir todas as quadras que a compõem já parceladas.

Por fim, independente das imprecisões do modelo, já relatadas e devidamente explicadas nos tópicos anteriores, entende-se pelo seu valor e razoabilidade de adoção pelos planejadores municipais, por ser o mais completo e detalhado, sob o ponto de vista da repercussão dos instrumentos de planejamento urbano na resposta hidrológica-hidráulica de uma bacia de drenagem em Palmas. Obviamente, por se inserir em um cenário complexo de ações sobre o ambiente construído, alterações na legislação ou nas práticas de manejo da bacia devem ser acompanhadas de estudos sobre os demais aspectos incidentes, levando em consideração, sempre, o princípio do não arrependimento.

5.5 Recomendações

Como recomendações, elenca-se a necessidade de investigar o comportamento da bacia com a inserção, minimamente, de toda a rede de macrodrenagem. Invariavelmente os resultados obtidos serão diferentes e merecem ser investigados. Neste sentido, um grande ganho para os futuros estudos seria a possibilidade de utilização de dados fluviométricos para a calibração e validação do modelo. Esta utilização acarretaria em maior segurança aos tomadores de decisão, pois o modelo seria capaz de apresentar um comportamento mais próximo ao realmente apresentado pela bacia.

Outro ponto que merece maiores investigações é quanto a utilização de outros modelos de infiltração, como Horton e Green-Ampt, com a utilização de dados locais do solo, para investigar, inclusive, a validade de se perpetuar a utilização do modelo da Curva Número nas demais bacias hidrográficas de Palmas. Recomenda-se, também, a realização de uma campanha de levantamento das seções transversais do Córrego Suçuapara mais robusta do que a realizada para este trabalho. Esta campanha poderia se basear, além da delimitação do leito menor do córrego, nas diferentes áreas delimitadas para o atual plano diretor, como a APP de 42 metros adjacente ao mesmo, para que se pudesse observar, sobretudo, o nível d'água e as vazões suportadas para as diferentes larguras de seção, o que acabaria repercutindo no planejamento das estruturas do próprio Parque Linear dos Povos Indígenas.

Deve-se refinar, também, os métodos de projeção da população nas quadras. A aquisição de dados que diferenciem a densidade advinda de lotes residenciais unifamiliares dos multifamiliares, bem como dos lotes de uso misto, pode ser valiosa e prevenir possíveis erros de promoção de um adensamento exacerbado por fatal de domínio da real ocupação da bacia.

Outro ponto para o refinamento dos resultados apresentados na análise urbanística se refere a um levantamento amostral da real taxa de permeabilidade dos lotes. Isto poderia ser feito com a análise de imagens de satélite com maior resolução ou levantamento de campo, sendo necessário, para isso, a permissão dos residentes nos lotes definidos em uma possível amostra.

Percebe-se, também, a possibilidade de avanços nas análises dos aspectos de planejamento urbano da bacia e suas repercussões no comportamento hidrológico-hidráulico da mesma. Por exemplo, seria interessante avaliar estatisticamente a correlação entre os diferentes tamanhos médios de vias e lotes com as vazões resultantes de cada sub-bacia. Neste mesmo sentido, cabem análises mais refinadas quanto aos reflexos advindos de uma possível utilização de áreas verdes das quadras para outros fins ou a transferência dessas áreas para outras localidades na bacia, como na adjacência dos córregos.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo fora capaz de analisar a resposta hidrológica-hidráulica à diferentes cenários de uso e ocupação do solo e de práticas de drenagem na bacia do Córrego Suçuapara. Os resultados, advindos do modelo construído no *software* SWMM, apontaram para o aumento da vazão de pico do Cenário Atual para o Cenário Crítico – máxima ocupação permitida na legislação, de aproximadamente 10%, o que representaria, de acordo com as projeções realizadas, um aumento próximo de 30% da população.

O Cenário Permeável, que simulou alterações na legislação para aumentar a área permeável de lotes residenciais, mostrou-se pouco significativo, com redução média nas vazões de pico em torno de 0,63%, em comparação ao Cenário Crítico. Para o Cenário Valas, a redução da vazão de pico, em comparação ao Cenário Crítico, fora de apenas 2,55%. Já o Cenário Trincheiras/Poços apresentou uma redução média das vazões de pico em torno de 16,09% em comparação ao Cenário Crítico, e 7,77% referente ao Cenário Atual.

Restou claro que os transbordamentos observados em janeiro de 2017 resultavam da insuficiência da estrutura hidráulica – bueiro, para escoar a vazão que era descarregada a montante, cuja contribuição mais significativa são as redes de macrodrenagem de boa parte das quadras da bacia. A solução adotada de substituir o bueiro duplo de concreto com diâmetro de 1,50m por um bueiro celular triplo de 3,50m é suficiente e não causa impactos significativos a jusante, sob o ponto de vista da capacidade de escoamento da vazão.

Também se identificou que os trechos da rede de macrodrenagem modelados são plenamente capazes de escoar as vazões de suas sub-bacias. Pontos de alagamento foram observados apenas no Cenário Crítico com chuvas referentes ao Tempo de Retorno de 100 anos, podendo ser plenamente controlados com o uso, mesmo que parcial, de medidas não convencionais em drenagem urbana.

Além disso, por meio da análise dos instrumentos tradicionais e novos de planejamento urbano aplicados atualmente na bacia, fora perceptível que os mesmos são insuficientes para garantir o adensamento inicialmente planejado para suas quadras. As áreas verdes reservadas no âmbito do Parque Linear dos Povos Indígenas se mostraram suficientes para abrigar os incrementos de vazão advindos das futuras ocupações. Por isto, também se conclui pela possibilidade de alteração de uso do solo de algumas áreas verdes internas as quadras, que poderiam abrigar projetos de habitação ou equipamentos públicos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. DE M. **Elaboração de Interface de Modelação e Estimativa dos Coeficientes da Equação de Chuvas Intensas para Palmas, TO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, p. 90. 2014.

ANGELI, P. A. L. DE. **As operações urbanas consorciadas como instrumento de planejamento urbano: estudo de caso da cidade de São Paulo - SP**. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, p.104. 2011.

ARAÚJO, R. M. *et al.* **Caminho das águas, o tratamento das áreas verdes urbanas com foco na drenagem: resultados aplicados na praça Acyr S. Loyola, no bairro Hugo Lange, em Curitiba**. 5º Congresso Luso-Brasileiro para Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - PLURIS. **Anais...**Brasília: 2012.

BAPTISTA, M. *et al.* **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2. ed. Porto Alegre, RS: ABRH, 2015. 318 p.

BARBASSA, A. P. *et al.* Poço de infiltração para controle de enchentes na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 2, p. 91–107, 2014.

BASTOS, P. C. **Efeitos da urbanização sobre vazões de pico de enchente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, p. 136. 2009.

BISHT, D. S. *et al.* Modeling urban floods and drainage using SWMM and MIKE URBAN: a case study. **Natural Hazards**, v. 84, n. 2, p. 749–776, 2016.

BITENCOURT, A. P. M. **A transferência do direito de construir para a conservação do patrimônio natural e cultural: a experiência da cidade de Curitiba.** Disponível em:

<<http://www.ibdu.com.br/imagens/ATransferenciadoDireitodeConstruir.pdf>>. Acesso em: 26 maio. 2017.

BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. *In: Geomorfologia Urbana*. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil LTDA., 2011. p. 71–115.

BRASIL. Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências.

____. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

____. Lei Federal nº 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.

____. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

____. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

CAPUTO, Ú. K. **Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada: estudo de caso do município de Belo Horizonte - MG**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 138 p. 2012.

CARNEIRO, P. R. F. **Controle de inundações em bacias metropolitanas, considerando a integração do planejamento do uso do solo à gestão dos recursos hídricos. Estudo de caso: Bacia dos Rios Iguaçu/Sarapuí na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, Rio de Janeiro, 296 p. 2008.

CARNEIRO, P. R. F. *et al.* **Gestão de Recursos Hídricos Integrada ao Planejamento Urbano**. III Encontro da ANPPAS. **Anais...**Brasília: 2004.

CHAUSSÊ, W. ACSP propõe que Lei de Zoneamento favoreça lotes comerciais no Centro. **Diário do Comércio**, 12 dez. 2014.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 219 p. 2009.

CONSERVATION, S. N. R. **Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55**. United States Department of Agriculture. 1986. Disponível em:
<https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf>. Acesso em: 27 set. 2017.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA.

Convenção sobre Mudança do Clima - Protocolo de Kyoto. 1992.

DIOGO, F. J. D'ALMEIDA *et al.* **Manual de Pavimentação Urbana - Drenagem: Manual de Projetos.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2008. 160 p.

DORNELES, A. C. B. O zoneamento e sua importância como um instrumento de planejamento urbano. **Cadernos da Escola de Direito e Relações Internacionais**, v. 13, n. 1, p. 452–467, 2010.

FEITOSA, F. F. DE S. **Avaliação do uso de trincheiras de infiltração para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, 101 p. 2015.

FLETCHER, T. D. *et al.* SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

FORMIGA, K. T. M. *et al.* Calibração do Storm Water Management Model (SWMM) utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo. v. 21, n. 4, p. 697–707, 2016.

FRELLO, A. DOS S. **Avaliação quantitativa de uma vala de infiltração como técnica compensatória em drenagem urbana.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 108 p. 2016.

G1 TOCANTINS. Palmas registra em um dia o volume de chuva esperado para uma semana. 18 jan. 2017.

GARCIA, J. I. B. *et al.* **Avaliação da discretização em uma bacia hidrográfica urbana, através do modelo SWMM.** XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica. **Anais...**São Pedro - SP: 2004

GRUPO QUATRO. **Memorial do projeto da capital do estado do Tocantins:**

Palmas/Plano Básico. Palmas:1989.

GURGEL, G. M. **Crescimento urbano e seus impactos no sistema de drenagem de uma bacia em Natal/RN.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 83 p. 2016.

IDOM; COBRAPE. **Estudo 2 - Vulnerabilidade e Riscos Ambientais.** Palmas. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia.** 3. ed. Rio de Janeiro. 2015.

IPCC. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation.** New York. 2012.

JACOBSON, C. R. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 6, p. 1438–1448, 2011.

JAMES, W. *et al.* **User's guide to SWMM5.** 13. ed. Guelph, Ontario, Canada: CHI Press, 2010.

KUSUMASTUTI, D. I. *et al.* Infiltration well to reduce the impact of land use changes on flood peaks Infiltration well to reduce the impact of land use changes on flood peaks: a case study of Way Kuala Garuntang catchment, Bandar Lampung, Indonesia Infiltration well to reduce the i. **Hidrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 5487–5513, 2014.

LEOPOLD, L. **Hydrology for Urban Land Planning - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use** Geological Survey Circular. Washington. 1968.

LIMA, V. *et al.* A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. **Revista Formação**, v. 1, n. 13, p. 139–165, 2006.

LIRA, E. R. **A Gênese de Palmas - Tocantins**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 313 p. 1995.

LOBODA, C. R. *et al.* Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, Usos e Funções. **Ambiencía**, v. 1, n. 1, p. 125–139, 2005.

LUCAS, A. H. *et al.* Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 17–28, 2015.

LUCAS, T. DE P. B. *et al.* Impactos hidrometeorológicos em Belo Horizonte - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 8–28, 2015.

LUCKE, T. *et al.* Pollutant removal and hydraulic reduction performance of field grassed swales during runoff simulation experiments. **Water**, v. 6, p. 1887–1904, 2014.

MASCARÓ, J. L. **Loteamentos Urbanos**. 2. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2005.

MILLER, J. D. *et al.* Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 59–70, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Brasília: 2016.

MORUZZI, R. B. *et al.* Subsídios para implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro - São Paulo. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, n. 2, p. 148–170, 2011.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

NIGUSSIE, T. A.; ALTUNKAYNAK, A. Assessing the Hydrological Response of Ayamama Watershed from Urbanization Predicted under Various Landuse Policy Scenarios. **Water Resources Management**, v. 30, n. 10, p. 3427–3441, 2016.

OLIVEIRA, A. P. DE; *et al.* Aplicação de técnicas compensatória na requalificação de áreas verdes urbanas em Guarulhos-SP. **Cidades Verdes**, v. 4, n. 9, p. 87–101, 2016.

ONU. **Adoção do Acordo de Paris**. Paris, 2015. Disponível em:
<<http://bit.ly/ParisAgreementUNFCCC>>

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças climáticas e cidades**. Rio de Janeiro. 2016.

PALMAS. Lei Municipal nº 45, de 22 de março de 1990. Altera a Lei nº 31, de 07 de dezembro de 1989, que estabelece o Código Municipal de Obras.

____. Lei Municipal nº 085, de 16 de janeiro de 1993. Institui a Lei de Uso e Ocupação do Solo do Município de Palmas e dá outras providências.

____. Lei Municipal nº 386, de 17 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a divisão da Área Urbana da Sede do Município de Palmas em Zonas de Uso e dá outras providências.

____. Lei Municipal nº 468, de 06 de janeiro de 1994. Aprova o Plano Diretor Urbanístico de Palmas (PDUP) e dispõe sobre a divisão do solo do Município, para fins urbanos.

____. Decreto Municipal nº 35, de 4 de fevereiro de 2004. Fixa os procedimentos a serem adotados para a aprovação de projetos urbanísticos de empreendimentos.

____. Lei Complementar Municipal nº 155, de 28 de dezembro de 2007. Dispõe sobre a política urbana do município de Palmas, formulada para atender ao pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e a garantia do bem-estar de seus habitantes, conforme estabelece a Constituição Federal/88, em seus arts. 182 e 183, e o Estatuto da Cidade, Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001.

____. Lei Municipal nº 185, de 10 de junho de 2009. Altera e acrescenta dispositivos na Lei nº 468, de 06 de janeiro de 1994.

____. Lei Complementar Municipal nº 195, de 22 de dezembro de 2009. Dispõe sobre a Regulamentação e Aplicação do Parcelamento, Edificação e Utilização Compulsório - PEUC do solo urbano não edificado subutilizado ou não-utilizado, da forma que especifica.

____. Lei Complementar Municipal nº 274, de 28 de dezembro de 2012. Dispõe sobre a aplicação da Outorga Onerosa do Direito de Construir e da Mudança de Uso, altera o art. 81 e o §2º do art. 82 da Lei Complementar nº 155, de 28 de dezembro de 2007, e acresce o parágrafo único ao art. 1º da Lei Complementar nº 190, de 18 de setembro de 2009, na forma que especifica.

____. Lei Municipal Complementar nº 400, de 2 de abril de 2018. Plano Diretor Participativo do Município de Palmas-TO.

PEREIRA, L. M. Modelagem hidrológica dinâmica distribuída para estimativa do escoamento superficial em uma microbacia urbana. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 90 p. 2009.

PERES, R. B. *et al.* Análise das relações entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos, SP: avanços e desafios visando a integração de instrumentos de gestão. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, p. 349–362, 2013.

PORTAL BRASIL. Brasil ratifica Acordo de Paris nesta segunda. n. 12, 2016.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Lei Municipal nº 16.050, de 31 de julho de 2014. Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo.

____. Revisão da lei de parcelamento, uso e ocupação do solo (13.885/04). 2014.

____. Lei Municipal nº 16.402 - Mapa 1: Subprefeitura M'boi Mirim. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMAS. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO**. Palmas. 2014.

____. **Plano de Ação Palmas Sustentável**. Palmas. 2015.

PRINCE GEORGE COUNTY, M. **Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach**. Maryland. 1999.

RAMACHANDRA, T. V; MUJUMDAR, P. P. Urban Floods: Case Study of Bagalore. **Journal of the National Institute of Disaster Management**, v. 3, n. 2, p. 1–99, 2009.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H. DE; SALES, M. M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 99–117, 2008.

RENNÓ, C. D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 146 p. 2004.

REZENDE, O. M. **Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à Baixa Fluminense**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 208p. 2010.

RIGHETTO, A. M. **Manejo De Águas Pluviais Urbanas**. 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB. 2009.

ROCHA, N. **Planejamento Urbano Da Bacia Do Córrego Samambaia (Goiânia - Go) Utilizando O Swmm – Storm Water Management Model**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Goiânia, 90p. 2013.

RODOVALHO, S. A. **Palmas, do projeto ao plano: o papel do planejamento urbano na produção do espaço**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 193p. 2012.

ROSSMAN, L. A. **Manual do usuário - EPA SWMM 5.0 - Modelo de Gestão de Drenagem Urbana**. Tradução de Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. Brasil: UFPB, 280p. 2010.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model User's Manual**. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory. 2015.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; LOMBARDI NETO, F. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos Parte 2 : Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 19–29, 2005.

SILVA, K. A. **Análise da eficiência de métodos de controle de enchentes na atenuação de picos de cheias utilizando o modelo computacional SWMM - Storm Water Management Model**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, 126p. 2007.

SOUZA, F. P. DE *et al.* **Avaliação do modelo SWMM com diferentes equações de infiltração e propagação de ondas de cheia me galerias de drenagem de águas pluviais na sub-bacia do Iate Clube no Lago Paranoá - Brasília/DF**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Bento Gonçalves - RS: 2013.

SOUZA, R. M. DE; CRISPIM, D. C.; FORMIGA, K. T. M. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC - HMS para simulação de escoamento superficial – caso de estudo Bacia do Córrego Samambaia. v. 5, p. 1–11, 2012.

STAGGE, J. H. **Field evaluation of hydrologic and water quality benefits of grass swales for managing highway runoff**. Thesis (Master of Science) - University of Maryland, Department of Civil and Environmental Engineering, 205p. 2006.

TEIXEIRA, L. F. C. A formação de Palmas. **Revista UFG**, v. Ano XI, n. 6, p. 91–99, 2009.

TEIXEIRA, M. DA P. Habitação saudável x microdrenagem urbana: uma questão da promoção da saúde nas cidades brasileiras. **Saúde e Pesquisa**, v. 8, p. 151–160, 2015.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 137p. 2013.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 61–68, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 1, n. 1, p. 59–73, 2004.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. DE. **Drenagem Urbana: Fundamentos**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/ ABRH. 1995.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)**. New York. 2014.

_____. **World Urbanization Prospects: Urban Population at Mid-Year by Major Area, Region and Country, 1950-2050 (thousands)**. 2014.

_____. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015.

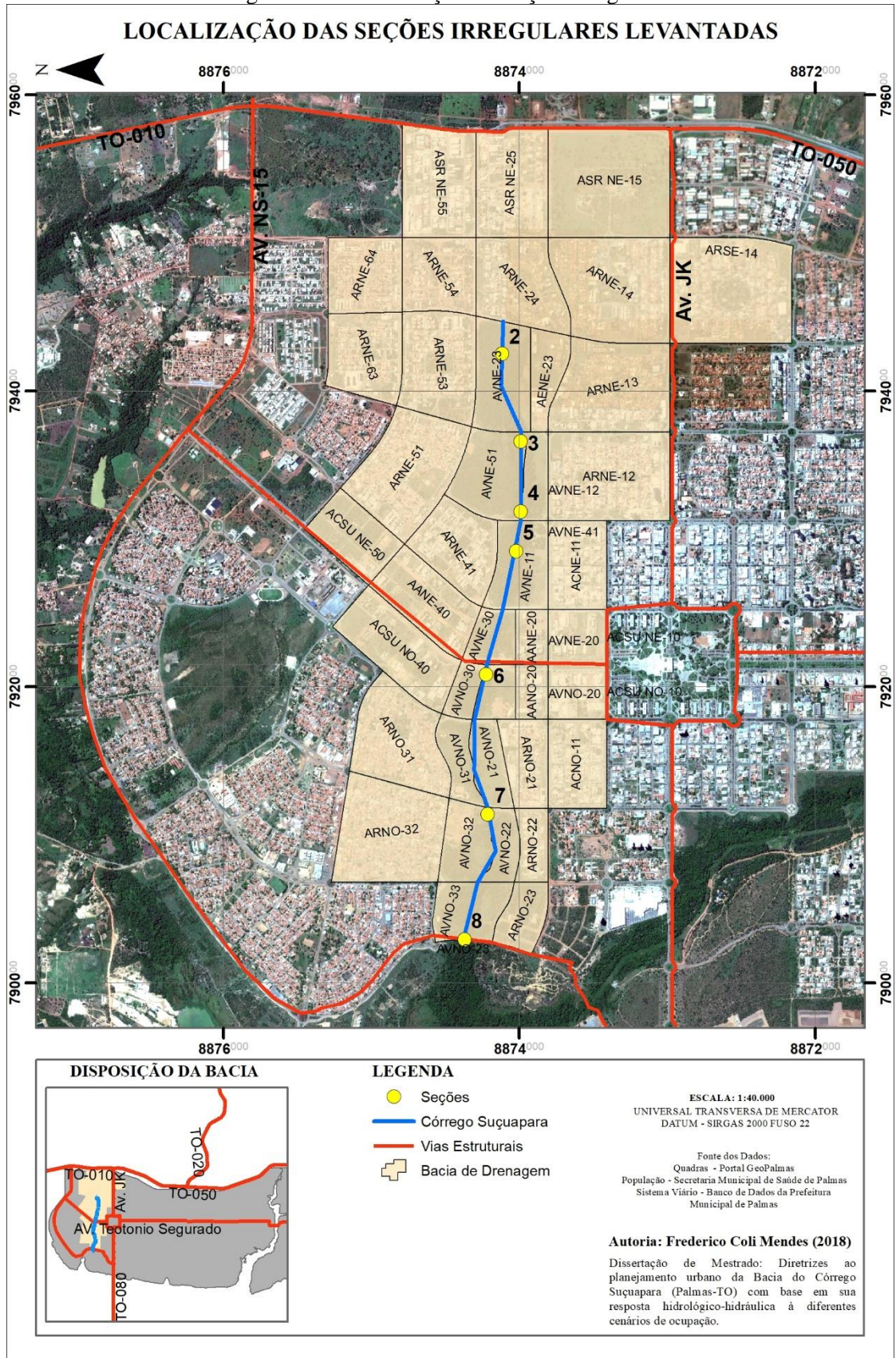
VELASQUES, A. B. A. **A concepção de Palmas (1989) e sua condição moderna**. Tese (Doutorado em Urbanismo) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 245p. 2010.

YAO, L.; WEI, W.; CHEN, L. How does imperviousness impact the urban rainfall-runoff process under various storm cases? **Ecological Indicators**, v. 60, p. 893–905, 2016.

ZAGHLOUL, N. A. Sensitivity analysis of the SWMM Runoff-Transport parameters and the effects of catchment discretisation. **Advances in Water Resources**, v. 6, n. 4, p. 214–223, 1983.

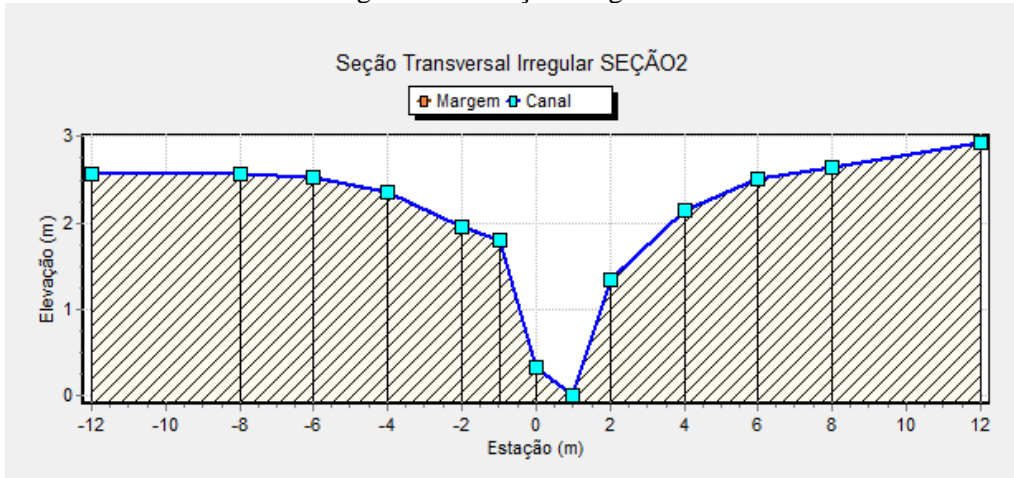
APÊNDICE A – SEÇÕES IRREGULARES DO CURSO D'ÁGUA

Figura A.1 – Localização das seções irregulares



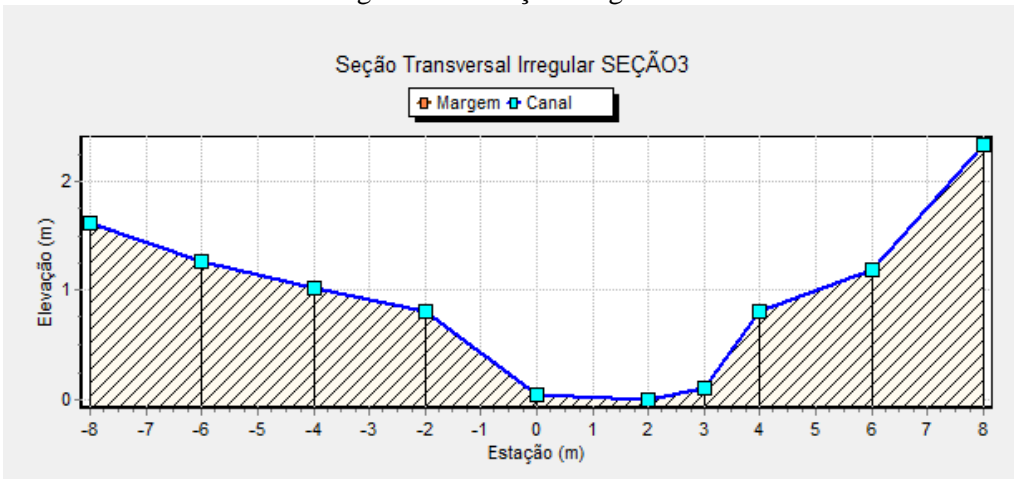
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura A.2 – Seção Irregular 2



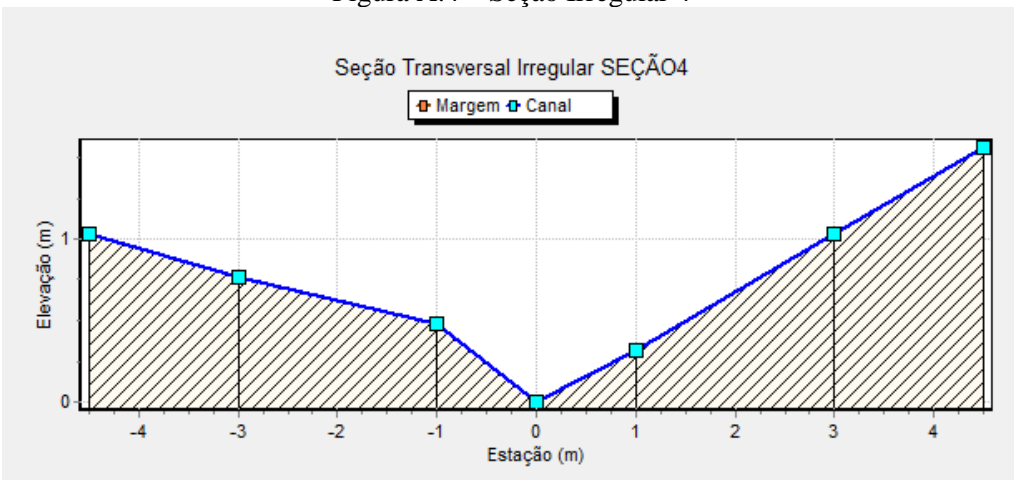
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura A.3 – Seção Irregular 3



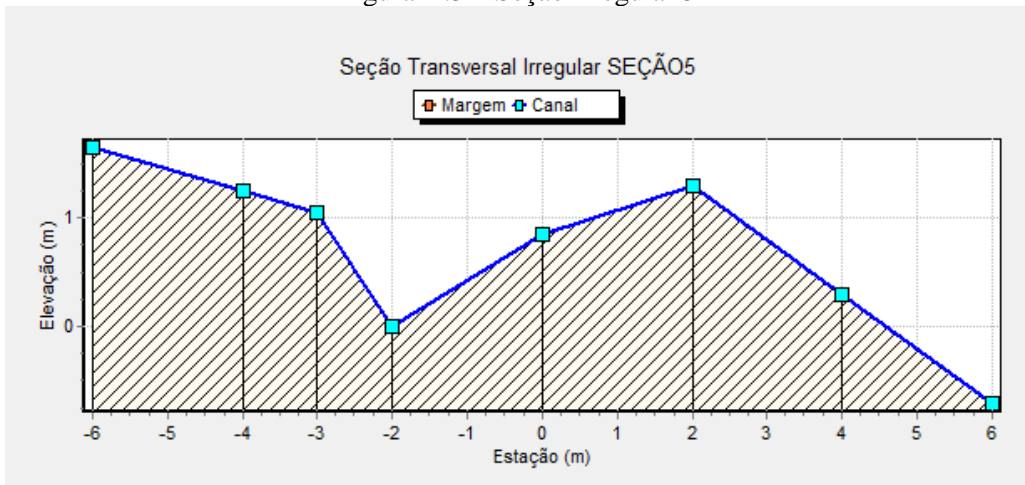
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura A.4 – Seção Irregular 4



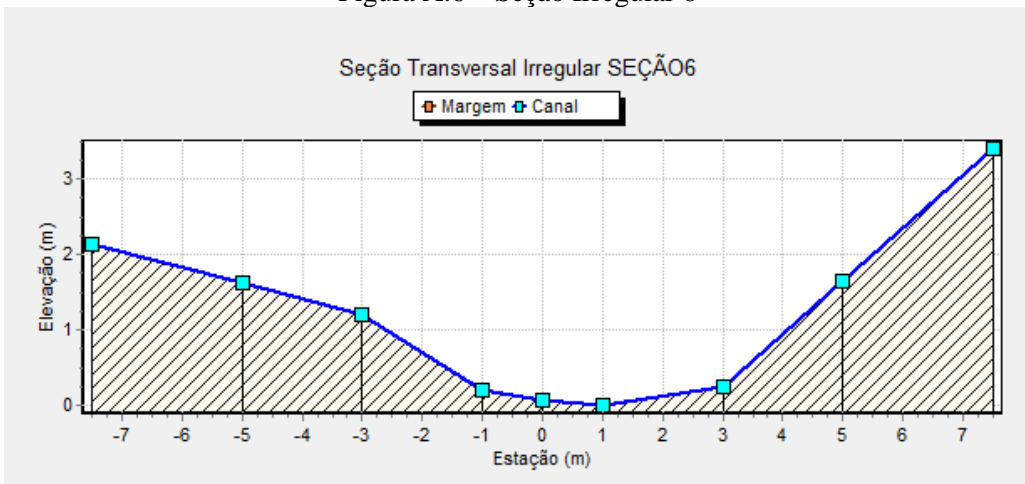
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura A.5 – Seção Irregular 5



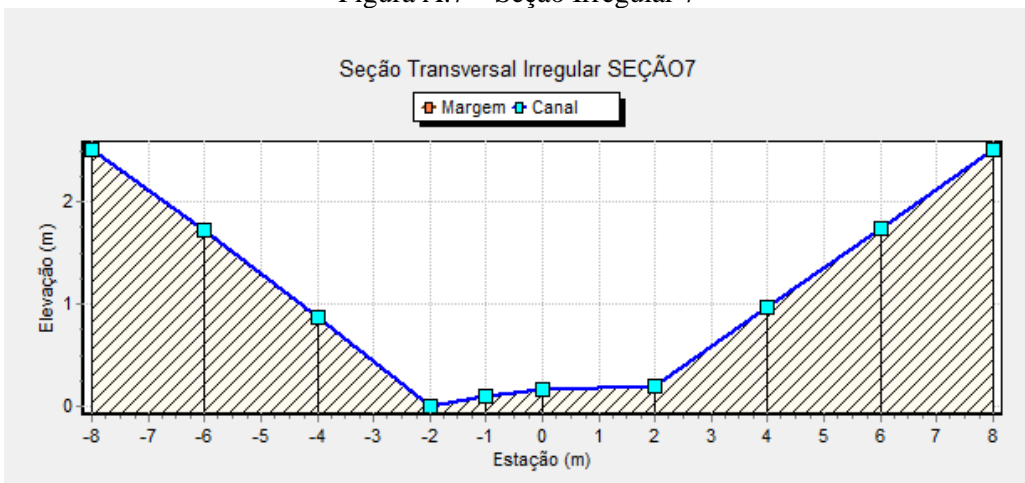
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura A.6 – Seção Irregular 6



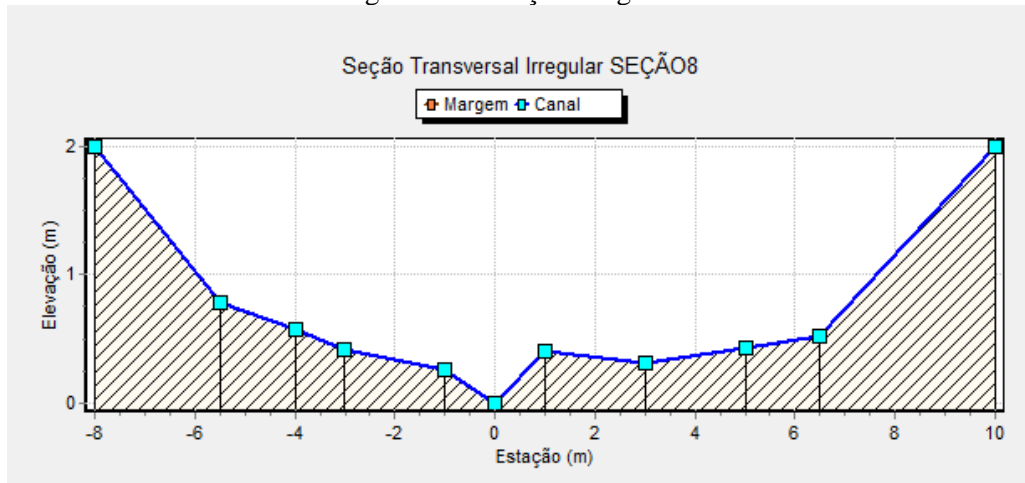
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura A.7 – Seção Irregular 7



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura A.8 – Seção Irregular 8



Fonte: Elaborada pelo autor

APÊNDICE B – USOS E PARÂMETROS DE OCUPAÇÃO DO SOLO

Quadro B.1 – Usos e parâmetros de ocupação do solo

(continua)

Uso	Descrição	Coeficiente de Aproveitamento	Taxa de Ocupação e Permeabilidade	Usos permitidos
AA	A Área Administrativa caracteriza-se pela especificidade para instalação de órgãos e ou entidades públicas dos governos Federal (F), Estadual (E) e Municipal (M).	Federal: 4 Estadual: Específico Municipal: Específico	Subsolo - 100% Térreo e 1º Pavimento - 50% Demais Pavimentos - 30% * Taxa de permeabilidade de 50% para AAM, após a Lei Municipal nº 155/2007	Órgãos do Governo Federal, Estadual e Municipal.
AC	A Área de Comércio e Serviço Central – AC destina-se à localização de estabelecimentos que atendem às necessidades específicas da cidade.	2,5 (Lei Municipal nº 386/1993) 3,5 (Lei Municipal nº 986/2001)	Subsolo – 100% Térreo – 100% 1º Andar – 100% Demais andares – 50% (Lei Municipal nº 386/1993), com atualização para 70% (Lei Municipal nº 230/2011) *Taxa de Permeabilidade: não se aplica	Habitação, comércio e serviço geral.
ACSU	A Área de Comércio e Serviço Urbano - ACSU, está organizada para localização de estabelecimentos que atendam a cidade e também à região especificados em comércio e serviços.	Para ACSUs SO 10, SE 10, NO 10 e NE 10: Conjunto 1 - 4 (se habitação, 3) Conjunto 2 – 3 Demais ACSUs: Conjunto 1 - 3,5 (se habitação, 3) Conjunto 2 - 3	Subsolo - 100% Térreo e 1º Pav - 50% Demais Pav - 30% *Taxa de Permeabilidade: não se aplica	Habitação coletiva, comércio e serviço geral
ACSV	A Área de Comércio e Serviço Vicinal - ACSV está organizada para a localização de estabelecimentos que atendem às necessidades imediatas das áreas habitacionais.	Regulada pela área construída. Lotes de extremidade Subsolo – 144,00 m ² Térreo – 120,00 m ² Andar – 240,00 m ² Demais lotes Subsolo – 144,00 m ² Térreo – 120,00 m ² Andar – 192,00 m ²	Lotes de extremidade Subsolo – 100% Andar – 166,67% Demais lotes Subsolo – 100% Térreo – 100%, preservando recuo obrigatório Andar – 133,34% *Taxa de Permeabilidade: não se aplica	Habitação acima do térreo, comércio e serviço geral.

Quadro B.1 – Uso do lote e parâmetros de ocupação do solo

(continua)

Uso	Descrição	Coeficiente de Aproveitamento	Taxa de Ocupação e Permeabilidade	Usos permitidos
ASR	A Área de Comércio e Serviço Regional - ASR está organizada para a localização de estabelecimentos de maior porte que atendam à região de influência da cidade e também a si própria, especificados em comércio, serviço e atividades industriais de transformação.	1	50% *Taxa de Permeabilidade: não se aplica	Comércio, indústria e serviço geral.
QC	A Área de Comércio e Serviço Local - QC, está organizada para a localização de estabelecimentos de comércio e serviço localizados no interior das Áreas Residenciais e das Áreas de Comércio e Serviço Regional.	Lei Municipal nº 386/1993 <150m ² - 1 150 à 500m ² - 1 >500 m ² - 1 Lei Municipal nº 183/2009 <250m ² - 2 250 à 360m ² - 1 >360 m ² - 1	Lei Municipal nº 386/1993 <150m ² - 50% 150 à 500m ² - 50% >500 m ² - 50% Lei Municipal nº 183/2009 <250m ² - 100% 250 à 360m ² - 75% >360 m ² - 50% *Taxa de Permeabilidade: não se aplica	Habitação acima do térreo, comércio e serviço geral de pequena escala.
ALC	A Área de Lazer e Cultura está organizada para localização de estabelecimentos que atendam a cidade e a região com relação às seguintes atividades: entretenimento, recreativas, culturais, esportivas, educacionais, turismo, saúde e repouso.	Lei 85/1991: 0,5 Lei 386/1993: 0,4	20% *Taxa de Permeabilidade: não se aplica	Centros esportivos, centro olímpico, clínicas de repouso, clubes, escolas especiais, parques públicos, universidades, autódromos, estádios.

Quadro B.1 – Uso do lote e parâmetros de ocupação do solo

(continua)

Uso	Descrição	Coeficiente de Aproveitamento	Taxa de Ocupação e Permeabilidade	Usos permitidos
AR	Área Residencial está organizada para localização de unidades habitacionais diferenciadas, conforme sua classificação em Unifamiliar e Multifamiliar.	Lei Municipal nº 386/1993 Unifamiliar - 1 HM 1 - 1,5 HM 2 - 2 Municipal nº 147/2007 Unifamiliar 1 HM 1 - 2,5 HM 2 - 2,5	Lei Municipal nº 386/1993 Unifamiliar - 50% HM 1 - 40% HM 2 - 30% Municipal nº 230/2011 Unifamiliar - 60% + 25% de permeabilidade HM 1 - 40% + 100% do subsolo + 25% de permeabilidade HM 2 - 40% + 100% do subsolo + 25% de permeabilidade	Habitação unifamiliar e multifamiliar
AV	A Área Verde define-se pela preservação e/ou criação de cobertura vegetal e proteção dos recursos hídricos, sendo possível em algumas o exercício de atividades de lazer e recreação, desde que compatíveis com a sua destinação principal.	Não se aplica	Não se aplica	Horto florestal, parque infantil, jardins botânicos, quadra de esporte, parques

Quadro B.1 – Uso do lote e parâmetros de ocupação do solo

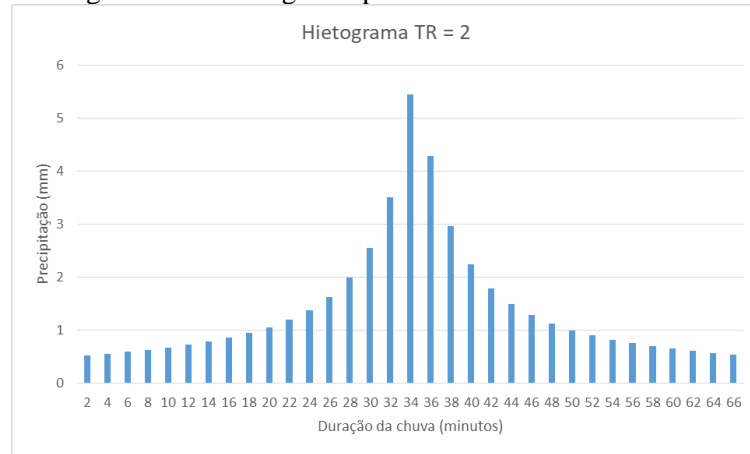
(conclusão)

Uso	Descrição	Coeficiente de Aproveitamento	Taxa de Ocupação e Permeabilidade	Usos permitidos
AE	Entende-se por Equipamentos Urbanos os bens destinados à prestação dos serviços essenciais e necessários à vida da cidade. Os Equipamentos Urbanos estão especificados em: Equipamentos Locais; Equipamentos Urbanos; e Equipamentos Especiais.	Local - 1,0 Urbano - Igual ao da ACSU que o localiza AE - 1,0	Local - 50% Urbano - Igual ao da ACSU AE - 20% *Taxa de Permeabilidade: não se aplica	Local: a - Escola de 1º. Grau b - Centro Comunitário c - Creche d - Posto de Saúde e - Posto Policial f - Áreas de Lazer e Esporte Urbano: Polícia militar, escola de 2º grau, saúde, rodoviária, centro de convenções e outros de maior porte. Equipamentos Especiais (AE): I - AE NE 23; II - AE NO 13; III - AE SO 12 e AE SO 1; IV - AE SO 31; V - AE SE 31; VI - AE SE 34; e VII - AE SE 33
PAC	Posto de abastecimento de combustível.	Não se aplica	100% do lote remanescente dos recuos obrigatórios *Taxa de Permeabilidade: não se aplica	Posto de abastecimento de combustíveis, serviços e comércio varejista de pequeno porte.

Fonte: (PALMAS, 1991, 1993)

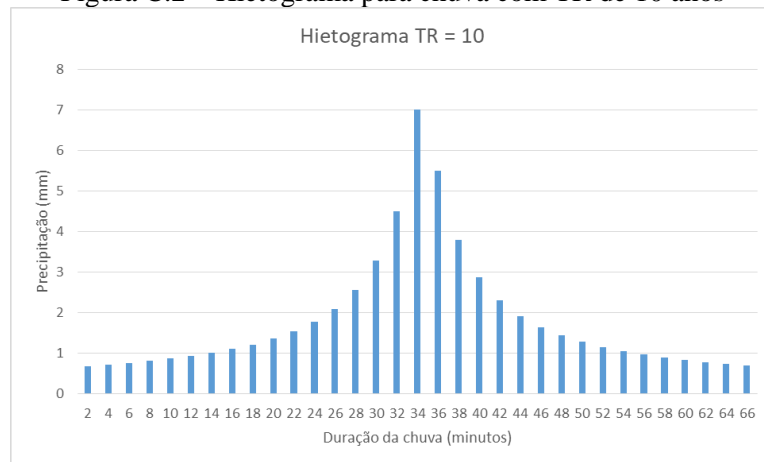
APÊNDICE C – HIETOGRAMAS DE PROJETO

Figura C.1 – Hietograma para chuva com TR de 2 anos



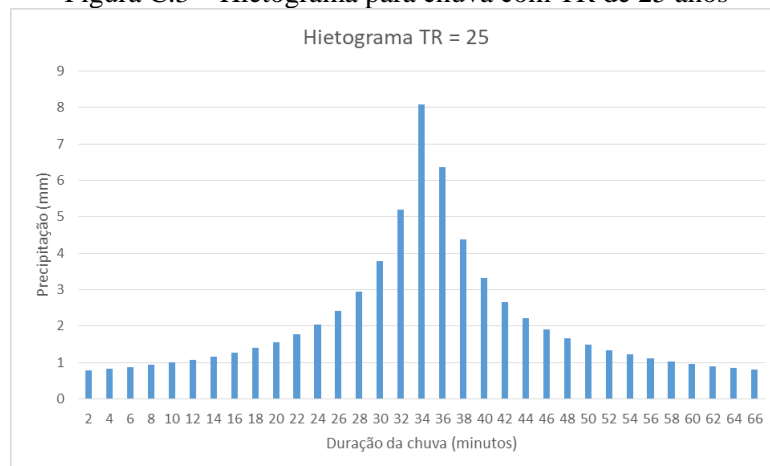
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura C.2 – Hietograma para chuva com TR de 10 anos



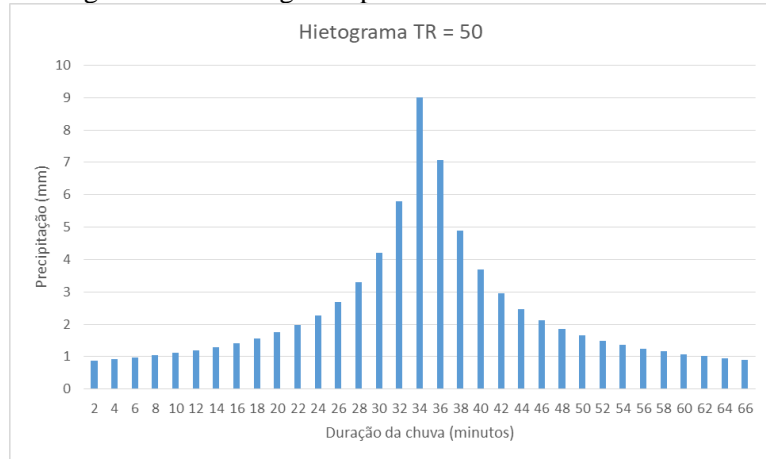
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura C.3 – Hietograma para chuva com TR de 25 anos



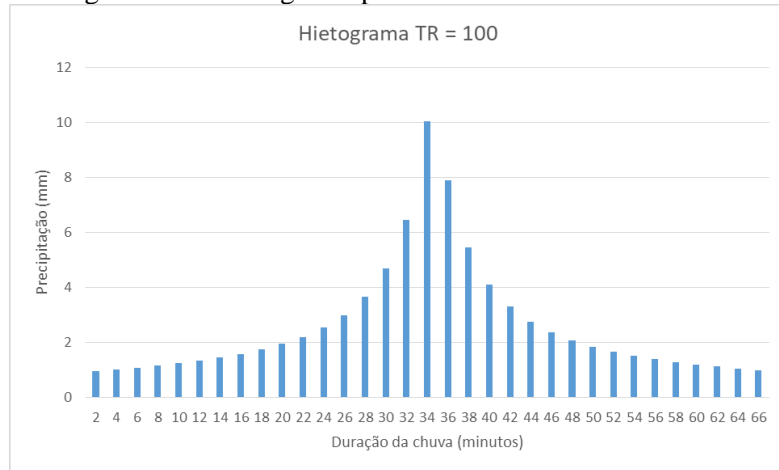
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura C.4 – Hietograma para chuva com TR de 50 anos



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura C.5 – Hietograma para chuva com TR de 100 anos



Fonte: Elaborada pelo autor

APÊNDICE D – PROJECT DATA DO SWMM

[TITLE]

[OPTIONS]

FLOW_UNITS LPS
 INFILTRATION CURVE_NUMBER
 FLOW_ROUTING KINWAVE
 START_DATE 05/14/2018
 START_TIME 00:00:00
 REPORT_START_DATE 05/14/2018
 REPORT_START_TIME 00:00:00
 END_DATE 05/14/2018
 END_TIME 06:00:00
 SWEEP_START 01/01
 SWEEP_END 12/31
 DRY_DAYS 0
 REPORT_STEP 00:01:00
 WET_STEP 00:02:00
 DRY_STEP 00:02:00
 ROUTING_STEP 0:01:00
 ALLOW_PONDING NO
 INERTIAL_DAMPING PARTIAL
 VARIABLE_STEP 0.75
 LENGTHENING_STEP 0
 MIN_SURFAREA 0
 NORMAL_FLOW_LIMITED BOTH
 SKIP_STEADY_STATE NO
 FORCE_MAIN_EQUATION H-W
 LINK_OFFSETS DEPTH
 MIN_SLOPE 0

[EVAPORATION]

::Type Parameters
 ;;-----
 CONSTANT 0.0
 DRY_ONLY NO

[RAINGAGES]

:: Rain Time Snow Data
 ;;Name Type Intrvl Catch Source
 ;;-----
 PLUV1 VOLUME 0:02 1.0 TIMESERIES TR100

[SUBCATCHMENTS]

;;Name	Raingage	Total Outlet	Pcnt. Area	Pcnt. Imperv	Curb Width	Snow Slope	Length	Pack
S1	PLUV1	S1_PV23	241.03	43	1295	1.57	0	
S2	PLUV1	S2_E	87.43	39	546	2.35	0	
S3	PLUV1	S3_PV68	86.12	56	700	1.47	0	
S4	PLUV1	S4_PV42	45.77	64	457	1.2	0	
S5	PLUV1	S5_E	76.80	15	537	2.96	0	
S6	PLUV1	S6_PV43	49.32	66	493	1.5	0	
S7	PLUV1	S7_PV11	98.80	41	754	2.48	0	
S8	PLUV1	S8_PV38	23.76	83	325	1.46	0	
S9	PLUV1	S9_E	22.86	54	262	1.84	0	
S10	PLUV1	S10_E	69.86	48	558	2.6	0	
S11	PLUV1	S11_PV24	64	68	533	2.15	0	

S12	PLUV1	S12_E	74.2	11	353	5.11	0
S13	PLUV1	S13_PV21	47.01	75	494	2.77	0
S14	PLUV1	S14_E	67.75	6	615	4.08	0

[SUBAREAS]

::Subcatchment	N-Imperv	N-Perv	S-Imperv	S-Perv	PctZero	RouteTo	PctRouted
S1	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S2	0.011	0.15	1.27	5.08	25	PERVIOUS	100
S3	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S4	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S5	0.011	0.15	1.27	5.08	25	PERVIOUS	100
S6	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S7	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S8	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S9	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S10	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S11	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S12	0.011	0.15	1.27	5.08	25	PERVIOUS	100
S13	0.011	0.15	1.27	5.08	25	IMPERVIOUS	100
S14	0.011	0.15	1.27	5.08	25	PERVIOUS	100

[INFILTRATION]

::Subcatchment	CurveNum	HydCon	DryTime
S1	93.96	0.5	7
S2	93.57	0.5	7
S3	94.55	0.5	7
S4	94.80	0.5	7
S5	87.28	0.5	7
S6	95.09	0.5	7
S7	94.15	0.5	7
S8	97.4	0.5	7
S9	95.82	0.5	7
S10	94.39	0.5	7
S11	96.34	0.5	7
S12	85.81	0.5	7
S13	95.70	0.5	7
S14	87.30	0.5	7

[JUNCTIONS]

::Name	Invert Elev.	Max. Depth	Init. Depth	Surcharge Depth	Ponded Area
S1_PV23	269.89	4.7	0	0	0
S1_PV24	268.79	4.7	0	0	0
S1_PV25	267.30	4.7	0	0	0
S1_PV26	266.78	4.7	0	0	0
S1_E_INÍCIO_CORREGO	262.48	0	0	0	0
S2_E	261.15	0	0	0	0
S4_PV42	264.78	2	0	0	0
S4_PV_FICT	261.08	2	0	0	0
S4_E	258.50	0	0	0	0
S3_E	258	0	0	0	0
S3_PV68	267.49	4	0	0	0
S5_E	256	0	0	0	0
NO_BUEIRO_1	255.5	0	0	0	0
NO_BUEIRO_2	254.95	0	0	0	0
S6_PV43	256.53	2.3	0	0	0
S6_E	253.58	0	0	0	0

S7_E	251.14	0	0	0	0
S7_PV11	254.16	2.35	0	0	0
S8_PV38	254.25	3	0	0	0
S8_PV39	252.93	3.4	0	0	0
S8_PV40	250.94	3.6	0	0	0
S8_CC	249.39	2.6	0	0	0
S8_E	245.82	0	0	0	0
S9_E	241	0	0	0	0
S12_E	228.90	0	0	0	0
S10_E	228.60	0	0	0	0
S11_PV24	231.25	3	0	0	0
S11_E	228.38	0	0	0	0
S13_E	222	0	0	0	0
S13_PV_FICT	225.24	3	0	0	0
S13_PV21	226.94	3	0	0	0
S14_E	217.08	0	0	0	0

[OUTFALLS]

::	Invert	Outfall	Stage/Table	Tide
::Name	Elev.	Type	Time Series	Gate
EXUTÓRIO	214	FREE		NO

[CONDUITS]

::	Inlet	Outlet	Manning	Inlet	Outlet	Init.	Max.		
::Name	Node	Node	Length	N	Offset	Offset	Flow	Flow	
T1	S1_PV23	S1_PV24	48.05	0.011	0	0	0	0	
T2	S1_PV24	S1_PV25	60.6	.011	0	0	0	0	
T3	S1_PV25	S1_PV26	70.75	0.011	0	0	0	0	
T4	S1_PV26	S1_E INÍCIO_CORREGO	71.3	0.011	0	0	0	0	0
T5	S1_E INÍCIO_CORREGO	S2_E	67.03	.03	0	0	0	0	0
T6	S2_E	S4_E	226.80	0.03	0	0	0	0	
T7	S4_E	S3_E	58.24	0.03	0	0	0	0	
T8	S3_PV68	S3_E	270	0.011	0	0	0	0	
T9	S4_PV42	S4_PV_FICT	110	0.011	0	0	0	0	0
T10	S4_PV_FICT	S4_E	110	0.03	0	0	0	0	0
T11	S3_E	S5_E	458.11	0.03	0	0	0	0	
T12	S5_E	NO_BUEIRO_1	27.53	.03	0	0	0	0	0
T13	NO_BUEIRO_1	NO_BUEIRO_2	30	.011	0	0	0	0	0
T14	NO_BUEIRO_2	S6_E	125.82	0.03	0	0	0	0	0
T15	S6_PV43	S6_E	100	0.011	0	0	0	0	
T16	S6_E	S7_E	215.32	0.03	0	0	0	0	
T17	S7_PV11	S7_E	100	0.011	0	0	0	0	
T18	S8_PV38	S8_PV39	30	0.011	0	0	0	0	
T19	S8_PV39	S8_PV40	81	0.011	0	0	0	0	
T20	S8_PV40	S8_CC	100	0.011	0	0	0	0	
T21	S8_CC	S8_E	30.4	0.011	0	0	0	0	
T22	S7_E	S8_E	334.94	0.03	0	0	0	0	
T23	S8_E	S9_E	332.75	0.03	0	0	0	0	
T24	S9_E	S12_E	1033.89	0.03	0	0	0	0	
T25	S12_E	S10_E	43.64	0.03	0	0	0	0	
T26	S10_E	S11_E	31.54	0.03	0	0	0	0	
T27	S11_PV24	S11_E	120	0.011	0	0	0	0	
T28	S13_PV21	S13_PV_FICT	125	0.011	0	0	0	0	0
T29	S13_PV_FICT	S13_E	125	0.011	0	0	0	0	0
T30	S11_E	S13_E	542.76	0.03	0	0	0	0	
T31	S13_E	S14_E	381.84	0.03	0	0	0	0	
T32	S14_E	EXUTÓRIO	184.82	0.03	0	0	0	0	0

[XSECTIONS]

::Link	Shape	Geom1	Geom2	Geom3	Geom4	Barrels
T1	RECT_CLOSED	3.5	3.5	0	0	1
T2	RECT_CLOSED	3.5	3.5	0	0	1
T3	RECT_CLOSED	3.5	3.5	0	0	1
T4	RECT_CLOSED	3.5	3.5	0	0	1
T5	IRREGULAR	SEÇÃO2	0	0	0	1
T6	IRREGULAR	SEÇÃO3	0	0	0	1
T7	IRREGULAR	SEÇÃO3	0	0	0	1
T8	RECT_CLOSED	3	3	0	0	1
T9	CIRCULAR	1.5	0	0	0	2
T10	CIRCULAR	1.5	0	0	0	2
T11	IRREGULAR	SEÇÃO4	0	0	0	1
T12	IRREGULAR	SEÇÃO4	0	0	0	1
T13	RECT_CLOSED	3	3	0	0	3
T14	IRREGULAR	SEÇÃO4	0	0	0	1
T15	CIRCULAR	1.5	0	0	0	2
T16	IRREGULAR	SEÇÃO5	0	0	0	1
T17	CIRCULAR	1.5	0	0	0	2
T18	CIRCULAR	1.5	0	0	0	1
T19	CIRCULAR	1.5	0	0	0	1
T20	CIRCULAR	1.5	0	0	0	1
T21	CIRCULAR	1.5	0	0	0	1
T22	IRREGULAR	SEÇÃO5	0	0	0	1
T23	IRREGULAR	SEÇÃO5	0	0	0	1
T24	IRREGULAR	SEÇÃO6	0	0	0	1
T25	IRREGULAR	SEÇÃO7	0	0	0	1
T26	IRREGULAR	SEÇÃO7	0	0	0	1
T27	CIRCULAR	1.5	0	0	0	2
T28	CIRCULAR	1.5	0	0	0	2
T29	CIRCULAR	1.5	0	0	0	3
T30	IRREGULAR	SEÇÃO7	0	0	0	1
T31	IRREGULAR	SEÇÃO7	0	0	0	1
T32	IRREGULAR	SEÇÃO8	0	0	0	1

[TRANSECTS]

NC 0.03 0.03 0.03
X1 SEÇÃO2 13 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
GR 2.56 -12 2.56 -8 2.53 -6 2.35 -4 1.95 -2
GR 1.8 -1 0.32 0 0 1 1.35 2 2.14 4
GR 2.51 6 2.65 8 2.93 12

NC 0.03 0.03 0.03
X1 SEÇÃO3 10 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
GR 1.62 -8 1.26 -6 1.02 -4 0.81 -2 0.04 0
GR 0 2 0.1 3 0.81 4 1.19 6 2.33 8

NC 0.03 0.03 0.03
X1 SEÇÃO4 7 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
GR 1.03 -4.5 0.76 -3 0.48 -1 0 0 0.32 1
GR 1.03 3 1.56 4.5

NC 0.03 0.03 0.03
X1 SEÇÃO5 8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
GR 1.65 -6 1.25 -4 1.05 -3 0 -2 0.85 0
GR 1.3 2 0.3 4 -0.7 6

NC 0.03 0.03 0.03

X1 SEÇÃO6 9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 GR 2.14 -7.5 1.62 -5 1.2 -3 0.21 -1 0.07 0
 GR 0 1 0.25 3 1.65 5 3.4 7.5

NC 0.03 0.03 0.03
 X1 SEÇÃO7 10 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 GR 2.5 -8 1.72 -6 0.86 -4 0 -2 0.1 -1
 GR 0.17 0 0.2 2 0.97 4 1.73 6 2.5 8

NC 0.01 0.01 0.01
 X1 SEÇÃO8 11 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 GR 2 -8 0.79 -5.5 0.57 -4 0.42 -3 0.26 -1
 GR 0 0 0.41 1 0.31 3 0.43 5 0.52 6.5
 GR 2 10

[LOSSES]

;;Link Inlet Outlet Average Flap Gate
 ;;-----

[TIMESERIES]

;;Name Date Time Value
 ;;-----

;CHUVA TR 2

TR2	00:02	0.529466114
TR2	00:04	0.559054908
TR2	00:06	0.592549025
TR2	00:08	0.630780191
TR2	00:10	0.674831755
TR2	00:12	0.726140305
TR2	00:14	0.786650148
TR2	00:16	0.859055367
TR2	00:18	0.947192537
TR2	00:20	1.056704333
TR2	00:22	1.196216256
TR2	00:24	1.379547851
TR2	00:26	1.630175042
TR2	00:28	1.991083617
TR2	00:30	2.549244215
TR2	00:32	3.507069494
TR2	00:34	5.447501456
TR2	00:36	4.284106983
TR2	00:38	2.956692321
TR2	00:40	2.237028644
TR2	00:42	1.792906158
TR2	00:44	1.494397782
TR2	00:46	1.281240603
TR2	00:48	1.122005055
TR2	00:50	0.998826406
TR2	00:52	0.900857559
TR2	00:54	0.821158871
TR2	00:56	0.755097913
TR2	00:58	0.699471583
TR2	01:00	0.651998404
TR2	01:02	0.611011658
TR2	01:04	0.575266786
TR2	01:06	0.543816542

;CHUVA TR 100

TR100	00:02	0.974714645
TR100	00:04	1.029185799

TR100	00:06	1.090846416
TR100	00:08	1.161227647
TR100	00:10	1.242323875
TR100	00:12	1.336779768
TR100	00:14	1.448174678
TR100	00:16	1.581468247
TR100	00:18	1.74372337
TR100	00:20	1.94532787
TR100	00:22	2.202160765
TR100	00:24	2.539662987
TR100	00:26	3.001052276
TR100	00:28	3.665462829
TR100	00:30	4.693002257
TR100	00:32	6.456299854
TR100	00:34	10.02851609
TR100	00:36	7.886778216
TR100	00:38	5.443089233
TR100	00:40	4.118232539
TR100	00:42	3.300630279
TR100	00:44	2.751094667
TR100	00:46	2.358685373
TR100	00:48	2.065542496
TR100	00:50	1.838778157
TR100	00:52	1.658423518
TR100	00:54	1.511703121
TR100	00:56	1.390088949
TR100	00:58	1.287684286
TR100	01:00	1.200289076
TR100	01:02	1.12483499
TR100	01:04	1.059030872
TR100	01:06	1.001132901

;CHUVA TR 10 ANOS

TR10	00:02	0.68057735
TR10	00:04	0.718610874
TR10	00:06	0.761664315
TR10	00:08	0.810806772
TR10	00:10	0.867430786
TR10	00:12	0.933382951
TR10	00:14	1.011162487
TR10	00:16	1.104232376
TR10	00:18	1.217524161
TR10	00:20	1.358290955
TR10	00:22	1.537620005
TR10	00:24	1.773274993
TR10	00:26	2.095431945
TR10	00:28	2.559344923
TR10	00:30	3.276806248
TR10	00:32	4.507997768
TR10	00:34	7.002234899
TR10	00:36	5.506804114
TR10	00:38	3.800541281
TR10	00:40	2.875483406
TR10	00:42	2.304607015
TR10	00:44	1.920903443
TR10	00:46	1.646910559
TR10	00:48	1.442228702
TR10	00:50	1.283894493
TR10	00:52	1.15796504
TR10	00:54	1.055520104

TR10	00:56	0.970605149
TR10	00:58	0.899102895
TR10	01:00	0.838080727
TR10	01:02	0.785396239
TR10	01:04	0.739449672
TR10	01:06	0.699023432

;CHUVA TR 25 ANOS

TR25	00:02	0.785156323
TR25	00:04	0.829034161
TR25	00:06	0.878703285
TR25	00:08	0.935397077
TR25	00:10	1.000722058
TR25	00:12	1.076808575
TR25	00:14	1.166539881
TR25	00:16	1.273911088
TR25	00:18	1.404611532
TR25	00:20	1.567008853
TR25	00:22	1.773893989
TR25	00:24	2.045760227
TR25	00:26	2.417420507
TR25	00:28	2.952619346
TR25	00:30	3.780327316
TR25	00:32	5.200706363
TR25	00:34	8.078213314
TR25	00:36	6.352991431
TR25	00:38	4.384540595
TR25	00:40	3.317336346
TR25	00:42	2.658737865
TR25	00:44	2.216073581
TR25	00:46	1.899978363
TR25	00:48	1.663844654
TR25	00:50	1.481180471
TR25	00:52	1.335900428
TR25	00:54	1.217713585
TR25	00:56	1.119750415
TR25	00:58	1.037260972
TR25	01:00	0.966862007
TR25	01:02	0.906081907
TR25	01:04	0.853075092
TR25	01:06	0.806436871

;CHUVA TR 50 ANOS

TR50	00:02	0.87481619
TR50	00:04	0.923704598
TR50	00:06	0.979045622
TR50	00:08	1.042213485
TR50	00:10	1.114998164
TR50	00:12	1.199773277
TR50	00:14	1.299751329
TR50	00:16	1.419383646
TR50	00:18	1.56500925
TR50	00:20	1.745951315
TR50	00:22	1.97646142
TR50	00:24	2.279373056
TR50	00:26	2.69347458
TR50	00:28	3.289789729
TR50	00:30	4.212016694
TR50	00:32	5.794594009
TR50	00:34	9.000693984

TR50	00:36	7.078462716
TR50	00:38	4.885227293
TR50	00:40	3.696155095
TR50	00:42	2.962348849
TR50	00:44	2.469135114
TR50	00:46	2.116943829
TR50	00:48	1.85384515
TR50	00:50	1.650321876
TR50	00:52	1.488451775
TR50	00:54	1.356768745
TR50	00:56	1.247618803
TR50	00:58	1.155709589
TR50	01:00	1.077271509
TR50	01:02	1.009550708
TR50	01:04	0.950490851
TR50	01:06	0.898526841

[REPORT]
INPUT NO
CONTROLS NO
SUBCATCHMENTS ALL
NODES ALL
LINKS ALL

[TAGS]

[MAP]
DIMENSIONS 0.000 0.000 10000.000 10000.000
Units None

[COORDINATES]

::Node	X-Coord	Y-Coord
::-----		
S1_PV23	5060.082	7334.844
S1_PV24	4983.771	7233.097
S1_PV25	4866.761	7065.213
S1_PV26	4805.713	6912.591
S1_E_INÍCIO_CORREGO	4826.062	6398.765
S2_E	4851.499	6322.454
S4_PV42	5268.665	6215.619
S4_PV_FICT	5075.344	6154.570
S4_E	4948.160	6088.434
S3_E	4968.509	6012.123
S3_PV68	4408.896	6225.794
S5_E	5004.121	5325.326
NO_BUEIRO_1	5009.208	5279.539
NO_BUEIRO_2	4999.033	5208.316
S6_PV43	5182.179	5228.665
S6_E	4948.160	5035.345
S7_E	4866.761	4709.752
S7_PV11	4663.266	4745.363
S8_PV38	5217.791	4287.499
S8_PV39	5151.655	4312.935
S8_PV40	5029.558	4307.848
S8_CC	4897.286	4302.761
S8_E	4744.664	4190.838
S9_E	4637.829	3687.187
S12_E	4592.042	2196.582
S10_E	4612.392	2125.358
S11_PV24	4820.975	2140.621

S11_E	4637.829	2074.484
S13_E	4500.469	1336.813
S13_PV_FICT	4266.449	1346.988
S13_PV21	4047.692	1382.600
S14_E	4352.935	833.162
EXUTÓRIO	4377.227	736.934

[VERTICES]

::Link	X-Coord	Y-Coord
::-----		

[Polygons]

::Subcatchment	X-Coord	Y-Coord
::-----		
S1	5797.448	8341.308
S2	3963.317	8133.971
S3	3803.828	7017.544
S4	6004.785	6618.820
S5	4649.123	5725.678
S6	5861.244	5725.678
S7	4266.348	4864.434
S8	5558.214	4768.740
S9	5462.520	4082.935
S10	3628.389	3285.486
S11	5382.775	2870.813
S12	4393.939	3333.333
S13	3564.593	1897.927
S14	4888.357	1419.458

[SYMBOLS]

::Gage	X-Coord	Y-Coord
::-----		
PLUV1	2671.451	9043.062

[BACKDROP]

FILE "C:\Users\FREDERICO\Desktop\Mestrado Eng.
 Amb\DISSERTAÇÃO\MAPAS\MXD\DISSERTAÇÃO\Fundo_SWMM.jpg"
 DIMENSIONS 1464.127 0.000 8535.873 10000.000

[PROFILES]

::Name	Links
::-----	
"	" T1 T2 T3