

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E
SANITÁRIA

ANÁLISE MULTITEMPORAL INTEGRADA DA PERMEABILIDADE DO
SOLO NOS BAIROS CATOLÉ E SANDRA CAVALCANTE EM CAMPINA
GRANDE – PB

Karla Azevedo dos Santos
Dissertação de Mestrado

Campina Grande – PB
2015

Karla Azevedo dos Santos

ANÁLISE MULTITEMPORAL INTEGRADA DA PERMEABILIDADE DO SOLO NOS
BAIRROS CATOLÉ E SANDRA CAVALCANTE EM CAMPINA GRANDE – PB

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito parcial para obtenção do título/ de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadores:

Iana Alexandra Alves Rufino e

Mauro Normando Macêdo Barros Filho

Campina Grande – PB
2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- S593a Santos, Karla Azevedo dos.
Análise multitemporal integrada da permeabilidade do solo nos bairros Catolé e Sandra Cavalcante em Campina Grande - PB / Karla Azevedo dos Santos. – Campina Grande, 2015.
55 f. : il.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2015.
"Orientação: Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino, Prof. Dr. Mauro Normando Macêdo Barros Filho".
Referências.
1. Expansão Urbana. 2. Planejamento Urbano. 3. Impermeabilização do Solo. 4. Microdrenagem - Sistema. I. Rufino, Iana Alexandra Alves. II. Barros Filho, Mauro Normando Macêdo. III. Título.

CDU 628.1:711.167(043)


Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Folha de Aprovação

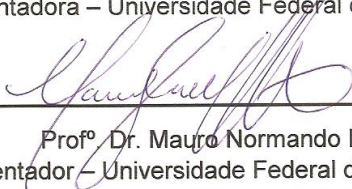
Karla Azevedo Dos Santos

ANÁLISE MULTITEMPORAL INTEGRADA DA PERMEABILIDADE DO SOLO NOS
BAIRROS CATOLÉ E SANDRA CAVALCANTE EM CAMPINA GRANDE – PB

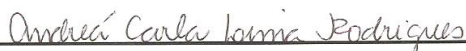
Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como
requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental.



Prof^a. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino
(Orientadora – Universidade Federal de Campina Grande)



Prof^o. Dr. Mauro Normando Barros Filho
(Orientador – Universidade Federal de Campina Grande)



Prof^a. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues
(Examinador interno – Universidade Federal de Campina Grande)



Prof^o. Dr. Fabiano Rocha Diniz
(Examinador externo – Universidade Federal de Pernambuco)

Campina Grande – PB, 26 de março de 2015

Aos meus pais, José Batista e Euda, meus maiores incentivadores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, *Àquele* que tornou esse momento possível, aumentando minha fé diante dos momentos de dificuldade ao longo da caminhada.

Aos meus pais, *José Batista e Euda Azevedo*, meus maiores exemplos, por todo amor e por acharem que tudo que eu faço é sempre incrível! Vocês são tudo para mim!

A *Tiago*, por ser meu parceiro, me animar e por acreditar mais em mim do que eu mesma. Obrigada, meu amor!

Aos *familiares e amigos* que acompanharam meu esforço e torceram por mim.

À professora e minha orientadora, *Iana Alexandra*, pela orientação, confiança, amizade e PACIÊNCIA!

Ao professor e meu orientador, *Mauro Barros*, pela disponibilidade em participar e enriquecer meus conhecimentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental por terem aberto novas janelas de conhecimentos na minha profissional e pessoal.

Aos funcionários dos Laboratórios de Hidráulica I e II, em especial à *Aureazinha* pela calma que transmitia em suas conversas e pelos conselhos e *Valdomiro*, por estar sempre ali para fazer um cafezinho e descontrair todo mundo.

Agradeço muito à *Ester Araújo e Paulo Nóbrega*, pela disponibilização de dados que serviram de aporte para que essa pesquisa acontecesse. Eternamente grata!

Aos amigos que fiz nesses dois anos, em especial, a “galera” de Recursos Hídricos: *Antônio, Artur, Pedro, Ricardo e Tereza Helena*, pela amizade e pela ajuda sempre que precisei. Especialmente à *Bárbara e Tayron* por muitas vezes deixarem de fazer seus trabalhos para me ajudar! A amizade continua! Vocês estão no meu coração!

Agradeço à Secretário de Planejamento da Prefeitura Municipal de Campina Grande pela disponibilização de dados fundamentais à realização deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

E a todos que torceram e me apoiaram, direta ou indiretamente, até aqui.

Muito Obrigada!

ANÁLISE MULTITEMPORAL INTEGRADA DA PERMEABILIDADE DO SOLO NOS BAIROS CATOLÉ E SANDRA CAVALCANTE EM CAMPINA GRANDE – PB

A ocupação intensa e indevida do solo urbano acarreta problemas diretos à população. Um desses problemas é a diminuição do índice de permeabilidade do solo urbano gerado pela pavimentação crescente que sempre acompanha o desenvolvimento urbano de uma região. Em consequência, o sistema de drenagem pode sofrer sobrecargas, uma vez que a capacidade de infiltração do solo é alterada e a pavimentação aumenta a velocidade de escoamento e as vazões de pico. Diante do contexto, o presente trabalho apresenta uma análise integrada da dinâmica de ocupação do solo, em Campina Grande, ao longo de 32 anos e do comportamento do sistema de microdrenagem urbana para quatro cenários: 1982, 2011, 2014 e um cenário simulado respeitando os limites da taxa de impermeabilização de 80% da área total do lote, permitida pelo Código de Obras do Município. O estudo comprovou que, além de o sistema de microdrenagem não ter acompanhado o acelerado crescimento da região, a impermeabilização do solo contribuiu para a sobrecarga do mesmo, acarretando em pontos de alagamento que geram prejuízos e desconfortos à população em períodos de chuva mais concentrada.

Palavras chave: expansão urbana, planejamento urbano, impermeabilização do solo, microdrenagem.

ABSTRACT

MULTITEMPORAL INTEGRATED ANALYSIS OF SOIL PERMEABILITY OF THE NEIGHBORHOODS CATOLÉ AND SANDRA CAVALCANTE IN CAMPINA GRANDE- PB

A disorderly land use entails direct problems to the population. One of these problems is the reduction of the urban soil permeability by the paving increase caused by urban development. Consequently, the drain system may suffer overload since the infiltration capacity of the soil is changed and the flooring increases the flow rate and peak flow. Thus, this work presents an integrated analysis of land use dynamics, in Campina Grande, over 32 years and urban micro drainage system behavior for four scenarios, 1982, 2011, 2014 and a simulated scenario within the limits of waterproofing rate 80% of the total lot area, allowed by the City Construction Code. The study showed that in addition to the microdrainage system has not follow the fast growth of the region, soil sealing contributes to the overhead of the same, resulting in points of flooding that cause problems to the local population in periods of concentrated rain.

Keywords: urban sprawl, urban planning, paving increase, microdrainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Localização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.....	16
Figura 2.2: Campina Grande: perímetro urbano e localização em relação à Paraíba e à região Nordeste.	17
Figura 2.3: Bairros Catolé e Sandra Cavalcante inseridos na Zona de Recuperação Urbana.	18
Figura 2.4: Imagem de um cruzamento importante, próximo ao Shopping Luiza Motta, no bairro do Catolé.	19
Figura 2.5: Localização do cruzamento da Figura 2.4.....	20
Figura 2.6: Delimitação da Bacia Hidrográfica do Riacho do Prado na cidade de Campina Grande e os bairros Catolé e Sandra Cavalcante inseridos nela.	20
Figura 2.7: Diagrama esquemático das etapas metodológicas.	21
Figura 2.8: Recorte dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante em um mosaico aerofotogramétrico de Campina Grande no ano de 1982.	22
Figura 2.9: Imagem aérea de alta resolução da zona urbana de Campina Grande para o ano de 2010.....	23
Figura 3.1: Ocupação do solo dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante para o ano de 1982.	29
Figura 3.2: Ocupação do solo dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante para o ano de 2011	30
Figura 3.3: Ocupação do solo dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante para o ano de 2014.	31
Figura 3.4: Situação dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante, em relação à permeabilidade, nos anos de 1982, 2011 e 2014.....	32
Figura 3.5: Número de domicílios tipo apartamento no bairro do Catolé (2011-2014).....	32
Figura 3.6: Gráfico de intensidade x duração das chuvas para os tempos de retorno.....	34
Figura 3.7: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 46,97mm/h, com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 02 anos.....	35
Figura 3.8: Mapa da situação da bacia 30 minutos após o evento chuvoso.....	36
Figura 3.9: Mapa da situação da bacia 60 minutos após o evento chuvoso.....	37
Figura 3.10: Mapa de inundação para intensidade de chuva de, aproximadamente, 40,00mm/h, com duração de 60 minutos e tempo de retorno de 05 anos.	38
Figura 3.11: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, com duração de 60 minutos e tempo de retorno de 05 anos, após 30 minutos.	39
Figura 3.12: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, 60 minutos após a ocorrência de chuva.....	40

Figura 3.13: Ponto com maior volume de escoamento após 60 minutos.....	41
Figura 3.14: Imagem de trecho alagado no bairro Sandra Cavalcante apontado na Figura 15 após evento chuvoso do dia 05/03/2015.....	42
Figura 3.15: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, com duração de 60 minutos e tempo de retorno de 05 anos, aplicando o índice fixado pelo Código de Obras do Município, 80% de área impermeável por lote.	43
Figura 3.16: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 05 anos, após 30 minutos aplicando o índice fixado pelo Código de Obras do Município, 80% de área impermeável por lote.....	44
Figura 3.17: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, 60 minutos após a ocorrência de chuva, aplicando o índice fixado pelo Código de Obras do Município, 80% de área impermeável por lote.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Taxas de ocupação e índices de aproveitamento segundo o Código de Obras do Município de Campina Grande.	19
Tabela 2.2: Parâmetros necessários para a simulação das sub-bacias no SWMM.....	25
Tabela 2.3: Coeficientes de Rugosidade de Manning.	26
Tabela 2.4: Parâmetros calibrados.	27
Tabela 2.5: Data de ocorrência dos eventos chuvosos calibrados.	27
Tabela 2.6: Valores utilizados na equação de Horton.	27
Tabela 3.1: Tempo de retorno / intensidade / duração dos eventos chuvosos usados na simulação.	34
Tabela 3.2: Resumo da situação das bacias em relação ao escoamento maior que 12,70mm.....	46

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
Capítulo 1 REFERENCIAL TEÓRICO	4
1.1. O PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO SOLO SEM PLANEJAMENTO	4
1.2. ÁREAS IMPERMEÁVEIS	6
1.3. DRENAGEM URBANA	8
1.4. INUNDAÇÕES URBANAS E ALGUNS CONCEITOS.....	9
1.4.1. Sistema de Drenagem	10
1.4.2. Escoamento e condições de projeto	10
1.4.3. Risco e incerteza	11
1.4.4. Medidas de controle.....	11
1.5. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	13
1.6. MODELOS HIDROLÓGICOS	14
Capítulo 2 METODOLOGIA.....	16
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
2.2. ETAPAS METODOLÓGICAS	21
2.2.1. Coleta e processamento de dados	22
2.2.2. Simulação hidrológica dos cenários de ocupação	24
Capítulo 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1. RESULTADOS DO ESTUDO DE OCUPAÇÃO DO SOLO.....	29
3.2. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA PARA OS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DO SOLO	33
3.2.1. Resultados da simulação do cenário atual com Tempo de Retorno de 2 anos	35
3.2.2. Resultados da simulação do cenário atual com tempo de retorno de 5 anos..	38
3.2.3. Resultados da simulação para o cenário com o limite de 80% de impermeabilização.....	42
CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

INTRODUÇÃO

O processo de ocupação sem planejamento está sempre ligado a problemas das mais variadas ordens nas cidades. O descaso com as águas urbanas, a sobrecarga no sistema de macro e microdrenagem, o aumento da impermeabilização do solo através da ausência de controle do uso e ocupação do solo são problemas que acarretam inúmeros transtornos à população.

A substituição de áreas naturais por pavimentos que apresentam baixo índice de permeabilidade acarreta consequências diretas no escoamento pluvial. Há perda da infiltração, ocasionando no aumento da quantidade e velocidade do escoamento superficial das águas, culminando nos cenários de enchentes que vemos de forma recorrente nas grandes cidades brasileiras.

Verifica-se que já existem perspectivas, a nível nacional, de instrumentos que orientem o destino das águas urbanas, como a Lei 9.433/97 (também conhecida como a “Lei das Águas”) e a Lei 11.445 - que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico - entretanto, ainda existem lacunas a níveis municipais que não permitem, de forma eficaz, a integração das bacias hidrográficas e das águas urbanas em seus instrumentos de planejamento. Apesar de servirem de aporte para o estabelecimento de normas e diretrizes, tais necessidades não são supridas com os Códigos de Obras e Planos Diretores, sendo indispensável a implementação de leis específicas para a problemática da gestão das águas urbanas.

Nesse sentido, foi escolhida a cidade de Campina Grande/PB como estudo de caso por se tratar de uma urbe em crescimento. Segundo dados do IBGE, em vinte anos, entre 1991 e 2010, a população aumentou de 307.468 para mais de 400.000 habitantes, respectivamente, e, entre os anos de 2007 a 2010, aumentou quase 13 mil habitantes. É importante observar que este crescimento vem ocorrendo sem o adequado planejamento urbano (como na maioria das cidades brasileiras), apesar de a cidade possuir instrumentos de ordenamento territorial.

Em períodos de chuva, observam-se falhas no sistema de drenagem de muitos bairros da cidade, sempre causando transtornos à população. A percepção dos problemas de drenagem é de senso comum da população, principalmente após

eventos chuvosos mais intensos. Entretanto, estudos recentes no âmbito do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), demonstram que o sistema de macrodrenagem artificial de Campina Grande tem capacidade de suporte suficiente para o regime pluviométrico da cidade e para seu atual estado de uso e ocupação do solo (TUSYUGUCHI, 2015).

Neste contexto, percebe-se que a microdrenagem urbana não funciona de forma eficiente em alguns locais da cidade, ou, em alguns casos, ela é simplesmente inexistente. Dentre estes locais, os bairros do Catolé e Sandra Cavalcante são apresentados neste documento como objetos de estudo.

Os bairros são, predominantemente, residenciais, apesar da incidência de importantes equipamentos urbanos de grande porte, tais quais: terminal interurbano de passageiros (rodoviária), *shopping* center, grandes escolas, clubes, parque, dentre outros, configurando-os como duas regiões importantes da cidade. Além de conhecidos por seus importantes equipamentos urbanos, estes bairros são destacados pelos pontos de alagamento em diversas ruas e cruzamentos importantes dos bairros.

Estes bairros além de contíguos e pertencentes a uma mesma bacia hidrográfica, apresentam uma alta densidade populacional urbana, 6.782 hab./km² e 4.959 hab./km², respectivamente (baseado em dados do IBGE, 2010) e uma intensa ocupação do solo urbano, com tendência à verticalização da forma de moradias, com muitas superfícies impermeáveis.

Tal configuração urbana tem acarretado, em alguns pontos dos dois bairros, alagamentos frequentes após eventos chuvosos. Adicionalmente, a topografia da área que é extremamente plana (os dois bairros juntos configuram uma microbacia de drenagem) e há vários problemas de obstrução e funcionamento no sistema de microdrenagem convencional.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo principal realizar uma análise multitemporal integrada da drenagem e da dinâmica de ocupação do solo nos bairros Catolé e Sandra Cavalcante na cidade de Campina Grande-PB. Tendo como objetivos específicos:

- Avaliar a dinâmica da drenagem urbana a partir de diagnósticos do uso e ocupação do solo passado, atual e futuro;

- Avaliar os limites máximos aceitáveis de impermeabilização do solo urbano, baseados em simulações da capacidade de drenagem, para os cenários estabelecidos;
- Propor indicadores para futuros zoneamentos e/ou planos diretores.

Após a introdução, que busca familiarizar o leitor com o caso de estudo, bem como os objetivos a serem alcançados com esse trabalho, o presente estudo está dividido em quatro capítulos, a saber:

Capítulo I – Referencial Teórico: neste capítulo é dada ênfase ao processo de expansão urbana no Brasil e no mundo, bem como a drenagem urbana. Trata também dos Sistemas de Informações Geográficas e dos Modelos de Simulação Hidrológica.

Capítulo II – Metodologia: apresentação do caso de estudo e os pontos principais a serem tratados no trabalho, como o processo de ocupação não planejada que causa o aumento da impermeabilização do solo e como o sistema de microdrenagem está se comportando nos bairros. São elencadas, também, as etapas metodológicas para que fosse possível a realização do trabalho, bem como os instrumentos utilizados, como Sistema de Informação Geográfica e um Modelo de Simulação Hidrológica.

Capítulo III – Resultados e Discussões: consiste em apresentar os dados gerados através da pesquisa e realizar uma análise integrada dos resultados de ocupação do solo e drenagem.

Capítulo IV – Conclusões: são apresentadas as conclusões segundo os objetivos do trabalho e são feitas recomendações que poderão servir para trabalhos futuros.

1.1. O PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO SOLO SEM PLANEJAMENTO

O crescimento acelerado da população urbana em cidades de países em desenvolvimento é um tema recorrente, vide: ALMEIDA, 2003; KAUFFMANN, 2003; MARICATO, 2003; POLIDORI, 2004; ROLNIK *et al.*, 2011; SOUZA, 2009. Tal fato acarreta em uma série de impactos – ambientais, sociais, econômicos e culturais – que interferem diretamente no cotidiano da população. De acordo com Cohen (2006), no começo do século XX, apenas 16 cidades no mundo e, a grande maioria delas, em países industrialmente desenvolvidos, continham 1 milhão de habitantes ou mais. Ainda segundo Cohen (2006), quase 400 cidades possuem esta quantidade de habitantes hoje, e, aproximadamente, 70% delas estão em países em desenvolvimento.

A Ásia, segundo o United Nations Human Settlements Programme (2004), possui mais da metade das cidades com mais de 10 milhões de habitantes e suas populações crescem a taxas exorbitantes; muitas cidades dobram suas populações a cada 15 ou 20 anos. Um exemplo é a cidade de Dakar, que hoje é considerada a nona maior cidade em aglomerados urbanos, com 12,5 milhões de habitantes e que, na década de 1950, possuía apenas 417 mil habitantes.

No Brasil, o processo de ocupação urbana não apresentou grande evolução até o século XIX, começando a apresentar significativo crescimento a partir da segunda metade do século XX (KAUFFMANN, 2003) com o incentivo à industrialização e a construção de uma infraestrutura industrial, estimulando o movimento de migração do campo para a cidade e contribuindo para o aumento das regiões periféricas, que passaram a crescer mais do que os núcleos urbanos, bem como acarretando o aumento da densidade populacional, ocupação do solo e exclusão social (MARICATO, 2003). Para Kauffmann *et al.* (2005), este cenário reafirma a incapacidade da política e planejamento urbano de resolver, de forma eficiente, os impactos negativos da ação antrópica no meio ambiente.

Durante muito tempo, a legislação urbanística elaborou parâmetros que não contemplavam a maioria da população, privilegiando as áreas centrais e nobres das cidades, desconsiderando as especificidades tipológicas dos assentamentos informais, ausentes do controle normativo e carentes dos serviços básicos de infraestrutura, contribuindo assim, também, para a degradação ambiental da paisagem urbana e comprometimento da qualidade de vida. Todavia, sabe-se que o crescimento da população e, em consequência, a expansão urbana, são processos naturais, de difícil controle.

O planejamento do crescimento das cidades é imprescindível para a garantia da qualidade de vida da população, sobretudo, no tocante aos recursos hídricos, uma vez que os impactos sobre as águas urbanas está atrelado ao forte adensamento urbano, além de questões climáticas e as práticas inconsequentes da população, como por exemplo: o despejo de esgoto, sem tratamento, nos rios; depósitos de resíduos sólidos, que contaminam as águas superficiais e subterrâneas; a ocupação do solo urbano sem controle do impacto sobre o sistema hídrico; dentre outras (TUCCI, 2008).

Para Polidori (2004), os encarregados dos planejamentos urbano e ambiental estão sendo desafiados cada dia mais a integrar dados urbanos e do ambiente natural para compreender as cidades e planejar o futuro. A apropriação desordenada e desenfreada do solo urbano, além de causar danos ao meio ambiente através da ocupação de áreas de preservação pela população mais desfavorecida financeiramente, é um dos impactos que traz danos mais visíveis à população, uma vez que a ocupação sem planejamento condiciona a ocupação de áreas sem infraestrutura adequada, gerando desigualdade no acesso aos recursos hídricos de qualidade para o bem-estar humano e o desenvolvimento sócio-econômico (GRANDE *et al.* 2014). Segundo os autores a percepção dos riscos ambientais não é tão óbvia, sobretudo por aqueles que estão longe de tais problemas.

Todo este contexto tem como alicerce o planejamento e gestão urbanos cujo papel fundamental é orientar a ocupação do solo através dos parâmetros urbanísticos que medem aspectos relevantes da densidade e paisagem urbanas (gabarito, afastamento, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, taxa de permeabilidade, etc.), agregados ao zoneamento urbano. Segundo Souza (2003), os

Planos Diretores tiveram maior força entre os anos de 1980 e 1990 aqui no Brasil e é a maneira como estes parâmetros condicionantes da ocupação são regulamentados e o uso que deles for feito que irá mostrar se a reforma será benéfica ou maléfica. Para o autor, apesar de os índices urbanísticos serem imprescindíveis para o planejamento urbano, os instrumentos que servirão ao gestor urbano são muitos e de diversas naturezas, como os tributos, por exemplo, o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU).

1.2. ÁREAS IMPERMEÁVEIS

Superfícies impermeáveis, de acordo com Arnold e Gibbons (1996), são quaisquer materiais que impedem a infiltração da água no solo. Ainda segundo os autores, as superfícies impermeáveis são características de áreas urbanas, entretanto, demorou muito tempo até serem considerados como indicadores ambientais que, se estudados no âmbito do planejamento urbano, solucionariam diversos problemas ambientais urbanos complexos, em especial, a qualidade dos recursos hídricos.

Para Schuler (1994), as áreas impermeáveis podem ser divididas em dois componentes: coberturas (telhados e lajes) e sistemas viários (ruas, calçadas, estacionamentos, etc.), e, segundo Alley e Veenhuis (1983), ainda pode-se dividir as áreas permeáveis em conectadas e não-conectadas. As áreas conectadas direcionam o fluxo para algum sistema de drenagem e, posteriormente, drená-lo para um corpo d'água, gerando grandes volumes de escoamento, diminuindo a possibilidade de evaporação e infiltração. As áreas não-conectadas são superfícies impermeáveis cercadas por áreas permeáveis, que favorece a infiltração, diminuindo o escoamento.

De acordo com Esteves (2006), o conhecimento das áreas impermeáveis é importante tanto no uso como parâmetro para modelos hidrológicos, como para ser usado como indicador da qualidade dos recursos hídricos, uma vez que está relacionada a impactos na qualidade e na quantidade da água, além de impactos físicos e ecológicos (Schuler, 1994, Arnold e Gibbons, 1996).

É importante ressaltar a contribuição do desenvolvimento urbano, sem planejamento, no aumento da impermeabilização do solo, gerando grandes impactos negativos ao ciclo hidrológico, exercendo total influência no desempenho das funções do sistema de drenagem. Segundo Ramos (2009), a urbanização de áreas extensas leva a uma redução brutal nos valores da infiltração e a um aumento dos picos de cheias através do maior escoamento.

Este processo de ocupação indiscriminada do solo urbano tem como consequência, dentre outros impactos ambientais negativos: i) a sobrecarga no sistema de drenagem urbana, através do aumento da impermeabilização do solo e diminuição da infiltração, resultando em grandes prejuízos à população; ii) a remoção da vegetação e a substituição de áreas permeáveis por superfícies impermeáveis resultam em alterações nas características do hidrograma de escoamento superficial (GOONETILLEKE *et al.*, 2005); de acordo com Esteves (2006) o aumento do escoamento é observado mesmo em precipitações de baixa intensidade; iii) a escassez e diminuição da qualidade dos recursos hídricos que, segundo Tucci (2001), é um dos graves problemas neste processo inadequado de expansão urbana, pois compromete as áreas de mananciais urbanas, que vêm sendo ocupadas de maneira clandestina pela população de baixa renda, e põe em risco a sustentabilidade hídrica das cidades, contribuindo para o aumento da impermeabilização do solo urbano e, em consequência, causando uma sobrecarga no sistema de drenagem urbana; iv) o acúmulo de resíduos sólidos nos elementos do sistema de drenagem (canais, bueiros, bocas de lobo, etc.), obstruindo-os e, com isto, ocasionando seus transbordamentos em períodos de chuva, gerando grandes transtornos à população; e v) o aumento da densidade urbana em determinadas zonas, principalmente as consideradas de baixo valor especulativo imobiliário da cidade. Este último é, entretanto, segundo Acioly e Davidson (2011), um assunto controverso que pode gerar impactos positivos e/ou negativos no desenvolvimento urbano, maximizando a infraestrutura de uma cidade ou, por outro lado, causando uma sobrecarga da mesma.

Para Cohen (2006), uma vez aglomerados em uma região com infraestrutura consolidada, os danos causados ao meio ambiente serão minimizados.

Um dos graves problemas neste processo inadequado de expansão urbana é o comprometimento das áreas de mananciais que vêm sendo ocupadas de maneira

clandestina pela população de baixa renda, pondo em risco a sustentabilidade hídrica das cidades, contribuindo para o aumento da impermeabilização do solo, causando uma sobrecarga no sistema de drenagem urbana, devido à produção de maior escoamento.

1.3. DRENAGEM URBANA

A drenagem é um elemento do sistema hídrico urbano que consiste na rede coletora da água que se origina devido à precipitação sobre as superfícies urbanas, o seu tratamento e o retorno aos rios (TUCCI, 2005).

Para Pompêo (2000), a drenagem urbana já não é um assunto exclusivamente técnico, tendo em vista a evidente problemática ambiental neste aspecto. Segundo o autor, faz-se urgente um olhar que incorpore ao problema das cheias, uma dinâmica social.

Para Diniz (2015), gerir a drenagem urbana significa fazer face às questões socioeconômicas, políticas, tecnológicas e ambientais próprias ao fenômeno urbano.

Segundo a Lei do Saneamento Básico (Brasil, 2007), a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas são um conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas;

Para Ramos (2009), o sistema de drenagem artificial e a intervenção dos canais fluviais também contribuem para um maior escoamento devido à diminuição da rugosidade da superfície. Há a contribuição do transporte de sedimentos da fase de construção (movimentação de solos: terraplanagens, taludes e aberturas de fundações) que são depositados no canal e diminuem a capacidade de vazão, como também depois da construção e da colocação de asfalto nas ruas (RAMOS, 2009).

Segundo Tucci (2005), a água que infiltrava, passa a escoar através das superfícies impermeáveis, condutos e canais, exigindo maior capacidade de escoamento.

Para Meierdiercks *et al* (2010), o planejamento urbano deveria contemplar mais a drenagem, uma vez que a urbanização traz consequências importantes na elaboração e nas alterações das redes de drenagem.

Segundo Brun (2006), a gestão das águas urbanas tem o caráter de uma abordagem territorial, devendo ser coordenada no âmbito setorial do ordenamento urbano. Diniz (2015) reforça que as diretrizes de desenvolvimento territoriais precisam respeitar os condicionantes hidrológicos, estabelecendo um vínculo colaborativo entre planejamento e controle urbano, manejo de águas e de controle de riscos/desastres, pensando de maneira articulada.

Para Ramos (2009), o sistema de drenagem artificial e a intervenção dos canais fluviais também contribuem para um maior escoamento devido à diminuição da rugosidade da superfície. Há a contribuição do transporte de sedimentos da fase de construção (movimentação de solos: terraplanagens, taludes e aberturas de fundações) que são depositados no canal e diminuem a capacidade de vazão, como também, depois da construção e da colocação de asfalto nas ruas.

Segundo Tucci (2005), a água que infiltrava passa a escoar através das superfícies impermeáveis, condutos e canais, exigindo maior capacidade de escoamento.

1.4. INUNDAÇÕES URBANAS E ALGUNS CONCEITOS

As inundações ocorrem quando as águas de rios, riachos, galerias pluviais, saem do leito de escoamento pela insuficiência do sistema de transporte e ocupam áreas utilizadas pela população (TUCCI, 2003). De acordo com Tucci (2001), as inundações podem ocorrer de duas formas:

Enchentes em áreas ribeirinhas, quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita à inundação. Este tipo de inundação é um processo natural, que gera prejuízos à população devido à ocupação do leito; e

Enchentes devido à urbanização, a alta impermeabilização do solo aumenta a velocidade do escoamento superficial em detrimento do escoamento subterrâneo. A

forma como é planejado o sistema de drenagem está estreitamente ligado a este tipo de inundação.

Para Filho *et al* (2000), as enchentes não são, necessariamente, sinônimos de catástrofes, mas um fenômeno natural dos rios que geram prejuízos à população à medida que a mesma não respeita seus limites naturais de inundação.

Para Pompêo (2000), as enchentes provocadas pela urbanização devem-se a fatores, como: o excessivo parcelamento do solo e conseqüente impermeabilização de grandes superfícies, a ocupação de áreas ribeirinhas tais como várzeas, áreas de inundação frequente e zonas alagadiças, a obstrução de canalizações por detritos e sedimentos e também as obras de drenagem inadequadas.

Segundo Tucci (2003), alguns conceitos básicos sobre inundação são importantes para se aplicar as medidas de controle, a saber:

1.4.1. Sistema de Drenagem

De acordo com Tucci (2003), os sistemas de drenagem são definidos:

- na fonte: quando o escoamento ocorre no lote, condomínio, parques, passeios.
- a microdrenagem: é projetado para atender precipitações com risco moderado, pois trata-se de um sistema de condutos pluviais ou canais a nível de loteamento ou de rede primária urbana; e
- a macrodrenagem: envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem e são projetados para atender precipitações superiores as da microdrenagem.

1.4.2. Escoamento e condições de projeto

Ainda de acordo com Tucci (2003), para efeito de projeto, devem ser consideradas duas medidas de controle: i) controles de jusante: são condicionantes

na rede de drenagem que modificam o escoamento a montante e visam à redução da vazão de um rio independente da capacidade local de escoamento, por exemplo, reservatórios; ii) controles locais: define a capacidade do rio em transportar uma quantidade de água, ou seja, quanto maior a capacidade de escoamento, menor o nível da água.

1.4.3. Risco e incerteza

O risco de uma vazão, de acordo com Tucci (2003), é a probabilidade da ocorrência de um evento com um valor igual ou superior num ano qualquer e o Tempo de Retorno representa o tempo, em média, da possibilidade do evento ocorrer novamente. Ambos são calculados com base nas series históricas observada no local.

Por sua vez, a incerteza pode estar presente nos erros de coleta de dados, definição de parâmetros, caracterização de um sistema, nas simplificações de um modelo e no processamento das informações para definição de um projeto (TUCCI, 2003)

1.4.4. Medidas de controle

Na definição de Tucci (2003), as medidas de controle são do tipo estrutural, que modificam o sistema fluvial e as não-estruturais, quando o homem passa a conviver com as enchentes.

Segundo Kawatoko (2012), a necessidade de implantar dispositivos estruturais de medidas de controle de drenagem aumentou devido aos problemas relacionados ao planejamento urbano. Existem diversas formas de implantação de tais medidas, a saber: cisternas, pisos permeáveis, telhados verdes, reservatórios de retenção, dentre outros.

As medidas não-estruturais de drenagem, segundo Filho *et. al* (2000), são de caráter preventivo e podem ser agrupadas em: i) regulamento de uso da terra; ii)

construções à prova de enchentes; iii) seguro de enchentes; iv) previsão e v) alerta de inundações. Logo, esse tipo de medida atua como formas de adaptar à população às alterações inerentes ao meio ambiente (KAWATOKO, 2012), como é o caso das enchentes.

No Brasil, ainda segundo Kawatoko (2012), tem-se tentado aplicar medidas de incentivo ambiental ao IPTU. Um exemplo citado é o “IPTU-Ecológico”, utilizado em cidades como Porto Alegre, Recife e Manaus. Nesses locais, o IPTU-Ecológico é calculado em relação à arborização dos lotes e a presença de áreas florestais, no entanto, não considera diferentes tipos de impermeabilização dos terrenos ou o armazenamento da água de chuva.

É evidente a necessidade e a importância dessa interdisciplinaridade na implantação das práticas de desenvolvimento sustentável. Os indicadores de sustentabilidade, como medidas não-estruturais, podem representar uma contribuição importante, sobretudo, àqueles índices que relacionam parâmetros urbanísticos aos recursos naturais, como por exemplo, a Taxa de Impermeabilização do solo (TI) (KAUFFMANN *et al.*, 2005).

Segundo Nóbrega (2012), a concepção dos sistemas de drenagem atuais, visa o controle próximo às fontes, reduzindo os riscos de inundações para a população. Para o autor, a aplicação de medidas sustentáveis na gestão de águas pluviais tem como objetivo reduzir os picos de enchente, retardar os volumes escoados e ainda melhorar a paisagem urbana e recuperar o ambiente natural dentro das cidades.

Para Downs e Gregory (2004), a intervenção humana nos sistemas fluviais vem se modificando ao longo do tempo, culminando quase sempre na tentativa de reverter o que foi feito ao longo dos anos como medida estrutural de desenvolvimento sem o correto planejamento como. Por exemplo, por muitos anos a canalização dos rios era a única solução para a construção de cidades. Hoje, essa solução não é a mais recomendada. Logo, percebemos a preocupação atual em buscar a conservação, reordenamento das áreas ribeirinhas e projetos sustentáveis do uso dos rios, através do planejamento integrado de bacias hidrográficas e técnicas de renaturalização.

De acordo com Fresno *et al.* (2005), os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS), são uma forma alternativa e complementar ao tratamento convencional das águas pluviais urbanas, ajudando os sistemas já existentes.

Segundo Fresno *et. al* (2005), estes sistemas sustentáveis possuem classificações com relação ao funcionamento, o tipo de sistema implementado e ao lugar de aplicação. São elas:

- Medidas preventivas: planos e medidas educativas;
- Sistemas de infiltração e controle na origem: superfícies permeáveis e poços de reserva;
- Sistemas de transporte permeável: drenos filtrantes, sarjetas verdes; e
- Sistemas de tratamento passivo: tanques de retenção, depósitos de detenção.

O objetivo principal dos SUDSs consiste em procurar manter o ciclo natural do ambiente mais próximo possível de como era antes da modificação do espaço pelo ambiente construído e impermeável. Também se propõe a realizar a recarga dos aquíferos e a recuperação dos espaços naturais para uso da população.

1.5. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

SIG é um sistema que trata informações geográficas reais, modeladas através de elementos gráficos definidos de acordo com dois tipos de dados: o espacial e o alfanumérico. É feito o tratamento computacional de dados geográficos e a geometria e os atributos dos dados georeferenciados são armazenados em um banco de dados (CÂMARA, 2002);

De acordo com Batista (2005), os componentes de um SIG são: i) interface com o usuário; ii) entrada e integração de dados; iii) funções de processamento gráfico e de imagens; iv) visualização e plotagem; vi) armazenamento e recuperação de dados que são organizados em forma de um banco de dados geográficos).

Ainda segundo Batista (2005), esses componentes se relacionam de forma hierárquica, do nível mais próximo ao usuário (interface homem-máquina e a

operação e controle do sistema); do nível intermediário através do processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída); até o nível interno, o sistema de gerencia de banco de dados geográficos que oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

O uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) vem sendo aplicado, como uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisões espaciais em diversas etapas do processo de planejamento urbano, tais como: i) no zoneamento da cidade, regulamentando o uso e ocupação do solo urbano, prevendo e caracterizando seu crescimento, por zonas, e resguardando áreas de interesse ambiental; ii) na definição das áreas de risco, como os locais susceptíveis à alagamentos, deslizamentos de terra, bem como outros danos causados nos períodos de eventos extremos; iii) em setores, como, segurança, transportes, educação, saúde, dentre outros, é cabível o uso do SIG em seus planejamentos; iv) otimização do emprego de cadastros, plantas de valores e divisão de bairros, bem como ao lançamento justo de tributos, através da precisão do armazenamento de dados cadastrais (SOUZA, 2009).

Todas essas aplicações são possíveis, sobretudo, pela disponibilidade dos SIGs de baixo custo (CÂMARA, 2002), além de manipularem e analisarem os dados espaciais de forma mais intuitiva do que a forma convencional apresentada em relatórios e gráficos (CRUZ *et. al*,2005)

1.6. MODELOS HIDROLÓGICOS

Para Tucci (1998), a modelagem hidrológica é uma das ferramentas desenvolvidas pela ciência, que melhor entende e representa o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes daquelas observadas na bacia.

Segundo Macsimovic (2001), a modelagem em drenagem urbana pode ser usada para vários fins, tais como: i) a avaliação global da resposta de captação na bacia, como sendo a parte estratégica do planejamento de uma rede detalhada, auxiliando o desenho dos elementos do sistema de drenagem; ii) a avaliação do nível de poluição na bacia; iii) o gerenciamento operacional da bacia; e iv) a análise e o controle em tempo real das interações entre os sub-sistemas. Para o autor, o

tipo de modelo a ser empregado depende do objetivo da modelagem e da disponibilidade de dados e da tecnologia.

Um modelo usado na simulação da drenagem urbana é o Storm Water Management Model (SWMM) (ROSSMAN, 2010). Trata-se de um *software* americano, desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) e é utilizado no planejamento, análise e projetos relacionados a: i) escoamento de águas pluviais; ii) esgotos combinados; iii) esgotos sanitários e em outros sistemas de drenagem urbana ou não-urbana. É um modelo dinâmico de simulação chuva-vazão utilizado tanto para um evento único, quanto para eventos contínuos.

Segundo seu desenvolvedor, desde sua criação, o SWMM tem sido utilizado em muitos estudos de águas pluviais e esgoto em todo mundo (Anderson, 1980; Collodel, 2009; Arthur, 2010; Nóbrega, 2012).

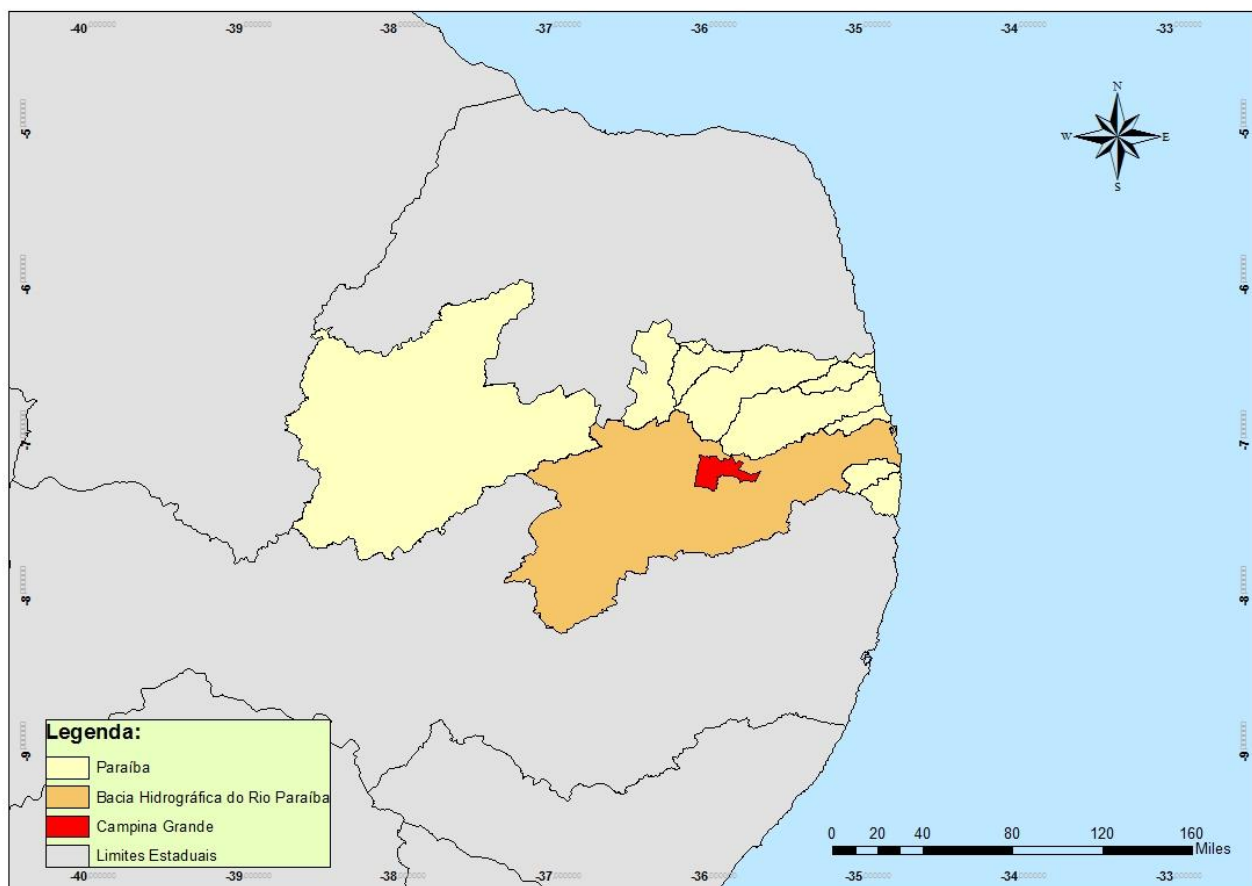
Para Anderson (1980), a utilização das técnicas de modelagem do SWMM, possibilita a análise detalhada de um grande número de alternativas que não seria possível na etapa de observação. Este nível de detalhe, segundo o autor, permite a escolha de programas de controle apropriados, que levam em conta seus custos e sua eficácia.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba (Figura 2.1), possui uma área de 20.071,83 km² (PERH-PB, 2006), o que representa 35,56% do território paraibano. A mesma apresenta, ainda, quatro subdivisões, a saber: sub-bacia do rio Taperoá; Alto, Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba.

A cidade de Campina Grande está inserida entre as regiões do Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba, localizada a 7°13'50" Sul do Equador e 35°52'52" Oeste de Greenwich; possui uma área territorial de 594,182 km² e população estimada em 402.912 habitantes (IBGE, 2014).

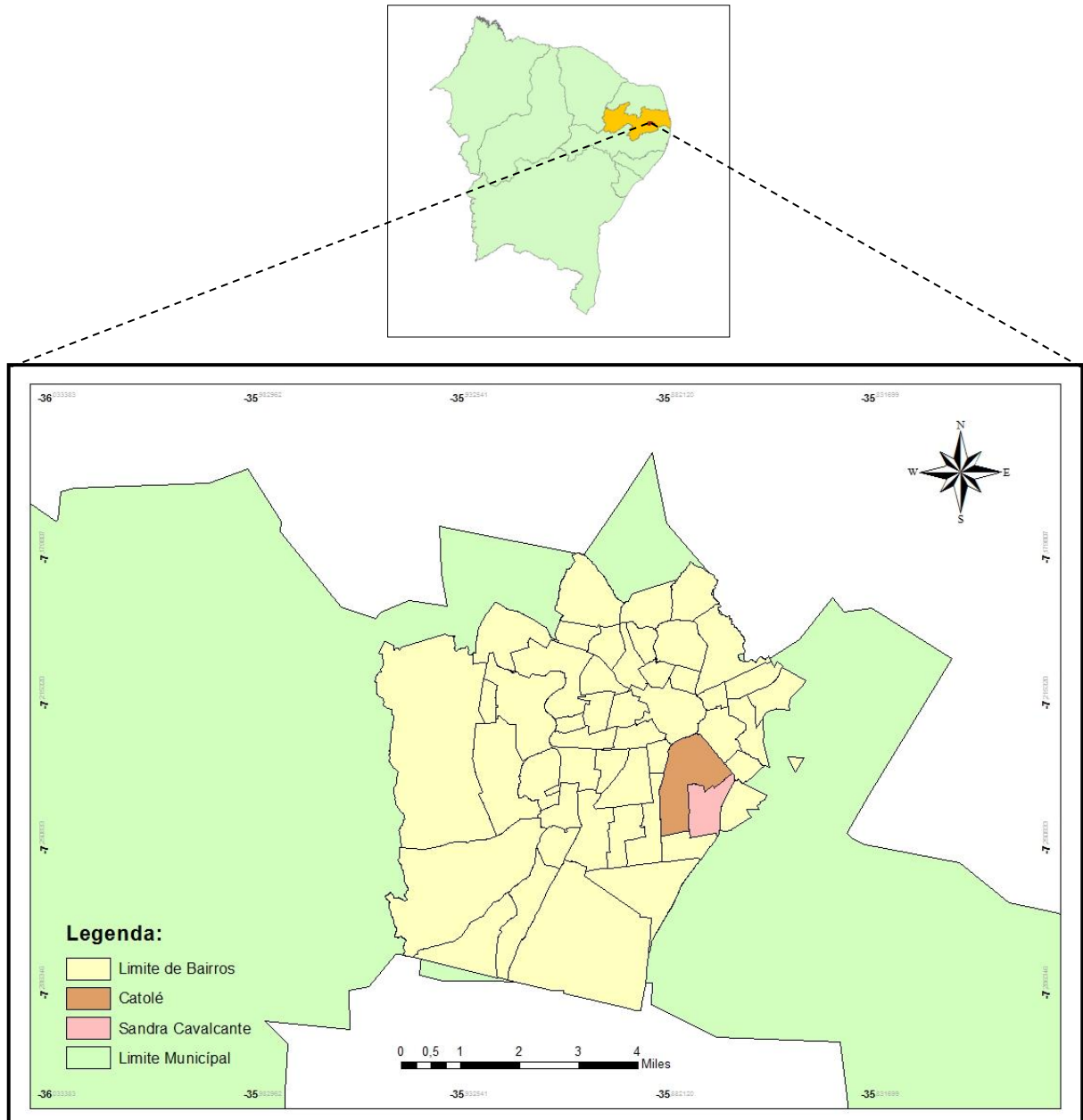
Figura 2.1: Localização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba



Fonte: adaptado AESA (IBGE, 2007)

Os bairros Catolé e Sandra Cavalcante (Figura 2.2) encontram-se na Zona Sul da cidade e, apesar de predominantemente residenciais, abrigam equipamentos urbanos de grande porte, como dito anteriormente.

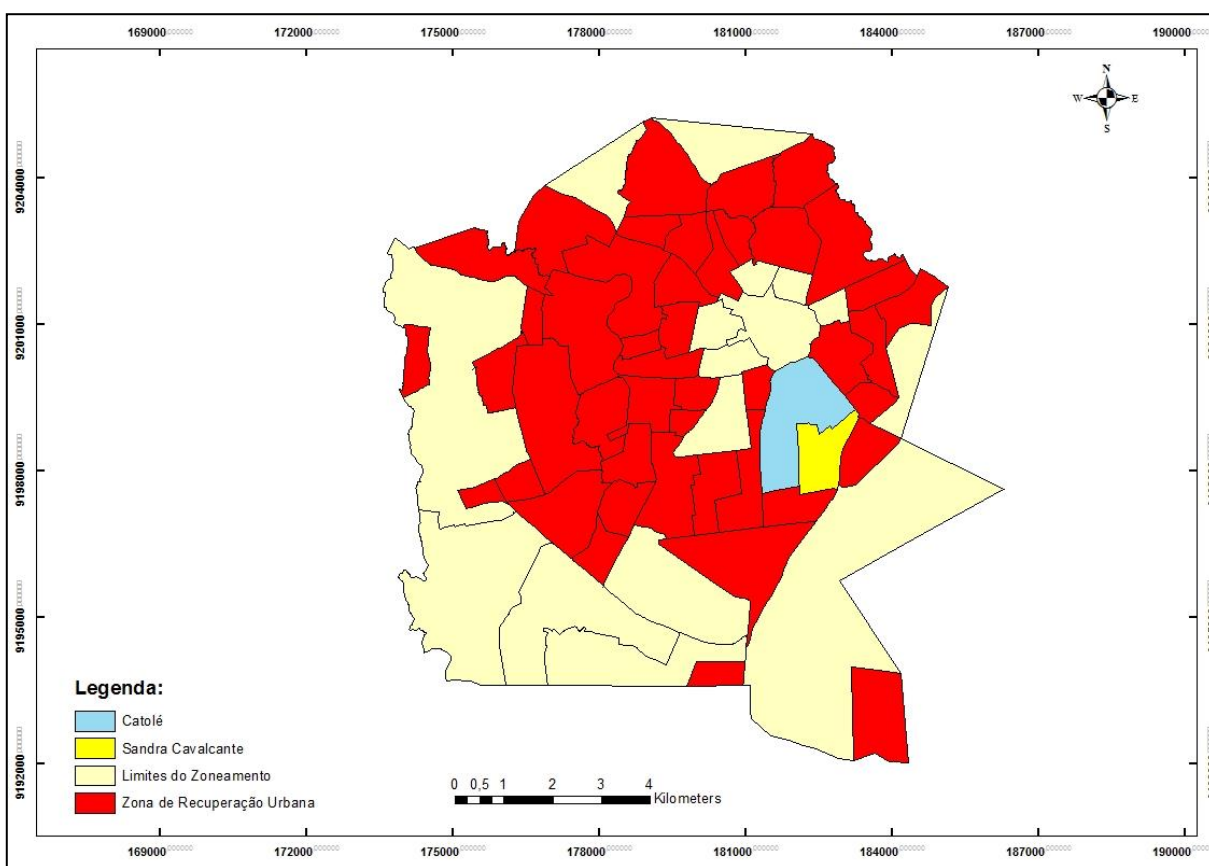
Figura 2.2: Campina Grande: perímetro urbano e localização em relação à Paraíba e à região Nordeste.



Fonte: adaptado IBGE, 2010.

De acordo com o Plano Diretor de Campina Grande (2006), os dois bairros se encontram na Zona de Recuperação Urbana (Figura 2.3), caracterizando-se “pelo uso predominantemente residencial, com carência de infra-estrutura e equipamentos públicos e incidência de loteamentos irregulares e núcleos habitacionais de baixa renda” (Lei Complementar nº 003, de 09 de outubro de 2006 – Plano Diretor Municipal) e, segundo o Código de Obras do Município (2013), têm Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento (ou Coeficiente de Aproveitamento) fixados segundo o Tabela 2.1.

Figura 2.3: Bairros Catolé e Sandra Cavalcante inseridos na Zona de Recuperação Urbana.



Fonte: adaptado PMCG (2006)

Dentre os problemas que afetam a população que reside nos bairros Catolé e Sandra Cavalcante, os pontos de alagamento têm gerado, de forma recorrente, transtornos à população local, como o trânsito lento em vias de alto tráfego de veículos (Figuras 2.4 e 2.5).

Tabela 2.1: Taxas de ocupação e índices de aproveitamento segundo o Código de Obras do Município de Campina Grande.

		ZONA DE EXPANSÃO URBANA	ZONA DE QUALIFICAÇÃO URBANA	ZONA DE OCUPAÇÃO DIRIGIDA	ZONA DE RECUPERAÇÃO URBANA	ZONA ESPECIAL DE PRESERVAÇÃO
TAXA DE OCUPAÇÃO MÁXIMA	Uso residencial	60%	60%	60%	60%	60%
	Outros usos	75%	75%	70%	75%	80%
ÍNDICE DE APROVEITAMENTO MÁXIMO	Uso residencial	3	5,5	1	5,5	2
	Outros usos	2	5,5	1	4	3

Fonte: adaptado de PMCG (2013)

Os bairros estão inseridos na Bacia Hidrografia do Riacho do Prado (Figura 2.6), que possui 37,15 km² de área e abrange outros importantes bairros de Campina Grande, como: Liberdade, Cruzeiro, parte do Centro e José Pinheiro; além de outros municípios, como: Lagoa Seca, Puxinanã e Queimadas.

Figura 2.4: Imagem de um cruzamento importante, próximo ao Shopping Luiza Motta, no bairro do Catolé.



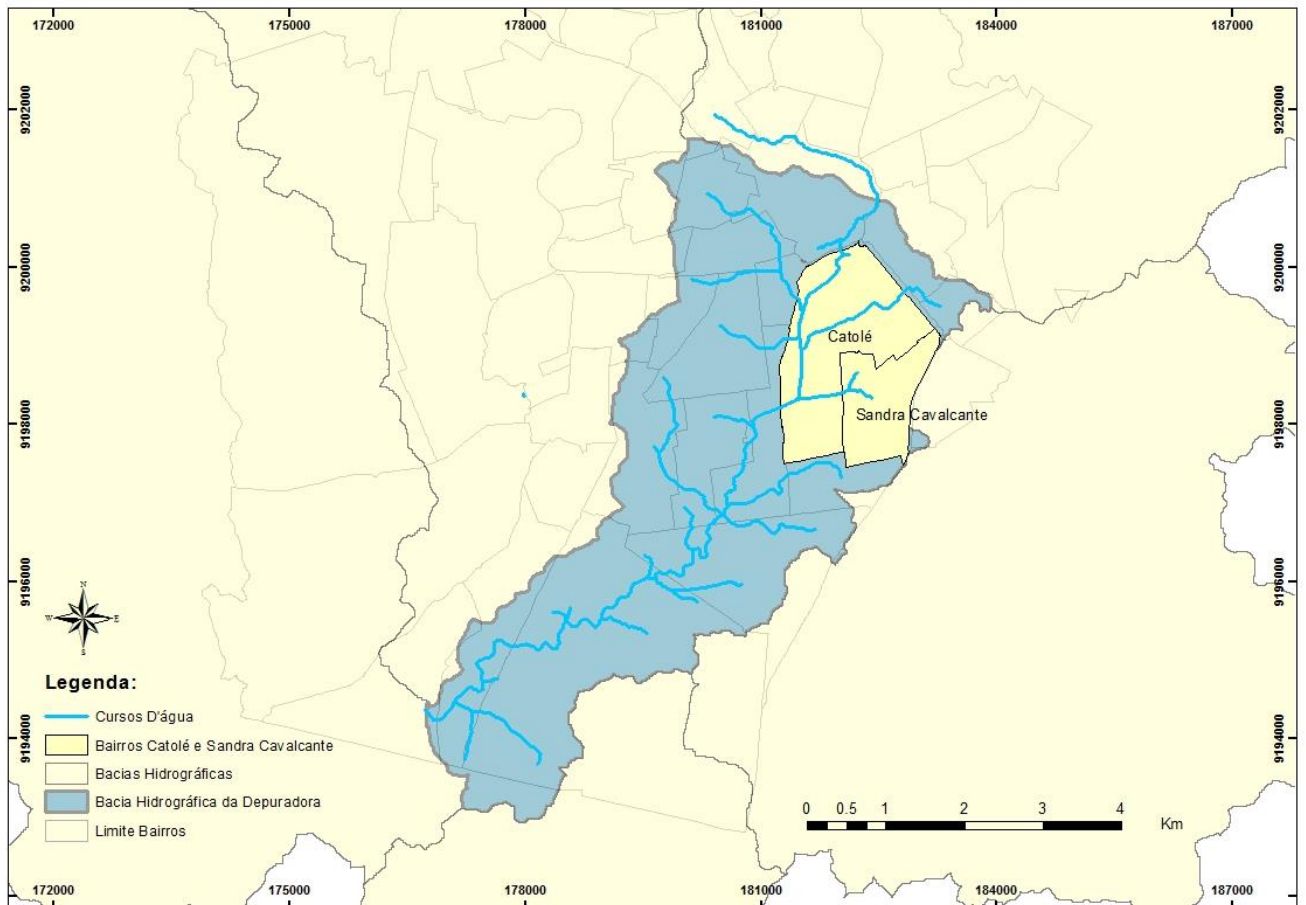
Fonte: Jornal da Paraíba (2014)

Figura 2.5: Localização do cruzamento da Figura 2.4.



Fonte: Google Earth (2014)

Figura 2.6: Delimitação da Bacia Hidrográfica do Riacho do Prado na cidade de Campina Grande e os bairros Catolé e Sandra Cavalcante inseridos nela.

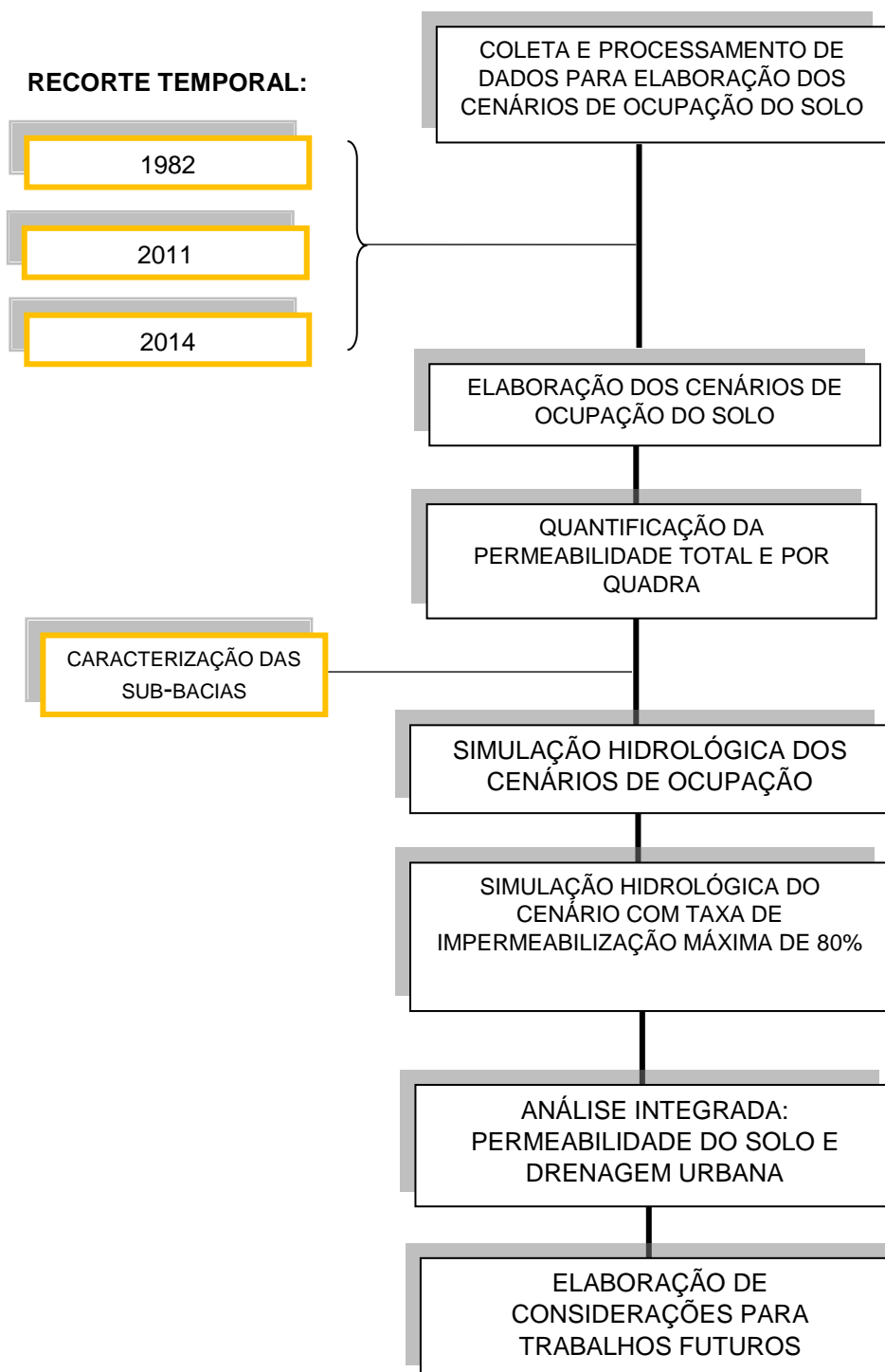


Fonte: adaptado de Tsuyuguchi (2014)

2.2. ETAPAS METODOLÓGICAS

Para a realização deste trabalho procurou-se seguir uma estrutura que amparasse a produção do mesmo, a fim de se fazer a análise de permeabilidade do solo e da drenagem. Para tanto, foi de fundamental importância seguir as etapas metodológicas descritas a seguir: As etapas metodológicas estão descritas no diagrama esquemático apresentado na Figura 2.7.

Figura 2.7: Diagrama esquemático das etapas metodológicas.



2.2.1. Coleta e processamento de dados

Nesta etapa, foram coletados os dados relevantes à pesquisa, através de visita de campo e de ferramentas como o *Google Earth* e o *Google Street View*. Também foram agregadas referências de outros estudos realizados para a mesma área do caso de estudo do presente trabalho (ARAÚJO, 2012; NÓBREGA, 2012), bem como dados concedidos pela Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG) que subsidiaram a realização deste estudo.

O mapa para o cenário de ocupação de 1982 foi gerado a partir do registro fotográfico de um mosaico fotogramétrico disponível na PMCG (Figura 2.8), bem como um estudo anterior de Araújo (2012) e consulta a moradores antigos da área de estudo.

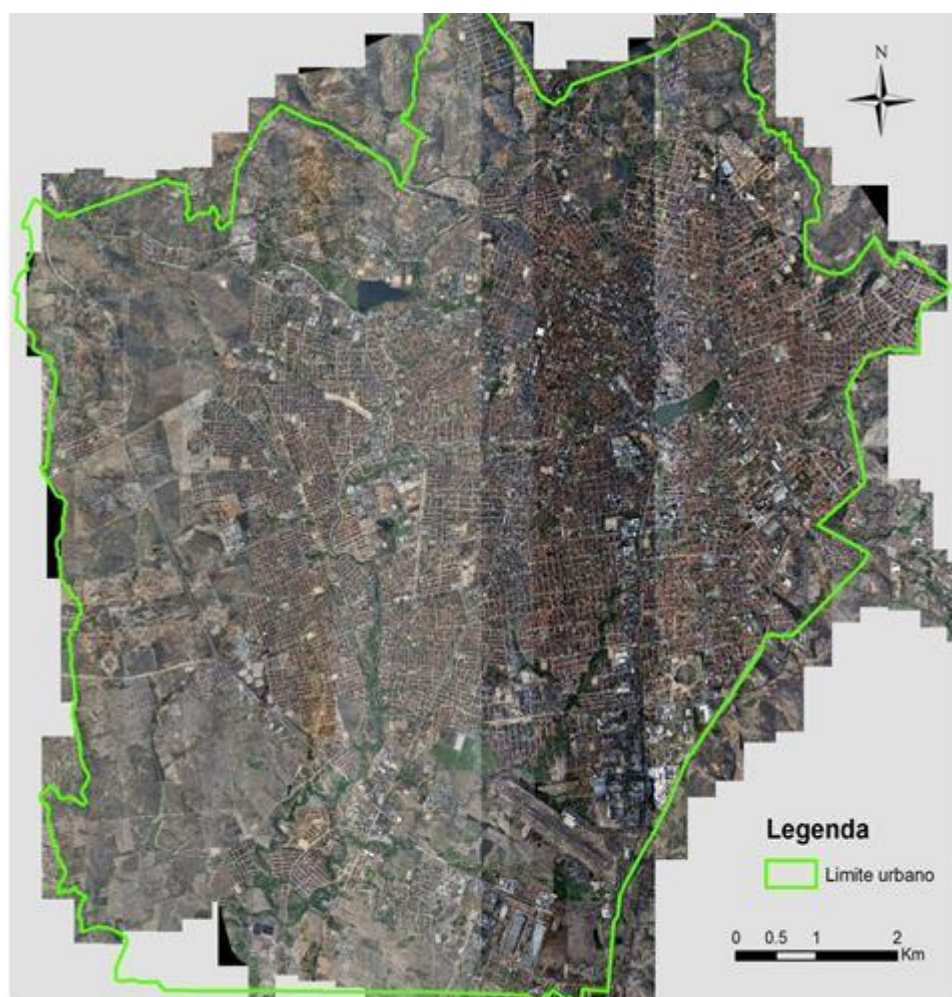
Figura 2.8: Recorte dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante em um mosaico aerofotogramétrico de Campina Grande no ano de 1982.



Fonte: PMCG, 1982.

O cenário de 2011 foi trabalhado com base do estudo de Araújo (2012) para o bairro do Catolé. Para o bairro Sandra Cavalcante, usou-se uma fotografia aérea ortorretificada de alta resolução espacial (10 m) da cidade Campina Grande, do ano de 2010 (Figura 2.9), disponibilizada pela PMCG, assim como de imagens disponibilizadas pela ferramenta *Google Street View*.

Figura 2.9: Imagem aérea de alta resolução da zona urbana de Campina Grande para o ano de 2010.



Fonte: PMCG (2010) adaptado por Souza (2015).

Para o cenário de ocupação do ano de 2014, foram realizadas visitas de campo a fim de se atualizar os dados de 2011 para o bairro do Catolé e validar os resultados para o bairro Sandra Cavalcante, que foram coletados, em sua maioria, através o *Google Earth*.

Todos os dados foram digitalizados e editados utilizando o *software desktop* ArcGIS 10.2.2® (Esri), para, então, elaborar os cenários que serão apresentados no capítulo III.

Após o processamento dos dados de ocupação do solo, quantificou-se as porcentagens de impermeabilização total dos dois bairros e por quadra, visando a utilização do mesmo como *input* no *software* de simulação hidrológica, Storm Water Management Model – SWMM.

2.2.2. Simulação hidrológica dos cenários de ocupação

Para a simulação hidrológica, foi usado o *software* Storm Water Management Model - SWMM (ROSSMAN, 2010), um modelo de simulação chuva-vazão de aplicação essencialmente urbana, pelo qual é possível analisar a quantidade de escoamento na bacia hidrográfica. No SWMM a bacia urbana é representada na forma de sub-bacias e canais. As áreas das sub-bacias são subdivididas em três subáreas: impermeável com armazenamento e permeável com ou sem armazenamento. O escoamento superficial é obtido através de um reservatório não-linear para cada subárea. O modelo utiliza como entrada, dados de precipitação, a área da sub-bacia, a largura representativa da sub-bacia, os coeficientes de rugosidade de Manning, declividade da sub-bacia, a altura do armazenamento em depressões e os parâmetros de infiltração.

Na simulação hidrológica tomou-se como base os dados do estudo da microdrenagem do bairro do Catolé realizado por Nóbrega (2012), substituindo as porcentagens de impermeabilização do estudo realizado pelo referido autor, e inserindo os dados obtidos no presente estudo de ocupação do solo. Também foi realizada a ampliação da pesquisa para o bairro Sandra Cavalcante, visto que eles estão inseridos em sub-bacias iguais (como mostra Figura 2.5).

O sistema de microdrenagem foi representado através de bacias (bairros Catolé e Sandra Cavalcante), sub-bacias (quadras), nós e condutos, utilizando como base o modelo calibrado por Nóbrega (2012) para o Catolé.

Para a delimitação das sub-bacias do Sandra Cavalcante, foi utilizada a fotografia aérea ortoretificada de alta resolução (10 m) do ano de 2010, cedida pela PMCG, bem como, a imagem de satélite atualizada para o ano de 2014, do Google *Earth*. Para a caracterização das sub-bacias foram usados os parâmetros de caracterização necessários para a realização da simulação apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Parâmetros necessários para a simulação das sub-bacias no SWMM.

PARÂMETROS UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS		
PARÂMETROS	SIGLA	UNIDADE
Área da Sub-bacia	A	ac
Largura da Sub-bacia	W	ft
Declividade da Sub-bacia	S	%
Áreas impermeáveis	AI	%
Coeficiente de rugosidade de Mannig - Superfícies Impermeáveis	NI	—
Coeficiente de rugosidade de Mannig - Superfícies Permeáveis	NP	—
Capacidade de armazenamento em depressões - Superfícies Impermeáveis	DI	in
Capacidade de armazenamento em depressões - Superfícies Permeáveis	DP	in
Áreas impermeáveis não conectadas	AINC	%

As áreas e os perímetros das sub-bacias do bairro Sandra Cavalcante foram calculados a partir do mapa base obtido no estudo de ocupação do solo que serão apresentados no capítulo III desse trabalho.

Determinou-se os Coeficientes de Rugosidade de Manning para superfícies impermeáveis (NI) e permeáveis (NP), pelo tipo de superfície existente. Na Tabela 2.3 são apresentados os valores utilizados nesse estudo.

Tabela 2.3: Coeficientes de Rugosidade de Manning.

COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DE MANNIG	
SUPERFÍCIES	COEFICIENTE
Asfalto liso	0,011
Argila	0,015
Superfície cimentada	0,024
Solos com vegetação natural	0,04-0,08

As larguras dos retângulos, que representam as sub-bacias, foram calculadas através das equações abaixo (GARCIA, 2005).

$$le = \frac{k_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (1)$$

$$k_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde le é a largura do retângulo; kc é o coeficiente de compacidade¹; A é a área da sub-bacia e P é o perímetro da sub-bacia

A calibração do modelo hidrológico feita por Nóbrega (2012) foi realizada devido a necessidade de encontrar os valores de capacidade de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis (DP) e impermeáveis (DI), bem como estimar as áreas impermeáveis não conectadas (AINC), que são informações necessárias para a caracterização das sub-bacias. A Tabela 2.4 apresenta o resultado desta calibração, que foi feita para 8 eventos chuvosos entre janeiro de 2007 e agosto de 2011, descritos na Tabela 2.5.

¹O coeficiente de compacidade (Kc) é a relação entre o perímetro da sub-bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da sub-bacia (NÓBREGA, 2012).

Tabela 2.4: Parâmetros calibrados.

PARÂMETROS DE CALIBRADOS		
capacidade de armazenamento em depressões para superfícies impermeáveis (DI)	capacidade de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis (DP)	áreas impermeáveis não conectadas (AINC)
1,91 mm	5,08 mm	10%

Fonte: Nóbrega (2012)

Tabela 2.5: Data de ocorrência dos eventos chuvosos calibrados.

DATA DE OCORRÊNCIA DOS EVENTOS CHUVOSOS
18 de março de 2008
25 de março de 2008
20 de fevereiro de 2009
11 de abril de 2009
01 de março de 2011
03 de maio de 2011
4 de maio de 2011
17 de julho de 2011

Por fim, para a modelagem da infiltração, foram utilizadas as equações de Horton (Paixão *et. al*, 2009). Para tanto, é preciso determinar três parâmetros, a saber: capacidade de infiltração inicial (I_0); capacidade de infiltração final (I_f) e a constante de decaimento (k).

Os resultados são apresentados no Quadro 2.6 abaixo.

Tabela 2.6: Valores utilizados na equação de Horton.

capacidade de infiltração inicial (mm/h)	capacidade de infiltração final (mm/h)	constante de decaimento
396,1	7,1	268%

Fonte: Paixão *et. al* (2009)

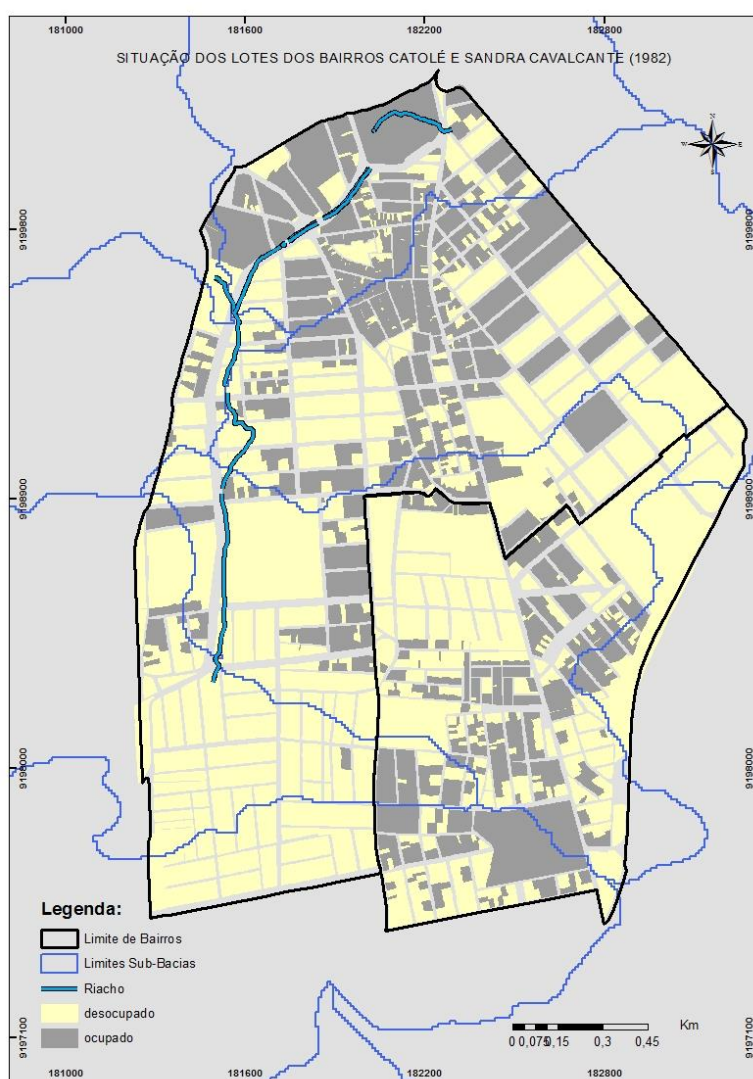
Os tempos de retorno utilizados seguem os parâmetros de risco aplicados nos projetos de drenagem para áreas residenciais e comerciais, segundo Tucci (2003). Para áreas residenciais, o tempo de retorno aplicado é, usualmente, de 5 anos e, para áreas comerciais, 2 anos. Como, através de estudo prévio, verificou-se que o bairro apresenta, predominantemente, esses tipos de uso, realizou-se a simulação para os dois tempos de retorno.

Logo após a caracterização das sub-bacias no SWMM, foram realizadas simulações para os três cenários (1982, 2011 e 2014) e para um cenário com a taxa de impermeabilização fixada pelo Código de Obras do Município, 80%, para que fosse possível a análise integrada da permeabilidade do solo e da drenagem, junto com os parâmetros urbanísticos fixados

3.1. RESULTADOS DO ESTUDO DE OCUPAÇÃO DO SOLO

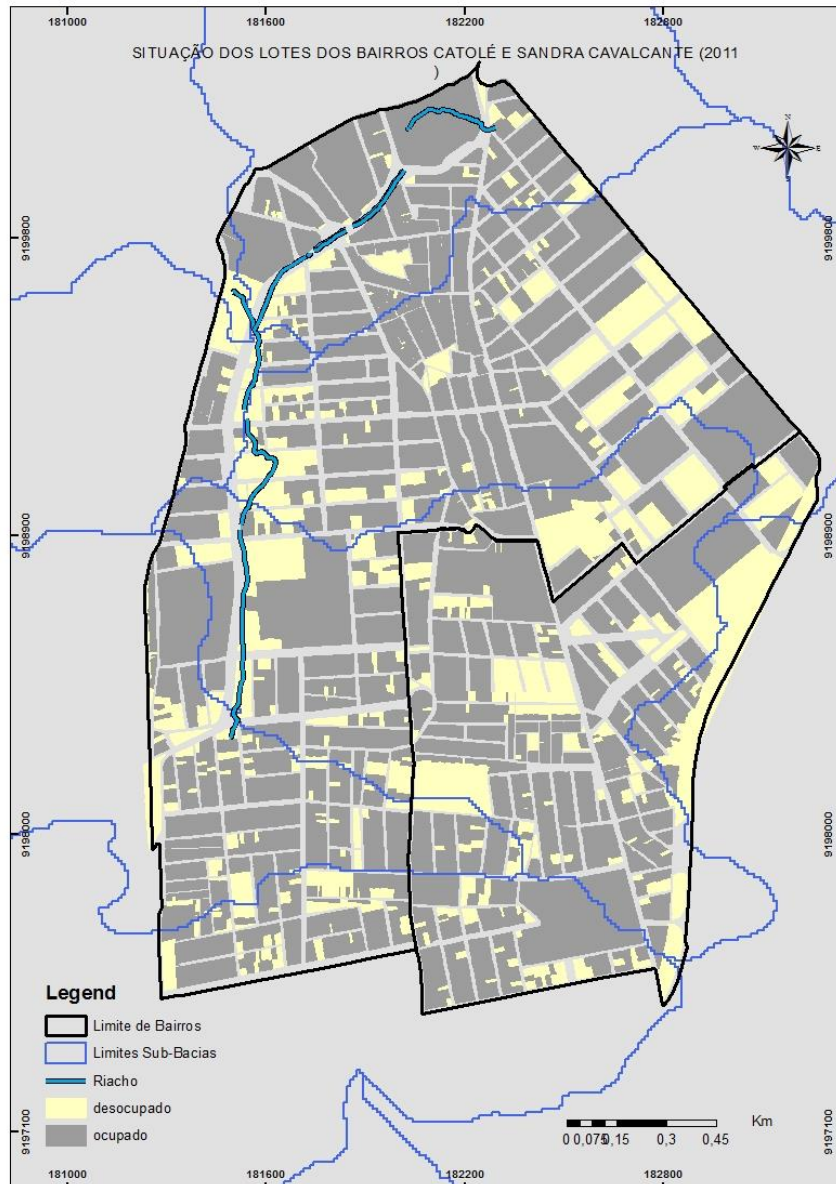
Através do mapeamento da ocupação do solo gerados de acordo com os três cenários multitemporais para área de estudo (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3), foi possível analisar o processo de apropriação sem planejamento do espaço. Também foi possível quantificar o percentual de permeabilidade dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante (Figura 3.4), através do mapa de ocupação do solo, que serviram de dados de entrada para o modelo de simulação hidrológica no SWMM.

Figura 3.1: Ocupação do solo dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante para o ano de 1982.



Fonte: elaborado a partir de um estudo inicial realizado por Araújo (2012), consulta a moradores e mosaico fotogramétrico disponível na PMCG para o ano de 1982.

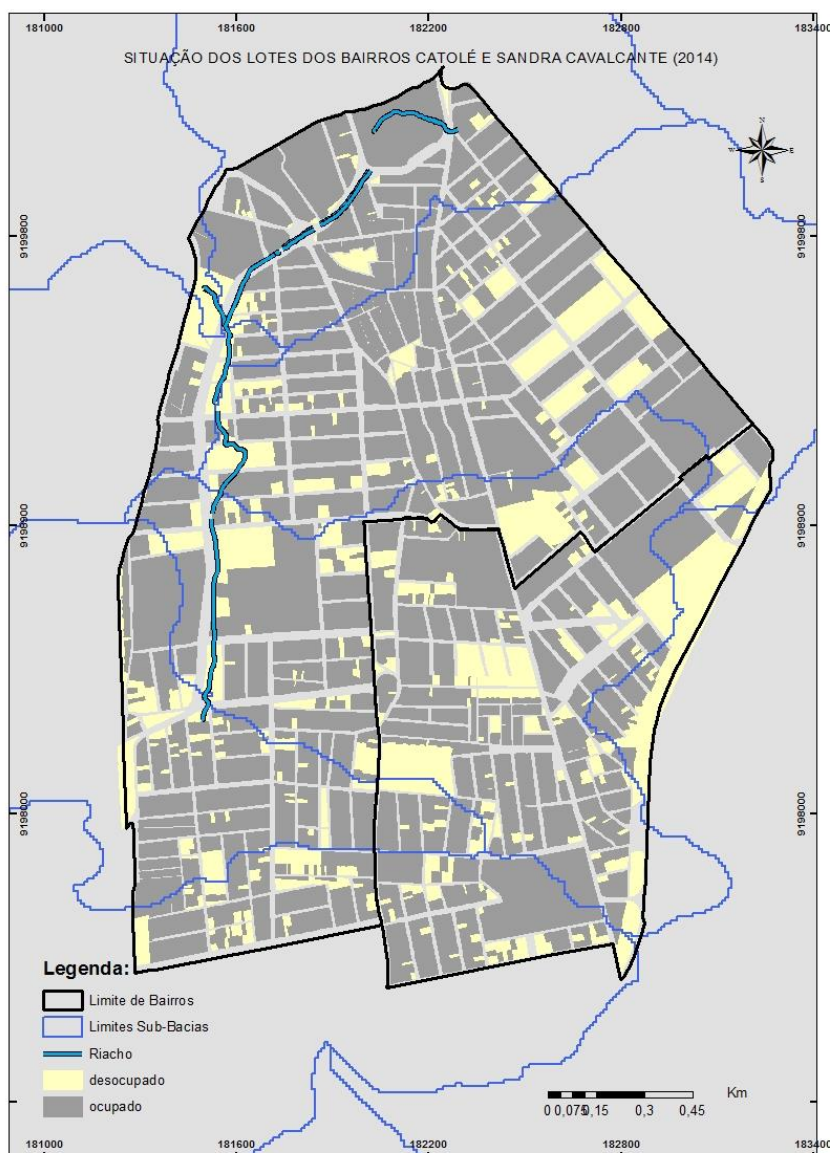
Figura 3.2: Ocupação do solo dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante para o ano de 2011



Fonte: Adaptado de Santos (2014).

Reforça-se que entre os dois primeiros cenários existe uma grande diferença de tempo (29 anos), o que explica o aumento expressivo do crescimento do bairro. Pode-se analisar, através do mapa de 1982, que a ocupação dos bairros começou a acontecer de forma dispersa, gerando pequenos vazios no desenho dos mesmos. Esse tipo de crescimento dificulta a implantação de infraestrutura, sobretudo de drenagem, pois não existe uma estimativa de demanda para determinada área.

Figura 3.3: Ocupação do solo dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante para o ano de 2014.



Fonte: Santos, 2014.

Observa-se que, apesar de as diferenças entre os anos de 2011 e 2014 não serem tão evidentes em mapa, o processo de verticalização contribuiu para uma maior impermeabilização do solo, visto que as edificações multifamiliares aproveitam mais o terreno (inclusive o subsolo) para área construída, reservando cada vez menos espaço para áreas permeáveis (Figura 3.5).

Figura 3.4: Situação dos bairros Catolé e Sandra Cavalcante, em relação à permeabilidade, nos anos de 1982, 2011 e 2014.

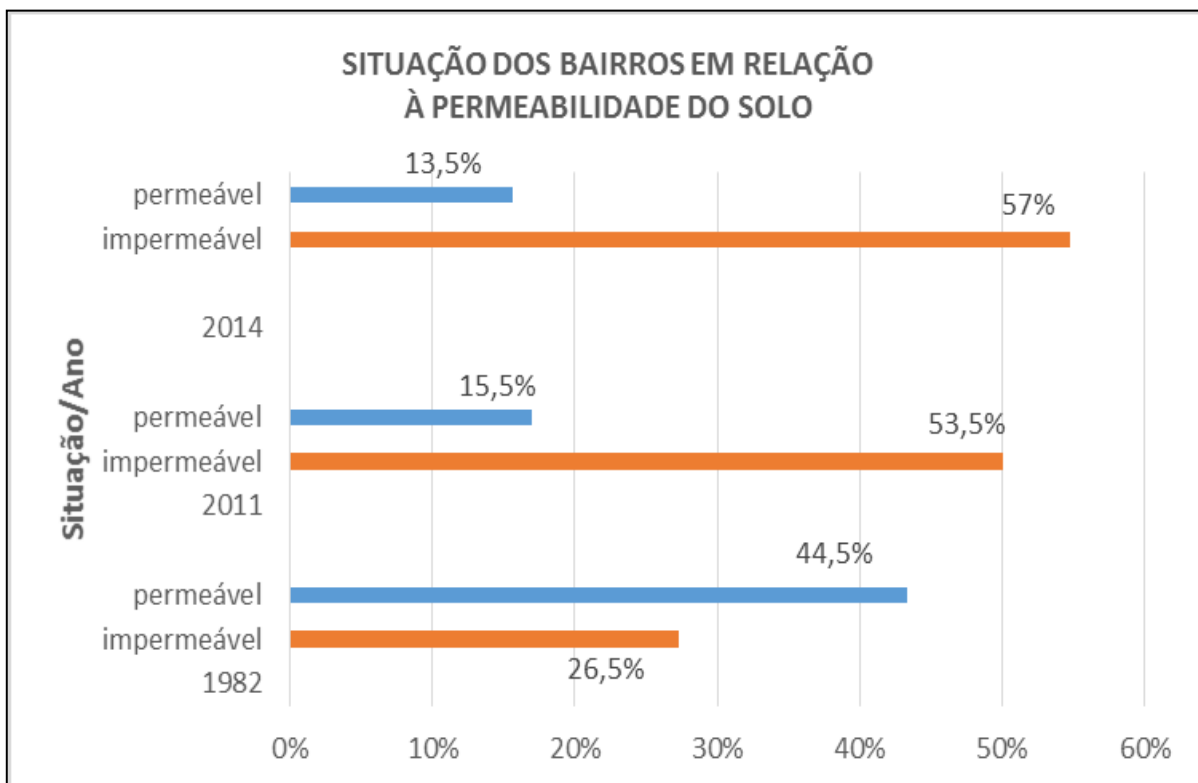
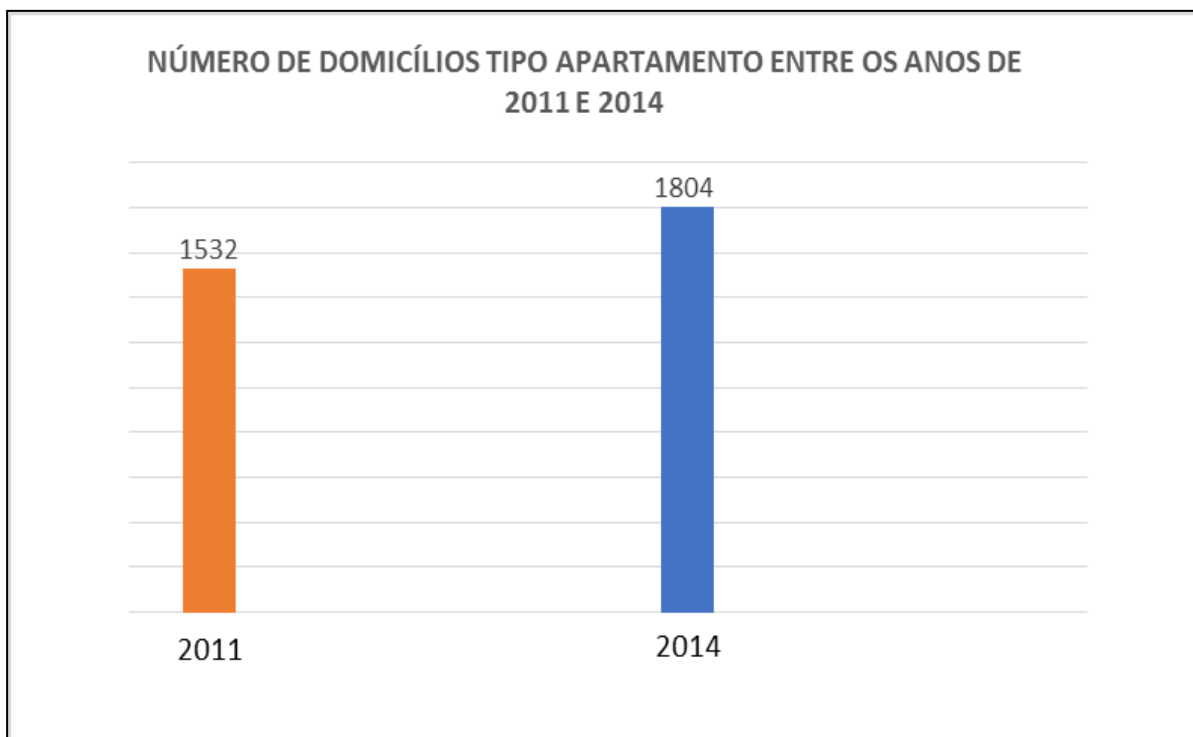


Figura 3.5: Número de domicílios tipo apartamento no bairro do Catolé (2011-2014).



A análise da ocupação do solo foi feita a partir do cruzamento do zoneamento do Plano Diretor com o Código de Obras do Município, que segundo a Tabela 2.1 (capítulo 2) fixa 60% de área ocupada para lotes residenciais, 75% para lotes com outros usos, além de estabelecer o limite de 80% de área impermeável. A partir de tais parâmetros, verificou-se que os mesmos não foram respeitados nos bairros, tendo em vista que existem lotes e quadras com mais de 90% de percentual impermeável.

3.2. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA PARA OS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DO SOLO

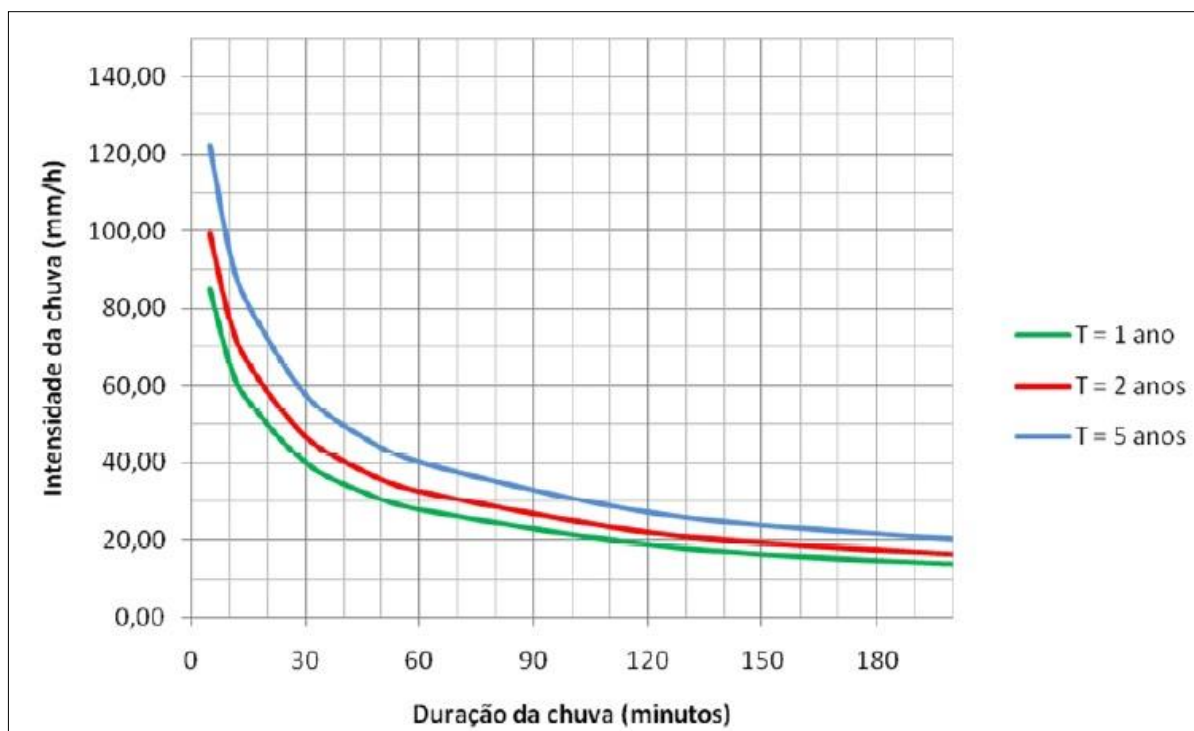
A simulação hidrológica no SWMM para os anos de 1982, 2011 e 2014 foi realizada por meio da quantificação da permeabilidade em cada quadra, feita a partir do presente estudo de ocupação do solo, além do conhecimento dos dados de intensidade, duração e frequência das chuvas e do sistema de microdrenagem existente nos bairros.

O programa simulou como as sub-bacias se comportavam durante eventos chuvosos com tempo de retorno de 2 e 5 anos e, também, como ela se recuperou após 30 e 60 minutos do término da chuva. Os resultados das simulações podem ser vistos nos mapas de inundações, do presente capítulo, gerados a partir dos parâmetros de calibração vistos anteriormente.

Através dos cálculos de intensidades para cada tempo de retorno (Nóbrega, 2012), gerou-se um dos *outputs* do modelo hidrológico que está apresentado na Figura 3.6. A Tabela 3.1 resume os dados utilizados na calibração.

No final deste item, será apresentado uma tabela resumindo os principais resultados obtidos para cada cenário, facilitando o entendimento e a discussão dos resultados obtidos.

Figura 3.6: Gráfico de intensidade x duração das chuvas para os tempos de retorno.



Fonte: Nóbrega (2012).

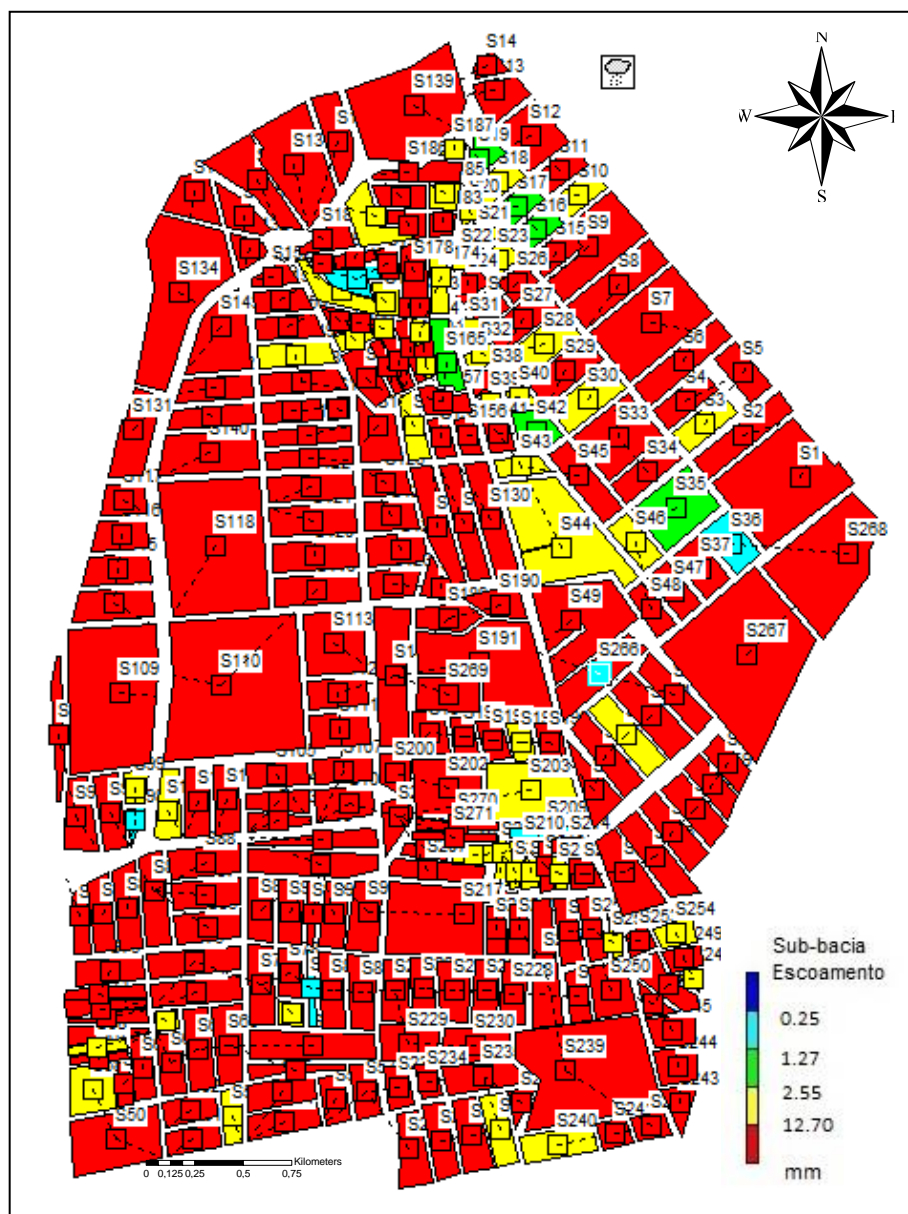
Tabela 3.1: Tempo de retorno / intensidade / duração dos eventos chuvosos usados na simulação.

Tempos de Retorno (anos)	Intensidade (mm/h)	Duração (minutos)
TEMPO DE RETORNO DE 02 ANOS	46,97 mm/h	30 minutos
TEMPO DE RETORNO DE 05 ANOS	40,00 mm/h	60 minutos

3.2.1. Resultados da simulação do cenário atual com Tempo de Retorno de 2 anos

Na primeira simulação, para o cenário atual, foi analisado uma chuva com tempo de retorno de 2 anos e, segundo o mapa de inundação gerado (Figura 3.7), 77% das sub-bacias apresentaram escoamento superficial com lâmina superior a 12,70mm. Todos os valores obtidos na primeira simulação encontram-se no Quadro 3.3.

Figura 3.7: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 46,97mm/h, com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 02 anos.



Após o tempo de recuperação natural de 30 minutos, foi gerado outro mapa para análise da situação da bacia (Figura 3.8). Verifica-se que ainda existem sub-bacias que apresentam escoamento igual ou superior a 12,70 mm, representando 8,5% da área total da bacia. Entretanto, predominaram os escoamentos entre 1,27 e 0,25 mm, que representa 30,9% da área total da bacia.

Figura 3.8: Mapa da situação da bacia 30 minutos após o evento chuvoso.

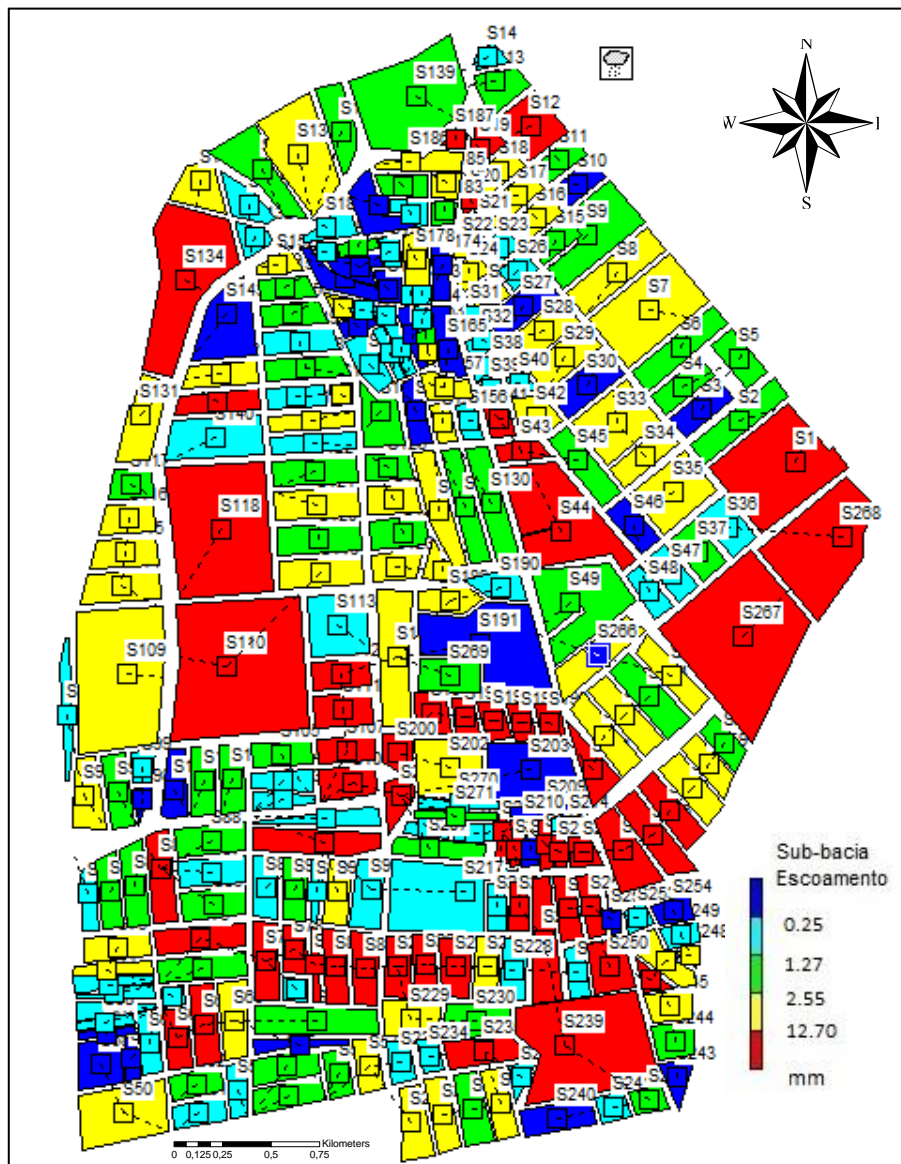
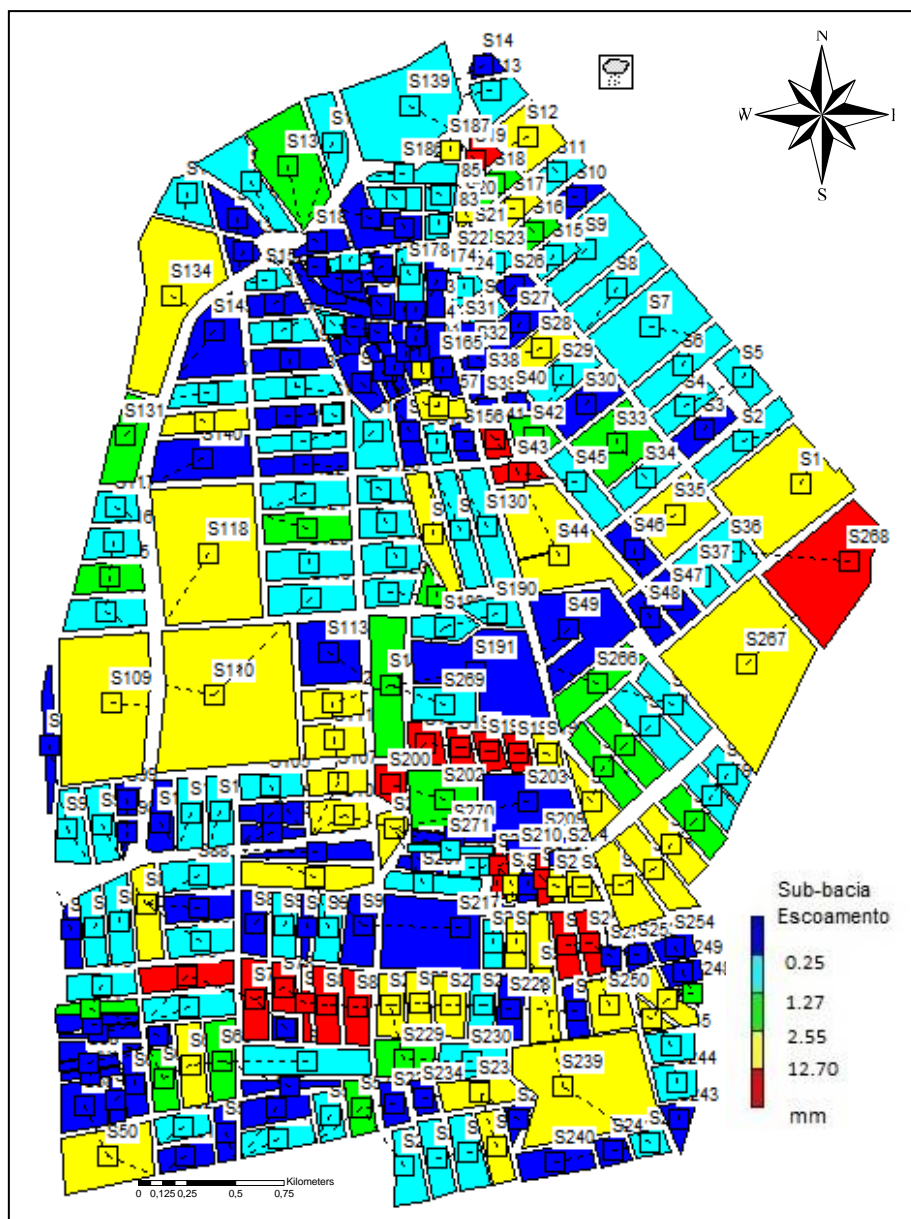


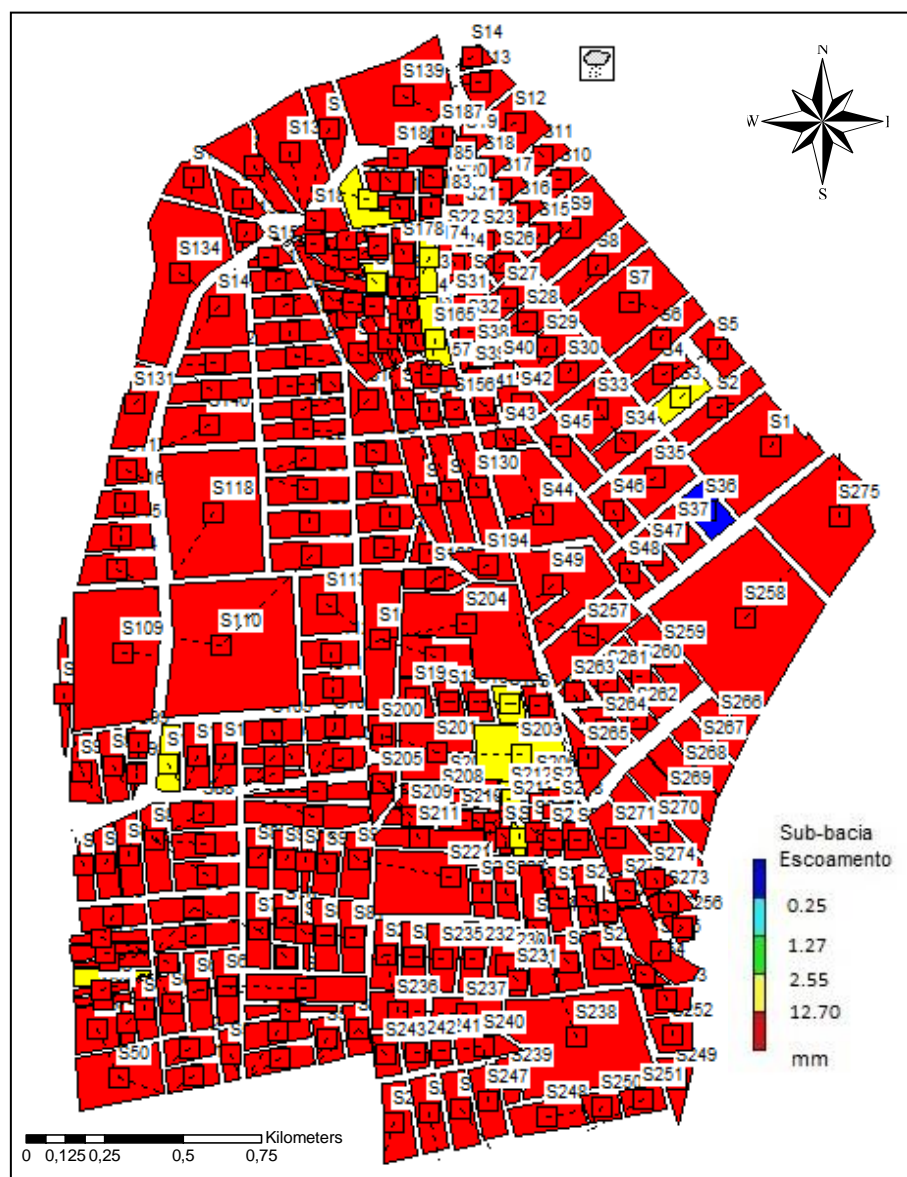
Figura 3.9: Mapa da situação da bacia 60 minutos após o evento chuvoso.



3.2.2. Resultados da simulação do cenário atual com tempo de retorno de 5 anos

Os resultados da segunda simulação para o cenário atual, elaborado segundo os dados do Quadro 3.2, para um tempo de retorno de 5 anos, podem ser vistos no mapa representado na Figura 3.10, abaixo.

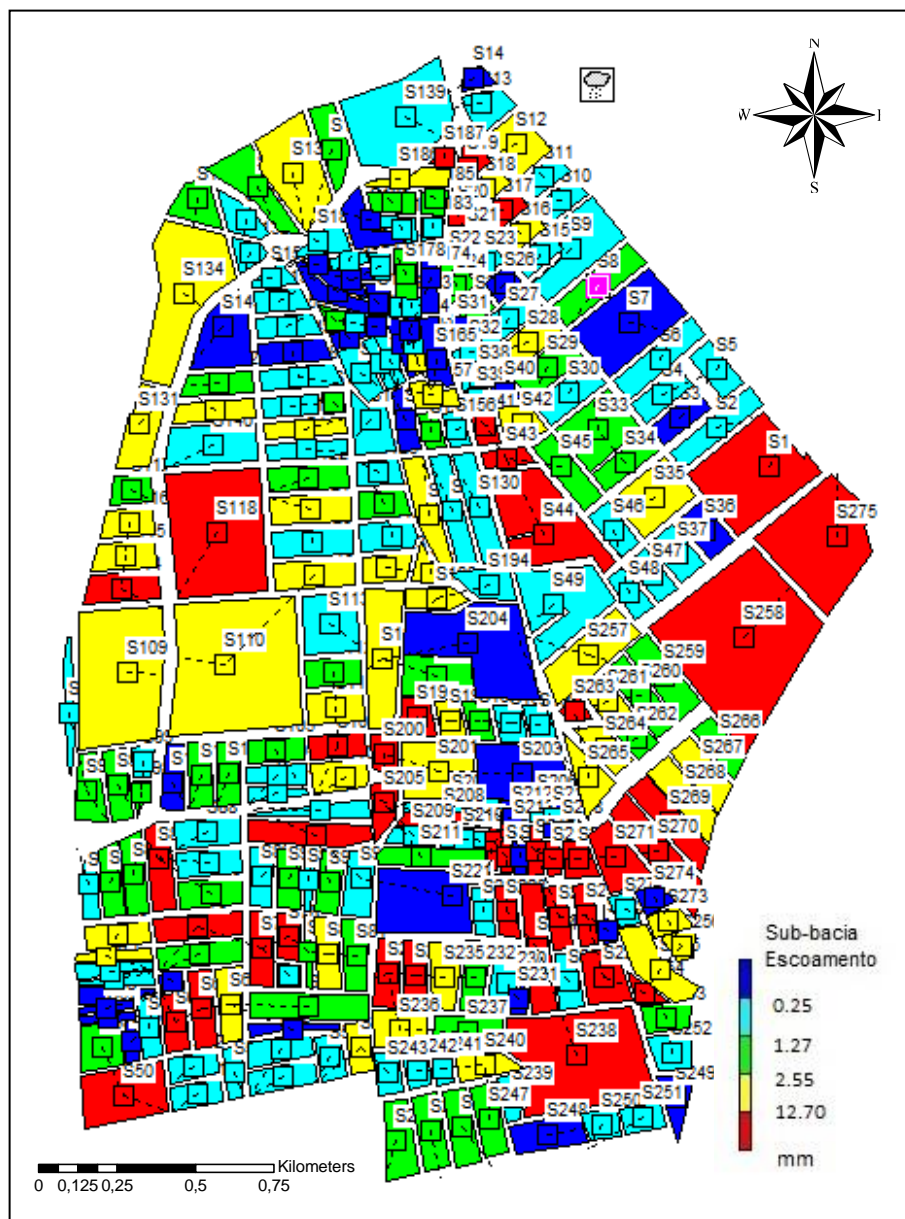
Figura 3.10: Mapa de inundação para intensidade de chuva de, aproximadamente, 40,00mm/h, com duração de 60 minutos e tempo de retorno de 05 anos.



No mapa de inundação observa-se que, logo após a ocorrência da chuva, 94,85% das sub-bacias apresentou escoamento superficial com lâmina superior a 12,70mm

Após 30 minutos de recuperação natural da bacia, gerou-se um novo mapa apresentado na Figura 3.11.

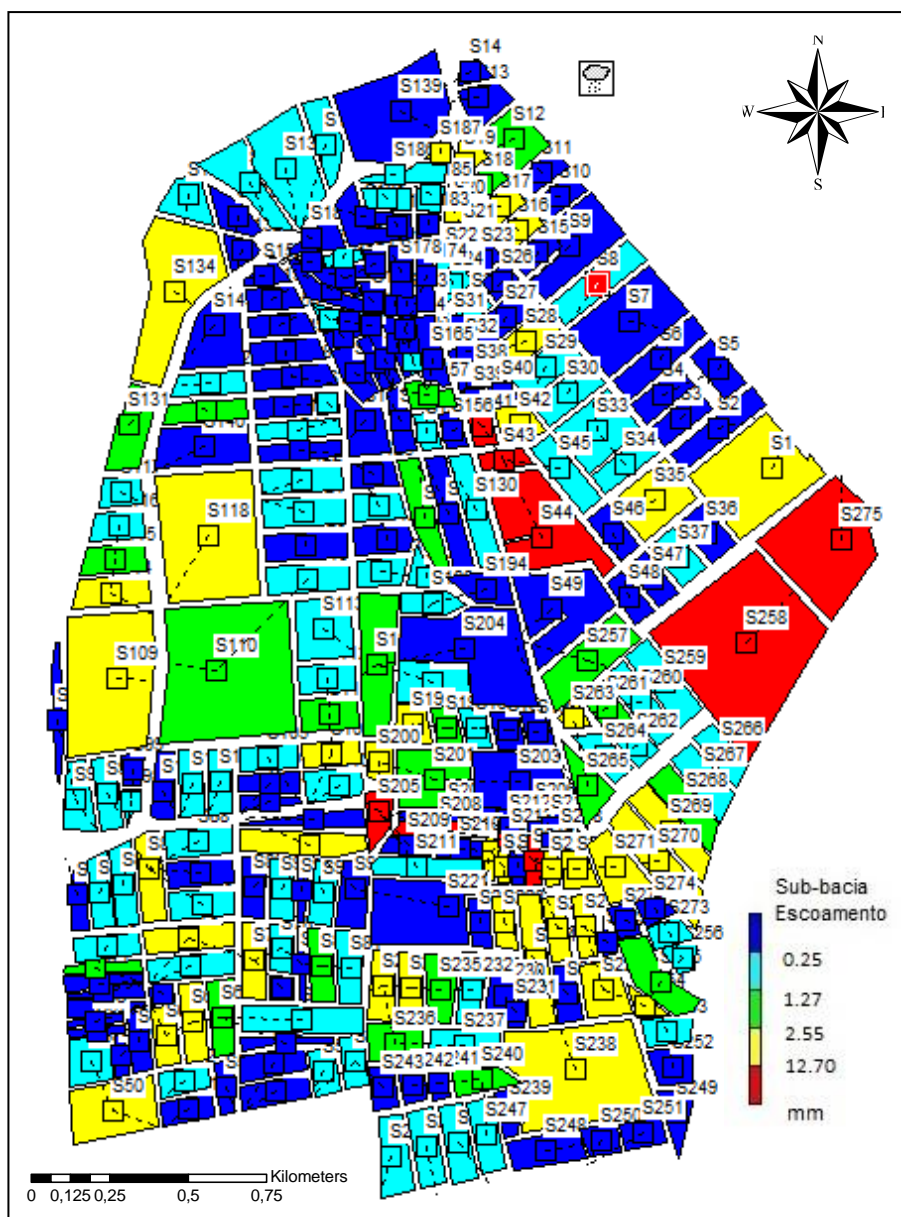
Figura 3.11: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, com duração de 60 minutos e tempo de retorno de 05 anos, após 30 minutos.



Após 30 minutos da ocorrência do evento chuvoso, percebe-se que, mesmo predominando os escoamentos no intervalo entre 1,27 e 0,25 mm, 30% do total da bacia, o cenário ainda mostra 34 pontos onde o escoamento superficial atingiu níveis maiores que 12,70 mm, que representa 15,07% da bacia.

Depois de 60 minutos do encerramento do evento chuvoso, foi gerado um novo *output* mostrando a situação da bacia (Figura 3.12).

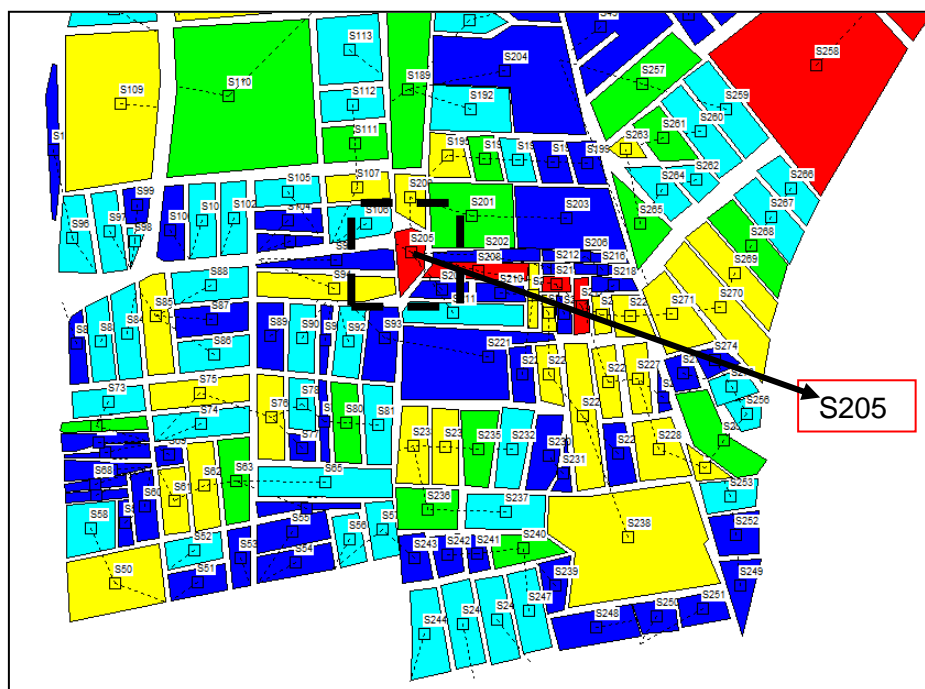
Figura 3.12: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, 60 minutos após a ocorrência de chuva.



Verifica-se que, após tal período de recuperação, 6 sub-bacias ainda apresentaram escoamento superficial com lâmina superior a 12,77mm, representando 2% do total da bacia. Mesmo não sendo um número alto de sub-bacias apresentando um escoamento maior, leva-se em consideração que já se passou 60 minutos desde o término do evento chuvoso.

Dentre aqueles pontos que apresentaram lâmina de escoamento superior à 12,70 mm, destaca-se a sub-bacia S205, apontada na Figura 3.13, como sendo o ponto que, segundo a simulação, apresentou o maior escoamento após 60 minutos do encerramento da chuva (23,62 mm).

Figura 3.13: Ponto com maior volume de escoamento após 60 minutos.



Uma validação com dados de campo permite verificar que o referido ponto sofreu alagamento com as recentes chuvas do dia 05 de março de 2015 (Figura 3.14). Na ocasião, a AESA divulgou que em menos de uma hora, choveu 35,4 milímetros em Campina Grande, representando 36% da média histórica para o mês de março. Nesse ponto de alagamento, verificou-se a insuficiência no sistema de microdrenagem que não suportou a chuva.

Figura 3.14: Imagem de trecho alagado no bairro Sandra Cavalcante apontado na Figura 15 após evento chuvoso do dia 05/03/2015.

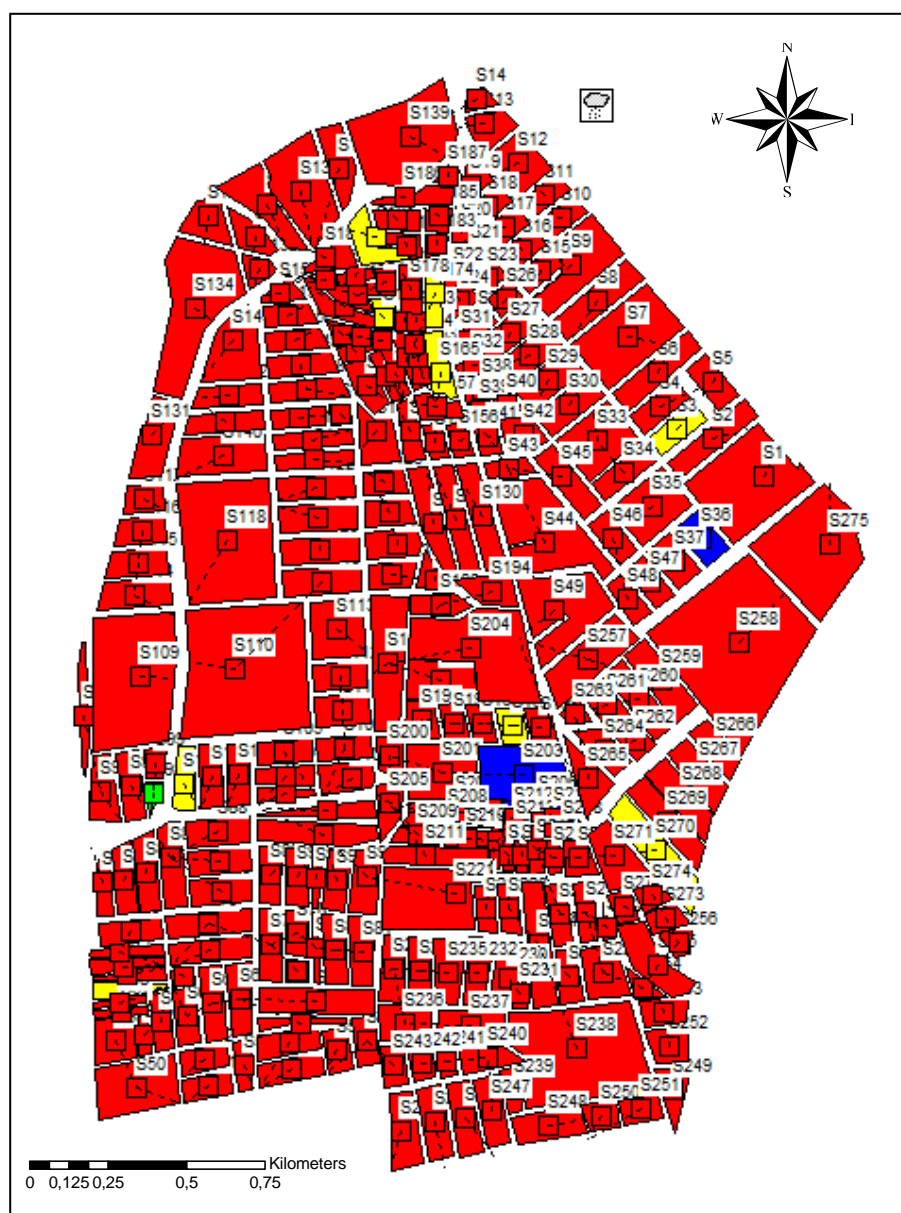


Fonte: Arquivo Pessoal, 06/03/2015

3.2.3. Resultados da simulação para o cenário com o limite de 80% de impermeabilização

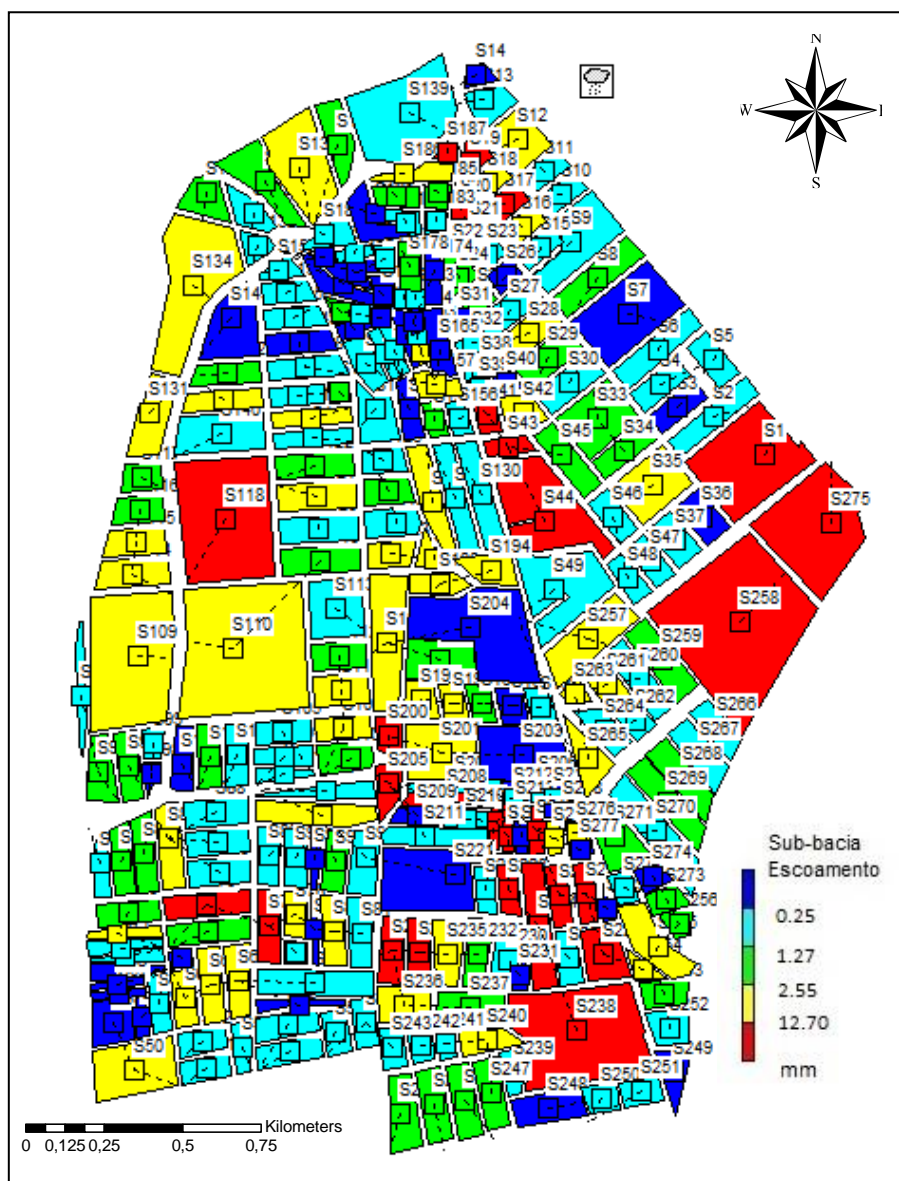
Buscando analisar melhor os efeitos da impermeabilização do solo no sistema de microdrenagem, outro cenário foi gerado, aplicando a legislação municipal (Código de Obras), que prevê o máximo de 80% de área impermeável por lote. Ressalta-se que os lotes que já apresentavam o percentual abaixo do estabelecido na lei, não sofreram modificações, pois supõem-se que cumpriram as normas estabelecidas. O resultado está representado na Figura 3.15.

Figura 3.15: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, com duração de 60 minutos e tempo de retorno de 05 anos, aplicando o índice fixado pelo Código de Obras do Município, 80% de área impermeável por lote.



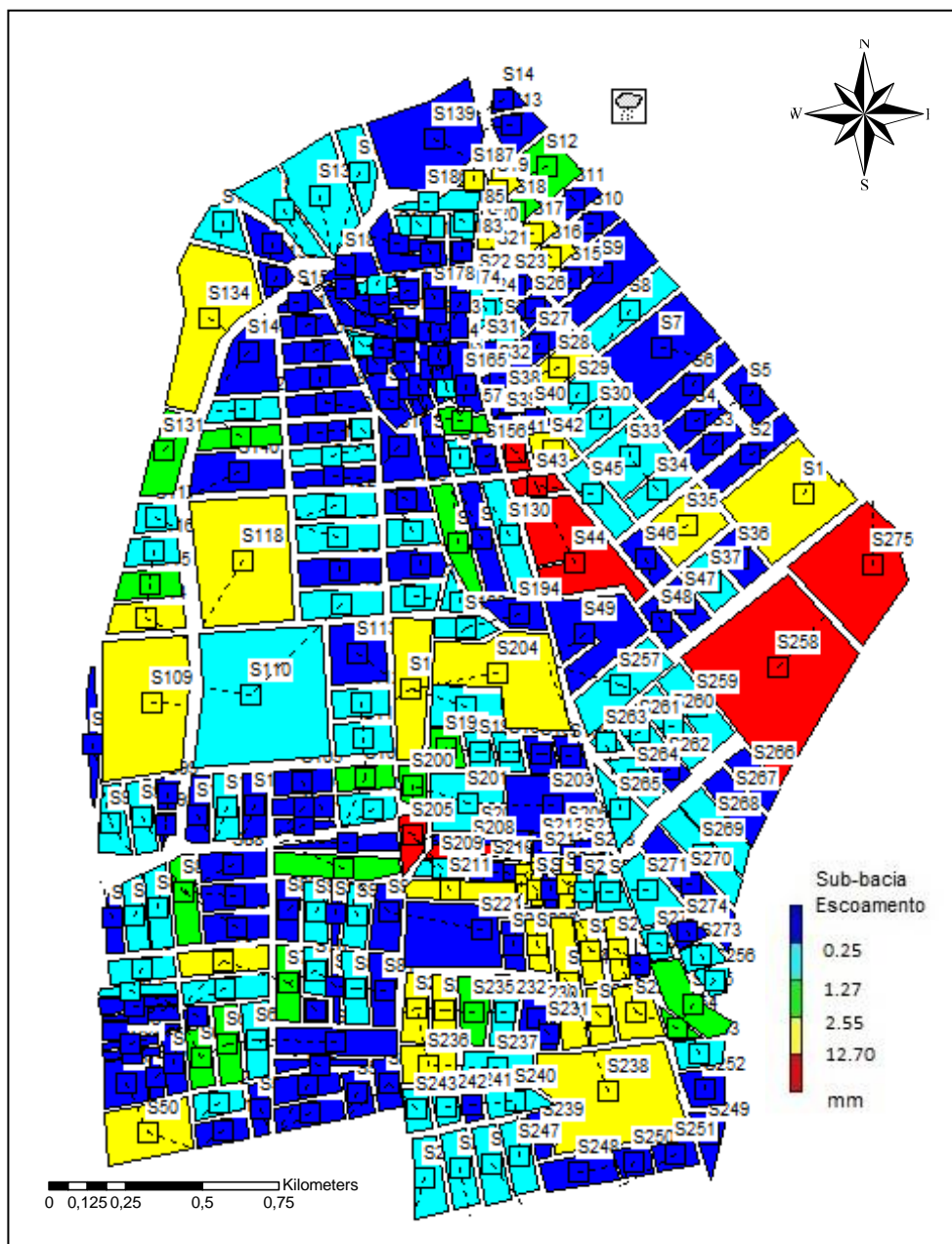
Observou-se que, imediatamente após o evento chuvoso, a situação é semelhante à situação atual: 94% da bacia apresentou escoamento superficial maior que 12,70mm. Entretanto, após 30 minutos (Figura 3.16), observamos o cenário mais favorável à infiltração. 10,29% da bacia apresentou escoamento superior a 12,70mm, diminuindo em, aproximadamente 5%, o volume de escoamento em relação ao cenário anterior.

Figura 3.16: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 05 anos, após 30 minutos aplicando o índice fixado pelo Código de Obras do Município, 80% de área impermeável por lote.



Em relação ao cenário de 60 minutos (Figura 3.17) após o evento, com o valor de impermeabilização fixado em 80%, a situação também permanece similar ao que ocorre com o cenário atual e tempo de retorno de 5 anos. Observa-se que a bacia se recuperou mais rápido nos primeiros 30 minutos e depois manteve-se constante. Porém, essa recuperação mais rápida, devido à maior capacidade de infiltração, diminuiu a sobrecarga no sistema de microdrenagem, e, certamente, os transtornos para a população.

Figura 3.17: Mapa de inundação para intensidade de chuva de 40,00mm/h, 60 minutos após a ocorrência de chuva, aplicando o índice fixado pelo Código de Obras do Município, 80% de área impermeável por lote.



A tabela 3.2, abaixo, resume os valores de escoamento superficial superiores a 12,77 mm, obtidos nos cenários de 1982, 2011, 2014 e respeitando a Taxa de Impermeabilização do Solo (TIS) de 80%, estabelecida pelo Código de Obras Municipal, considerando os tempos de retorno de 2 e 5 anos, nos seguintes períodos: imediatamente, 30 minutos e 60 minutos após o evento chuvoso.

Tabela 3.2: Resumo da situação das bacias em relação ao escoamento maior que 12,70mm.

Cenário	Tempo de Retorno (anos)	Escoamento Superficial (mm)		
		Imediatamente após a chuva	30 min. Após a chuva	60 min. Após a chuva
		>12,70		
2014	2	77,80%	8,50%	6,98%
	5	94,85%	15,80%	3,00%
2011	2	72,00%	7,90%	6,50%
	5	88,20%	11,62%	2,80%
1982	2	60,00%	6,55%	5,83%
	5	43,00%	8,00%	1,37%
TI = 80%	2	76,80%	6,70%	5,98%
	5	94,00%	10,29%	2,57%

Com os resultados mostrados na tabela, verificamos que os cenários 2014 e 2011 apresentam valores próximos em ambos os tempos de retorno, o que pode ser explicado pelo pouco intervalo de tempo entre os dois cenários e pela ausência ou pouca melhoria do sistema de microdrenagem.

Os resultados para o ano de 1982, baseados no mapa estimado da ocupação do solo, em que não possuímos informações sobre o sistema de microdrenagem, apresentam um percentual de quadras com escoamento superior à 12,70 mm relativamente alto, o que pode ser explicado pela topografia plana da área, o tipo de solo natural e a ausência parcial ou total do sistema de microdrenagem, enfatizando que não adianta apenas reduzir o percentual de área impermeável, mas é preciso também investir nas duas medidas (redução da impermeabilização do solo atrelado à melhorias no sistema de microdrenagem) de forma encadeada.

Por fim, os resultados obtidos através da simulação baseada na legislação municipal, mostram um resultado positivo para os dois tempos de retorno, ocorrendo uma recuperação mais rápida da bacia.

CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar o comportamento da microdrenagem na bacia hidrográfica do Riacho do Padro, mais precisamente, nas sub-bacias que compreendem os bairros do Catolé e Sandra Cavalcante, através de uma análise integrada entre drenagem e ocupação do solo.

No tocante à análise do sistema de microdrenagem à luz do estudo de ocupação do solo na bacia hidrográfica do Riacho do Prado, observou-se que a impermeabilização do solo contribuiu para o aumento do escoamento superficial em decorrência da sobrecarga no sistema de microdrenagem, apesar de o mesmo ter uma capacidade de suporte comprovada.

A análise integrada entre os dois estudos confirmou que o volume do escoamento superficial aumentou com o passar dos anos e que a alta impermeabilização do solo na área (os bairros têm, atualmente, 57% de sua superfície impermeabilizada) contribuiu para o aumento do volume do escoamento superficial nos bairros.

Ressalta-se que essa não é a única causa das falhas do sistema. Ao longo do estudo observamos que os bairros apresentam topografia plana, com baixos valores de declividades, o que os tornam susceptíveis a alagamentos mesmo com precipitações baixas. Devemos levar em consideração nesse estudo, também, que o sistema de microdrenagem não funciona com 100% de sua capacidade, sobretudo se comparados com eventos chuvosos, devido ao carreamento de sedimentos (lixo, plantas, terra, pedras) que acabam obstruindo o sistema diminuindo a capacidade de drenagem.

A partir dos resultados obtidos através do estudo integrado de ocupação do solo e drenagem urbana, verificamos que o limite estabelecido para a impermeabilização do lote, que é de 80%, quando respeitado, apresenta resultados satisfatórios em relação ao sistema de microdrenagem, mesmo mantendo o sistema nas condições atuais, concluindo que, mesmo parecendo uma diminuição baixa do percentual de escoamento, as sub-bacias se recuperaram de forma mais rápida após o evento chuvoso devido à maior capacidade de infiltração do solo. Com esta

conclusão, confirmamos o que foi constatado no estudo técnico realizado para a Bacia do Riacho do Padro de que o cumprimento da legislação evitaria grande parte dos problemas causados pelos alagamentos no bairro.

Entretanto, sabemos que os bairros possuem urbanização consolidada (o próprio percentual de impermeabilização encontrado traduz essa consolidação), o que pode ser feito a partir de agora com as novas edificações que vão sendo construídas é aplicar com mais vigor as legislações vigentes que tratam da ocupação e do zoneamento do solo. Além disso, é preciso, urgentemente, realizar uma fiscalização mais rígida em relação à ocupação das zonas de expansão da cidade, de modo que o parcelamento do solo leve em consideração as bacias hidrográficas existentes como unidades de planejamento.

Logo, para o caso em estudo, conclui-se também que uma revisão no sistema de microdrenagem junto às manutenções preventivas do mesmo, diminuiria a ocorrência de alagamentos no bairro. Projetos urbanísticos que utilizem materiais sensíveis à água, como pisos permeáveis e cobogramas, possibilitariam um aumento da capacidade de infiltração comprometida pelo asfalto e paralelepípedos das ruas e calçadas, o que também aliviaria os elementos estruturais do sistema.

Por fim, visando contribuir para futuros estudos nesse sentido, propõe-se algumas medidas estruturais e não-estruturais para o controle das cheias:

- Reavaliar o percentual permitido para impermeabilização do solo: i) levar em consideração as características da bacia hidrográfica, como a topografia; ii) estabelecer o parâmetro em relação ao tamanho do lote, no qual lotes maiores seriam obrigados a reservar um percentual permeável maior, garantindo uma área de solo natural maior.
- Desenvolver uma metodologia de IPTU-Ecológico ou Hidrológico, como uma medida de incentivo ambiental e econômico, através da redução do tributo, que se adapte as necessidades da cidade em relação à impermeabilização do solo e outros fatores relevantes que podem ser beneficiados através desse instrumento.

- Implantar a Gestão de Águas Urbanas no município de Campina Grande atrelada ao Código de Obras do Município, Plano Diretor e demais instrumentos, servindo como aporte, de modo a se planejar com o menor impacto possível aos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLY, C.; DAVIDSON, F. **Densidade Urbana**: um instrumento de planejamento e gestão urbana. 2. Ed. Rio de Janeiro: Mauad, 2011.

ALENCAR, I. **CG tem 41 pontos de alagamentos**. Jornal da Paraíba, Campina Grande, 31/01/2014, Cidades. Disponível em: http://www.jornaldaparaiba.com.br/noticia/120676_cg-tem-41-pontos-de-alagamento. Acessado em: 20/08/2014

ALLEY, W.M. e Veenhuis, J.E. **Effective impervious area in urban runoff modeling**. In: Journal of the Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers, 109, 313-319, 1983

ALMEIDA, C. M. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento**: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP) / C. M. Almeida. – São José dos Campos: INPE, 2003.

ANDERSON, J.C. **Combined sewer system analysis using STORM and SWMM for the city of Cornwall**. Proceedings Stormwater Management Model (SWMM) Users Group Meeting, p. 1-22, Athens: USEPA 1980.

ARAÚJO, E. L. de. **Estimativa e análise do crescimento da demanda de água considerando cenários de uso e ocupação do solo**. Dissertação de Mestrado. Campina Grande: UFCG, 2012.

ARNOLD, C. L.; GIBBONS, C. J. **Impervious Surface Coverage**: the emergence of a key environmental indicator. American Planning Association. Journal of the American Planning Association, p. 243, 1996

ARTHUR, R.S. **Stormwater Runoff Simulation Using SWMM**: Evaluating Stormwater Management on the University of Virginia Grounds. Research Paper. Faculty of the School of Engineering and Applied Science University of Virginia, 2010.

BATISTA, M. E. M. **Desenvolvimento de um Sistema de apoio à decisão para gestão urbana baseado em indicadores ambientais.** Dissertação de mestrado. João Pessoa: UFPB, 2005.

BRASIL (2006) Lei Complementar nº003 de 09 de outubro de 2006: **Promove a revisão do Plano Diretor do Município de Campina Grande.** Campina Grande: PMCG.

_____. (2013) Lei 5410/13 de 23 de dezembro de 2013: **Código de Obras – Dispõe sobre o disciplinamento geral e específico dos projetos e execuções de obras e instalações de natureza técnica, estrutural e funcional do município de Campina Grande, alterando a Lei de nº 4130/03, e dá outras providências.** Campina Grande: PMCG.

BRUN, A. **Introduction – Les objectifs, principes et éléments de débat. Le politiques de l'eau: grands principes et réalités locales.** Québec: Presses de l'Université du Québec, 2006.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A M.V.; CARVALHO, M. S.; DRUCK, S. **Análise Espacial de dados Geográficos.** 2a edição (online), 2002, disponível <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>, acessado em: 03/2014.

COHEN, B. **Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability.** Technology in society, v. 28, n. 1, p. 63-80, 2006.

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 de mestrado. São Carlos: Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, 2009.

CRUZ, I.; CAMPOS, V. B. G. **Sistemas de Informações Geográficas aplicados à análise espacial em transportes, meio ambiente e ocupação do solo.** Rio de Transportes III: Rio de Janeiro, 2005

DINIZ, F. R. **Urbanização pela água: vieses de ordenamento territorial e de gestão urbana.** In: Anais do XVI ENANPUR Espaço, Planejamento e Insurgências, Belo Horizonte: 2015

DOWNS, P. W; GREGORY, K. J. **River Channell Management**. Oxford University Press Inc, 2004.

ESTEVES, R. L. **Quantificação das superfícies impermeáveis em áreas urbanas por meio de sensoriamento remoto**. Dissertação de mestrado. Brasília: UNB, 2006.

FILHO, A. G. A.; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. **Estudo de medidas não estruturais para controle de inundações urabanas**. Disponível em: <http://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas/article/viewFile/747/664>, acessado em 03/2015, 2000.

FRESNO, D. C.; BAYÓN, J. R.; HERNÁNDEZ, J. R. Y MUNOZ F. B. **Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)**. In: INCI, volume 30 n° 05. Caracas, 2005.

GARCIA, J.I.B. **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do Arroio Cancela**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS, 2005.

GOONETILLEKE, A., THOMAS, E., GINN, SG., GILBERT, DC. **Understanding the Role of Land Use in Urban Stormwater Quality Management**. Journal of Environmental Management, vol. 74, p. 31-42, 2005

GRANDE, M.; GALVÃO, C.; MIRANDA, L.; RUFINO, I. **Environmental equity as a criterion for water management**. IAHS – AISH Publication, v. 364, p. 519-525, 2014.

KAUFFMANN, M. O. **Expansão Urbana e Qualidade de Vida: Proposta para Desenvolvimento de Indicadores de Sustentabilidade Aplicados à Legislação Urbanística**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Engenharia Ambiental da UERJ: Rio de Janeiro, 2003.

KAUFFMANN, M. O.; SILVA. L. P. da. **Taxa de Impermeabilização do Solo: um recurso para a implementação da bacia hidrográfica como unidade de planejamento urbano integrado à gestão dos recursos hídricos**. In: XI Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional – ANPUR. Salvador, 2005.

KAWATOKO, I. E. S. **Estabelecimento de cenários de medidas estruturais e não-estruturais para gestão das águas urbanas em escala de lote.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

JOHN J. O.; MICHAEL B.; PADRAIG, J. P.; FASIL, G. **Urban drainage in Ireland – embracing sustainable systems.** Water and Environment Journal, v. 26, 2012.

MAKSIMOVIC, C. **General Overview of Urban Drainage Principles and Practice.** Urban Drainage in Specific Climates (IHP-V-Technical Documents in Hydrology), p. 9-31, 2001.

MARICATO, E. **Metrópole, legislação e desigualdade.** Estudos Avançados, v. 17, n. 48, p. 151-167, 2003.

MEIERDIERCKS, K. L.; SMITH, J. A.; BAECK M. L.; MILLER A. J. **Analyses of Urban Drainage Network Structure and its Impact on Hydrologic Response.** JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 2010.

NÓBREGA, P. V. M. **Análise do Sistema de Drenagem de Campina Grande/PB, para Proteção de Áreas de Risco de Inundação.** Dissertação de Mestrado. Campina Grande: UFCG, 2012.

PAIXÃO, F.J.R.; ANDRADE, A.R.S.; AZEVEDO, C.A.V.; COSTA, T.L.; GUERRA, H.O.C. **Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos.** Pesquisa aplicada & Agrotecnologia, volume 2, nº 1, p 108-112. Guarapuava-PR, 2009.

POLIDORI, M.C. **Crescimento urbano e ambiente:** Um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. Tese de Doutorado. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/6191>, acessado em 09/03/2014. UFRS, Rio Grande do Sul: 2004.

POMPÊO, C. A. **Drenagem urbana sustentável.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.

RAMOS, C. **Dinâmica fluvial e ordenamento do território.** Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais: Dinâmicas, Mudanças Ambientais e Ordenamento do Território SLIF – 6. Centro de Estudos Geográficos – Universidade de Lisboa. Lisboa, 2009.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model, Version 5.0: User's Manual** U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268. Revised: July 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>>. Acesso em: 19 de setembro de 2014.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I.A.A. **Análise da permeabilidade do solo urbano nos bairros do Catolé e Sandra Cavalcante em Campina Grande – PB**. Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - GEONORDESTE 2014, Aracajú, Brasil, 2014.

SOUZA, T. J. **Potencial de aproveitamento de água de chuva no meio urbano: o caso de Campina Grande – PB**. Dissertação de Mestrado. Campina Grande: UFCG, 2015.

SOUZA, M. L. **Mudar a cidade: Uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbana**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2009.

SCHUELER, T.R. **The importance of imperviousness**. In: Watershed Protection Techniques, v. 1 n.3, p. 100-111, 1994

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Rio Grande do Sul: Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. **Inundações urbanas na América do Sul**. ABRH-Ed.UFRGS. Rio Grande do Sul, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 5-27. Rio Grande do Sul, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. ABRH, 1. ed. Porto Alegre: Editora Universitária, 2002.

TSUYUGUCHI, B. B. **Macro drenagem e a ocupação do solo no município de Campina Grande – PB: Caracterização, simulação e análises sistêmicas**. Dissertação de Mestrado. Campina Grande: UFCG, 2015.

TSUYUGUCHI, B. B.; RUFINO, I. A.A.; SANTOS, R. C. **Estudos de delimitação de micro bacias urbanas no município de Campina Grande – PB**. In: Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal: Novembro de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA), disponível em: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>, acessado em 03/2014.

United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). **The state of the world's cities 2004/2005**: globalization and urban culture. Nairobi/London: UN-HABITAT/Earthscan; 2004.